

EL SINCROTRÓ ALBA, UNA EINA PER A IMPULSAR LA RECERCA I LA TECNOLOGIA

Ana Belén Martínez,¹ Gastón García, Joan Casas i Caterina Biscari

Sincrotró ALBA (Cerdanyola del Vallès)

Resum: ALBA és la font de llum de sincrotró de tercera generació més nova construïda a l'àrea de la Mediterrània occidental. Ubicada a Cerdanyola del Vallès (Barcelona), es dedica a la generació de llum de sincrotró per visualitzar i analitzar la matèria i les seves propietats des del punt de vista atòmic i molecular. Cada any ofereix les seves capacitats analítiques a més de mil investigadors provinents tant de l'àmbit acadèmic com industrial. Gestionada pel Consorci per a la Construcció, Equipament i Explotació del Laboratori de Llum de Sincrotró (CELLS), està finançada a parts iguals entre el Govern central d'Espanya i la Generalitat de Catalunya.

Paraules clau: sincrotró, accelerador, línia de llum, infraestructura, tecnologia.

THE ALBA SYNCHROTRON, A TOOL FOR PROMOTING RESEARCH AND TECHNOLOGY

Abstract: ALBA is the newest third-generation synchrotron light source built in the western Mediterranean. Located in Cerdanyola del Vallès (Barcelona Province), it is aimed at producing synchrotron light for the visualization and analysis of matter and of its properties at atomic and molecular level. ALBA offers its analytical capabilities to more than 1,000 researchers every year both from the academic and the industrial sectors. It is managed by the Consortium for the Construction, Equipping and Operation of the Synchrotron Light Laboratory (CELLS) and funded equally by the Spanish Government and the Catalan Government.

Keywords: synchrotron, accelerator, beamline, infrastructure, technology.

1. Què és la llum de sincrotró?

Qualsevol partícula que tingui càrrega elèctrica, que viatgi a velocitats relativistes i que descriu una trajectòria corba emet el que anomenem *llum de sincrotró*.

La llum de sincrotró és radiació electromagnètica i comprèn un rang de l'espectre que engloba des de l'infraroig fins als raigs X durs, passant per la llum visible i l'ultraviolat (tal com es pot veure en la figura 1).

Atès que els raigs X tenen una longitud d'ona similar a la distància que hi ha entre els àtoms que componen la matèria, la llum de sincrotró esdevé ideal per a interaccionar-hi i, així, poder obtenir informació de l'estructura atòmica, la composició química, els dominis magnètics, etc., de la mostra analitzada.

Tot i el descobriment dels raigs X a càrrec de Wilhelm Röntgen el 1895, la capacitat de generar llum de sincrotró no fou descoberta fins al 1947, quan als laboratoris de General Electric, a Nova York, investigadors que estaven provant un accelerador d'electrons van adonar-se que s'emetia radiació quan els electrons giraven

a grans velocitats. Durant els anys posteriors, la llum de sincrotró continuava sent un efecte parasitari i fortuït que tenia lloc als acceleradors de física nuclear o d'altres energies. Però als anys seixanta s'inicia la construcció dels primers sincrotrons i el 1968 va ser construït Tantalus (als Estats Units), el primer sincrotró destinat en exclusiva a la generació de llum de sincrotró.

Els grans avenços científics i tecnològics que el van seguir anys després van permetre construir instal·lacions cada vegada més ambiciosos i modernes. Així doncs, es va arribar als anomenats *sincrotrons de tercera generació*, capaços d'aconseguir uns feixos de llum amb baixa emitància i que incorporen dispositius d'inserció per a emetre la llum de sincrotró.

Els avantatges que presenta la utilització de la llum de sincrotró respecte a les fonts convencionals de raigs X són, fonamentalment, quatre: la disponibilitat d'un ampli espectre de radiació, l'alta brillantor del feix (figura 2), la capacitat de controlar la polaritat de la llum i la generació de llum polsada.

Com mencionàvem anteriorment, la llum de sincrotró conté un ampli ventall (espectre) de radiació, que va des de l'infraroig fins als raigs X durs. Les fonts de llum de sincrotró com ALBA són capaces de generar tot

1. Correspondència: Ana Belén Martínez, amartinez@cells.es.

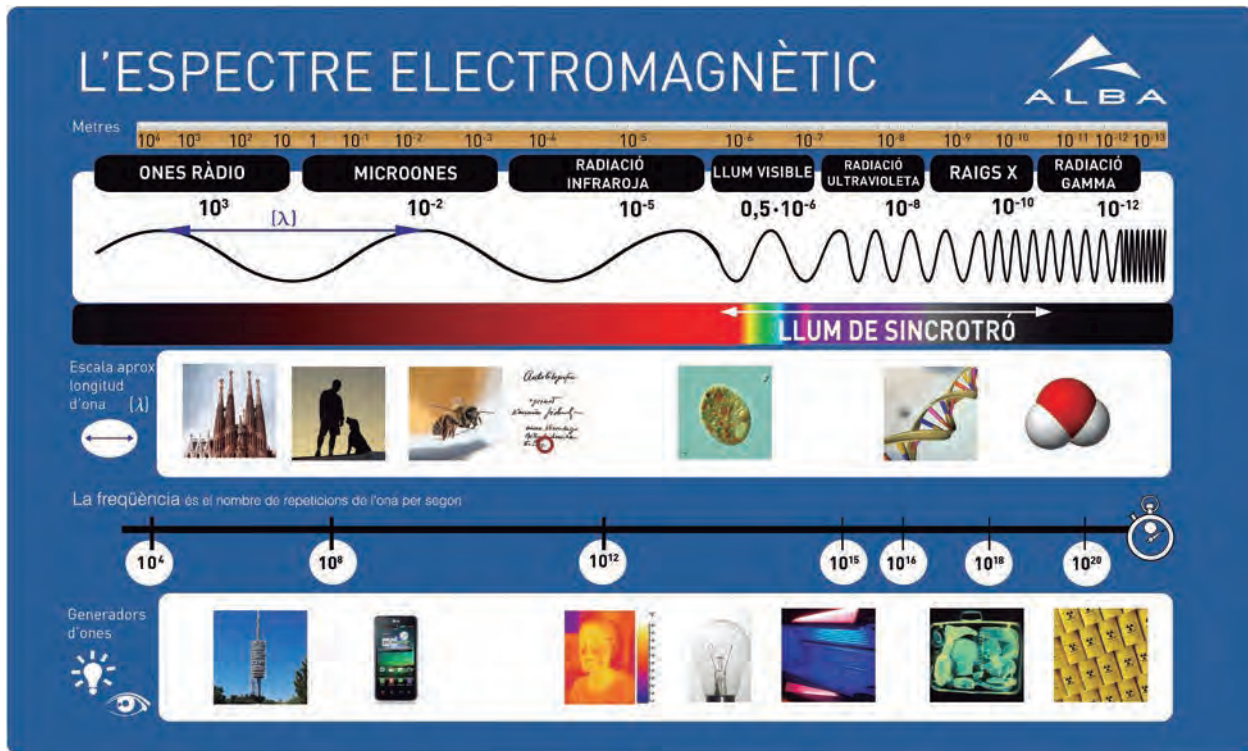


FIGURA 1. Il·lustració de l'espectre electromagnètic, on es detalla el rang que comprèn la llum de sincrotró (des d'una part de l'infraroig fins als raigs X durs). FONT: Elaboració pròpia.

aquest ampli ventall. Fent un experiment en un sincrotró, es pot disposar de tota aquesta gamma alhora o, fins i tot, és possible seleccionar la longitud d'ona que requereix l'experiment. Per a fer-ho, caldrà recórrer al monocromador, un dispositiu òptic que es troba a les línies de llum de les fonts de llum de sincrotró.

Els sincrotrons generen la llum en forma de con, i la brillantor es relaciona amb el grau d'estretor d'aquest con de llum i amb la quantitat total de fotons emesos per unitat de temps. Com més estret sigui el con i més gran la quantitat de fotons emesos, més brillant serà el feix generat. Atès que, en general, les mostres de matèria que s'investiguen als sincrotrons són de mides molt reduïdes, com més brillantor tingui el feix de llum més interacció llum-matèria hi haurà i, per tant, més informació es podrà obtenir sobre la mostra experimental. Això afavoreix la realització d'experiments ràpids, cosa que permet eliminar variables presents en una mesura lenta que entorpeixen la precisió, com ara la degradació temporal de les mostres, les vibracions i derives geomètriques o de temperatura, el soroll ambiental, etc.

Un altre dels avantatges de la llum de sincrotró és que se'n pot controlar la polaritat o direccionalitat, fent que l'oscil·lació del camp elèctric associat es produeixi seguint una recta (polarització lineal), una circumferència (polarització circular) o una el·lipse (polarització el·líptica). El control de la polarització és útil per a molts tipus d'experiments diferents. Segons quin sigui el material, no reacciona igual davant de llum polaritzada de maneres diverses.

Per acabar, la llum emesa als sincrotrons és llum polaritzada. Els electrons que generen la llum viatgen dins dels acceleradors en forma de paquets, de manera que cada paquet emet un pols de llum. Normalment, aquests polsos tenen una durada de picosegons (10^{-12} s), separats entre ells per nanosegons (10^{-9} s), però es poden utilitzar dispositius d'inserció que generin polsos de l'ordre de femtosegons (10^{-15} s). Això obre la porta a examinar fenòmens molt ràpids, com ara reaccions químiques, i així poder estudiar canvis en la composició, l'estructura o la forma dels materials a mesura que es produeix la reacció.

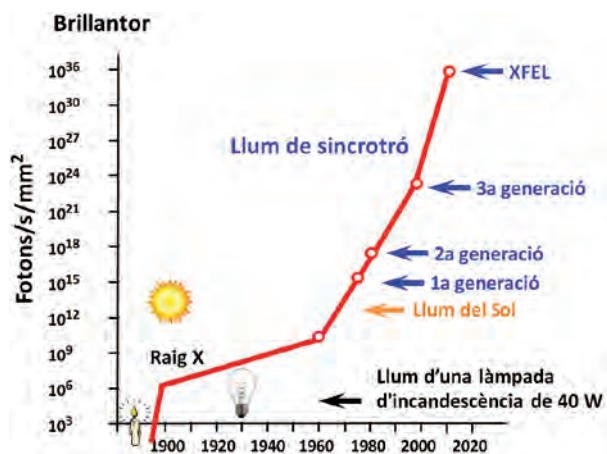


FIGURA 2. Evolució històrica de la brillantor de la llum que ha assolit la tecnologia d'acceleradors. FONT: Elaboració pròpia.

2. Un projecte fet realitat

La idea de construir un sincrotró a Catalunya es va materialitzar a l'inici dels anys noranta. El 1992 es va nomenar una comissió que va estudiar la viabilitat i conveniència de construir un sincrotró, estudi que va obtenir unes avaluacions i resultats positius, ja que era un projecte d'abast internacional assumible pel cost i representava un repte tecnològic que permetria estimular la indústria local i nacional.

El projecte va ser aprovat el 2003 i es va acordar finançar-lo a parts iguals entre l'Administració General de l'Estat espanyol i la Generalitat de Catalunya. Per a la seva gestió, va ser creat el Consorci per a la Construcció, Equipament i Explotació del Laboratori de Llum de Sincrotró (CELLS).

La seva construcció es va iniciar el 2006, després d'haver dedicat uns anys al disseny i la formació d'un equip d'experts procedents d'arreu del món. ALBA va suposar l'arribada de personal investigador estranger, però també el retorn d'experts catalans i espanyols que es trobaven treballant a altres països.

El 2010 l'obra estava finalitzada i també s'havia instal·lat amb èxit el complex d'acceleradors i les set línies de llum. Durant el 2011 i el 2012, la instal·lació funcionava en mode de proves fins que el maig de 2012 van arribar els primers usuaris oficials a la línia de llum BOREAS. Durant els mesos posteriors, la resta de línies van començar a operar de manera contínua.

3. El sincrotró ALBA

ALBA està destinat a produir llum de sincrotró per a permetre a la comunitat científica visualitzar i analitzar les propietats de la matèria, especialment des del punt de vista atòmic i molecular.

Aquesta complexa infraestructura està composta per tres acceleradors: un accelerador lineal (LINAC, de *linear accelerator*), un anell propulsor (*booster ring*) i un anell d'emmagatzematge (*storage ring*) (figura 3). Tant l'anell propulsor com el d'emmagatzematge es troben a l'interior d'un túnel circular d'uns 300 metres de perímetre, protegit amb un búnquer de formigó l'espessor del qual varia entre 1 i 1,5 metres segons el tram.

El feix d'electrons es produeix al LINAC, a través del canó d'electrons. Per a fer-ho, s'escalfa un filament de tungstè a uns 1.000 °C, el qual expulsa els electrons que es troben a la superfície del material. Aplicant una energia de 100 MeV amb una freqüència de repetició de 3 GHz, els electrons són injectats cada 2 minuts a l'anell propulsor.

La fase d'acceleració següent té lloc al propulsor, on els electrons assoleixen 3 GeV per mitjà de camps electromagnètics en recórrer unes 150.000 vegades l'anell propulsor.

Tan bon punt els electrons arriben als 3 GeV, són traspassats a l'anell d'emmagatzematge, on es mantenen circulant a una energia fixa de 3 GeV.

TAULA 1
Principals paràmetres de funcionament del sincrotró ALBA

Energia del feix d'electrons	3	GeV
Circumferència de l'anell d'emmagatzematge	268	m
Emitància natural horitzontal	4,4	nm rad
Corrent nominal del feix	250	mA
Nombre de trams rectes disponibles	17	
Nombre de línies de fase I	7	
Nombre de línies de fase II	2	

Tant a l'anell propulsor com a l'anell d'emmagatzematge, s'utilitzen quatre tipus d'electroimants per a guiar i enfocar els feixos d'electrons al llarg de la seva trajectòria: imants dipolars (per a corbar la trajectòria dels electrons i també per a emetre llum de sincrotró; això ja succeeix a la línia de llum MISTRAL i pot funcionar en el futur per a altres línies), imants quadrupolars, imants sextupolars i imants correctors (que s'utilitzen per a ajustar l'òrbita amb màxima estabilitat d'una manera dinàmica).

A l'anell d'emmagatzematge, quan els electrons són forçats a seguir una direcció corba, es genera llum de sincrotró de manera tangencial a la trajectòria. Aquesta llum de sincrotró es desvia a les línies de llum, on es duen a terme els experiments. Per aquest motiu, tot i la forma circular del complex d'acceleradors, les línies de llums es construeixen tangents a la trajectòria dels electrons.

Els responsables de l'emissió de llum de sincrotró són els imants dipolars (per exemple, en el cas de MISTRAL, dins de les set primeres línies, tal com mencionàvem anteriorment) i els dispositius d'inserció que es troben a l'anell d'emmagatzematge. Els anomenats *dispositius d'inserció* són sistemes magnètics que permeten alterar la trajectòria que segueixen els electrons en travessar-los, ja que els obliguen a descriure una trajectòria sinusoïdal i aconseguir, així, adequar les característiques de la llum a les necessitats d'un experiment concret (variant el tipus de polarització, la brillantor, etc.).

Un altre element clau del complex d'acceleradors són les cavitats de radiofreqüència. A l'anell propulsor i al LINAC, són les encarregades d'accelerar els electrons. A l'anell d'emmagatzematge, els electrons que giren als imants dipolars o als dispositius d'inserció perden part de la seva energia per transformar-la en llum de sincrotró. Són les cavitats de radiofreqüència les que s'encarreguen de compensar aquestes pèrdues d'energia i mantenir els electrons a la mateixa energia nominal (3 GeV). De fet, de la sincronia entre la freqüència del camp elèctric que impulsa els electrons i la freqüència de pas dels electrons per la cavitat prové la paraula *sincrotró*.

Un aspecte no menys important és l'ultrabuit (10^{-10} mbar) que hi ha d'haver al tub que connecta els diferents acceleradors i les línies de llum. És indispensable per a evitar que els electrons (als acceleradors) i els fotons (a les línies de llum) col·lideixin amb qualsevol molècula de gas residual i es perdin, i, per tant, l'experiment no pugui realitzar-se.

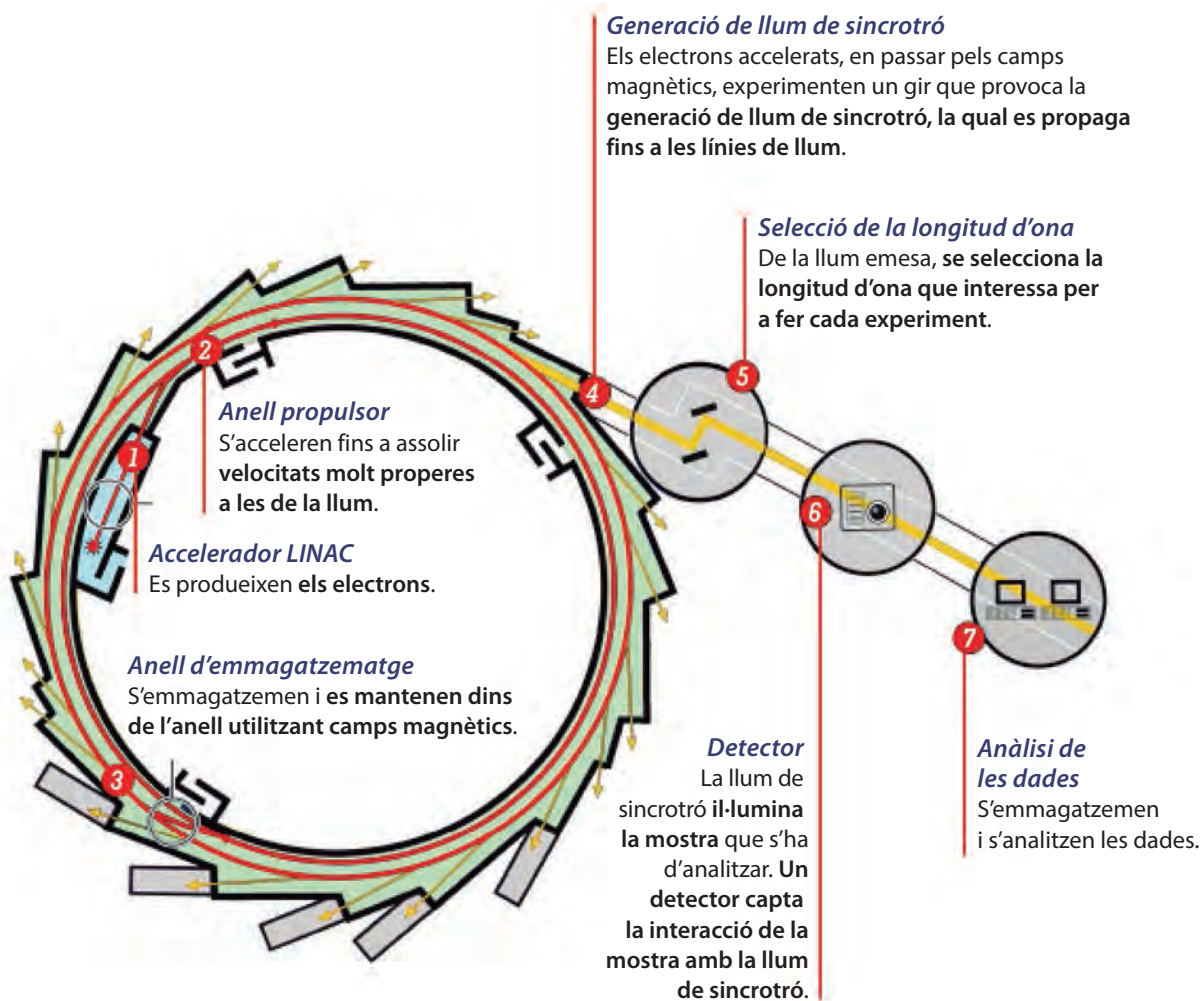


FIGURA 3. Esquema dels acceleradors i línies de llum del síncrotró ALBA. FONT: Elaboració pròpia.

Al final del 2014, el síncrotró ALBA ha adoptat el sistema d'injecció de recàrrega contínua, injectant petites fraccions de càrrega, és a dir, d'electrons a l'anell d'emmagatzematge de manera contínua (per fer front a les pèrdues de feix degudes al cicle de vida finit). Aquest nou sistema —que substitueix l'anterior sistema de decaïment (en què es feien dues injeccions al dia)— assegura una càrrega tèrmica constant als acceleradors així com als components òptics de les línies de llum, fet que fa augmentar enormement l'estabilitat de la posició del feix de fotons a la mostra. Això, junt amb el flux de fotons constant sobre la mostra, fa que el nivell de senyal als detectors sigui constant, la qual cosa millora sensiblement la qualitat de les dades que es recullen als experiments desenvolupats a ALBA.

Amb una capacitat total de 34 ports per extraure-hi la llum de síncrotró, el síncrotró ALBA disposa actualment de set línies de llum operatives de la fase I, que comprenen tant els raigs X tous com els raigs X durs. També disposa d'una línia dedicada al diagnòstic dels feixos d'electrons. El 2014 s'ha iniciat la construcció de dues línies de llum més de la fase II, que estaran operatives per als usuaris

el 2017 i el 2019, respectivament. El 2015, la comunitat científica ha presentat sis noves línies de llum de fase III, en espera de rebre finançament per a iniciar-les.

4. Aplicacions científiques del síncrotró ALBA

D'acord amb les aplicacions científiques, les línies de llum del síncrotró ALBA es poden dividir en tres grans grups: biociències, física de la matèria condensada i ciència de materials (taula 2).

Tres línies de llum realitzen experiments en l'àmbit de les biociències: MISTRAL, NCD i XALOC.

La línia de llum MISTRAL es dedica a la microscòpia de transmissió amb raigs X tous. Permet fer nanotomografies de material biològic amb una resolució espacial elevada i imatge espectroscòpica en diferents nivells d'absorció. Aquesta tècnica permet aconseguir imatges en tres dimensions de cèl·lules senceres en condicions similars al seu estat natural. Per aquest motiu, es tracta d'una eina de gran utilitat per a estudiar el comportament de virus i d'altres processos cel·lulars, el tractament amb

nanopartícules, etc. Des de la seva posada en marxa el 2013, ha realitzat diversos experiments en l'àmbit de la biologia estructural i del magnetisme. Com a exemples, mencionarem que a MISTRAL s'ha dut a terme el primer mapa tridimensional de cèl·lules infectades amb el virus de l'hepatitis C, en col·laboració amb el Centre Nacional de Biotecnologia (CNB-CSIC). També es van aconseguir les primeres imatges de cèl·lules mare endotelials humanes tractades amb nanopartícules, un projecte de recerca relacionat amb el tractament de l'ictus, en col·laboració amb l'Institut de Recerca de la Vall d'Hebron i l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC). A MISTRAL també s'han estudiat els dominis magnètics de mostres a escala nanomètrica, útils en la fabricació d'ordinadors i altres dispositius tecnològics. La complexitat científica i tecnològica d'aquesta línia fa que sigui un dels pocs instruments disponibles a tot el món per a realitzar aquest tipus d'anàlisis.²

La línia de llum NCD (difracció no cristal·lina) estudia mostres no cristal·lines amb ordre parcial de periodicitats grans (SAXS) i petites (WAXS), fet que possibilita l'anàlisi de fibres, solucions, polímers... Es tracta d'una línia de llum que és d'utilitat per a diversos àmbits científics (biomedicina, química, medi ambient, ciència de materials...) i industrials (polímers, cosmètica...). Recentment, investigadors de la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona han analitzat a NCD la cristal·lització i el comportament de materials lípids com la mantega de cacau. També a la línia NCD s'han dut a terme estudis per a analitzar la morfologia d'un nou polímer (una estructura 3D biodegradable) que s'utilitza per a regenerar l'os quan hi ha una lesió o fractura. A banda d'examinar la morfologia d'aquest material, també es van dur a terme proves de resistència mecànica per a comprovar-ne el funcionament en condicions reals.

XALOC està dedicada a la determinació de l'estructura de macromolècules a través de la cristal·lografia de raigs X. En concret, s'hi realitzen estudis de difracció de monocristalls on s'han fet créixer proteïnes o complexos de DNA/RNA de poques micres (entre 50-300 (H) × 6-100 (V) μm²). La línia inclou un braç robòtic que automàticament va carregant els cristalls —emmagatzemats en un tanc de nitrogen líquid— davant del feix de llum de sincrotró, a la vegada que el detector va recollint la interacció llum-mostra. El resultat que s'obté és un conjunt de patrons de difracció en diverses orientacions que, un cop tractats i analitzats, poden permetre reconstruir tridimensionalment l'estructura de la proteïna o complex estudiats. En aquesta línia, un grup d'investigadors de la Universitat d'Almeria han provat l'eficàcia d'una proteïna sintètica per a inhibir el virus del VIH-1. Un altre estudi l'han dut a terme uns investigadors de la Universitat Poli-

tècnica de Catalunya (UPC) que van resoldre l'estructura d'un fàrmac (el CD27), una nova alternativa per a combatre la malària.

Pel que fa a l'àmbit de la matèria condensada, hi ha dues línies que hi treballen: CIRCE i BOREAS.

La línia de llum CIRCE disposa de dues estacions experimentals: una de microscòpia de fotoemissió per a l'anàlisi química i de contrast electrònic i magnètic de superfícies (PEEM, microscòpia de fotoemissió d'electrons) i, l'altra, d'espectroscòpia de fotoemissió per a investigar reaccions químiques i superfícies a mostres líquides (NAPP, fotoemissió a pressions similars a l'ambiental). Al PEEM, investigadors de l'Institut de Química Física Rocasolano han determinat el moment magnètic de la superfície de la magnetita, fet que permetrà manipular l'espín de l'electró per a l'emmagatzematge i la manipulació de la informació als dispositius electrònics. Un dels darrers descobriments duts a terme al NAPP, en col·laboració amb la UPC, buscava millorar l'eficiència energètica dels catalitzadors. Mitjançant l'experiment dut a terme al NAPP, els investigadors van comprovar que els àtoms reaccionen de manera diferent en funció de les característiques del tipus de suport del catalitzador. Aquest descobriment pot ser de gran importància per a multitud de processos catalítics que tenen lloc en la indústria, com per exemple la reducció de gasos emesos pels vehicles.

BOREAS ofereix les tècniques de dicroisme magnètic circular i dicroisme magnètic lineal amb raigs X, així com la de dispersió ressonant de raigs X, i permet l'estudi avançat de materials avançats com el grafè o els superconductors. Un dels exemples d'experiments que s'han dut a terme a BOREAS està relacionat amb la comprensió de l'anomenat sistema *exchange bias*, que té un gran impacte en la gravació magnètica de dades i pot contribuir a conèixer millor com es produeixen discs durs de dimensions reduïdes amb una densitat més alta de la informació.

Dins de l'àrea de la ciència de materials, hi treballen les línies de llum MSPD i CLAESS.

La línia de llum MSPD (ciència de materials i difracció de pols) disposa de dues estacions experimentals on es fa difracció a altes pressions —per a analitzar l'estructura cristal·lina de la matèria en unes condicions de pressió extremes (fins a 50 GPa)— i difracció a alta resolució i alta velocitat —per a estudiar estructures complexes, transicions de fase, etc. Investigadors de l'Institut de Tecnologia Química (UPV-CSIC) van resoldre l'estructura d'una nova zeolita (la ITO-52) duent a terme estudis de difracció a MSPD. Aquesta nova zeolita pot tenir aplicacions en indústries com la petroquímica i la química.

CLAESS es dedica a l'espectroscòpia d'absorció, per a estudiar reaccions químiques en condicions similars a les que tenen lloc durant els processos catalítics industrials. També té en construcció una segona configuració dedicada a l'espectrometria d'emissió de raigs X, que permetrà dur a terme l'anàlisi espectral de fluorescència d'alta resolució en energia. Un grup de la UPC i de la Universitat de Vic ha realitzat estudis de decoracions de vidre històriques

2. Les altres fonts de llum que disposen d'aquesta tècnica són Bessy (Berlín, Alemanya) i ALS (Califòrnia, Estats Units). Actualment s'estan construint noves línies de llum amb aquesta tècnica en altres sincrotrons, com Diamond (Anglaterra) o SSRF (Xangai, Xina).

TAULA 2
Tècniques i aplicacions científiques de les línies de llum de fase I i II

Port	Nom de la línia de llum	Nombre d'estacions experimentals	Tècniques	Aplicacions científiques
4	MSPD	2	Difracció de pols a alta resolució Difracció de pols a alta pressió	Estructura de materials Difracció amb resolució temporal
9	MISTRAL	1	Microscòpia de transmissió de raigs X tous Optimitzada a l'interval d'energies de la «finestra de l'aigua»	Tomografia criogènica d'objectes biològics Espectroscòpia amb resolució espacial
11	NCD	1	Difracció d'alta resolució per a angles grans i petits	Estructura i transformacions de fase de fibres biològiques, polímers i solucions Estudis de raigs X amb resolució temporal
13	XALOC	1	Difracció de raigs X de cristalls biològics de macromolècules	Cristal·lografia de macromolècules, amb particular èmfasi en cristalls de grans unitats cel·lulars
22	CLAESS	1	Espectroscòpia d'estructura fina d'absorció de raigs X estesa (EXAFS), espectroscòpia d'estructura d'absorció de raigs X prop del límit (XANES), Quick-EXAFS	Ciència de materials, química, estudis amb resolució temporal
24	CIRCE	2	Microscòpia de fotoemissió d'electrons (PEEM) Espectroscòpia de fotoemissió a pressions similars a l'ambiental (NAPP)	Nanociència i imatge de dominis magnètics (PEEM) Química de superfícies (NAPP)
29	BOREAS	2	Dicroisme magnètic Difracció magnètica ressonant	Magnetisme, magnetisme de superfícies i estructures magnètiques
01	MIRAS	1	Microscòpia d'infraroig Espectroscòpia d'infraroig	Ciències de la vida, ciències de l'alimentació, ciència de materials
Pendent de definició	LOREA	1	Espectroscòpia de fotoemissió de baixa energia amb alta resolució angular per a materials complexos	Ciència de materials

a CLAESS i MSPD. Mentre que a MSPD van identificar els compostos cristal·lins de les mostres, a CLAESS van poder dilucidar-ne l'especiació de coure.

A més a més, ALBA ha posat en marxa la construcció de dues noves línies de llum de fase II. El 2014 es va iniciar la construcció de MIRAS (dedicada a la microespectroscòpia d'infraroig) i el disseny de LOREA (destinada a la fotoemissió de baixa energia amb alta resolució angular per a materials complexos). Aquestes línies entraran en funcionament el 2017 i el 2019, respectivament.

5. Una instal·lació al servei dels investigadors i investigadores

ALBA, reconeguda pel Govern espanyol com una infraestructura científica i tècnica singular (ICTS), està al servei de la comunitat científica perquè aquesta pugui fer ús de les seves capacitats analítiques.

El sincrotró ALBA genera aproximadament sis mil hores de llum a l'any a cada línia experimental i ofereix servei a més de mil investigadors tant de la comunitat acadèmica com del sector industrial.

Els projectes de recerca de l'àmbit públic són seleccionats per un comitè científic extern internacional i són escollits, en convocatòria pública, segons la qualitat científica de les propostes. Els projectes de l'àmbit privat poden sol-

licitar hores de llum per a realitzar els seus experiments d'acord amb una tarifa preestablerta.

El sincrotró ALBA ha obert quatre convocatòries públiques de projectes des de l'inici de la seva operació, el 2012. En totes, la demanda ha superat el doble de la seva capacitat i, per tant, el 50 % de les propostes rebudes no han pogut obtenir hores de llum de sincrotró per a realitzar els experiments. El 76 % de les propostes provenen d'institucions ubicades a Espanya; el 22,5 %, d'institucions europees, i l'1,5 % restant, d'altres països. A través dels programes CALIPSO i BioStruct-X del 7è Programa Marc de la Unió Europea, el sincrotró ALBA ha acollit els usuaris procedents d'altres països europeus.

Per donar servei als usuaris, els acceleradors i les línies de llum d'ALBA treballen en períodes continus de funcionament de 4-5 setmanes, les 24 hores del dia, els 7 dies de la setmana. Finalitzat aquest període (o *run*), es destina una setmana a realitzar tasques de manteniment i revisió (*shutdown*) per a començar un segon *run*, i així successivament, amb l'excepció d'una parada llarga (*long shutdown*) de 28-30 dies en període d'estiu i d'hivern, en què es concentren les activitats de manteniment que requereixen més temps (per exemple, la instal·lació de nous components a les línies o als acceleradors, etc.).

La fiabilitat de la instal·lació és molt elevada (96,8 %). A continuació, podeu trobar detalls de l'operació d'ALBA en els darrers dos anys (taula 3).

TAULA 3
Detalls de l'activitat d'operació al sincrotró ALBA el 2013 i el 2014

	2014		2013	
Hores previstes per a les línies de llum	3.740,5	h	3.069	h
Hores entregades a les línies de llum	3.621,2	h	2.971,5	h
Disponibilitat del feix	96,8	%	96,8	%
Hores destinades al desenvolupament dels acceleradors	1.352,0	h	1.320,0	h
Temps mitjà entre pèrdues del feix	33,7	h	25	h
Temps mitjà de recuperació del feix	1,1	h	0,8	h

Pel que fa a l'ús del sincrotró per part de les empreses, des de l'inici de l'operació al sincrotró ALBA, els usuaris industrials han utilitzat les tècniques d'anàlisi disponibles a les seves línies de llum. Si bé pràcticament cap empresa espanyola no havia fet servir mai llum de sincrotró per a la seva recerca, el nombre d'usuaris industrials va en augment i provenen de sectors diversos com el farmacèutic, els pigments, els semiconductors, els adhesius..., tant de companyies espanyoles com estrangeres. Fins i tot cal mencionar que, tot i que ALBA està operatiu des de mitjan 2012, s'ha arribat a acords de col·laboració amb la indústria, la qual, en alguns casos, finança personal científic que treballa al sincrotró ALBA.

6. ALBA, un espai multidisciplinari

El 31 de desembre de 2014, la plantilla del sincrotró ALBA estava formada per 179 persones, organitzades en cinc divisions: Acceleradors (15 %), Administració (8 %), Computació i Control (26 %), Experiments (23 %) i Enginyeria (19 %), a més de l'oficina de direcció i l'equip de seguretat (9 %). El 91 % del personal del sincrotró ALBA té un perfil científicotecnològic, mentre que el 4% és personal administratiu i el 5 %, personal de direcció. El 19 % del personal prové de països estrangers (principalment de països europeus, un 17 %).

Com es pot deduir d'aquestes dades, el sincrotró ALBA és una instal·lació on la coordinació entre diferents disciplines científiques i tecnològiques és necessària per al bon funcionament dels acceleradors i poder dur a terme experiments de qualitat.

A banda de l'activitat desenvolupada pels equips d'Acceleradors (que ja hem destacat quan descrivíem el funcionament d'ALBA) i d'Experiments (els investigadors i investigadores que treballen a les línies de llum, mantenint-les al més alt nivell de recerca i assistint els usuaris que vénen d'altres centres o universitats a fer ús de les tècniques disponibles), volem repassar ara les principals activitats d'altres divisions amb un fort component tecnològic.

La divisió de Computació i Control ofereix un ampli catàleg de serveis que va des del cablejat i l'equipament electrònic necessari fins als sistemes de control per als acceleradors i les línies de llum, les infraestructures, els serveis i els sistemes de tecnologies de la informació.

La divisió d'Enginyeria, per la seva banda, ha anat guanyant coneixement i expertesa en el disseny i desenvolupament d'instrumentació científica per a les línies de llum, especialment, en l'àmbit de la mecànica i els mecanismes de precisió, la mecatrònica, la tecnologia d'ultraalt buit o la criogènia, àrees on, cada vegada més, ALBA desenvolupa els seus propis sistemes.

D'altra banda, l'edifici del sincrotró ALBA i les infraestructures tècniques associades (climatització, refrigeració dels acceleradors, etc.) tenen unes característiques especials i exigents que requereixen un equip d'enginyeria altament especialitzat, tant en el manteniment i la gestió de les infraestructures existents, com en el disseny i la realització de noves infraestructures.

Els acceleradors i les línies de llum reposen de manera independent sobre una llosa de 13.500 m² que flota sobre 2 metres de grava. L'equip d'alineament és l'encarregat de controlar els moviments de la llosa per assegurar-ne la màxima estabilitat. Pel que fa al consum de la instal·lació, els 3 MW h que consumeix ALBA provenen d'un sistema redundat format per una planta de cogeneració (que també subministra fred i calor) i d'un transformador connectat a una línia de 220 kV. La temperatura també ha de ser constant tant a l'interior del túnel on es troben els acceleradors ($\pm 0,5$ °C) com a la zona on es realitzen els experiments (± 1 °C). Els 664 electroimants que es troben als acceleradors d'ALBA estan refrigerats amb aigua desionitzada.

L'Oficina de Salut i Seguretat s'encarrega de la gestió de riscos laborals convencionals així com de la protecció radiològica de la instal·lació, i vetlla pel compliment de les normes de seguretat establertes i supervisades pel Consell de Seguretat Nuclear.

Aquest treball transdisciplinari afavoreix la capacitat de transferència de coneixement que es genera a la instal·lació. L'entorn d'alta tecnologia, que requereix una instrumentació molt competitiva, permet la creació de col·laboracions estratègiques amb la indústria, que ja han començat a produir-se malgrat la joventut de la instal·lació.

Com a exemples recents, voldríem destacar el contracte de llicència signat entre ALBA, el Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) i una empresa *spin-off* del CSIC per a desenvolupar un detector de raigs X. El dispositiu, desenvolupat per investigadors i enginyers d'ALBA, en col·laboració amb el Centre Nacional de Microelectrònica (CNM-CSIC), es basa en fotodíodes transmissius molt

prims (10 micres en comparació de les 300 que tenen habitualment aquests dispositius) que permeten detectar i caracteritzar els raigs X absorbint una part petita d'intensitat.

També volem mencionar un nou disseny de finestra per a càmeres de pressió, desenvolupat conjuntament amb el Centre de Làsers Polsats Ultracurts Ultraintensos (CLPU), que s'ha protegit a través d'un model d'utilitat. El disseny d'aquesta finestra ofereix importants millores en comparació amb altres equipaments similars. El disseny s'ha fet de manera que no s'introdueix cap deformació o estrès puntual que pugui desviar les propietats òptiques, i inclou un sistema senzill i fàcilment repetible per a muntar els diferents cristalls a la finestra, amb la qual cosa es redueixen els costos i el temps.

L'acord més recent signat entre ALBA i una empresa d'enginyeria i construcció ha estat per a comercialitzar una solució tecnològica desenvolupada al sincrotró. En aquest cas, es tracta d'un nou mètode per a corbar miralls de raigs X. Aquest sistema incorpora més funcions que altres que hi ha disponibles en el mercat. El seu avantatge principal és que pot reduir els errors de deformació dels miralls, de manera estable i controlada, a uns valors unes deu vegades per sota de les tecnologies actualment existents amb costos comparables.

Aquests són alguns exemples de tecnologia desenvolupada per a cobrir les necessitats de la instal·lació, que poden tenir un impacte directe a altres sectors industrials i comporten, per tant, un benefici més gran per a la societat.

7. Conclusions

ALBA, la més gran infraestructura científica plantejada al país, va suposar una aposta clara per part de les administracions catalana i espanyola envers un nou model basat en l'economia del coneixement i la indústria de la ciència.

Després d'un període destinat a l'estudi i la viabilitat del projecte, seguit de la construcció i posada en marxa, el

sincrotró ALBA és actualment una realitat i ofereix possibilitats d'anàlisi d'avantguarda a la comunitat científica i industrial.

L'objectiu per als plans de futur és poder completar la instal·lació amb la construcció de noves línies de llum que, d'una banda, permetin donar resposta a la creixent demanda, i, de l'altra, ens mantinguin al capdavant de la recerca basada en la llum de sincrotró, amb l'objectiu final de contribuir a la millora del benestar i el progrés de la societat. ■

8. Bibliografia

- ACOSTA-REYES, F. J. [et al.] (2014). «In and out of the minor groove: interaction of an AT-rich DNA with the drug CD27». *Acta Crystallographica Section D: Structural Biology*, p. 1614-1621.
- BISCARI, C. [et al.] (2013). «ALBA, the Spanish light source». *Il Nuovo Saggiatore*, vol. 29, núm. 3, p. 36-41.
- CRESPILLO, S. [et al.] (2014). «Single-chain protein mimetics of the N-terminal heptad-repeat region of gp41 with potential as anti-HIV-1 drugs». *PNAS*, vol. 111, núm. 51, 18207-18212.
- DIVINS, N. J. [et al.] (2014). «Influence of the support on surface rearrangements of bimetallic nanoparticles in real catalysts». *Science*, p. 620-623.
- GARCÍA MONTALVO, J.; MAYA, J. M. (2005). «Potenciant la nova economia a Catalunya: una anàlisi econòmica de la font de llum de sincrotró del Vallès (ALBA)». *Coneixement i Societat*, p. 32-59.
- MARTÍN-GARCÍA, L. [et al.] (2015). «Spin and orbital magnetic moment of reconstructed $\sqrt{2}\times\sqrt{2}R45^\circ$ magnetite(001)». *Phys. Rev. B*, 020408. <<https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.91.020408>>. [Rapid Communication]
- SESSLER, Andrew; WILSON, Edmund (2007). *Engines of discovery: A century of particle accelerators*. World Scientific.