

Del CERN a l'aula de física: La cambra de boira com a projecte

Julià Hinojosa, (julia.hinojosa@escolapia.cat) Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals. Grup LiEC. Universitat Autònoma de Barcelona.

Ernest Tortosa, Alumne de 2n de Batxillerat, Escola Pia de Sarrià-Calassanç.

Kevin Osorio, Alumne de 2n de Batxillerat, Escola Pia de Sarrià-Calassanç.

Pablo Calsina, Alumne de 2n de Batxillerat, Escola Pia de Sarrià-Calassanç.

Pablo Saiz, Alumne de 2n de Batxillerat, Escola Pia de Sarrià-Calassanç.

En aquest article s'exposen, de forma breu, els pilars fonamentals del CERN i els resultats de l'experiència que ha suposat submergir a un grup d'alumnes de segon de batxillerat, establint un cert paral·lelisme entre aquest centre d'investigació i l'escola. Per intentar aconseguir aquest objectiu, s'ha proporcionat als alumnes un repte sobre un context concret i real, basant-se en l'estructura d'un projecte: la creació d'una cambra de boira.

Paraules clau: Física de partícules, aprenentatge en col·laboració, projectes.

In this paper, the main characteristics of CERN are briefly presented as well as the results of the experience of involving a group of secondary school students, establishing a certain parallelism between this research centre and the school. To try to achieve this goal, students have been given a challenge on a concrete and real context based on a project: the creation of a cloud chamber.

Keywords: Particle physics, collaborative learning, projects.

INTRODUCCIÓ

L'estiu de 2017, vaig formar part del Spanish Teacher Programme (STP) al CERN (Organització Europea per a la Recerca Nuclear), Suïssa, gràcies a una beca de la Fundació Aquae. El principal objectiu d'aquest programa és portar la ciència moderna a las aules per a contribuir a la cultura científica i fomentar els estudis en els camps associats. S'espera que, després de participar-hi, els professors seleccionats comparteixin les seves experiències amb els estudiants, amb els seus col·legues i amb el públic en general, actuant com a ambaixadors de la ciència i la enginyeria i, més en particular, de la física de partícules i del CERN. Una setmana experimentant, compartint i aprenent en la mateixa font del saber. Per disposar de tota la informació i materials consultar <https://indico.cern.ch/event/572737/timetable>.

La finalitat d'aquest article és, per una banda, exposar de forma breu els pilars fonamentals del CERN i, per altra banda, compartir els resultats de l'experiència que ha suposat submergir a un grup d'alumnes de segon de batxillerat establint un cert paral·lelisme, salvant les distàncies, entre aquest centre d'investigació i l'escola. Ja que com deia en John Dewey (1974) "l'escola no ha de preparar per la vida, ha de ser la vida mateixa".

PILARS FONAMENTALS DEL CERN

La investigadora Isabel Bejar, a la presentació del CERN del STP, ens va explicar el puntals de funcionament del centre (figura 1).



Figura 1. Esquema del funcionament del CERN.

En primer terme, la **Recerca i els Descobriments** per tal d'empènyer les fronteres del coneixement endavant, passant de les idees individuals dels investigadors a la innovació col·lectiva. Aproximadament gestionen uns 20 experiments entre els que consten com a més coneguts: LHCb (Large Hadron Collider beauty, on beauty es refereix al quark "fons" o "bellesa), ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS), CMS (Compact Muon Solenoid) i ALICE (A Large Ion Collider Experiment). Han obtingut premis de la màxima categoria com el Nobel de física 2013 pel descobriment del bosó de Higgs.

En segon lloc, la **Tecnologia**, ocupant-se del desenvolupament de noves tecnologies per optimitzar els acceleradors de partícules i afinar fins a límits insospitats els sofisticats detectors per descobrir noves partícules. D'altra banda el desenvolupament informàtic pel que fa al filtratge, emmagatzematge i anàlisi d'una quantitat ingent d'informació que brota de cada un dels experiments. Aquests processos tenen associades altres tecnologies que cal evolucionar: enginyeria civil, superconductivitat (imants), refrigeració (-271° C), buit, detecció, anàlisis de dades...

En tercera posició i primordial per tot plegat, la **Col·laboració** unint equips de països i cultures diferents amb un únic objectiu "la ciència". A tall d'exemple, en els quatre experiments més emblemàtics s'indiquen països, institucions i membres involucrats respectivament: LHCb (15, 54, 754), ATLAS (38, 174, 3000), CMS (39, 169, 3170) i ALICE (33, 116, 1000). Aquests experiments es porten a terme, com l'Isabel Bejar ens explicava, en una atmosfera de "coopetició", és a dir, col·laborant i competint alhora.

Finalment, la **Formació** s'ocupa d'entrenar els científics i enginyers del futur amb una col·lecció de programes que es realitzen amb un execució exquisida. Es poden trobar programes de formació per a científics (Programa d'ensenyament acadèmic), per a joves investigadors (Escoles de física d'altas energies, Escola de computació i Escola

d'acceleradors), per a professors (Programes internacionals i nacionals), per a estudiants de física (Programa d'estudiants d'estiu) i altres activitats formatives.

FONAMENTACIÓ DE L'EXPERIÈNCIA

A la tornada, vaig voler aprofitar alguns dels experiments per introduir als meus alumnes a la pràctica científica utilitzant d'alguna forma una aproximació de la metodologia de treball del CERN.

Generalment, en el treball per projectes l'objectiu no és tant construir idees clau o modelitzar, sinó instrumentalitzar o aplicar coneixements ja apresos i aprofundir en els mateixos i en competències més transversals. Quan es parla d'un "aprenentatge basat en projectes", actualment s'està parlant de metodologies molt diverses, encara que totes tenen alguns trets comuns. Alguns dels més rellevants es relacionen amb que:

- Es parteix de l'estudi d'alguna situació o problema contextualitzat.
- S'investiga per donar resposta a preguntes, dubtes o reptes, inicials o que van sorgint al llarg de la realització del projecte.
- S'aprenen, a partir del context i en resposta a preguntes, coneixements clau i transferibles a la interpretació i actuació en altres contextos.
- S'inclouen continguts i avaluacions autèntiques, amb objectius didàctics específics.
- Es dona als alumnes l'oportunitat de treballar relativament autònomament per períodes de temps extensos.
- El professor facilita però no dirigeix.
- Es treballa en grups heterogenis, i es promou l'aprenentatge cooperatiu i la reflexió.
- S'utilitzen eines per aprendre de manera interactiva, promovent l'ús de tecnologies digitals (cognitives).
- Es finalitza amb alguna acció en l'entorn que planifiquen els mateixos estudiants.
- (Sanmartí i Márquez, 2017)

Com a professor, estic absolutament d'acord amb Osborne (2014) quan diu que l'objectiu principal d'una pràctica científica és desenvolupar el coneixement i la comprensió dels estudiants que requereix aquesta pràctica, com aquesta pràctica contribueix a saber què sabem i com ajuda a construir coneixements fiables. Per tant, un objectiu important associat amb la visió actual de l'educació científica suposa un major èmfasi en submergir els estudiants en la pràctica de la ciència i no només en l'aprenentatge de la ciència. Per intentar aconseguir aquest objectiu s'ha proporcionat als alumnes un repte sobre un context inicial ben concret i real basant-se en l'estructura d'un projecte. S'ha regulat la seva feina i s'ha promogut la reflexió, tot i

que el treball, ha estat molt autònom on cada component ha destacat en un o altre aspecte la qual cosa ha significat una motivació afegida.

L'EXPERIÈNCIA A L'ESCOLA

El repte, després de conèixer un cert temps en el context creat per explicar la física moderna (Olivella, J., Casellas, O., Enrech, M., González, J.J., Herreras, L., Plana, O., i Pont, J., 2017), era visualitzar partícules subatòmiques a través de la construcció d'una cambra de boira. Al laboratori SchoolLab del CERN n'havíem muntat una de forma molt fàcil, però amb alguna característica que la feia poc sostenible (Wiener, 2017). Per aconseguir el gradient de temperatura fèiem servir gel sec, el qual s'acabava desfent en poc temps (no més d'una hora).

Després de proposar el repte comença la recerca bibliogràfica i les primeres preguntes sobre física de partícules per aclarir conceptes i assimilar el veritable funcionament de la cambra al detall. Reallitzem una de les primeres reunions per regular l'estat de la qüestió i és obvi que, a més de resoldre algun dubte conceptual, tenen la necessitat de veure alguna cambra en funcionament. Mentrestant s'organitzen per aconseguir els diferents components alguns dels quals aconseguen directament de la Xina i comencen la construcció.

La visita a l'escola Tecla Sala de l'Hospitalet de Llobregat va ser definitiva. Allà, en Santi Vilchez ens va mostrar en funcionament la seva i els alumnes van poder discutir els dubtes i defensar i aclarir els seus dissenys. En Santi ens va ajudar a identificar i ens va oferir solucions a alguns dels problemes amb els que més endavant hauríem de treballar.

Després de la visita, arribava l'hora de la veritat i tocava construir la nostra cambra. En aquest estadi es van evidenciar les diferents destreses dels estudiants (mecàniques, elèctriques, logístiques, organitzatives, de recerca...). I, com era d'esperar, començaven a sorgir els primers problemes. Calia identificar-los i diferenciar-los per intentar resoldre'ls un a un (no aconseguíem baixar suficientment la temperatura, la il·luminació no era adequada...). En aquests moments, tornava ser molt important la regulació de les emocions, les estratègies de raonament, les metodologies de treball i la discussió de tot plegat a través del pensar/fer/comunicar/sentir en grup (Hinojosa i Sanmartí, 2016).

I finalment, la posada en escena, aprofitant el "dia de la família" quan obrim l'escola a totes les famílies. Gràcies a la col·laboració del pare d'un dels autors (Tortosa) vam poder aconseguir una mostra radioactiva, zircó (amb traces d'òxids de tori i d'urani), que va fer una visualització espectacular.

Però el veritablement importat no era tant aquesta espectacularitat que facilitava els relats, com les explicacions que els mateixos alumnes donaven a tothom que s'apropava a l'experiment. Donaven fe de com havien madurat i consolidat el model que temps enrere només mobilitzaven per resoldre problemes teòrics en paper. Inclús canviant de discurs i adequant-lo segons qui s'apropava, nens de primària o ESO, companys de batxillerat o pares més o menys entesos en la matèria. Responent a preguntes que anaven molt més enllà del que s'havia explicat a classe, avaluant les experiències viscudes i fent-se preguntes que seran investigades en properes recerques.

En definitiva, i com es pretenia aquesta experiència ha respost a grans trets a la forma de treballar dels investigadors del CERN: recerca i descobriments, col·laboració, tecnologia i formació. Aconseguint un alt nivell d'aprofundiment sobre el model ja après i la seva aplicació, mobilitzant-lo, connectant-lo amb les idees prèvies-prediccions i relacionant-lo amb les proves obtingudes. A més de treballar altres competències transversals.

LA CAMBRA DE BOIRA O DE WILSON

Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959) va rebre un premi Nobel l'any 1927 per la invenció de la cambra de boira. Experiment capaç de detectar partícules subatòmiques. Consta principalment d'un recipient tancat, on la mescla de l'alcohol isopropílic (isopropanol) unit a temperatures inferiors a -20°C aconseguen un ambient boirós en un estat metaestable, estat de sotarefredament. El pas d'una partícula produeix una pertorbació en l'atmosfera que trenca l'estat de sotarefredament, en què es troba el vapor d'alcohol proper a la base, i provoca la condensació de petites gotetes d'isopropanol, observables fàcilment. Només les partícules carregades i suficientment energètiques que travessen la cambra de boira són capaces de transformar en estat líquid l'alcohol. Aquestes partícules ionitzen el vapor d'alcohol i els ions resultants actuen com nuclis de condensació, al voltant dels quals es formen gotes de líquid que donen lloc a la boira (figura 2).

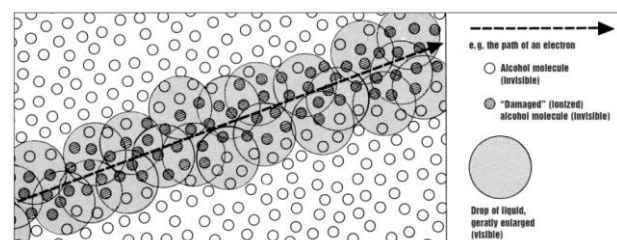


Figura 2. Esquema de la formació de traces en la cambra de boira. Font: Laboratori de Física Nuclear i de Partícules, 2011.

Un exemple per entendre millor aquest procés es produeix de forma quotidiana a l'atmosfera i suposa el rastre que deixen els avions al sobrevolar el cel. Els avions fan passar l'aire de l'estat gasós a estat líquid en un ambient metaestable a altures considerables i fàcilment visible per a tots. A aquesta altura (pressió i temperatura) l'aire també es troba en un estat metaestable i suficientment refredat com perquè la temperatura de les turbines transformin l'aire gasós en partícules d'aire líquides deixant les típiques esteles blanques de núvol al seu pas.

La boira sempre es forma en un pla horitzontal just a sobre de la font freda. Llavors, només es poden veure les partícules que viatgen en aquest pla, i amb suficient energia. Per augmentar el nombre de partícules visualitzades, es pot introduir a la cambra un element radioactiu.

Els rajos còsmics, també coneguts com vent solar, són generalment protons procedents de l'espai exterior o del sol. Aquests, a l'entrar en contacte amb l'atmosfera produeixen una gran quantitat de partícules que alhora interaccionen entre elles generant noves partícules, cada vegada menys energètiques. Entre les partícules que arriben a la superfície terrestre, trobem els muons que són fàcilment detectables. També és molt freqüent veure alguna traça de radioactivitat ambiental, com per exemple els electrons.

CONSTRUCCIÓ I MUNTATGE DE LA CAMBRA DE BOIRA

Després de la visita a l'escola Tecla Sala amb tot el que havíem après de l'experiència d'en Santi era el moment de construir la nostra cambra (Vilchez, 2017a i Vilchez, 2017b).

El primer pas va ser construir un suport amb tres blocs de fusta conglomerada (figura 3). A sobre d'aquest suport es col·loquen unes planxes de poliestirè per aïllar tèrmicament amb uns forats on encaixaran les plaques Peltier, encarregades de generar la temperatura que es necessita per produir la boira. Situades just damunt de tres blocs d'alumini que refrigeren les plaques per augmentar el gradient de temperatura i coronades per una planxa d'alumini que entra en contacte amb les plaques Peltier. Per optimitzar la seva conductivitat tèrmica es recobriren amb pasta tèrmica. Les quatre plaques Peltier es col·locaran en dos columnes, sota aniran les que funcionen a 12V i sobre les connectades a 5V (figura 3).



Figura 3. Situació dels blocs d'alumini refrigeradors i acabats amb les planxes de poliestirè i la planxa d'alumini sobre el suport.

Els blocs d'alumini es connecten amb tubs de plàstic a una bomba d'aigua que fa circular l'aigua freda i salada (optimitzar el refredament) pels blocs (figura 4).



Figura 4. Detall de la connexió dels tubs amb els blocs d'alumini de refrigeració.

El següent pas va ser connectar les plaques Peltier al corrent elèctric utilitzant una font d'alimentació de PC per aconseguir un gran amperatge (figura 5). Amb aquesta disposició aconseguim temperatures al voltant dels $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a la placa d'alumini que està en contacte amb l'alcohol.

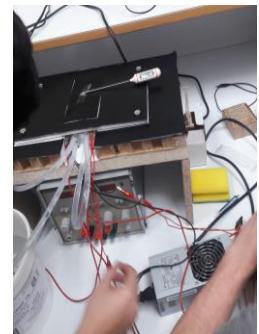
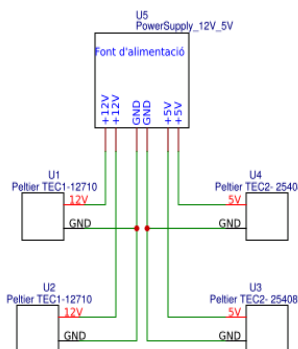


Figura 5. Esquema i il·lustració de la connexió elèctrica de les plaques Peltier.

Com es pot apreciar a la figura 5, tota la superfície superior s'ha recobert amb un vinil negre que serà molt adequat per aconseguir una millor visualització de l'experiment. Un detall de màxima importància és el sistema d'il·luminació, ja que sinó és l'adequat es farà molt difícil l'observació. Després de provar diferents fonts d'il·luminació, vam optar per fer-ho amb el focus d'un antic projectador de diapositives amb una petita inclinació respecte de la superfície.

Finalment, fixem unes esponges al sostre d'un recipient de metacrilat que amarades d'alcohol i en les condicions descrites generarà la boira (figura 6).

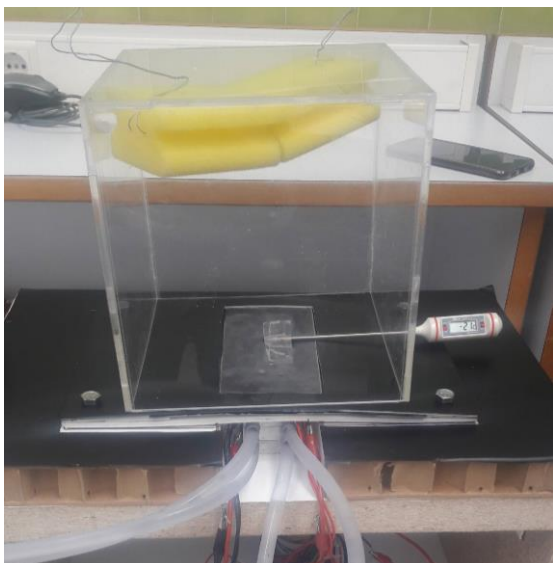


Figura 6. Detall de les esponges, brollador de l'alcohol.

NOVES PREGUNTES

La principal aplicació experimental de la cambra de boira és la identificació de les partícules atòmiques visualitzant les traces de la seva trajectòria al creuar la boira. Aquestes traces tenen formes distintives (p.e. la traça d'una partícula alfa és ampla i recta, mentre que la d'un electró és més fina i mostra proves de ser deflectida) (Laboratori de Física Nuclear i de Partícules, 2011). La cambra de boira va ajudar a l'estudi dels raigs còsmics, les partícules alfa, beta, raigs X, i a descobrir noves partícules com el mesó, el positró i el muó. En el [vídeo](#) es poden identificar partícules alfa, electrons i, creiem, que muons, ja que no provenen de les nostres mostres i són molt energètics (cap al final de la gravació).

Una vegada la cambra està acabada i en funcionament, comencen a sorgir nous interrogants i es plantegen:

- Com calibrar-la, és a dir, fer-la treballar coneixent d'inici les partícules que es posaran en lloc per tal d'establir un catàleg de visualitzacions i identificar-ne de noves. Disposem de gravacions que encara estan per analitzar detingudament.
- Emprendre la quantificació mitjançant el recompte de partícules en funció de diferents variables.
- Comparar i contrastar les dades d'aquest detector amb d'altres que utilitzen altres tecnologies.

- Utilitzar la cambra per estudiar la radiació natural d'alguns materials quotidians que radien.
- Analitzar com es desvien les trajectòries de les partícules de fonts radioactives conegudes amb la col·locació de camps electromagnètics. I, així, poder determinar entre d'altres el signe de la seva càrrega.

IMPLICACIONS DIDÀCTIQUES

Segons DeSeCo (2002) la definició de competència és "Capacitat de respondre a demandes complexes i realitzar tasques diverses de forma adequada. Suposa una combinació d'habilitats pràctiques, coneixements, motivació, valors ètics, actituds, emocions i altres components socials i de comportament que es mobilitzen conjuntament per aconseguir una acció eficaç". Com s'ha anat mostrant a l'article, aquesta definició s'ajusta al que hem aconseguit amb els alumnes seguint les metodologies pròpies d'un projecte, aplicant els coneixements, aprofundint en els mateixos i en competències més transversals i finalment creant un instrument que serà utilitzat en noves recerques. Clar que seguint els passos dels investigadors del CERN no podria haver estat d'altra forma.

D'altra banda, s'han aplicat estratègies diverses orientades a pensar i regular la planificació de l'acció i els criteris d'avaluació, de manera que promoguin l'autoregulació de la pràctica científica. Aquesta autoregulació ha quedat evidenciada en el progrés del seu coneixement i plasmada en les seves explicacions el "dia de la família".

Agraïments

Investigació finançada pel Ministerio de Economía y Competitividad (amb referència EDU2015-66643-C2-1-P) i realitzada dins el marc del grup consolidat ACELEC reconegut per l'AGAUR (amb referència 2017SGR1399).

Agraïments a la fundació Aquae i a l'Escola Pia Sarrià-Calassanç, que van fer possible l'estada al CERN.

Bibliografia

- DeSeCo – OCDE (2002). *Definition and Selection of Competencies: Theoretical and Conceptual Foundations. Summary of the final report "Key Competencies for a Successful Life and a Well-Functioning Society"*. Recuperat de www.netuni.nl/courses/hre/uploads/File/desecco_finalreport_summary.pdf
- Dewey, J. (1974): On Education: Selected Writings. Dins John Dewey: *Filosofía y Exigencias de la Educación*, Francisco Ornar Ochoa Restrepo. *Revista Educación y Pedagogía Nos. 12*,

13. Recuperat de: <http://www.unav.es/gep/JohnDeweyFilosofiaDeLaEducacion.pdf>
- Hinojosa, J. i Sanmartí, N. (2016). *Indagando en el aula de ciencias: primeros pasos*, en *Ciencias para comprender el mundo: Investigación e innovación en didáctica de las ciencias experimentales*, 119-128. Entimema.
- Laboratori de Física Nuclear i de Partícules. Departament de Física Atòmica, Molecular i Nuclear. Facultat de Física, Universitat de València. La cámara de niebla de difusión. (2011). Recuperat de http://mural.uv.es/ferhue/4o/fnp/labfnp_p3.pdf%20%20%20
- Olivella, J., Casellas, O., Enrech, M., González, J.J., Herreras, L., Plana, O., i Pont, J. (2017). Un viatge al·lucinant (Unitat 8) en Física en Context, 2n de Batxillerat. *Xtec, Física en context*. Recuperat de <https://sites.google.com/a/xtec.cat/fisicaencontext/home/2n-batxillerat/8-un-viatge-alucinant>
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196. Recuperat de https://store.lab-aids.com/assets/downloads/Meeting_the_NGSS_Practices_-_J_Osborne.pdf
- Sanmartí, N. i Márquez, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), 3-16. doi: <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>
- Vilchez, S. (2017a). Atenció, radiactiu! *Construcció d'una cambra de boira electrònica. Recursos de física* (19). Recuperat de http://rrfísica.cat/num/num19/article_num=34&pos=2&total=8&art=196.html

Fonts electròniques

- CERN (2017) *Spanish Teacher Programme 2017*. Recuperat de <https://indico.cern.ch/event/572737/timetable/>
- Vilchez, S. (31 Gener, 2017) Un viaje por la física. Trazas radioactivas en una cámara de niebla [Arxiu de vídeo]. Recuperat de <https://youtu.be/5tVRiYecUek>
- Wiener, J. (13 Novembre, 2017). Cómo hacer una cámara de niebla casera. Fundación Aquae. [Arxiu de vídeo]. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=D77MWTbufbs>