



El Síncrotró ALBA, un equipament científic obert a la comunitat internacional

• 27 de novembre del 2015, a les 20.00 h
• Sala d'actes de MoraBanc, Andorra la Vella
En la celebració de l'Any Internacional de la Llum
i les tecnologies derivades de la llum



Josep Campmany i Guillot

Doctor en ciències físiques, cap de secció d'ID i mesures magnètiques d'ALBA

▲ Currículum

Josep Campmany i Guillot (Gavà, 1966)

Cap de secció d'imants i dispositius d'inserció del síncrotró ALBA.

Es va llicenciar en ciències físiques (1990) i es va doctorar en Física Aplicada (1994) a la Universitat de Barcelona. La tesi de llicenciatura va rebre el premi "Jordi Porta" de la Societat Catalana de Física, i la tesi doctoral el premi "Eduard Fontserè" de l'Institut d'Estudis Catalans.

L'any 1994 es va incorporar al projecte del síncrotró de Catalunya, impulsat per la Generalitat.

Inicialment, va formar part dels primers especialistes contractats per preparar el primer estudi de disseny detallat d'un síncrotró català, que es va acabar l'any 1997.

Entre els anys 1998 i 2003, com a membre del grup del síncrotró de la Universitat Autònoma de Barcelona, va realitzar experiments de biologia molecular amb llum de síncrotró a Grenoble (França) i Daresbury (Anglaterra).

Un cop aprovada la construcció del síncrotró, i constituït el Consorci per a la Construcció, Equipament i Explotació del Laboratori de Llum de Síncrotró (CELLS), l'any 2004 va ser-ne el primer científic contractat, i es va encarregar de dirigir la licitació del contracte dels estudis geotècnics que van validar la idoneïtat del terreny escollit per implantar el síncrotró, i va coordinar la preparació del plec d'especificacions tècniques del concurs d'idees per a l'edifici del síncrotró, a més de participar en l'encaix urbanístic del complex científic dins del Centre Direccional de Cerdanyola.

L'any 2005 va esdevenir Cap de la Secció d'imants i dispositius d'inserció de la divisió d'acceleradors del síncrotró, càrrec que manté actualment, des d'on va dirigir el disseny, adquisició i muntatge dels instruments tecnològics encarregats de produir la llum de síncrotró. Actualment també dirigeix el Laboratori de Mesures Magnètiques del síncrotró. Ha publicat desenes d'articles científics i tècnics sobre les tecnologies del síncrotró, i és coautor del "Vocabulari de física d'acceleradors", editat per la Universitat Politècnica de Catalunya, en què es defineixen els estàndards lingüístics de 700 paraules relacionades amb la tecnologia i la física dels acceleradors de partícules.

Va participar en la posada en funcionament del síncrotró ALBA i actualment participa en l'operació rutinària del síncrotró. També, des del 2013, és el president del Comitè d'Empresa del síncrotró ALBA.

En la seva vida privada, es dedica a la política i a la recerca en història local, i ha publicat una desena de llibres i prop d'un centenar d'articles d'aquesta temàtica. És president del Centre d'Estudis de Gavà i membre de la junta del Centre d'Estudis Comarcals del Baix Llobregat, on coordina la revista de reflexió i anàlisi comarcal "Materials del Baix Llobregat".

1. Motivació, natura i organització d'un sincrotró

1.1 Què és un sincrotró

En molts camps de la recerca científica, l'objectiu és conèixer de què està fet un material (determinar-ne la composició química), saber com està fet (és a dir, esbrinar com estan situats els àtoms al seu interior, i quina estructura adopten), i també descobrir com funcionen els materials de forma dinàmica (en altres paraules, visualitzar, quantificar i descriure canvis que es produeixen al llarg del temps, en reaccions químiques, desgasts, o qualsevol altre tipus d'alteracions).

Sovint, la realització d'aquest tipus d'investigacions topa amb una sèrie de problemes, com ara disposar de materials en forma de mostres molt petites (cèl·lules, molècules, àtoms), o bé molt denses i impenetrables o, tot el contrari, molt lleugeres i amb materials molt semblants, cosa que dificulta la possibilitat d'un bon contrast que permeti identificar estructures internes, textures o fases. Així mateix, si volem estudiar fenòmens dinàmics, sovint el repte és anar analitzant la

mostra a mesura que canvia, efectuant mesures separades per breus lapses de temps.

Els raigs X són un instrument adient per a aquest tipus d'investigacions. És conegut el gran poder de penetració d'aquest tipus de llum, que travessa tot tipus de materials, siguin biològics o inerts. Ara bé, molt sovint calen raigs X *especials*, perquè els produïts pels tubs o fonts de raigs X disponibles en laboratoris (semblants als disponibles en consultes mèdiques o odontològiques) no són adients: o bé són dèbils, o poc penetrants, o no permeten discriminar fases poc contrastades.

És per aquest motiu que, per realitzar experiments en la major part dels àmbits, avui en dia ens cal una eina imprescindible: el sincrotró. Perquè un sincrotró és, bàsicament, una fàbrica de llum que es posa a disposició dels investigadors. Aquesta llum té la particularitat que són raigs X.

En concret, els raigs X que produeix un sincrotró es caracteritzen per estar empaquetats en feixos extremament fins (al voltant d'una dècima de mil·límetre, és a dir, del mateix volum que el gruix dels cabells humans); contenir raigs X de moltes energies diferents (cosa que permet seleccionar una energia amb què poder fer experiments i, per tant, adequar-la al tipus de material que s'investiga); ser molt intensos, al voltant d'un milió de vegades més que el Sol (entesa aquesta intensitat com a nombre de fotons per unitat de superfície); i a més estar polaritzats, cosa que permet estudiar materials de composició homogènia però amb estructures internes heterogènies.

Per aquest motiu, els sincrotrons són instal·lacions habituals als països desenvolupats i



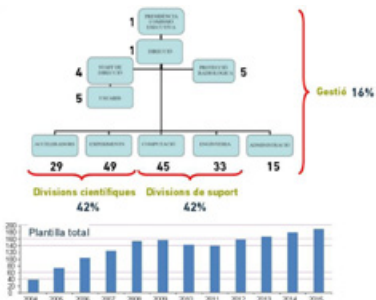
que aposten per l'economia del coneixement. Actualment, al món hi ha una quarantena de sincrotrons, dels quals quinze són a Europa.

1.2. Com s'organitza un sincrotró

Un sincrotró, doncs, és un servei a disposició dels investigadors, el que en anglès es denomina una *facility*. Aquest servei s'estructura en dos grans àmbits: una part del servei està centrada en la producció dels raigs X, que es generen a través d'un aparell denominat accelerador de partícules. L'altre àmbit està centrat en l'ús dels raigs X, i s'ocupa tant de gestionar la recepció d'usuaris com d'assessorar-los i mantenir operatius els laboratoris que utilitzen els raigs X per fer investigacions. Cada laboratori es denomina línia de llum, perquè utilitza un feix de raigs X generat a l'accelerador.

El sincrotró ALBA és un consorci al 50% entre la Generalitat de Catalunya i l'Estat. És, per tant, una administració pública, que en aquests moments està adscrita a l'Estat, i té una plantilla d'unes 200 persones, repartides en sis divisions internes.

Les principals són les divisions de suport: enginyeria i computació. La primera s'ocupa del disseny i la fabricació dels aparells tecnològics necessaris tant per a les línies de llum com per a l'accelerador, de gestionar un taller especialitzat en mecànica de precisió i de mantenir l'edifici, cosa que abasta des de la neteja, jardineria o subministraments com ara aigua de refrigeració, climatització o productes especials com gasos líquids, fins a la logística i el moviment de peces i equips d'un lloc a un altre. El segon és el responsable de tots els sistemes de control, tant de l'accelerador com de les línies de llum, dels equips d'adquisició de dades per als usuaris, dels programes d'anàlisi i reducció de dades, del manteniment i millora dels equips electrònics, de gestionar un taller electrònic especialitzat en aparells complexos, de cablejar els equips que utilitzen tant acceleradors com experiments, i del manteniment de la xarxa informàtica i les connexions que permeten el trànsit intern i extern de les dades obtingudes dels experiments. A banda d'aquestes dues grans divisions, hi ha la divisió d'acceleradors, específicament dedicada a fer funcionar els acceleradors de partícules que produeixen els raigs X, i la divisió d'experiments, que s'ocupa de mantenir els laboratoris experimentals o línies de llum, i d'acollir els usuaris externs que vénen a fer recerca a ALBA. Finalment, hi ha dues divisions més administratives. La primera s'ocupa de la gestió de personal i de les compres, licitació de contractes i altres aspectes administratius, i la segona, vinculada a la direcció del centre, s'ocupa de la seguretat i la salut –d'especial importància en una instal·lació que treballa



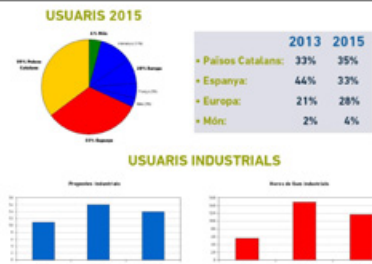
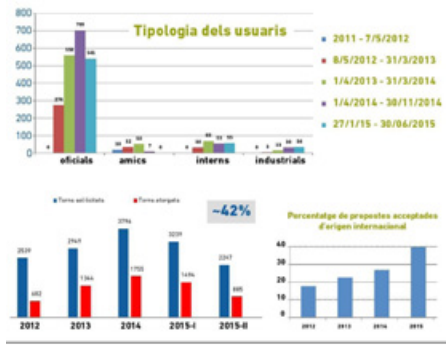
amb raigs X– i la captació d'usuaris industrials, col·laboracions internacionals, etc.

D'aquesta plantilla d'unes 200 persones, aproximadament el 20% és de procedència internacional, ja que moltes vegades l'especialització de la plaça i la recerca de l'excel·lència aboca al fitxatge de personal fora de les fronteres locals. Així mateix, i com a aspecte negatiu, destaca el fet que més del 40% de la plantilla és temporal, a causa bàsicament de les restriccions a la contractació indefinida de nou personal imposada per l'Estat espanyol a les administracions públiques que en depenen.

Pel que fa als usuaris, la major part pertanyen a la categoria *oficial*. És a dir, són usuaris de centres de recerca o universitats públiques que no paguen per accedir al servei. Com que les peticions d'accés per aquesta via dupliquen l'actual capacitat d'admissió del servei, l'accés al sincrotró es realitza a través d'una selecció feta a partir de criteris científics. La prioritització dels usuaris i projectes la realitza un comitè

internacional d'experts, en què ni el personal ni la direcció del sincrotró té cap responsabilitat, per garantir una avaluació equitativa. A banda d'aquests usuaris oficials, hi ha també uns pocs grups que han accedit al sincrotró amb una invitació especial. Aquests grups es denominen *usuaris amics*, i són grups que ja han investigat mostres en altres sincrotrons, i són cridats en el moment de posar a punt una nova línia de llum perquè hi portin les seves mostres –conegudes i analitzades *a priori*– i es pugui d'aquesta manera comprovar el bon funcionament de les noves línies de llum acabades d'instal·lar. Aquests usuaris, lògicament, van tenir un paper a l'inici de l'entrada en funcionament d'ALBA, però des de final de 2014 ja no existeixen.

A banda d'aquests, tenim també usuaris interns, és a dir, personal científic d'ALBA que usa els raigs X per desenvolupar els propis projectes, realitzar tesis doctorals, etc. Per a aquests usuaris es reserva un 5% del temps de llum disponible, i l'assignació és automàtica. Igualment, es reserva un percentatge de temps de llum per a usos industrials. En aquest cas, si la recerca que els usuaris industrials porten a terme és confidencial per raons de drets de propietat o patents, els usuaris han de pagar unes tarifes per ús de la instal·lació. Es tracta d'uns preus públics que estan anunciats al web del sincrotró, i tots els usuaris industrials interessats poden beneficiar-se'n pagant aquestes tarifes. Com és comprensible, els usuaris industrials no han començat a arribar fins passats dos i tres anys de l'entrada en funcionament d'ALBA, perquè aquest tipus de recerca està vinculada a unes expectatives econòmiques que no es poden desmerèixer, i per tant abans de contractar temps de llum els usuaris industrials potencials es volen assegurar que la instal·lació és competitiva i solvent.



Tornant als usuaris oficials, cal indicar que les crides per presentar propostes de recerca van ser anuals de 2012 a 2014, però a partir de 2015 ja són semestrals. Aproximadament, l'oferta de temps de llum només pot cobrir la meitat de la demanda, cosa que evidencia la necessitat de construir noves línies de llum. D'altra banda, el percentatge de propostes provinents de grups de fora de les fronteres s'ha anat incrementant amb els anys, i actualment (final del 2015) assoleix el 40%, que equivalen a un 32% del total d'investigadors que utilitzen el sincrotró ALBA. Aquest fet evidencia que l'excel·lència del sincrotró ALBA és cada cop més reconeguda i apreciada arreu del món.

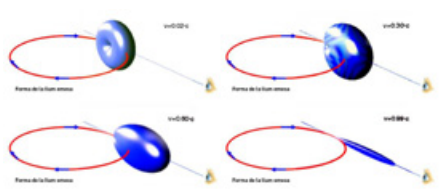
2. Com funciona un sincrotró. Aspectes tècnics i científics

Per generar els raigs X s'aprofita una propietat intrínseca de la natura: quan una partícula carregada s'accelera o es frena, emet radiació. En cas que l'acceleració sigui centrípeta, la radiació emesa es denomina llum de sincrotró. Aquesta emissió va ser deduïda teòricament l'any 1900 a partir del desenvolupament matemàtic de les lleis de Maxwell, i va ser observada experimentalment l'any 1947.

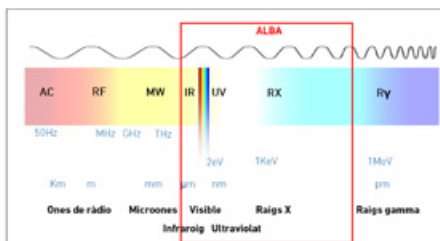
Les propietats de la llum de sincrotró depenen de la velocitat de la partícula i de la curvatura. La següent figura exemplifica, per a una curvatura donada, com el conus de llum es va afinant cada cop més a mesura que augmenta la velocitat de la partícula, donada en factors de la velocitat de la llum «c». En el cas d'ALBA, les partícules són electrons, i giren a una velocitat que és el 99,9999985% de la velocitat de la llum. En termes d'energia, els electrons d'ALBA tenen 3 gigaelectronvolts. En aquestes condicions, el conus de llum emès té un diàmetre d'una dècima de mil·límetre.

La llum de sincrotró és més o menys energètica depenent de la velocitat de les partícules i la seva curvatura. En el cas del sincrotró ALBA, la llum produïda abasta freqüències des de l'infraroig fins als raigs X durs, i a més polaritzada, cosa que permet aplicar aquesta radiació a múltiples experiments. D'altra banda, la intensitat puntual de la llum emesa, o brillantor, supera la de qualsevol altra font de llum coneguda, fins i tot la del Sol, i per tant esdevé una eina molt adient per estudiar l'interior dels materials.

Els tipus d'experiments que es poden realitzar amb la llum de sincrotró són molt variats, ja que la llum interactua amb la matèria de múltiples formes. Si ens centrem amb la llum que absorbeix o emet el material –cosa que ens pot informar de la seva composició química– estem parlant d'espectroscòpies d'absorció, fluorescència o fotoemissió. Aquestes tècniques permeten detectar la



La llum de sincrotró és més o menys energètica depenent de la velocitat de les partícules i la seva curvatura. En el cas del sincrotró ALBA, la llum produïda abasta freqüències des de l'infraroig fins als raigs X durs, i a més polaritzada, cosa que permet aplicar aquesta radiació a múltiples experiments. D'altra banda, la intensitat puntual de la llum emesa, o brillantor, supera la de qualsevol altra font de llum coneguda, inclús la del Sol, i per tant esdevé una eina molt adient per estudiar l'interior dels materials.



presència de contaminants o components amb molt baixa densitat, o estudiar superfícies, especialment en catalitzadors. A més, atès que alguns materials magnètics absorbeixen la llum depenent de la seva polarització i estat magnètic, es poden realitzar estudis del comportament dels materials magnètics a nivell atòmic.

Pel que fa a la propietat dels raigs X de travessar els materials, seleccionant-ne l'energia podem obtenir imatges (radiografies) de molt alta resolució, i també –enfocant de forma adient els raigs X en diferents capes d'una mostra– podem obtenir tomografies, és a dir, imatges en 3D.

Si, en canvi, es presta atenció a la llum rebotada, reflectida o dispersada per la mostra, tècniques denominades de difracció, dispersió a angles baixos o dispersió a angles alts, el seu estudi ens informa de la disposició dels àtoms de les mostres, és a dir, de la seva forma i estructura internes. Aquestes tècniques són molt adients per estudiar proteïnes, fàrmacs, o cristalls.

Cadascuna d'aquestes tècniques s'aplica en el que es denomina *línia de llum*. Una línia de llum és un laboratori on es col·loca la mostra per ser estudiada amb raigs X, mitjançant una tècnica determinada. Actualment, ALBA té vuit línies de llum, de les 31 possibles, i dues més en construcció.

Les que estan en funcionament estan dedicades a:

1. Difracció de pols (les mostres tenen forma de pols).
2. Microscòpia de raigs X (tomografies 3D d'alta resolució de material biològic).
3. Dispersió no cristal·lina a angles alts i baixos (estudia mostres fibril·lars).
4. Cristal·lografia macromolecular (estudia proteïnes cristal·lines a baixa temperatura).
5. Espectroscòpies d'emissió i absorció (estudia superfícies, catalitzadors, etc).
6. Espectroscòpies de fotoemissió (estudia materials magnètics, piles).
7. Espectroscòpies d'absorció ressonant, díctroisme i dispersió (materials magnètics).
8. Línia de diagnòstic per monitoritzar l'accelerador (no oberta al públic).

Cada línia de llum està formada d'una cabina òptica, amb miralls i monocromadors que seleccionen els raigs X i els canalitzen perquè incideixin sobre la mostra, i una cabina experimental on hi ha el portamostres, i un detector que mesura els raigs X que travessen o són dispersats per la mostra.

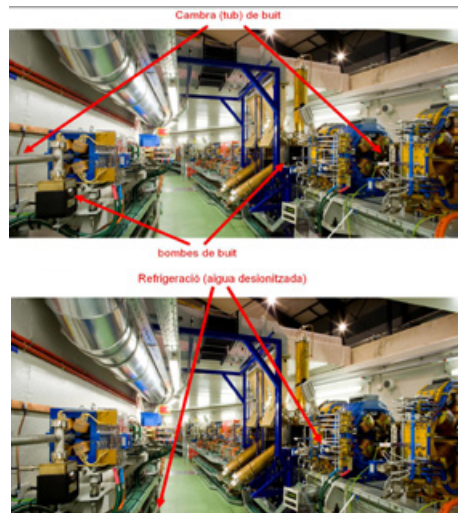
Tot i que l'entrada en funcionament de la instal·lació és força recent (maig de 2012), ja s'han obtingut resultats importants en diversos camps, que han merescut publicacions en les millors revistes científiques mundials. Així per exemple, i sense ànim de ser exhaustius, s'ha estudiat un fàrmac contra la malària, una proteïna inhibidora del virus de la sida



HIV-1, s'ha retratat el moment precís d'infecció del nucli d'una cèl·lula pel virus Vaccinia, s'han obtingut les primeres imatges de cèl·lules mare epitelials humanes que es poden utilitzar per reparar capil·lars afectats per un ictus, s'ha estudiat l'arquitectura tridimensional del complex de replicació membranós del virus de l'hepatitis C, amb la idea de poder-lo bloquejar, s'han descobert mecanismes magnètics específics de les nanoestructures de cobalt, en una recerca destinada a fabricar discs durs més petits i amb més densitat d'informació, s'han optimitzat dispositius electromagnètics per augmentar l'eficiència de les bateries elèctriques, i s'ha treballat per caracteritzar estructuralment fibres com nanotubs de carboni o de grafè. També s'han fet tests de resistència mecànica d'una pròtesi biodegradable per a fractures d'os, s'han estudiat compostos de productes alimentaris i cosmètics per fer-los més efectius i segurs, s'ha avançat en la catàlisi d'hidrogen amb l'objectiu de fabricar vehicles que funcionin amb aquest combustible, i s'han estudiat nous materials com zeolites poroses. En un àmbit més humanístic, els raigs X del sincrotró ALBA s'han utilitzat també per estudiar pigments de pintures medievals, com els retauls de santa Úrsula i les Onze Mil Verges del MNAC, o les pintures de Ferrer Bassa al monestir de Pedralbes, a més de ceràmiques vidriades africanes de diversa procedència. En definitiva, que el sincrotró produeix uns raigs X molt intensos, focalitzats, polaritzats i d'ampli espectre, que es poden aplicar en molts camps de recerca diferents i multidisciplinars, com ara la cristal·lografia de proteïnes, materials biològics o magnètics, polímers, teixits orgànics, catalitzadors, acers, ciments, materials de diversos tipus, i fins i tot materials del patrimoni històric i cultural.

3. Requeriments tècnics de la infraestructura

Tot i que el principi físic que permet produir la llum de sincrotró sigui relativament senzill d'explicar, portar-lo a terme no resulta gens fàcil. D'entrada hem indicat que accelerem electrons fins a velocitats properes a les de la llum. Els electrons són unes partícules que, si bé són molt fàcils de generar –tots hem realitzat l'experiència de fregar un teixit amb un bolígraf de plàstic que per fricció acumula electrons que atreuen paperets situats a la vora– també tenen la particularitat que quan troben una molècula, un cos, una superfície, s'hi reintegren ràpidament i desapareixen. Per això, atès que volem tenir aquests electrons disponibles per anar donant voltes durant el màxim temps possible, i produir llum de sincrotró, cal fer-los circular per l'interior d'un tub buit on no hi hagi pràcticament res. És a dir, necessitem produir un buit similar al de l'espai sideral, amb una pressió 1 bilion de vegades menor a l'atmosfèrica. Això s'assoleix amb un tipus de bomba específica denominada iònica, que garanteix l'absència



gairebé total de molècules d'aire o de pols dins del tub per on circularan els electrons. Atès que aquest tub és de fet un torus (una espècie de *donut*) de 290 metres de llargada, és evident que el nombre de bombes de buit ha de ser ingent.

A més, la cambra de buit ha d'estar perfectament segellada per evitar l'entrada d'aire des de l'exterior. La fuga més petita pot provocar la contaminació de la cambra i evitar la circulació dels electrons. La tecnologia per fabricar aquesta cambra de buit, les soldadures, les brides que enganxen unes parts amb les altres i les vàlvules que s'utilitzen formen part del que es coneix com a alta tecnologia. Una tecnologia que no per coneguda és menys complexa i requereix coneixement i màquines especialitzades.

Una altra de les dificultats tècniques del sincrotró és l'acceleració dels electrons. La generació n'és relativament senzilla, a partir d'un filament de tungstè incandescent. Ara bé, per assolir una

velocitat propera a la de la llum cal passar per dues etapes, cadascuna de les quals constitueix un accelerador independent. Així, als electrons, just després de generats, se'ls aplica una diferència de potencial amb unes reixetes similars a les dels antics tubs transistors, i se'ls fa passar per unes cavitats de radiofreqüència disposades successivament una darrere de l'altra. Aquestes cavitats serien condensadors entre les parets dels quals s'aplica una elevada diferència de potencial que va accelerant els electrons a mesura que passen d'un a l'altre.

Atès que tecnològicament resulta més fàcil aplicar els elevats voltatges necessaris amb corrent altern que amb continu, només els electrons que arriben a cada cavitat en fase amb el camp elèctric que els accelera van acumulant energia. Els que arriben desfasats, massa tard o massa d'hora, no poden acumular energia, i es perden. Per aquest motiu, els electrons que circulen dins del sincrotró no ho fan en un flux continu, sinó en paquets. La longitud d'aquests paquets ve determinada per la rapidesa amb què oscil·la el camp elèctric de les cavitats, que en el cas

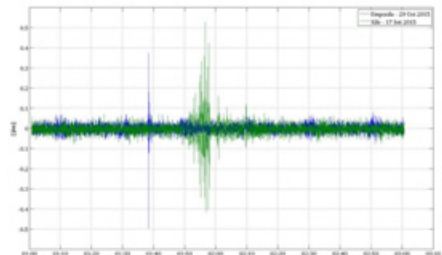
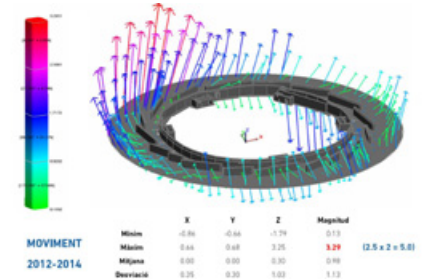
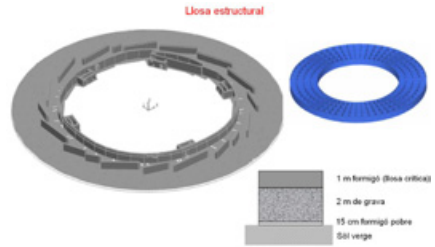


d'ALBA és de 500 MHz (és a dir, 500 milions de vegades per segon). Aquesta primera fase d'empaquetament i acceleració té lloc en el denominat Accelerador Lineal, o Linac.

Un cop els electrons han assolit una energia d'uns 100 megaelectronvolts (que equival a viatjar *només* al 99,9987% de la velocitat de la llum), són desviats mitjançant un joc d'imants que s'activa instantàniament cap a un altre accelerador, denominat Accelerador Propulsor (o Booster). Aquest accelerador és circular, i en comptes de tenir moltes cavitats de radiofreqüència successives, el que es fa és que els electrons segueixin una trajectòria circular i que a cada volta passin per una única cavitat acceleradora. D'aquesta manera només cal una cavitat. És en aquest accelerador on els electrons assolixen la velocitat final, de 3 GeV, després de donar unes 200 voltes en aproximadament 160 mil·lisegons.

Finalment, quan assolixen la velocitat final, un altre joc d'imants que s'activen de forma instantània desvien els electrons i els introdueixen al denominat anell d'emmagatzematge, on romanen fent voltes a velocitat constant, i generant els raigs X que seran utilitzats pels usuaris experimentals. L'anell d'emmagatzematge també té cavitats de radiofreqüència, ja que els electrons quan emeten els raigs X perden energia, i cal anar-la compensant perquè mantinguin constant tot moment la velocitat de rotació.

Tant les fonts d'alimentació que acceleren els electrons a través de les cavitats de radiofreqüència com les que alimenten els electroimants que s'usen per dirigir-los d'un accelerador a un altre, sempre dins del tub de buit, gasten molta energia i s'escalfen. Per tant, un element tecnològic important en un sincrotró és la refrigeració. La major part de fonts d'alimentació i fins i tot els mateixos imants van refrigerats per aigua. Atès que cal compaginar la refrigeració per aigua amb la presència



de corrents elèctrics molt elevats, per evitar curtcircuits cal que l'aigua de refrigeració sigui totalment desionitzada, i per tant ALBA disposa d'una planta de filtratge i purificació d'aigua.

A banda d'això, cal tenir present que estem fent circular un feix d'electrons molt petit, amb un diàmetre d'al voltant d'una dècima de mil·límetre, que ha de mantenir una òrbita estable al llarg d'un tub circular de 290 metres. Per garantir aquesta estabilitat, i que el feix de raigs X que s'emet no oscil·li ni vibri, amb l'impacte negatiu que això tindria sobre els experiments, cal mantenir una estabilitat de temperatura molt elevada, al voltant de $\pm 0,2^\circ\text{C}$ allà on hi ha els acceleradors, ja que només un grau de diferència en temperatura pot dilatar el perímetre total del tub de buit tres mil·límetres i mig, desviant notablement els electrons de la seva trajectòria nominal. Igualment, els indrets on hi ha les línies de llum experimentals, l'estabilitat ha de ser molt elevada, al voltant de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Per aquest motiu és crític el control de temperatura, tant a través de la refrigeració per aigua com per la climatització per aire.

A banda d'aquests equips, l'edifici també està dissenyat per optimitzar l'estabilitat tèrmica, amb una volta calculada perquè els corrents de convecció de l'aire dins l'edifici no originin turbulències, sinó que es mantingui en flux laminar i per tant en unes condicions d'estabilitat òptimes.

A banda d'aquests aspectes més tècnics, cal tenir també present que tota la instal·lació està dedicada a produir raigs X, i de tothom és conegut que aquest tipus de radiació és nociva per a les persones. Per tant, tots els àmbits del sincrotró on hi ha presència de raigs X han d'estar convenientment blindats, i tots els instruments que hi ha a dins s'han d'operar remotament. Això s'aconsegueix principalment amb el túnel o búnquer de formigó, que aïlla els tres acceleradors de la resta de l'edifici, i els recintes aïllants de plom que envolten els espais de les línies de llum on es porten a terme els experiments.

A més de tot això, hi ha un darrer aspecte per considerar: l'estabilitat davant de vibracions al terreny i desplaçaments i deformacions del sòl. Una petita desviació al feix de raigs X que impacti sobre la mostra a mesurar –sovint al voltant del mil·límetre– provocarà que s'hagi de realinear tota la línia de llum, un procés que pot durar un dia o més. Per aquest motiu, tota la part activa del sincrotró (acceleradors i línies experimentals) estan emplaçats sobre una llosa de formigó d'un metre de gruix que garanteix la rigidesa de tot el conjunt. Pel que fa a les vibracions, el llit d'argila quaternària sobre el qual s'assenta l'edifici es prou elàstic per amortir vibracions que poden venir de l'exterior. Tot i això, els aparells més sensibles del sincrotró han pogut arribar a detectar terratrèmols llunyans i propers, com ara el de Xile del 16 de setembre i el de l'Empordà del 29 d'octubre de 2015. Empíricament s'ha comprovat que l'estabilitat és al voltant de 0,5 mm en 10 m, al llarg d'un any.

Com s'ha dit, tot el control de l'operació i les mesures ha de ser remot, ja que la presència de raigs X impedeix que les persones puguin romandre dins del recinte dels acceleradors o de les cabines experimentals. Això comporta la necessitat de controlar remotament en temps real fins a un total de 100.000 senyals diferents, subministrats per o enviats a 6.660 equips de 716 tipologies diferents. Aquests equips s'ubiquen en 375 armaris electrònics connectats per una estesa de 18.678 cables diferents –cadascun perfectament identificat–, que abastaria un total de 167.839 quilòmetres de longitud si es possessin l'un darrere l'altre.

La despesa elèctrica de la instal·lació és, en total, i de moment amb només set línies de llum obertes, de les 31 possibles, de 3,5 megawats, és a dir, com una petita ciutat.

En resum, doncs, els requeriments tècnics d'un sincrotró són molt elevats, tant pel que fa a les

tecnologies que involucra el seu funcionament, com l'estabilitat en temperatura i vibracions que necessita per funcionar, a banda de la potència elèctrica i l'aigua freda consumida.

4. El sincrotró, una estructura d'estat

El sincrotró ALBA ha estat la inversió més important en una infraestructura científica feta a l'Estat espanyol en tota la història. No obstant això, el cost total de la instal·lació, d'uns 200 M€, amb un pressupost anual de funcionament d'uns 16 M€ sufragats tots dos a parts iguals per la Generalitat de Catalunya i el govern de l'Estat Espanyol, no deixa de ser modest si es compara amb altres infraestructures públiques com ara les viàries, ferroviàries, portuàries o aeroportuàries.

Es tracta d'una infraestructura tecnològicament complexa, però que serveix per posar a disposició de la comunitat científica nacional i internacional una eina polivalent.

Tot i que la recerca que es fa al sincrotró és eminentment bàsica, la realització dels experiments

Desenvolupaments tecnològics en col·laboració i propis

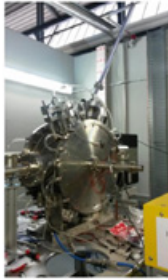
<p>Làser de 200 TW que es desenvolupa al Centre de Làsers Pulsats de Salamanca</p> 	<p>Infraestructura de dades obertes per a fotons i neutrons</p> 	<p>Electròmetre de precisió per mesurar molt baixes corrents (pA)</p> 	<p>Divisor d'alt voltatge</p> 
<p>Controladora de motors d'altres prestacions</p> 	<p>Controladors de motors d'altres prestacions</p> 	<p>Enclavament ràpid de radiofreqüència</p> 	<p>Enclavament ràpid de radiofreqüència</p> 
<p>Sistemes de control de grans equipaments</p> 	<p>Sistemes de control de grans equipaments</p> 	<p>Generador de retards</p> 	<p>Concentrador ràpid d'enclavaments</p> 
			

Desenvolupaments patentats

<p>Banc de mesures magnètiques</p> 	<p>Finestra amb vidre intercanviable per a cambres pressuritzades</p> 	<p>Dispositiu d'accionament d'elements dins d'entorns d'ultra-alt buit</p> 
		

Altres laboratoris auxiliars que funcionen com serveis

Laboratori de radiofreqüència

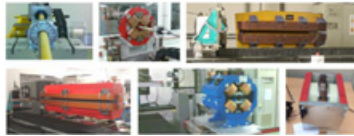


Mesures de cavitats per a l'accelerador IFMIF (Japó)

Laboratori de mesures magnètiques



S'hi han mesurat imants per al sincrotró ANKA (Alemanya), CLS (Canadà), E-XFEL (Alemanya), ESS-Bilbao (País Basc), IFMIF (Japó), CERN (Suïssa), SESAME (Jordània) i LEHIPA (Índia)



Facturació

2012	20,726,40 €
2013	19,746,10 €
2014	8,754,11 €
2015	127,486,43 €
2016	140,000,00 €

permet desenvolupar un seguit de nous equips tecnològics i instal·lacions que, patentades i ben gestionades, originen ja un primer retorn de la inversió efectuada.

Més enllà d'aquest retorn—modest en termes econòmics, ja que no supera el 0,5% de la inversió—, la presència del sincrotró i el talent que s'hi relaciona genera una dinàmica d'atractivitat al territori que, al cap dels anys, converteix l'indret on s'ubica com un centre potent en l'economia del coneixement.

A banda, molta de la recerca que s'hi porta a terme, tot i ser realitzada per grups d'universitats o instituts públics, té el suport d'empreses, o està encarada a la millora i la innovació de productes tecnològics com ara piles, combustibles, memòries, etc. amb un evident impacte econòmic a mig terme.

5. Conclusions

El sincrotró ALBA, que va començar a funcionar a ple rendiment el maig de 2012, ja és actualment la principal infraestructura científica de l'Estat espanyol. Cada any, més d'un miler d'usuaris de diferents grups de recerca de tot el món hi fan estada, després d'un rigorós procés de selecció fet per un tribunal independent. Els usuaris utilitzen els raigs X que genera la instal·lació per realitzar recerques puntera en molts camps de la física, la química, la farmàcia, la biologia, la medicina i fins i tot el patrimoni cultural.

El més destacable d'aquesta complexa instal·lació, però, és l'acumulació de talent que s'hi produeix, que a la llarga té un impacte positiu difícil de quantificar, però innegable, sobre el territori més proper i la seva economia.