

The ALBA Synchrotron Light Source











Presentation

The inauguration in March 2010 of the Synchrotron Light Laboratory ALBA is an event with a profound significance for our country. ALBA is the largest scientific infrastructure ever built in Spain and it doubtlessly represents a success of the model of cooperation between administrations and scientific institutions that we have developed to promote our large laboratories. However, although important by themselves, its relevance extends beyond these reasons.

Firstly, ALBA constitutes a fundamental piece in the Spanish Map of Singular Scientific-Technical Infrastructures, a map of excellence that points out some of our greater strengths in cutting edge research. The coming into operation of ALBA represents not only a decisive step in the unfolding of this map, but also in its international projection. Altogether, it positions Spain – already ninth in the world ranking of scientific production – as a reference country in large research infrastructures.

On the other hand, the successful construction of ALBA demonstrates once more the enormous potential of what we have named the “Science driven industries”: a collective of specialised suppliers that are essential in the construction, in the equipping and in the operation of scientific infrastructures. This is an emerging market in Spain, whose development is accompanying the important public investment effort made in R&D, representing a notable source of quality employment and of new opportunities for industry.

The word *alba* refers to the first light of dawn illuminating the landscape in a new daybreak. Doubtlessly the Synchrotron Light from ALBA will have a similar effect: it will allow important discoveries in Materials Science and Structural Biology – to quote only two examples – but, above all, it will reveal a new reality of Spanish Science. A reality, very different to that of only a few years ago, in which Singular Scientific Installations propel our Science towards new challenges and become important centres of attraction of international talent.

Cristina Garmendia Mendizábal

Ministra de Ciencia e Innovación

Presentación

La inauguración en marzo de 2010 del Laboratorio de Luz de Sincrotrón ALBA es un acontecimiento que tiene un profundo significado para nuestro país. ALBA es la mayor infraestructura científica construida en España y, sin duda, representa un éxito del modelo de cooperación entre administraciones e instituciones científicas que hemos desarrollado para impulsar nuestros grandes laboratorios. Pero su relevancia va más allá de estas, ya de por sí importantes, razones.

En primer lugar, ALBA constituye una pieza fundamental del Mapa Español de Infraestructuras Científico-Técnicas Singulares, un mapa de la excelencia que señala algunas de nuestras mayores fortalezas en investigación de frontera. La entrada en funcionamiento de ALBA representa un paso decisivo para el despliegue del mapa, pero también para su proyección internacional, posicionando a España —que es ya la novena potencia mundial en producción científica— como un país de referencia en grandes infraestructuras de investigación.

Por otra parte, la exitosa construcción de ALBA muestra, una vez más, el enorme potencial de lo que hemos denominado “industrias de la ciencia”: un conjunto de proveedores especializados que son esenciales para la construcción, equipamiento y operación de infraestructuras científicas. Se trata de un mercado emergente en España, cuyo desarrollo está acompañando al importante esfuerzo de inversión pública en I+D y que representa una notable fuente de empleo de calidad y de nuevas oportunidades para la industria.

La palabra *alba* hace referencia a la primera luz del amanecer, esa que nos permite alumbrar el paisaje de un nuevo día. La luz del Sincrotrón ALBA tendrá, sin duda, un efecto semejante: nos permitirá hacer importantes descubrimientos en el ámbito de la ciencia de materiales y la biología estructural —por poner sólo dos ejemplos— pero, sobre todo, hará visible una nueva realidad de la ciencia española. Una realidad, bien distinta a la de hace tan sólo unos años, en la que instalaciones científicas singulares proyectan nuestra ciencia hacia nuevos desafíos y se convierten en importantes centros de atracción de talento internacional.

Cristina Garmendia Mendizábal

Ministra de Ciencia e Innovación

Presentació

La inauguració al març de 2010 del Laboratori de Llum de Sincrotró ALBA és un esdeveniment que té un profund significat per al nostre país. ALBA és la major infraestructura científica construïda a Espanya i, sens dubte, representa un èxit del model de cooperació entre administracions i institucions científiques que hem desenvolupat per a impulsar els nostres grans laboratoris. Però la seva rellevància va més enllà d’aquestes, ja de per si importants, raons.

En primer lloc, ALBA constitueix una peça fonamental del Mapa Espanyol d’Infraestructures Científico-Tècniques Singulares, un mapa de l’excel·lència que assenyala algunes de les nostres majors fortalezes en investigació de frontera. L’entrada en funcionament d’ALBA representa un pas decisiu per al desplegament del mapa, però també per a la seva projecció internacional, posicionant a Espanya —que és ja la novena potència mundial en producció científica— com un país de referència en grans infraestructures d’investigació.

Per altra banda, la reeixida construcció d’ALBA mostra, una vegada més, l’enorme potencial del que hem denominat “indústries de la ciència”: un conjunt de proveïdors especialitzats que són essencials per a la construcció, equipament i operació d’infraestructures científiques. Es tracta d’un mercat emergent a Espanya, el desenvolupament del qual està acompanyant a l’important esforç d’inversió pública en I+D i que representa una notable font d’ocupació de qualitat i de noves oportunitats per a la indústria.

La paraula *alba* fa referència a la primera llum de la matinada, aquesta que ens permet enllumenar el paisatge d’un nou dia. La llum del Sincrotró ALBA tindrà, sens dubte, un efecte semblant: ens permetrà fer importants descobriments en l’àmbit de la ciència de materials i la biologia estructural —per posar només dos exemples— però, sobretot, farà visible una nova realitat de la ciència espanyola. Una realitat, ben distinta a la de fa tan sols uns anys, en la qual instal·lacions científiques singulares projecten la nostra ciència cap a nous desafiaments i es converteixen en importants centres d’atracció de talent internacional.

Cristina Garmendia Mendizábal

Ministra de Ciencia e Innovación

Presentation

The Catalonia of today has become one of Southern Europe's scientific and technological hubs, and as a region it strives to achieve a high level of development founded on a knowledge-based economy. Its 10,000 innovative companies, 227,000 university students, and the scientific community in general need to have certain important references available within the system if their ideas are to be launched with the highest added value.

Large R&D infrastructures are able to fill this need. Given that they are endowed with very advanced tools and technology, their implementation, often of a transnational nature, calls for high investment capital that often requires funding by more than one government agency. In the case of the ALBA synchrotron light source, positive collaboration between the Spanish Government and the Government of Catalonia has ensured its construction and guarantees its future operation.

Having a synchrotron light source at one's disposal implies an important competitive advantage, setting the results and impacts of Catalan research apart in terms of quality. Moreover, it can aid in the retention of large international projects requiring access to this kind of facility, as well as talent, since large research infrastructure policy is directly linked to its recruitment. Having such sought-after technology means being able to entice researchers who are leaders in their fields from the all over the world.

With this presentation of the ALBA Synchrotron Light Source, we take an important step forward, one that contributes to facing the challenges of internationalising our R&D&I system; strengthening our ability to attract talent; bringing us up to par with the scientific policies of the European Union and Spain; progressing with the objectives and priorities of our research and innovation plans; leading and coordinating large projects and platforms; and creating public-private partnerships. Without a doubt, it contributes to the improvement of our growth model and increases our productivity in terms of research and innovation.

Josep Huguet i Biosca

Conseller d'Innovació, Universitats i Empresa

Presentación

Hoy en día Cataluña es ya un polo científico-tecnológico del sur de Europa que, como país, ambiciona lograr un alto nivel de desarrollo mediante una economía basada en el conocimiento. Las 10.000 empresas innovadoras, los 227.000 estudiantes universitarios y la comunidad científica en general necesitan disponer de algunos referentes significativos en el sistema en los que proyectar sus ideas de más alto valor añadido.

Las grandes infraestructuras de I+D responden a esta necesidad. Su concepción, habitualmente de carácter transnacional, se caracteriza por inversiones muy elevadas dado que están dotadas de instrumentación y tecnología muy avanzadas que una sola administración no puede financiar. En el caso de la fuente de luz de sincrotrón ALBA, el buen entendimiento entre el Estado y la Generalitat de Catalunya ha posibilitado su construcción y garantiza su funcionamiento en el futuro.

El hecho de disponer de una fuente de luz de sincrotrón supone una ventaja competitiva importante que permite dimensionar todavía más, cualitativamente, los resultados y el impacto de la investigación en Cataluña. Asimismo, puede llegar a evitar la fuga de grandes proyectos internacionales en los que sea necesario contar con estos grandes equipamientos para poder participar. Además, la política de grandes instalaciones de investigación está directamente vinculada a la de atracción de talentos. El acceso a equipamientos singulares representa un argumento de gran valor para atraer, dentro del panorama internacional, a investigadores líderes en sus disciplinas.

En estos momentos, la presentación de la Fuente de Luz de Sincrotrón ALBA supone un paso adelante, que debe contribuir a afrontar los retos que se nos plantean en cuanto a la internacionalización de nuestro sistema de I+D+i, a la consolidación en la atracción de talentos, a la alineación con las políticas científicas de la Unión Europea y del Estado, al desarrollo de los focos y prioridades de nuestros planes de investigación e innovación, al liderazgo y la coordinación de grandes proyectos y plataformas, a la creación de asociaciones público-privadas y, en definitiva, a la mejora de nuestro modelo de crecimiento y al aumento de la productividad basándonos en la investigación y la innovación.

Josep Huguet i Biosca

Conseller d'Innovació, Universitats i Empresa

Presentació

Catalunya és ja avui un pol científic-tecnològic al sud d'Europa, que com a país ambiciosa assolir un alt nivell de desenvolupament, mitjançant una economia basada en el coneixement. Les seves 10.000 empreses innovadores, els 227.000 estudiants universitaris, i la comunitat científica en general requereixen disposar d'alguns referents significatius en el sistema on projectar les seves idees de més alt valor afegit.

Les grans infraestructures d'R+D responen a aquesta necessitat. La seva concepció, habitualment de caràcter transnacional, es caracteritza per inversions molt elevades atès que estan dotades d'instrumentació i tecnologia molt avançada que no poden ser finançades per una sola administració. En el cas del Síncrotró ALBA, la bona entesa entre l'Estat i la Generalitat de Catalunya ha possibilitat la seva construcció i garanteix el seu funcionament per al futur.

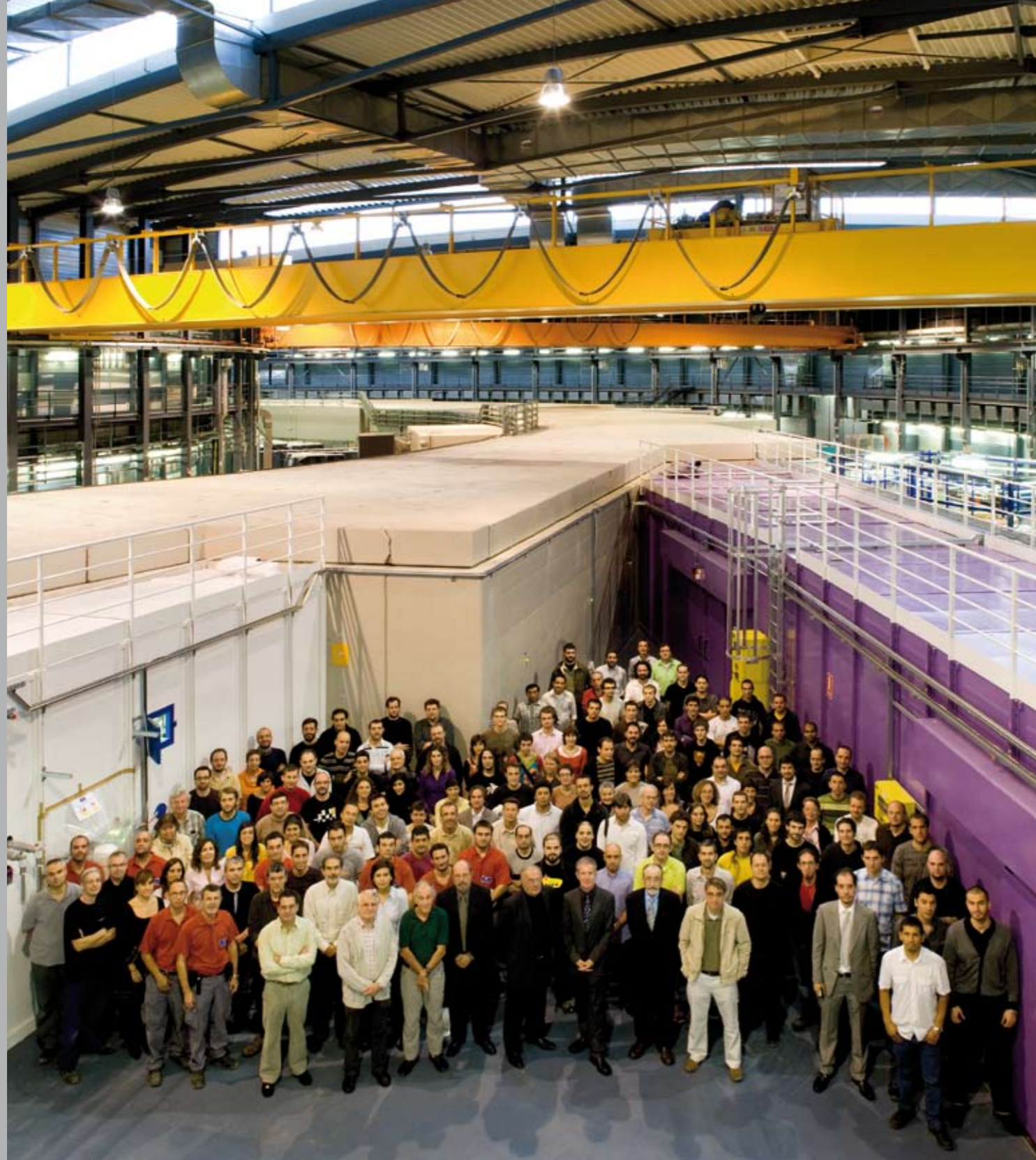
Disposar d'un síncrotró suposa un avantatge competitiu important que permet dimensionar encara més, qualitativament, els resultats i l'impacte de la recerca a Catalunya. Així mateix, pot arribar a evitar la fuga de grans projectes internacionals que necessiten per participar-hi aquests grans equipaments. També, la política de grans instal·lacions de recerca està directament vinculada a la d'atracció de talent. Tenir equipaments singulars significa tenir un argument de gran vàlua per atraure, dins el panorama internacional, a investigadors líders en les seves disciplines.

Ara fem un pas endavant en presentar la Font de Llum de Síncrotró ALBA, que ha de contribuir a afrontar els reptes que tenim plantejats d'internacionalització del nostre sistema d'R+D+I, de consolidació en l'atracció de talent, d'alinejar-nos amb les polítiques científiques de la Unió Europea i l'Estat, de desenvolupar els focus i prioritzacions dels nostres plans de recerca i innovació, de lideratge i coordinació de grans projectes i plataformes, de crear partenariats públic-privats, en definitiva, de millorar el nostre model de creixement i augmentar la productivitat en base a la recerca i la innovació.

Josep Huguet i Biosca

Conseller d'Innovació, Universitats i Empresa





Introduction

In the words of Janez Potocnik, former European Commissioner for Science and Research, Research Infrastructures are “a key asset in implementing our vision of a Europe of Knowledge”.

The largest European Research Infrastructures, and probably the best known, are those grouped in the EIROforum: CERN, the European Laboratory for Particle Physics; ESA, the European Space Agency; EFDA, the European Fusion Development Agreement; EMBL, the European Molecular Biology Laboratory; ESRF, the European Synchrotron Radiation Facility; ESO, the European Southern Observatory, and; the neutron source ILL, Institute Laue-Langevin. A forward look by the European Strategy Forum for Research Infrastructures, (ESFRI) has defined a roadmap for new European Research Infrastructures. These Research Infrastructures may be at a unique location or distributed or they may even be virtual but they all have in common that they provide services to the scientific community that are essential for both fundamental and/or applied research. These include libraries, databases, biological archives, clean rooms, communication networks, research vessels, satellites and navigation centres, coastal observatories, telescopes, synchrotrons and accelerators. These Research Infrastructures can be

Introducción

En palabras de Janez Potocnik, antiguo Comisario Europeo de Ciencia e Investigación, las infraestructuras de investigación “son un activo clave en la aplicación de nuestra visión de una Europa del conocimiento”.

Las mayores infraestructuras europeas de investigación, y probablemente las más conocidas, son las que están agrupadas en EIROforum: el CERN, el Laboratorio Europeo de Física de Partículas; la ESA, la Agencia Espacial Europea; el EFDA, el Acuerdo Europeo de Desarrollo de la Fusión; el EMBL, el Laboratorio Europeo de Biología Molecular; el ESRF, la Instalación Europea de Radiación de Síncrotrón; el ESO, el Observatorio Europeo del Sur; y el Instituto Laue-Langevin, la fuente de neutrones ILL. Una proyección de futuro del Foro Estratégico Europeo sobre Infraestructuras de Investigación (ESFRI) ha definido un plan de trabajo para las nuevas infraestructuras de investigación europeas. Estas infraestructuras de investigación pueden estar en una ubicación única o distribuida, o incluso pueden ser virtuales, pero todas tienen en común que prestan servicios a la comunidad científica, que son esenciales tanto para la investigación fundamental como para la aplicada. Incluyen bibliotecas, bases de datos, archivos biológicos, salas limpias, redes de comunicaciones, buques de investigación,

Introducció

En paraules de Janez Potocnik, antic Comissari Europeu de Ciència i Investigació, les infraestructures d'investigació “són un actiu clau en l'aplicació de la nostra visió d'una Europa del coneixement”.

Les més grans infraestructures europees d'investigació, i probablement les més conegudes, són les que s'agrupen en EIROforum: el CERN, el Laboratori Europeu de Física de Partícules; l'ESA, l'Agència Espacial Europea; l'EFDA, l'Acord Europeu de Desenvolupament de la Fusió; l'EMBL, el Laboratori Europeu de Biologia Molecular; l'ESRF, la Instal·lació Europea de Radiació de Síncrotró; l'ESO, l'Observatori Europeu del Sud; i l'Institut Laue-Langevin, la font de neutrons ILL. Una projecció de futur del Fòrum Estratégic Europeu sobre Infraestructures d'Investigació (ESFRI) ha definit un pla de treball per a les noves infraestructures d'investigació europees. Aquestes infraestructures d'investigació poden estar en una ubicació única o distribuïda, o fins i tot poden ser virtuals, però totes tenen en comú que prestin serveis a la comunitat científica i que són essencials tant per a la investigació fonamental com per a l'aplicada. Inclouen biblioteques, bases de dades, arxius biològics, sales netes, xarxes de comunicacions, vaixells d'investigació, satèl·lits i centres de navegació, obser-

Service Area, where all the electronics instrumentation giving support to the accelerator complex is housed in racks.

Àrea de Servicio, donde se aloja en racks toda la electrónica de soporte necesaria para el complejo de aceleradores.

Àrea de Servei on s'allotja en racks tota l'electrònica de suport necessària per al complex d'acceleradors.



relevant to all scientific and technological areas, i.e. from the social sciences to astronomy, through genomics and nanotechnologies.

European States also have their own research infrastructures that are complemented by their partnership in the European ones. In Spain these facilities, either operational or under construction, are known as “Instalaciones Científico-Técnicas Singulares” and Catalonia is the site for some of them. One of the most important (in complexity and budget) is the ALBA Synchrotron Light Source.

satélites y centros de navegación, observatorios costeros, telescopios, sincrotrones y aceleradores. Estas infraestructuras de investigación pueden ser de interés para todas las áreas científicas y tecnológicas, es decir, de las ciencias sociales a la astronomía, a través de la genómica y las nanotecnologías.

Los estados europeos también tienen sus propias infraestructuras de investigación que se complementan con su pertenencia a las europeas. En España, estas instalaciones, ya estén en funcionamiento o en construcción, se conocen como “Instalaciones Científico-Técnicas Singulares” y Cataluña es la sede de algunas de ellas. Una de las más importantes (en complejidad y presupuesto) es la Fuente de Luz de Sincrotrón ALBA.

vatoris costaners, telescopis, sincrotrons i acceleradors. Aquestes infraestructures d'investigació poden ser d'interès per a totes les àrees científiques i tecnològiques; és a dir, de les ciències socials a l'astronomia, a través de la genòmica i les nanotecnologies.

Els estats europeus també tenen les seves pròpies infraestructures d'investigació que es complementen amb la seva pertinença a les europees. A Espanya, aquestes instal·lacions, ja estiguin en funcionament o en construcció, es coneixen com a “Instal·lacions Científico-Tècniques Singulares” i Catalunya és la seu d'algunes d'elles. Una de les més importants (en complexitat i pressupost) és la Font de Llum de Sincrotró ALBA.



History of the ALBA project

Historia del proyecto ALBA / Història del projecte ALBA

Construction of the underground Service Gallery, routing all services from the Technical building (whose underground level is already visible at the upper part of the picture) to the ALBA Main building (ring-shaped). The image corresponds to February 2007.

Construcción de la Galería de Servicio subterránea, que se usa para llevar todos los servicios del Edificio Técnico (cuya planta sótano ya resulta visible en la parte superior de la fotografía) al principal de ALBA (forma de anillo). La imagen corresponde a febrero de 2007.

Construcció de la galeria de servei subterrània que s'usa per a portar tots els serveis de l'edifici tècnic (la planta soterrània de la qual ja resulta visible a la part superior de la fotografia) a l'edifici principal d'ALBA (en forma d'anell). La imatge correspon a febrer de 2007.



History of the ALBA project

Although a member state of CERN, ESRF and EMBL – all research organizations whose activities revolve wholly or partly around the use of accelerators – and even though the idea of establishing accelerator based research in Spain is quite old, Spain has not had historically a genuine involvement with accelerator development. The result is that the country lacked knowledge in accelerator technologies and had very little experience in the construction of particle accelerators.

In the case of High Energy Physics the result was that Spain could not participate in the construction of the main CERN instruments, i.e. accelerators or machine colliders, and, therefore, was not able to benefit from the technological returns of its participation. In the case of Synchrotron Radiation the Spanish scientific community had user access to a very specific facility such as the ESRF and, moreover, some build up of expertise in the area of beamline technologies (i.e. optics, vacuum, control electronics, detectors, etc.) was realized when in the late 90's Spain increased its participation in the ESRF through the route of the so called Collaborating Research Groups. This policy led to the installation of two Spanish beamlines, BM25 and BM16, on two ports drawing light from bending magnets. BM16 counted with the collaboration of the Catalan administration who covered 50% of the capital in-

Historia del proyecto ALBA

Aunque es un estado miembro del CERN, del ESRF y del EMBL – todas organizaciones de investigación cuyas actividades giran, totalmente o en parte, en torno a la utilización de aceleradores – y a pesar de que la idea de disponer de investigación basada en aceleradores en España es bastante antigua, España no ha tenido históricamente una participación genuina en el desarrollo de aceleradores. El resultado es que el país carecía de los conocimientos en tecnologías de aceleración y había muy poca experiencia en la construcción de aceleradores de partículas.

En el caso de la Física de Altas Energías, el resultado fue que España no pudo participar en la construcción de los principales instrumentos del CERN, es decir, los aceleradores o los colisionadores, y, por tanto, no fue capaz de beneficiarse de los retornos tecnológicos de su participación. En el caso de la radiación de sincrotrón la comunidad científica española tenía el acceso como usuario a centros muy específicos como el ESRF; además, se desarrolló alguna experiencia en el ámbito de las tecnologías de las líneas de luz (es decir, óptica, vacío, electrónica de control, detectores, etc.) cuando en los últimos años 90, España incrementó su participación en el ESRF a través de los llamados Grupos de Investigación Colaborativa del ESRF. Esta política llevó a la instalación de dos líneas de luz españolas, la BM25 y la BM16, en dos puertos que recibían la luz de imanes de curvatu-

Història del projecte ALBA

Encara que és un estat membre del CERN, de l'ESRF i de l'EMBL – totes organitzacions d'investigació les activitats de les quals giren, totalment o en part, entorn de la utilització d'acceleradors – i malgrat que la idea de disposar d'investigació basada en acceleradors a Espanya és bastant antiga, Espanya no ha tingut històricament una participació genuïna en el desenvolupament d'acceleradors. El resultat és que el país mancava dels coneixements en tecnologies d'acceleració i hi havia molt poca experiència en la construcció d'acceleradors de partícules.

En el cas de la Física d'Altes Energies, el resultat va ser que Espanya no va poder participar en la construcció dels principals instruments del CERN; és a dir, els acceleradors o els col·lisionadors, i, per tant, no va ser capaç de beneficiar-se dels retornos tecnològics de la seva participació. En el cas de la radiació de sincrotró la comunitat científica espanyola tenia l'accés com usuari a centres molt específics com l'ESRF; a més, es va desenvolupar alguna experiència en l'àmbit de les tecnologies de les línies de llum (és a dir, òptica, buit, electrònica de control, detectores, etc.) quan en els darrers anys dels 90, Espanya va incrementar la seva participació a l'ESRF a través dels anomenats Grups d'Investigació Col·laborativa de l'ESRF. Aquesta política va dur a la instal·lació de dues línies de llum espanyoles, la BM25 i la BM16, en dos ports que rebien la llum d'imants

Aerial view of the ALBA facility in May 2007. Most of the sectors of the ring-shaped concrete slab are finished and some of them already feature the side walls of the tunnel where the accelerators will be housed. The metallic structure which will support the ceiling, mechanically decoupled from the slab, is already fairly advanced.

Vista aérea de ALBA en mayo de 2007. La mayoría de los sectores de la losa de hormigón, con forma de anillo, están ya acabados, y algunos ya tienen tramos del muro lateral del túnel, que albergará el complejo de aceleradores. La estructura metálica de soportación de la cubierta, desaco-plada mecánicamente de la losa, se ve ya bastante avanzada.

Vista aèria d'ALBA al maig de 2007. La majoria dels sectors de la llosa de formigó, en forma d'anell, estan ja acabats i alguns ja tenen trams del mur lateral del túnel que albergarà el complex d'acceleradors. L'estructura metàl·lica de suport de la coberta, desacobrada mecànicament de la llosa, es veu ja bastant avançada.



vestment and of the exploitation costs. Nonetheless, the Spanish community did not have the possibility to develop know how in the area of accelerator technologies and, in addition, it lacked access by right to sources with the characteristics typical of the so called “national” facilities that the ESRF was primarily built to complement rather than to replace.

Within a European context this situation was somewhat anomalous and disadvantageous for the Spanish community involved with synchrotron light research. It is interesting to note that a cursory look to a map of Europe displaying the location of national synchrotron light facilities reveals that all these sources are north of a line joining Paris (SOLEIL) and Trieste (ELETTRA). This is an obvious disadvantage in terms of scientific and technical opportunities for the territories south of this line. This geographical imbalance is being somewhat redressed with the construction of ALBA.

The idea of building a Spanish synchrotron light source goes back to the early 1990's when an older plan to construct a tau-charm factory was abandoned. The Catalan Government at the time, around June 1992, appointed a Committee with the brief to study the viability and convenience of constructing a synchrotron light facility in the region of Barcelona. By the end of the year this Committee reported to the Catalan Administration with the result that its First Research Plan, approved and presented at the beginning of 1993, included the construction of a

ra. La BM16 contó con la colaboración de la administración catalana, que cubrió el 50% de la inversión y de los costes de explotación. Sin embargo, la comunidad española no tenía la posibilidad de desarrollar conocimientos en el área de las tecnologías de aceleración y, además, carecía de acceso por derecho propio a las fuentes de las características típicas de las llamadas fuentes “nacionales”, las instalaciones para las que el ESRF fue principalmente diseñado como complemento y no como sustitutivo.

Dentro de un contexto europeo, esta situación era algo anómala y perjudicial para la comunidad española que participa en la investigación con luz de sincrotrón. Es interesante señalar que un rápido vistazo a un mapa de Europa que muestre la ubicación de las instalaciones de luz de sincrotrón nacionales pone de manifiesto que todas estas fuentes están al norte de una línea que une París (SOLEIL) y Trieste (Elettra). Ésta es una clara desventaja en términos de oportunidades científicas y técnicas de los territorios al sur de esta línea. Este desequilibrio geográfico se está corrigiendo en parte con la construcción de ALBA.

La idea de construir una fuente de luz de sincrotrón en España se remonta a los comienzos de los años 1990, cuando un viejo plan para construir una fábrica de taus y partículas con encanto fue abandonado. El Gobierno catalán, alrededor de junio de 1992, nombró una Comisión con la misión de estudiar la viabilidad y conveniencia de construir una instalación de

de curvatura. La BM16 va comptar amb la col·laboració de l'administració catalana, que va cobrir el 50% de la inversió i dels costos d'explotació. Tanmateix, la comunitat espanyola no tenia la possibilitat de desenvolupar coneixements en l'àrea de les tecnologies d'acceleració i, a més, mancava d'accés per dret propi a les fonts de les característiques típiques de les anomenades fonts “nacionals”, les instal·lacions per les quals l'ESRF va ser principalment dissenyat per a complementar i no pas substituir.

Dintre un context europeu, aquesta situació era una mica anòmala i perjudicial per a la comunitat espanyola implicada en la recerca amb llum de sincrotró. És interessant observar que si es fa una ullada ràpida a un mapa d'Europa que mostri la ubicació de les instal·lacions de llum de sincrotró nacionals, es revela que totes aquestes fonts es troben al nord d'una línia que uneix París (SOLEIL) i Trieste (ELETTRA). Això significa un clar desavantatge quant a oportunitats científiques i tècniques per als territoris situats al sud d'aquesta línia. Aquest desequilibri geogràfic s'està corregint en part amb la construcció d'ALBA.

La idea de construir una font de llum de sincrotró a Espanya es remunta als inicis dels anys 1990, quan un vell pla per a construir una fàbrica de taus i partícules amb encant va ser abandonat. El Govern català, al voltant del juny de 1992, va nomenar una Comissió amb la missió d'estudiar la viabilitat i conveniència de construir una instal·lació de llum sincrotró

Aerial view of the ALBA site in August 2007. Both the critical slab, the tunnel side walls and the metallic structure have already been completed, whereas some sectors of the roof are already in progress.

Vista aérea de ALBA en agosto de 2007. La losa crítica, las paredes laterales del túnel y la estructura metálica ya están terminadas, observándose el progreso de la cubierta en algunos sectores.

Vista aèria d'ALBA a l'agost de 2007. La llosa crítica, les parets laterals del túnel i l'estructura metàl·lica ja estan acabades, observant-se el progrés de la coberta en alguns sectors.



synchrotron light source. Also, a Steering Committee constituted by political authorities and an Advisory Committee, chaired by Prof. Manuel Cardona and constituted by experts and Directors of some European synchrotron light sources, were created. Simultaneously, a program of training fellowships in accelerator technologies was started. The most important recommendations of the Advisory Committee were that the project should go ahead and to short list various possible directors for it. The Steering Committee endorsed these recommendations, however, the combination of the economic crisis at the beginning of the 90's and certain internal opposition to the idea by some sectors of the Spanish scientific community, fearful of the impact that such a big project might have on the resources needed to support many other smaller ones, halted the development of the project.

Nonetheless, the idea survived and an agreement to finance a detailed study for a Spanish synchrotron light facility was signed in 1995 between the Spanish and the Catalan Governments. To carry out this study a small group of people was assembled. This group was first incorporated as a new Division in the High Energy Physics Institute (IFAE). The IFAE is a consortium between the "Universitat Autònoma de Barcelona" and the "Generalitat de Catalunya" that was created to promote High Energy Physics and to collaborate with CERN. Later on, the Synchrotron Light Division became a Consortium in its own right between the

luz sincrotrón en la región de Barcelona. A finales de dicho año esta Comisión informó a la Administración catalana con el resultado de que ésta, en su primer Plan de Investigación, aprobado y presentado a principios de 1993, incluyó la construcción de una fuente de luz de sincrotrón. Además, se crearon una Comisión Promotora constituida por autoridades políticas y una Comisión Asesora, presidida por el Prof. Manuel Cardona y constituida por expertos y directores de algunas fuentes de luz de sincrotrón europeas. Al mismo tiempo, se inició un programa de becas de formación en tecnologías de aceleración. Las recomendaciones más importantes de la Comisión Asesora fueron que el proyecto debería seguir adelante y la elaboración de una lista de varios posibles directores para llevarlo a cabo. La Comisión Promotora aprobó estas recomendaciones, pero la combinación de la crisis económica de principios de los años 90 y la oposición interna a la idea por parte de algunos sectores de la comunidad científica española, temerosos de las repercusiones que un proyecto de tales dimensiones podría tener sobre los recursos necesarios para apoyar a otros más pequeños, detuvo el desarrollo del proyecto.

Sin embargo, la idea sobrevivió y en 1995 se firmó un acuerdo para financiar un estudio detallado para la instalación de luz de sincrotrón en España entre los Gobiernos español y catalán. Para llevar a cabo este estudio se reunió a un pequeño grupo de personas. Este grupo se incorporó al principio como una nueva división del Instituto de Física de Altas de Energías

a la región de Barcelona. A finals d'aquell mateix any, la Comissió va informar a l'Administració catalana amb el resultat que aquesta, en el seu primer Pla d'Investigació, aprovat i presentat a principis de 1993, va incloure la construcció d'una font de llum de sincrotró. A més, es van crear una Comissió Promotora, constituïda per autoritats polítiques, i una Comissió Assessora, presidida pel Prof. Manuel Cardona i constituïda per experts i directores d'algunes fonts de llum de sincrotró europees. Al mateix temps, es va iniciar un programa de beques de formació en tecnologies d'acceleració. Les recomanacions més importants de la Comissió Assessora van ser que el projecte havia de seguir endavant i va elaborar una llista amb diversos possibles directores per a portar-lo a terme. La Comissió Promotora va aprovar aquestes recomanacions, però la combinació de la crisi econòmica de principis dels anys 90 i l'oposició interna a la idea d'alguns sectors de la comunitat científica espanyola, temerosos de les repercussions que un projecte tan ambiciós podria tenir sobre els recursos necessaris per a donar suport a altres de més petits, va detenir el desenvolupament del projecte.

No obstant això, la idea va sobreviure i el 1995 es va signar un acord per tal de finançar un estudi detallat per a la instal·lació d'una font de llum de sincrotró a Espanya entre els Governos espanyol i català. Per a dur a terme aquest estudi es va reunir un petit grup de persones. Al principi, aquest grup es va incorporar com una nova divisió de l'Institut de Física d'Altes

Underground service gallery, used to route all services from the Technical to the main ALBA building.

Galería de servicio subterránea, que se usa para transportar todos los servicios del edificio técnico al edificio principal de ALBA.

Galeria de servei subterrània, que s'usa per a transportar tots els serveis de l'edifici tècnic a l'edifici principal d'ALBA.



Catalan Administration and the “Universitat Autònoma de Barcelona”. The principal mission of this Consortium, named “Laboratori de Llum de Sincrotró”, was to promote the establishment of a synchrotron light source as an essential component of the Spanish infrastructure for research and development.

The detailed study commissioned by the Spanish and the Catalan administrations was carried out by the “Laboratori de Llum de Sincrotró” and published at the beginning of 1998. This was followed by several years of positive evaluations of the project by independent experts and on the 14th of March 2002 a formal protocol between the Spanish and Catalan Governments was signed. The protocol envisaged the funding with equal shares of a synchrotron light source in the municipality of Cerdanyola del Vallès, at some 20 km from the centre of Barcelona, and next to the campus of the “Universitat Autònoma de Barcelona” in Bellaterra. The protocol was signed on occasion of the European Union Conference of Prime Ministers in Barcelona, with the assistance of the President of the Spanish Government Mr. José M. Aznar, by the President of the “Generalitat de Catalunya”, Mr. Jordi Pujol, and the Spanish Minister of Science and Technology, Mrs. Anna Birulés. Exactly one year later, i.e. on the 14th March of 2003, both administrations had created the Consortium for the Construction, Equipment and Exploitation of a Synchrotron Light Laboratory, CELLS, and had established the structure of its governance consist-

(IFAE). El IFAE es un consorcio entre la “Universitat Autònoma de Barcelona” y la “Generalitat de Catalunya” que fue creado para promover la Física de Altas Energías y colaborar con el CERN. Más tarde, la División de Luz de Sincrotrón se convirtió en un consorcio por derecho propio entre la Administración Catalana y la “Universitat Autònoma de Barcelona”. La misión principal de este consorcio, llamado “Laboratori de Llum de Sincrotró”, era promover la creación de una fuente de luz de sincrotrón como un componente esencial de la infraestructura española para la investigación y el desarrollo.

El estudio detallado encargado por las administraciones española y catalana fue llevado a cabo por el “Laboratori de Llum de Sincrotró” y publicado a principios de 1998. Esto fue seguido por varios años de evaluaciones positivas del proyecto por parte de expertos independientes y el 14 de marzo de 2002 se firmó un protocolo oficial entre los Gobiernos español y catalán. El protocolo preveía la financiación a partes iguales de una fuente de luz de sincrotrón en el municipio de Cerdanyola del Vallès, a unos 20 km del centro de Barcelona, y junto al campus de la “Universitat Autònoma de Barcelona”, en Bellaterra. El protocolo fue firmado en ocasión de la Conferencia de la Unión Europea de Primeros Ministros de Barcelona, con la asistencia del Presidente del Gobierno Español Sr. José M. Aznar, por el Presidente de la Generalitat de Catalunya, Sr. Jordi Pujol, y la Ministra española de Ciencia y Tecnología, Sra. Anna Birulés.

d'Energies (IFAE). L'IFAE és un consorci entre la Universitat Autònoma de Barcelona i la Generalitat de Catalunya que va es va crear per a promoure la Física d'Altes Energies i col·laborar amb el CERN. Més tard, la Divisió de Llum de Sincrotró es va convertir en un consorci de dret propi entre l'Administració catalana i la Universitat Autònoma de Barcelona. La missió principal d'aquest consorci, anomenat “Laboratori de Llum de Sincrotró”, era promoure la creació d'una font de llum de sincrotró com un component essencial de la infraestructura espanyola per a la investigació i el desenvolupament.

L'estudi detallat encarregat per les administracions espanyola i catalana es va dur a terme pel “Laboratori de Llum de Sincrotró” i va ser publicat a principis de 1998. A aquest fet li van seguir de diversos anys d'avaluacions positives del projecte per part d'experts independents, i el 14 de març de 2002 es va signar un protocol oficial entre els Governes espanyol i català. El protocol preveia el finançament a parts iguals d'una font de llum de sincrotró al municipi de Cerdanyola del Vallès, a uns 20 km del centre de Barcelona, i al costat del campus de la Universitat Autònoma de Barcelona, a Bellaterra. El protocol es va signar en ocasió de la Conferència de la Unió Europea de Primers Ministres de Barcelona, amb l'assistència del President del Govern Espanyol, el Sr. José M. Aznar, pel President de la Generalitat de Catalunya, Sr. Jordi Pujol, i de la Ministra espanyola de Ciència i Tecnologia, la Sra. Anna Birulés. Exactament un any després, el

ing of a Governing Council, or “Consejo Rector” and an Executive Commission, or “Comisión Ejecutiva”. The “Consejo Rector” is constituted by 4 delegates from each administration and the Chairperson of the “Comisión Ejecutiva”. The Chair of the “Consejo Rector” rotates annually between the Spanish and the Catalan ministers responsible for research that, currently, are the Spanish Minister for Science and Innovation and the Catalan Minister for Innovation, Universities and Enterprises. The more reduced “Comisión Ejecutiva” is made up by two members of the “Consejo Rector” from each administration, its Chairperson and the Director of the Consortium.

In June 2003 the first meeting of the “Consejo Rector” took place and in October 2003 the activity of CELLS commenced with the start of the build up of personnel recruitment and, also, with the appointment of two very important Advisory Bodies: the Machine Advisory Committee (i.e. MAC: a high level group of international experts in the field of accelerator’s science and technology) and the Scientific Advisory Committee (i.e. SAC: a high level group of international experts in the field of synchrotron light science and beamline technologies). MAC and SAC have been meeting about twice a year with CELLS management and staff and, throughout the construction of ALBA; they have advised on the scientific and technical objectives of the facility and have monitored progress in the complex of accelerators and in the beamlines.

Exactamente un año después, es decir, el 14 de marzo de 2003, ambas administraciones crearon el Consorcio para la Construcción, Equipamiento y Explotación del Laboratorio de Luz Sincrotrón, CELLS, y establecieron la estructura de su gobierno, consistente en un Consejo Rector y una Comisión Ejecutiva. El Consejo Rector está constituido por 4 vocales de cada administración y el Presidente de la Comisión Ejecutiva. La presidencia del Consejo Rector alterna anualmente entre los ministros español y catalán responsables de la investigación que, actualmente, son la ministra española de Ciencia e Innovación y el ministro catalán de Innovación, Universidades y Empresa. La más reducida Comisión Ejecutiva está formada por dos miembros del Consejo Rector de cada administración, su Presidente y el Director del Consorcio.

En junio de 2003 tuvo lugar la primera reunión del Consejo Rector y en octubre de 2003 comenzó la actividad del CELLS con el inicio de la contratación de personal y, también, con el nombramiento de dos órganos consultivos muy importantes, el Comité Asesor de la Máquina (MAC, un grupo de expertos internacionales de alto nivel en el ámbito de la ciencia y la tecnología de los aceleradores) y el Comité Asesor Científico (SAC, un grupo de expertos internacionales de alto nivel en el campo de la ciencia de la luz de sincrotrón y las tecnologías de las líneas de luz). El MAC y el SAC se han reunido dos veces al año con los responsables del CELLS y, siguiendo la construcción de ALBA, han asesorado

14 de març de 2003, ambdues administracions van crear el Consorci per a la Construcció, Equipament i Explotació del Laboratori de Llum de Sincrotró, CELLS, i en van establir l’estructura de govern, el qual consisteix en un Consell Rector i una Comissió Executiva. El Consell Rector està constituït per 4 vocals de cada administració i pel President de la Comissió Executiva. La presidència del Consell Rector alterna anualment entre els ministres i consellers responsables de la investigació, els quals actualment són la Ministra espanyola de Ciència i Innovació i el Conseller català d’Innovació, Universitats i Empresa. La Comissió Executiva més reduïda està formada per dos membres del Consell Rector de cada administració, el seu President i el Director del Consorci.

El juny del 2003 va tenir lloc la primera reunió del Consell Rector i a l’octubre del 2003 va començar l’activitat del CELLS amb l’inici de la contractació de personal, així com el nomenament de dos òrgans consultius molt importants, el Comitè Assessor de la Màquina (MAC, un grup d’experts internacionals d’alt nivell en l’àmbit de la ciència i la tecnologia dels acceleradors) i el Comitè Assessor Científic (SAC, un grup d’experts internacionals d’alt nivell en el camp de la ciència de la llum de sincrotró i les tecnologies de les línies de llum). El MAC i el SAC s’han estat reunint dues vegades a l’any amb els responsables del CELLS i, fent el seguiment de la construcció d’ALBA, han assessorat sobre els objectius científics i tècnics de la instal·lació, així com super-

Behind the creation of CELLS there were several objectives, namely: to develop a multidisciplinary internationally competitive community of synchrotron light users; to acquire and develop know-how in accelerator science and technology; to acquire a large scientific installation of international standing, and; to stimulate the involvement of Spanish companies in the development of advanced instrumentation, both during the construction and in the subsequent exploitation phase that is expected to have a life span of ca. 30 years. The technologies involved are varied and applicable to many other domains, namely: civil engineering; high precision mechanical engineering; electrical engineering; electronics engineering; computing and controls; diagnostics; radiofrequency; ultra-high vacuum; high precision magnetic structures (including superconducting systems); cryogenics; optics; data acquisition systems, and; a long etc.

The initial intention was that ALBA’s capital project would only include 5 beamlines in the first phase. This scenario led to a total budget estimate, i.e. covering investment, personnel and operational costs, for years 2003-2008 of ca. 163 M€. There also was the awareness that ALBA, like almost any other large-scale facility, might have significant socio-economic benefits that extend its usefulness beyond the production of scientific knowledge. So, it was on the basis of that initial budget estimate that in 2003 the experienced economist Prof. José García-Montalvo and a team that he di-

sobre los objetivos científicos y técnicos de la instalación y han supervisado el progreso en el complejo de aceleradores y en las líneas de luz.

Detrás de la creación del CELLS hubo varios objetivos, a saber: el desarrollo de una comunidad multidisciplinar de usuarios de luz de sincrotrón competitiva a nivel internacional; adquirir y desarrollar conocimientos en ciencia y tecnología de aceleradores; disponer de una instalación científica de gran prestigio internacional; y estimular la participación de empresas españolas en el desarrollo de instrumentación avanzada, tanto durante la construcción como en la fase de explotación posterior, que se espera tenga una vida útil de aproximadamente 30 años. Las tecnologías involucradas son variadas y aplicables a muchos otros ámbitos, a saber: ingeniería civil, ingeniería mecánica de alta precisión, ingeniería eléctrica, ingeniería electrónica, informática y control; diagnóstico; radiofrecuencia; ultra-alto vacío; estructuras magnéticas de alta precisión (incluidos sistemas superconductores); criogenia; óptica; sistemas de adquisición de datos; y un largo etcétera.

La intención inicial era que en el presupuesto total del proyecto ALBA sólo se incluirían 5 líneas de luz en la primera fase. Esta situación condujo a una estimación del presupuesto total, es decir, que cubriera la inversión, el personal y los gastos operacionales, para los años 2003-2008 de aproximadamente 163 M€. Hubo, también, el convencimiento de que

visat el progrés del complex d’acceleradors i de les línies de llum.

Darrere la creació del CELLS hi havia diversos objectius, concretament: el desenvolupament d’una comunitat competitiva multidisciplinària i internacional d’usuaris de llum de sincrotró; l’adquisició i el desenvolupament dels coneixements en la ciència i la tecnologia d’acceleradors; la disponibilitat d’una instal·lació científica de gran prestigi internacional; l’estimulació i la implicació d’empreses espanyoles en el desenvolupament d’instrumentació avançada, tant durant la fase de construcció com en la subsegüent fase d’explotació, que s’espera tingui una vida útil d’aproximadament 30 anys. Les tecnologies involucrades són variades i aplicables a molts altres àmbits, com ara: l’enginyeria civil, l’enginyeria mecànica d’alta precisió, l’enginyeria elèctrica, l’enginyeria electrònica, la informàtica i el control; el diagnòstic; la radiofreqüència; l’ultra-alt buit; les estructures magnètiques d’alta precisió (incloent-hi els sistemes superconductors); la criogènia; l’òptica; els sistemes d’adquisició de dades; i un llarg etcètera.

La intenció inicial era que en el presupost total del projecte ALBA només s’inclourien 5 línies de llum en la primera fase. Aquesta situació va conduir a una estimació del pressupost total, és a dir, que cobria la inversió, el personal i les despeses operacionals, pels anys 2003-2008 d’uns 163 M€. A més, hi havia el convenciment que ALBA, com gairebé qualsevol altra instal·lació de gran esca-

Technical area where cooling water is produced and pumped to the different systems of the ALBA facility.

Sala de máquinas donde se produce y bombea el agua de refrigeración hacia los distintos sistemas del complejo ALBA.

Sala de màquines on es produïx i es bombeja l'aigua de refrigeració cap als diferents sistemes del complex ALBA.



rected were commissioned to carry out a cost/benefit analysis of ALBA as well as a study of its economic impact.

Taking as a starting point some reasonable hypothesis, e.g. that ALBA's scope was comparable to that of facilities such as the Canadian Light Source or the Australia's Synchrotron, García-Montalvo and his team concluded that in a basic scenario (with a discount rate of 4% and an inflation rate of 2.5%) the project had an expected internal rate of return of 6.5%, a net actualized value of 58.5 M€ and a benefit/cost ratio of 1.14. The indicators of the economic analysis were an internal rate of return of 9.4%, a net actualized value of 140.9 M€ and a benefit/cost ratio of 1.29. During the construction phase (i.e. from year 2003 until year 2008), and within Spain, there was a prediction of an economic impact of 266 M€ (at 2003 value!) on the production; an added value of 140 M€, and; an annual average number of working positions of 463. During the expected lifetime of operations of the facility (i.e. from year 2009 until year 2033) the corresponding figures were 735 M€, 417 M€ and 257, respectively.

In 2006, a number of circumstances led to the revision of the capital cost. On the one hand, having gone through the process of beamline selection for the first phase of ALBA, the SAC recommended that given the quality of the proposals there was a strong case to initially build 7 rather than 5 beamlines. This was accepted by the Governing

ALBA, como casi cualquier otra instalación a gran escala, podría tener importantes beneficios socio-económicos que se extendieran más allá de su utilidad para la producción de conocimiento científico. Así que, sobre la base de la estimación presupuestaria inicial, en 2003 el experto economista Prof. José García-Montalvo y un equipo que dirigió recibieron el encargo de llevar a cabo un análisis coste/beneficio de ALBA, así como un estudio de su impacto económico.

Tomando como punto de partida algunas hipótesis razonables, por ejemplo, que el impacto de ALBA era comparable al de instalaciones similares como la Fuente de Luz de Sincrotrón de Canadá o de Australia, García-Montalvo y su equipo concluyeron que, en un escenario básico (con una tasa de descuento del 4% y una tasa de inflación del 2,5%), el proyecto tendría una tasa interna de retorno esperada del 6,5%, un valor actualizado neto de 58,5 M€ y una relación beneficio/coste de 1,14. Los indicadores del análisis económico fueron una tasa interna de retorno del 9,4%, un valor actualizado neto de 140,9 M€ y una relación beneficio/coste de 1,29. Durante la fase de construcción (es decir, desde el año 2003 hasta el año 2008), y para España, había una predicción de un impacto económico de 266 M€ (en valor de 2003) en la producción, un valor añadido de 140 M€, y, un promedio anual de 463 puestos de trabajo. Durante el tiempo de vida esperado de funcionamiento de la instalación (es decir, desde el año 2009 hasta el año 2033) las cifras correspon-

la, podría tener beneficios socioeconómicos significativos que s'estenguessin més enllà de la seva utilitat per a la producció de coneixement científic. Així, sobre la base de l'estimació pressupostària inicial, el 2003 es va encarregar a l'expert economista Prof. José García-Montalvo i a un equip que dirigia, realitzar de portar a terme una anàlisi dels costos/beneficis d'ALBA, així com un estudi del seu impacte econòmic.

Prenent com a punt de partida algunes hipòtesis raonables com que l'impacte d'ALBA era comparable al d'instal·lacions similars com la Font de Llum de Sincrotró de Canadà o d'Austràlia, García-Montalvo i el seu equip van concloure que, en un escenari bàsic (amb una taxa de descompte del 4% i una taxa d'inflació del 2,5%), el projecte tindria una taxa interna de retorn esperada de 6,5%, un valor actualitzat net de 58,5 M€ i una relació benefici/cost de 1,14. Els indicadors de l'anàlisi econòmica van ser una taxa interna de retorn del 9,4%, un valor actualitzat net de 140,9 M€ i una relació benefici/cost de 1,29. Durant la fase de construcció (és a dir, des de l'any 2003 fins a l'any 2008), i per a Espanya, es feia una predicció d'un impacte econòmic de 266 M€ (en valor de 2003) en la producció, un valor afegit de 140 M€, i una mitjana anual de de 463 llocs de treball. Durant el temps de vida de funcionament esperat de la instal·lació (des de l'any 2009 fins a l'any 2033) les xifres corresponents serien de 735 M€, 417 M€ i 257, respectivament.



Council of ALBA, and the budget for the construction of two more beamlines was incorporated into the budget baseline for the capital project. In addition, partly due to the choice of site for ALBA on a green field site and partly due to the fact that the project only started very late in 2003 (“de facto” the project started at the beginning of 2004 when critical personnel could take up their position), the Governing Council of ALBA also decided that the costs for year 2009 should be considered as part of the capital project. The combination of these two events led the Governing Council to approve a new budget envelope of ca. 201 M€ from year 2003 to year 2009. This budget includes, of course, investment, personnel and running costs. At the same time, the annual running budget of the facility was estimated to be around 16 M€, including the salaries of some 140 people. Since then, the development of ALBA has followed the revised schedule and has remained on budget.

During the early years of the capital project the activities of ALBA's staff were carried out in provisional barracks and at a workshop in the neighbouring campus of the “Universitat Autònoma de Barcelona”. This was necessary because the groundbreaking on ALBA's site was only initiated in May 2006 after two years of detailed design work of the building and its associated services. Naturally, CELLS staff also had to develop the detailed design of the accelerator complex and of the beamlines and that was done at the provisional “Universitat Autònoma

dientes fueron de 735 M€, 417 M€ y 257, respectivamente.

En 2006, una serie de circunstancias llevaron a la revisión del coste total. Por un lado, después de haber pasado por el proceso de selección de líneas de luz para la primera fase de ALBA, el SAC recomendó que, dada la calidad de las propuestas, era muy conveniente construir inicialmente 7 líneas de luz en vez de 5. Esto fue aceptado por el Consejo Rector de ALBA, y el proyecto de presupuesto para la construcción de dos líneas de luz adicionales se incorporó al presupuesto inicial. Además, en parte debido a la elección del emplazamiento de ALBA en un sitio aislado y en parte debido al hecho de que el proyecto no comenzó hasta muy avanzado el 2003 (de hecho el proyecto se inició a principios de 2004, cuando el personal básico empezó a incorporarse), el Consejo Rector de ALBA también decidió que los gastos para el año 2009 debían ser considerados como parte del presupuesto de inversión total. La combinación de estos dos aspectos llevó al Consejo Rector a aprobar una dotación presupuestaria total de 201 M€ del año 2003 al año 2009. Este presupuesto incluye, por supuesto, la inversión, el personal y los gastos de funcionamiento. Al mismo tiempo, el presupuesto anual de funcionamiento de la instalación se estimó en alrededor de 16 M€, incluidos los sueldos de alrededor de 140 personas. Desde entonces, el desarrollo de ALBA ha seguido el calendario revisado y se ha mantenido dentro del presupuesto.

El 2006, una sèrie de circumstàncies van dur a la revisió del pressupost total. D'una banda, havent passat pel procés de selecció de línies de llum de la primera fase d'ALBA, el SAC va recomanar que, atesa la qualitat de les propostes, era molt convenient construir inicialment 7 línies de llum en comptes de 5. Això va ser acceptat pel Consell Rector d'ALBA, i el pressupost del projecte per a la construcció de dues línies de llum addicionals es va incorporar al pressupost inicial. A més a més, en part com a resultat de l'elecció de l'emplaçament d'ALBA en un lloc aïllat i en part com a resultat del fet que el projecte no va començar fins ben avançat el 2003 (de fet el projecte es va iniciar a principis de 2004, quan el personal bàsic es va començar a incorporar), el Consell Rector d'ALBA també va decidir que les despeses per a l'any 2009 havien de ser considerades com part del pressupost d'inversió total. La combinació d'aquests dos aspectes va dur al Consell Rector a aprovar una dotació pressupostària total de 201 M€ de l'any 2003 a l'any 2009. Aquest pressupost incloïa la inversió, el personal i les despeses de funcionament. Al mateix temps, el pressupost anual de funcionament de la instal·lació es va estimar al voltant de 16 M€, incloent-hi els sous d'unes 140 persones. Des d'aleshores, el desenvolupament d'ALBA ha seguit el calendari revisat i s'ha mantingut dins el pressupost.

Durant els primers anys del projecte les activitats del personal d'ALBA es van portar a terme en barracots provisionals i

de Barcelona” site. In April 2009, the buildings were ready for occupation and CELLS staff migrated to their new quarters. However, well before that happened, i.e. during the summer of 2008, the linear accelerator was installed in its bunker and its commissioning completed.

At present, after launching more than 200 major calls for tender and supervising the execution of the corresponding contracts signed with a wide array of specialized companies, the building and the conventional installations are finished, practically all the accelerator components have been produced, tested, delivered and installed. Year 2010 will be mostly occupied with commissioning and towards its end it is expected that ALBA will deliver synchrotron light.

Durante los primeros años del proyecto las actividades del personal de ALBA se llevaron a cabo en barracones provisionales y en un taller del campus de la “Universitat Autònoma de Barcelona”. Esto fue necesario porque las obras de ALBA no empezaron hasta mayo de 2006, tras dos años de trabajo de diseño detallado del edificio y de sus servicios asociados. Naturalmente, el personal del CELLS también tuvo que desarrollar el diseño detallado del complejo de aceleradores y de las líneas de luz en la instalación provisional de la “Universitat Autònoma de Barcelona”. En abril de 2009 los nuevos edificios estaban listos para la ocupación y el personal del CELLS migró a sus nuevas instalaciones. Sin embargo, mucho antes de que eso sucediera, es decir, durante el verano de 2008, el acelerador lineal se instaló en su búnker y se completó su puesta en marcha.

En la actualidad, después del lanzamiento de más de 200 licitaciones públicas y de la supervisión de la ejecución de los correspondientes contratos firmados con una amplia gama de empresas especializadas, la construcción y las instalaciones convencionales se han terminado y prácticamente todos los componentes del acelerador se han fabricado, probado, entregado e instalado. El año 2010 será principalmente dedicado a la puesta en marcha y se espera que, a finales de año, ALBA empiece a producir luz de sincrotrón.

en un taller en el campus de la Universitat Autònoma de Barcelona. Això va ser necessari perquè les obres d'ALBA només es van iniciar al maig del 2006, després de dos anys de treball de disseny detallat de l'edifici i dels seus serveis associats. Naturalment, el personal del CELLS també va haver de desenvolupar el disseny de detall del complex d'acceleradors i de les línies de llum en la instal·lació provisional a la Universitat Autònoma de Barcelona. A l'abril de 2009 els nous edificis estaven disponibles per a l'ocupació i el personal del CELLS es va traslladar a les seves noves instal·lacions. No obstant això, molt abans que això succeís, durant l'estiu de 2008, l'accelerador lineal es va instal·lar en el seu búnquer i es va completar la seva posada en marxa.

A l'actualitat, després del llançament de més de 200 licitacions públiques i de la supervisió de l'execució dels corresponents contractes signats amb una àmplia gamma d'empreses especialitzades, la construcció i les instal·lacions convencionals han acabat, i pràcticament tots els components dels acceleradors s'han fabricat, provat, lliurat i instal·lat. L'any 2010 es dedicarà principalment a la posada en marxa, i s'espera que, a la fi d'any, ALBA comenci a produir llum de sincrotró.





The nature of Synchrotron Light

La naturaleza de la luz de sincrotrón / La naturaleza de la llum de sincrotró

Movement operation into the tunnel of the storage ring girders, onto which some of the magnets have been assembled previously.

Operación de traslado y montaje al interior del túnel de las vigas de soporte del anillo de almacenamiento, sobre las que previamente se ha montado parte de los imanes.

Operació de trasllat i muntatge a l'interior del túnel de les bigues de suport de l'anell d'emmagatzematge, sobre les quals, prèviament, s'ha muntat part dels imants.



The nature of Synchrotron Light

When in the second half of the 19th century James Clerk Maxwell derived the equations named after him, i.e. Maxwell's equations, he described in a unified way the laws that rule electric and magnetic phenomena and, in addition, he clarified the nature of visible light as electromagnetic radiation, i.e. propagating orthogonal electric and magnetic fields oscillating with a certain wavelength - or frequency, or energy. It is well known now that the wavelengths in visible light are only a small fraction of the total range of wavelengths present in the full spectrum of electromagnetic radiation that continuously spans from the very long wavelengths of radio or TV waves to the very short ones characteristic of X-rays and gamma rays.

Implicit in Maxwell's equations there is an explanation for the fact that whenever a charged object undergoes acceleration, the object loses energy in the form of electromagnetic radiation, i.e. "light". In fact, light generated in this manner has been in existence probably since the beginning of the universe. It is known indeed that the emission of electromagnetic radiation (e.g. X-rays) by celestial bodies, such as the Crab Nebula, is produced when charged particles come across magnetic fields that accelerate them. This is also the physical principle behind

La naturaleza de la luz de sincrotrón

Cuando en la segunda mitad del siglo XIX James Clerk Maxwell dedujo las ecuaciones que llevan su nombre, es decir, las ecuaciones de Maxwell, describió de forma unificada las leyes que rigen los fenómenos eléctricos y magnéticos y, además, aclaró la naturaleza de la luz visible como radiación electromagnética, es decir, la propagación de campos eléctricos y magnéticos ortogonales oscilantes, con una determinada frecuencia, o longitud de onda o energía. Es bien sabido ahora que las longitudes de onda de la luz visible son sólo una pequeña fracción del conjunto de longitudes de onda del espectro completo de las radiaciones electromagnéticas que, de manera continua, se extiende desde las longitudes de onda muy largas, de las ondas de radio o de televisión, a las muy cortas, características de los rayos X y rayos gamma.

Implícita en las ecuaciones de Maxwell hay una explicación del hecho de que, cada vez que una partícula cargada se somete a una aceleración, la partícula pierde energía en forma de radiación electromagnética, es decir, luz. De hecho, la luz generada de esta manera ha existido probablemente desde el comienzo del universo. Se sabe, en efecto, que la emisión de radiación electromagnética (rayos X, por ejemplo) por cuerpos ce-

La naturalesa de la llum de sincrotró

Quan a la segona meitat del segle XIX James Clerk Maxwell va deduir les equacions que duen el seu nom, les equacions de Maxwell, va descriure de forma unificada les lleis que regeixen els fenòmens elèctrics i magnètics i, a més, va aclarir la naturalesa de la llum visible com a radiació electromagnètica; és a dir, la propagació de camps elèctrics i magnètics ortogonals oscil·lants, amb una determinada freqüència, o longitud d'ona o energia. És ben sabut ara que les longituds d'ona de la llum visible són només una petita fracció del conjunt de longituds d'ona de l'espectre complet de les radiacions electromagnètiques que, de manera continua, s'estenen des de les longituds d'ona molt llargues, de les ones de ràdio o de televisió, a les molt curtes, característiques dels raigs X i raigs gamma.

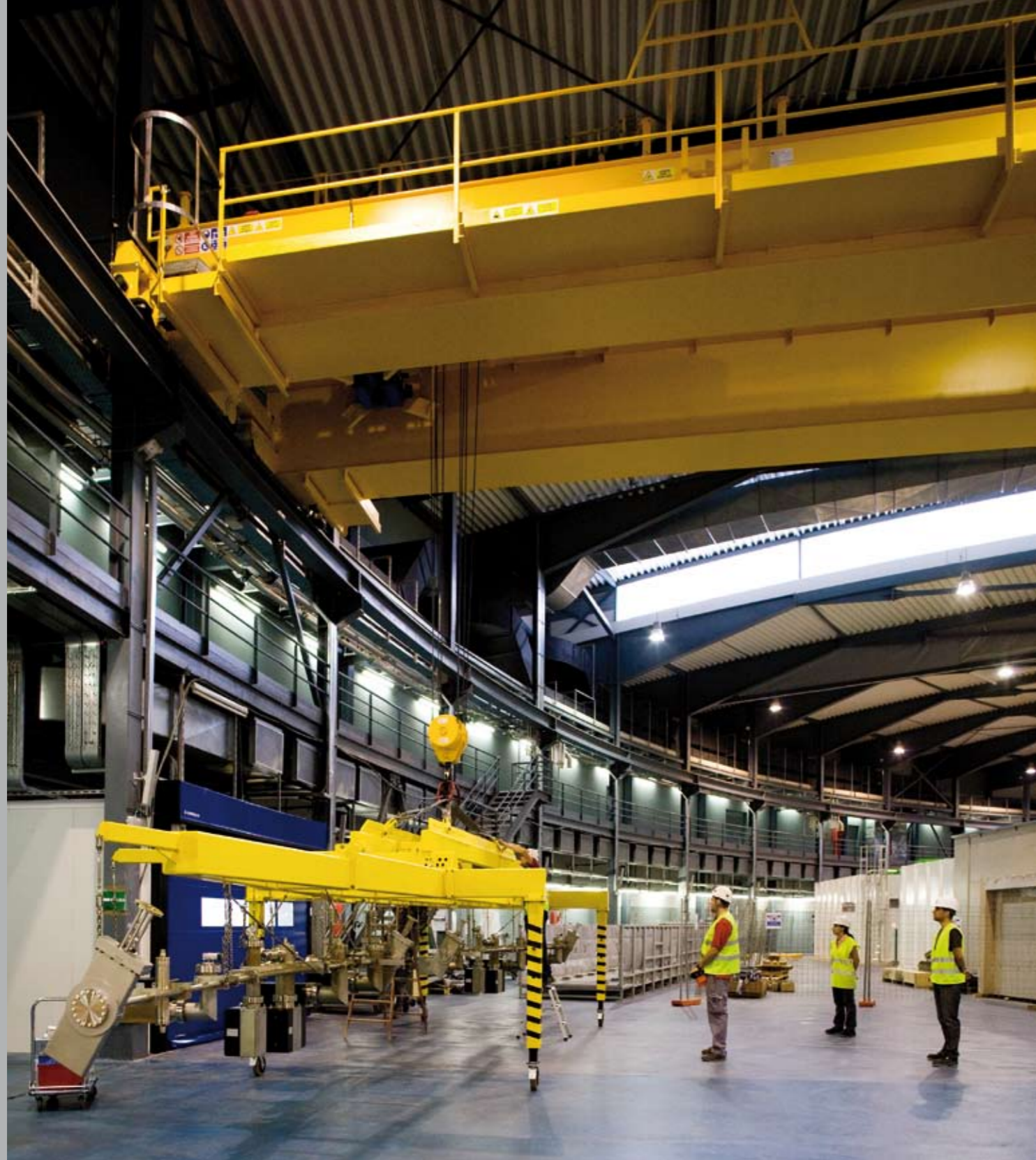
Implícita en les equacions de Maxwell hi ha una explicació del fet que cada vegada que una partícula carregada se sotmet a una acceleració, la partícula perd energia en forma de radiació electromagnètica; és a dir, llum. De fet, la llum generada d'aquesta manera ha existit probablement des del començament de l'univers. Se sap, en efecte, que l'emissió de radiació electromagnètica (raigs X, per exemple) per cossos celestes, com la Nebulosa del Cranc, es produeix



Preparation for the installation into the tunnel of a completely preassembled storage ring vacuum chamber. The chamber is in vacuum condition during the crane operation.

Preparación para instalar una cámara de vacío del anillo de almacenamiento, completamente pre-ensamblada, en el interior del túnel. La cámara se mantiene en condiciones de vacío durante la manipulación con la grúa.

Preparació per a instal·lar una càmera de buit de l'anell d'emmagatzematge, completament pre-ensamblada, a l'interior del túnel. La càmera es manté en condicions de buit durant la manipulació amb la grua.



the production of synchrotron light by particle accelerators. Synchrotron light is produced when within an accelerator the circulating bunches of charged particles (typically electrons, although positrons have also been used) are accelerated by the dipolar magnetic fields that are used to curve their trajectory in order to keep them within the confines of a near circular orbit.

Nowadays synchrotron light has been harnessed and, primarily due to its unprecedented brilliance, synchrotron light facilities have become a major research tool. Why brilliance of a light source is the key to its usefulness is adequately described by Liouville's principle that shows that once the instrumental requirements of wavelength resolution, momentum resolution, spatial resolution or time resolution are satisfied, then the brilliance of a source unambiguously determines the statistical precision with which an experimental observation can be made. As the brilliance of synchrotron light is so much greater than that of more conventional sources it follows that the precision of the measurement is also many orders of magnitude greater, this being the essential reason why synchrotron light sources are today absolutely necessary for competitive fundamental or applied research.

So, why is synchrotron light so bright? According to Maxwell's equations if the

lestes, como la Nebulosa del Cangrejo, se produce cuando partículas cargadas atraviesan campos magnéticos que las aceleran. Éste es también el principio de la física que hay detrás de la producción de luz sincrotrón por los aceleradores de partículas. La luz de sincrotrón se produce cuando, en un acelerador circular, los paquetes de partículas cargadas (generalmente electrones, aunque también se han utilizado positrones) son acelerados por los campos magnéticos dipolares que se utilizan para curvar su trayectoria, a fin de mantenerlos dentro de los límites de una órbita aproximadamente circular.

Hoy en día la luz de sincrotrón ha sido aprovechada, sobre todo debido a su brillantez sin precedentes, en las instalaciones de luz de sincrotrón que se han convertido en una herramienta de investigación. El porqué el brillo de una fuente de luz es clave para su utilidad se describe adecuadamente por el principio de Liouville que muestra que, una vez que las necesidades instrumentales de resolución de longitud de onda, resolución de movimiento, resolución espacial y resolución temporal han sido satisfechas, el brillo de una fuente claramente determina la precisión estadística con la que la observación experimental se puede hacer. Como el brillo de la luz de sincrotrón es mucho mayor que el de las fuentes convencionales, se deduce que la precisión de la medida es también muchos órdenes de magnitud mayor,

quan partícules carregades travessen els camps magnètics que les acceleren. Aquest és també el principi de la física que hi ha darrere de la producció de llum de sincrotró pels acceleradors de partícules. La llum de sincrotró es produeix quan, en un accelerador circular, els paquets de partícules carregades (generalment electrons, encara que també s'han utilitzat positrons) són accelerades pels camps magnètics dipolars que s'utilitzen per a corbar la seva trajectòria, a fi de mantenir-los dins dels límits d'una òrbita gairebé circular.

Avui dia la llum de sincrotró ha estat aprofitada, sobretot atesa la seva brillantor sense precedents, en les instal·lacions de llum de sincrotró que s'han convertit en una eina d'investigació. El motiu pel qual la brillantor d'una font de llum és clau per a la seva utilitat es descriu adequadament pel principi de Liouville que demostra que tan bon punt les necessitats instrumentals de resolució de longitud d'ona, de resolució de moviment, de resolució espacial i de resolució temporal estan satisfetes, llavors la brillantor d'una font clarament determina la precisió estadística amb la qual es pot fer l'observació experimental. Com la brillantor de la llum de sincrotró és molt més gran que la de les fonts convencionals, es dedueix que la precisió de la mesura és també de molts ordres de magnitud major, essent aquesta la raó essencial per la qual actualment les fonts de llum de sincrotró



At the center of the picture a side view of a LINAC accelerating section (long blue cylinder) is shown.

En el centro de la imagen se muestra una sección aceleradora del LINAC (cilindro azul alargado).

Al centre de la imatge es mostra una secció acceleradora del LINAC (cilindre blau allargat).



electrons were travelling at relatively low speeds one would expect the radiation to be like that emitted by an antenna, i.e. a classical dipole emission, and, therefore, emitted over a broad range of angles, i.e. a quasi-isotropic emission. However, if the light source travels towards the observer at velocities that are comparable to the speed of light, then because of relativistic distortions in the system of coordinates of the travelling object relative to that of the observer, the cone of emission collapses into a very narrow one. As the particles in an accelerator are travelling at speeds close to that of light then the light they produce will be confined within a cone in the direction of propagation of the particles that can be contained within fractions of a milliradian.

Also, one would expect the emitted radiation to have a frequency, or wavelength, close to that of the revolution frequency of the electron bunches around the accelerator orbit. In other words, one would expect light in the wavelengths of the long infrared. However, here the Doppler effect comes into play and in line with the common experience of hearing the sound of a car horn shifting towards higher pitches, i.e. frequencies, when the car accelerates towards us, the frequency of the light emitted is shifted all the way towards frequencies characteristic of X-rays or, even, gamma rays. How far this frequency shift will extend depends on how high is the circulating velocity of

siendo ésta la razón esencial por la que las fuentes de luz de sincrotrón, en la actualidad, son absolutamente imprescindibles para la investigación competitiva, fundamental o aplicada.

¿Por qué es la radiación de sincrotrón tan brillante? De acuerdo con las ecuaciones de Maxwell, si los electrones viajan a velocidades relativamente bajas se esperaría que la radiación fuera como la emitida por una antena, es decir, la clásica emisión de un dipolo y, por tanto, emitida sobre una amplia gama de ángulos, de manera casi isotrópica. Sin embargo, si la fuente de luz viaja hacia el observador a velocidades comparables a la de la luz entonces, debido a las distorsiones relativistas en el sistema de coordenadas del objeto que viaja con respecto al del observador, la emisión colapsa en un cono muy estrecho. Como las partículas en un acelerador se mueven a velocidades cercanas a la de la luz, la luz que producen estará confinada en un cono en la dirección de propagación de las partículas que puede ser de fracciones de miliradián.

Asimismo, cabría esperar que la radiación emitida tuviera una frecuencia o longitud de onda cercana a la frecuencia de revolución de los paquetes de electrones en órbita alrededor del acelerador. En otras palabras, sería de esperar luz en las longitudes de onda del infrarrojo lejano. Sin embargo, aquí entra en juego el efecto Doppler y, al igual que con la experiencia

són absolutament necessàries per a la investigació competitiva, fonamental o aplicada.

Per què la radiació de sincrotró és tan brillant? Segons les equacions de Maxwell, si els electrons viatgen a velocitats relativament baixes és d'esperar que la radiació sigui com la que emet una antena, en altres paraules, la clàssica emissió d'un dipol i, per tant, emesa sobre una àmplia gamma d'angles, de manera gairebé isotròpica. No obstant això, si la font de llum viatja cap a l'observador a velocitats comparables a la velocitat de la llum, llavors, ateses les distorsions relativistes en el sistema de coordenades de l'objecte que viatja pel que fa al de l'observador, l'emissió col·lapsa en un con molt estret. Com les partícules en un accelerador es mouen a velocitats properes a la velocitat de la llum, la llum que produeixen estarà confinada en un con en la direcció de propagació de les partícules, que pot ser de fraccions de mil·liradian.

Així mateix, cabria esperar que la radiació emesa tingués una freqüència o longitud d'ona propera a la freqüència de revolució dels paquets d'electrons en òrbita al voltant de l'accelerador. En altres paraules, seria d'esperar llum en les longituds d'ona de l'infraroig llunyà. No obstant això, aquí entra en joc l'efecte Doppler i, igual que amb l'experiència comuna de sentir com el so d'una sirena

Side view of the LINAC-to-booster transfer line, seen from the LINAC bunker.

Vista lateral de la línea de transferencia LINAC-booster, vista desde el búnker del LINAC.

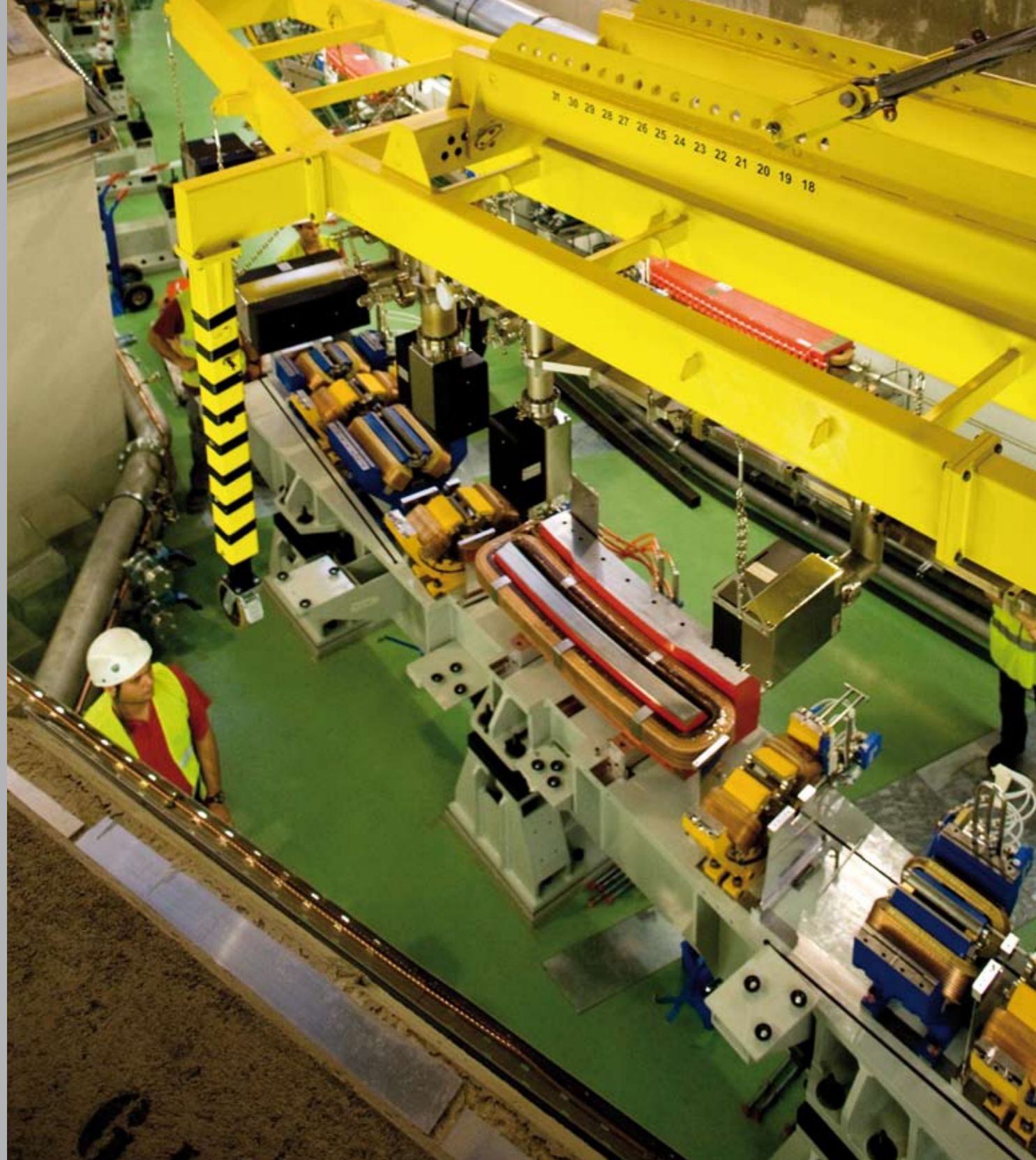
Vista lateral de la línea de transferencia LINAC-booster, vista desde el búnquer del LINAC.



Top view of a storage ring sector, with the upper half of the magnets removed for the installation of the vacuum chamber.

Vista superior de un sector del anillo de almacenamiento, con la mitad superior de los imanes extraída para la instalación de la cámara de vacío.

Vista superior d'un sector de l'anell d'emmagatzematge, amb la meitat superior dels imants extreta per a la instal·lació de la càmera de buit.



the particles in the accelerator or, in other words, depends on their energy.

The two conditions described above mean that a very broad range of wavelengths is delivered, i.e. synchrotron light is “white”, and that the emission is contained within a very narrow angular aperture. In addition, the size of the light source is given by the size of the electron bunch. In a modern accelerator the latter can have a cross-section of only a few tens of micrometers. The combination of a small source and a small angle of emission implies an extremely high brilliance (it should be noted that brilliance is a measure of the flux of photons emitted per unit area and unit solid angle within a certain wavelength bandpass) and the very broad range of wavelengths available means that this very high brilliance extends over a large range of the electromagnetic spectrum. In practice, the brilliance of synchrotron light is trillions of times greater than that of other conventional sources of light over most of the range of the electromagnetic spectrum. Moreover, not only the brilliance is very high but synchrotron light is also polarized in the plane of the orbit, something exceptionally useful for the study of magnetic properties of materials, and, as consequence of the electrons travelling in short regular bunches, the light is emitted in very short pulses lasting around a few tens of millionths of millionth of a second. This latter property makes syn-

común de escuchar como el sonido de una sirena se desplaza hacia los tonos, o frecuencias, más altos cuando un coche acelera hacia nosotros, la frecuencia de la luz emitida se desplaza a todo el rango de frecuencias hasta las características de los rayos X o, incluso, de los rayos gamma. Hasta qué punto se extenderá este cambio de frecuencia depende de cuán alta sea la velocidad de circulación de las partículas en el acelerador o, en otras palabras, de su energía.

Las dos condiciones descritas arriba significan que se emite una amplia gama de longitudes de onda, es decir, que la radiación de sincrotrón es “blanca”, y que la emisión se produce en una abertura angular muy estrecha. Además, el tamaño de la fuente de luz viene dado por el tamaño del haz de electrones. En un acelerador moderno éste último puede tener una sección transversal de sólo unas cuantas decenas de micras. La combinación de una pequeña fuente y un ángulo de emisión también pequeño da lugar a una brillantez muy alta (hay que señalar que la brillantez es una medida del flujo de fotones emitidos por unidad de área y unidad de ángulo sólido dentro de un cierto intervalo de longitudes de onda) y el muy amplio rango de longitudes de onda disponible significa que este brillo muy alto se extiende sobre una amplia gama del espectro electromagnético. En la práctica, el brillo de la luz de sincrotrón es billones de veces mayor que el de otras fuentes

es desplaça cap als tons o freqüències més alts quan un cotxe accelera cap a nosaltres, la freqüència de la llum emesa es desplaça a tot el rang de freqüències fins a les característiques dels raigs X o, fins i tot, dels raigs gamma. Fins a quin punt s'estendrà aquest canvi de freqüència depèn de l'alta que sigui la velocitat de circulació de les partícules en l'accelerador o, en altres paraules, depèn de la seva energia.

Les dues condicions descrites prèviament signifiquen que s'emet una àmplia gamma de longituds d'ona, és a dir, que la radiació de sincrotró és “blanca”, i que l'emissió es produeix en una obertura angular molt estreta. A més, la grandària de la font de llum ve donada per la grandària del feix d'electrons. En un accelerador modern aquesta última pot tenir una secció transversal de només unes quantes desenes de micres. La combinació d'una petita font i d'un petit angle d'emissió suposa una brillantor molt elevada (cal assenyalar que la brillantor és una mesura del flux de fotons emesos per unitat d'àrea i unitat d'angle sòlid dintre d'un cert interval de longituds d'ona), i la molt àmplia gamma de longituds d'ona disponible significa que aquesta brillantor tan elevada s'estén sobre una àmplia gamma de l'espectre electromagnètic. A la pràctica, la brillantor de la llum de sincrotró és bilions de vegades més gran que la d'altres fonts convencionals de llum en la major part de

Radiofrequency cavity for the ALBA storage ring. Six cavities like the one shown in the picture are used to keep the electron beam at the nominal energy.

Cavidad de radiofrecuencia para el anillo de almacenamiento de ALBA. Seis cavidades como la mostrada en la imagen se usan para mantener el haz de electrones a su energía nominal.

Cavitat de radiofreqüència per a l'anell d'emmagatzematge d'ALBA. Sis cavitats com la mostrada a la imatge s'usen per a mantenir el feix d'electrons a la seva energia nominal.



chrotron light sources highly suited for the study of short-lived phenomena.

Moreover, in the last few years there have emerged new technologies that characterise the so-called 3rd generation synchrotron light sources. These are accelerators purpose built to produce synchrotron light and their design incorporates long straight sections in between the cells containing the electron optics. In these straight sections the electrons fly freely, i.e. no synchrotron light is emitted. However, these straight sections are used to house multipolar magnetic structures, named insertion devices, which force the electrons to undergo more or less exotic trajectories, the simplest being a sinusoidal one. Depending on the dimensions of the excursions imposed on the electron beams, insertion devices are conceptually sub-divided between wigglers – so named when the excursions imposed on the electrons are large relative to the beam dimensions – and undulators – when the excursions are comparable to the beam dimensions.

The light emitted by these is even brighter than that generated at the bending magnets. In fact, relative to the bending magnets the “white” brilliance of a wiggler approximately increases with the number of poles in the device. In addition, the energy range of available photons is significantly increased. Undulators, on the other hand, emit light that is

convencionales de luz en la mayor parte de la gama del espectro electromagnético. Además, no sólo el brillo es muy alto, sino que la luz de sincrotrón también está polarizada en el plano de la órbita, algo excepcionalmente útil para el estudio de las propiedades magnéticas de los materiales y, como consecuencia de que los electrones viajan en paquetes cortos regulares, la luz es emitida en impulsos de muy corta duración, en torno a unas pocas decenas de millonésimas de millonésima de segundo. Esta última propiedad hace que las fuentes de luz de sincrotrón sean muy adecuadas para el estudio de fenómenos de corta duración.

Por otra parte, en los últimos años han surgido nuevas tecnologías que caracterizan a la llamada 3^a generación de fuentes de luz de sincrotrón. Éstas son aceleradores contruidos especialmente para producir luz de sincrotrón y su diseño incorpora secciones rectas largas entre las celdas que contienen la óptica del haz de electrones. En estas secciones rectas los electrones se propagan en vuelo libre, es decir, no emiten radiación de sincrotrón. Sin embargo, estos tramos rectos se utilizan para insertar estructuras magnéticas multipolares, llamadas dispositivos de inserción, que obligan a los electrones a someterse a trayectorias más o menos exóticas, la más simple de las cuales es una senoide. Dependiendo de las dimensiones de las excursiones impuestas a los haces de electrones, los dispositivos

la gamma de l'espectre electromagnètic. A més, no només la brillantor és molt alta, sinó que la llum de sincrotró també està polaritzada en el pla de l'òrbita, cosa excepcionalment útil per a l'estudi de les propietats magnètiques dels materials i, com a conseqüència que els electrons viatgen en paquets curts i regulars, la llum és emesa en impulsos de molt curta durada, entorn d'unes poques desenes de milionèsimes de milionèsima de segon. Aquesta última propietat fa que les fonts de llum de sincrotró siguin molt adequades per a l'estudi de fenòmens de curta durada.

Per altra banda, en els últims anys han sorgit noves tecnologies que caracteritzen l'anomenada 3a generació de fonts de llum de sincrotró. Aquests són acceleradors construïts especialment per a produir llum de sincrotró i el seu disseny incorpora seccions rectes llargues entre les cel·les que contenen l'òptica del feix d'electrons. En aquestes seccions rectes els electrons volen lliurement, és a dir, no emeten radiació de sincrotró. No obstant això, aquests trams rectes s'utilitzen per a inserir estructures magnètiques multipolars, anomenades dispositius d'inserció, que obliguen als electrons a sotmetre's a trajectòries més o menys exòtiques, la més simple de les quals és una senoide. Depenent de les dimensions de les excursions imposades als feixos d'electrons, els dispositius d'inserció es divideixen conceptualment

Panoramic view of the ALBA tunnel, with the storage ring on the left and the booster on the right (below the air duct). Notice that the two accelerators bend gradually rightwards, following a circular shape.

Vista panoràmica del túnel ALBA, con el anillo de almacenamiento a la izquierda y el "booster" a la derecha (bajo el conducto de aire). Obsérvese que los dos aceleradores se curvan gradualmente hacia la derecha, describiendo una trayectoria circular.

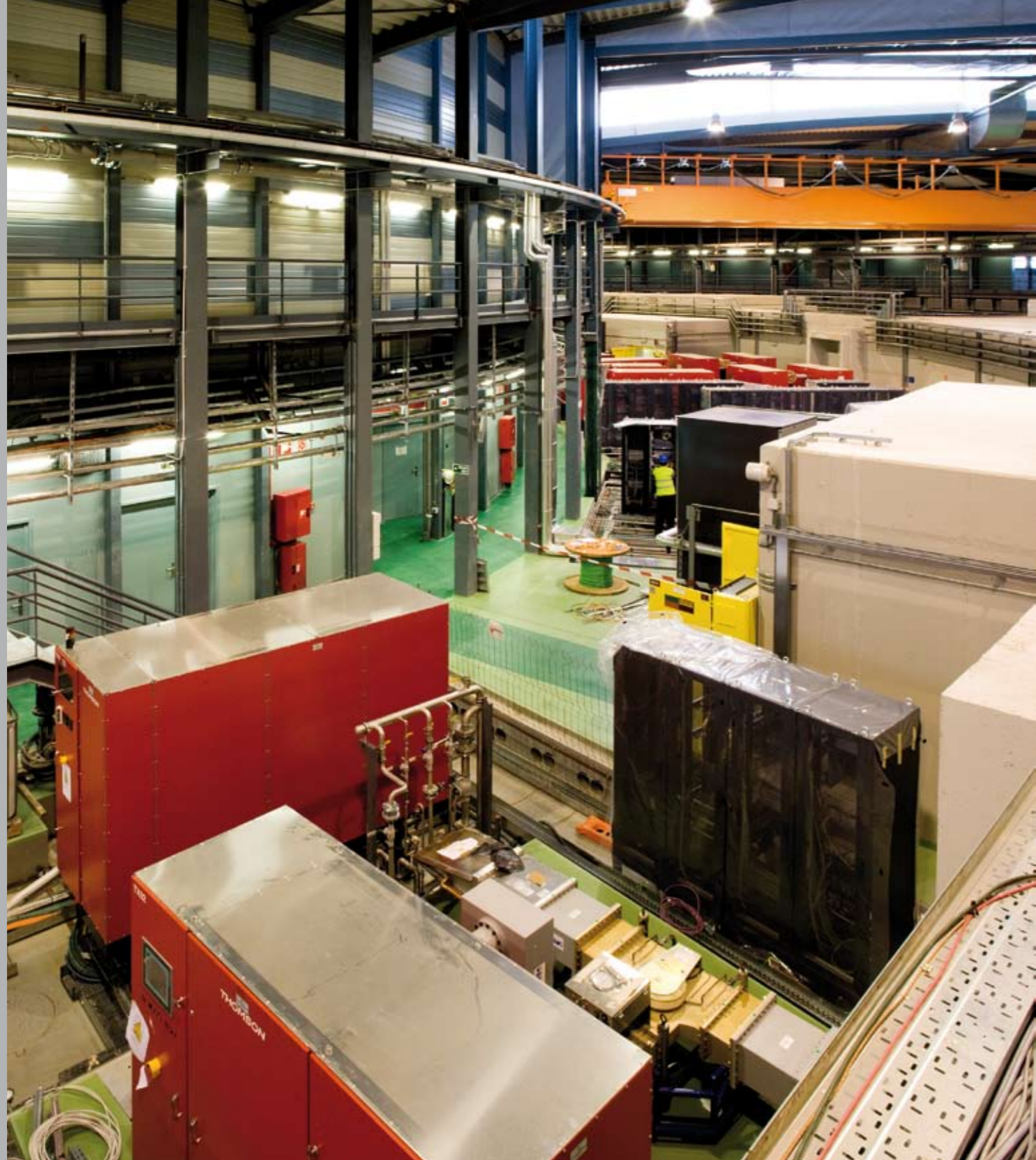
Vista panoràmica del túnel ALBA, amb a l'anell d'emmagatzematge a l'esquerra i el "booster" a la dreta (sota el conducte d'aire). Observi's que els dos acceleradors es corben gradualment cap a la dreta, descrivint una trajectòria circular.



Panoramic view of the Service Area, with the booster radiofrequency plant (red cabinets) at the forefront and one of the storage ring ones at the background.

Vista panoràmica del Àrea de Servei, con la planta de radiofrecuència del booster (armarios rojos) en la parte inferior y una de las del anillo de almacenamiento al fondo.

Vista panoràmica de l'Àrea de Servei, amb la planta de radiofrecuència del booster (armaris vermells) a la part inferior i una de les de l'anell d'emmagatzematge al fons.



already quasi-monochromatic and, even though, relative to the bending magnets the undulators deliver light over a somewhat smaller range of photon energies; at the wavelengths emitted the brilliance, relative to the bending magnet, is increased by approximately the square of the number of poles in the insertion devices. This can amount to an enhancement of several orders of magnitude and, furthermore, insertion devices can be tailored to the specific requirements of a given experiment and may be substituted easily without changing all the magnetic lattice of the storage ring. This significantly increases the useful life of the facility.

de inserción se dividen conceptualmente entre “wigglers”, nombre dado cuando las excursiones de los electrones son grandes en relación a las dimensiones del haz, y onduladores, cuando las excursiones son comparables a las dimensiones del haz.

La luz emitida por ellos es incluso más brillante que la generada en los imanes de curvatura. De hecho, en relación con los imanes de curvatura, la brillantez “blanca” de un “wiggler” aumenta aproximadamente con el número de polos del dispositivo. Además el rango de energía de los fotones disponibles aumenta significativamente. Los onduladores, por otra parte, emiten luz que ya es casi monocromática y, en relación con los imanes de curvatura, emiten luz en un rango un poco más pequeño de las energías de los fotones. A las longitudes de onda emitidas el brillo, en relación con el imán de curvatura, se incrementa en alrededor del cuadrado del número de polos del dispositivo de inserción. Esto puede equivaler a un aumento de varios órdenes de magnitud y, además, los dispositivos de inserción pueden ser adaptados a las necesidades específicas de un determinado experimento y pueden ser sustituidos fácilmente sin cambiar toda la red magnética del anillo de almacenamiento. Esto aumenta significativamente la vida útil de la instalación.

entre els “wigglers” – anomenats així quan les excursions dels electrons són grans en relació amb les dimensions del feix – i onduladors – quan les excursions són comparables a les dimensions del feix.

La llum que emeten és fins i tot més brillant que la generada en els imants de curvatura. De fet, en relació amb els imants de curvatura, la brillantor “blanca” d’un “wiggler” augmenta aproximadament amb el nombre de pols del dispositiu. A més, el rang d’energia dels fotons disponibles augmenta significativament. Els onduladors, per altra banda, emeten llum que ja és gairebé monocromàtica i, en relació amb els imants de curvatura, aquests emeten llum en un rang una mica inferior de les energies dels fotons. A les longituds d’ona emeses la brillantor, en relació amb l’imant de curvatura, s’incrementa al voltant del quadrat del nombre de pols del dispositiu d’inserció. Això pot equivaler a un augment de diversos ordres de magnitud i, a més, els dispositius d’inserció es poden adaptar a les necessitats específiques d’un determinat experiment, així com ésser fàcilment substituïts sense canviar tota la xarxa magnètica de l’anell d’emmagatzematge. Això augmenta significativament la vida útil de la instal·lació.



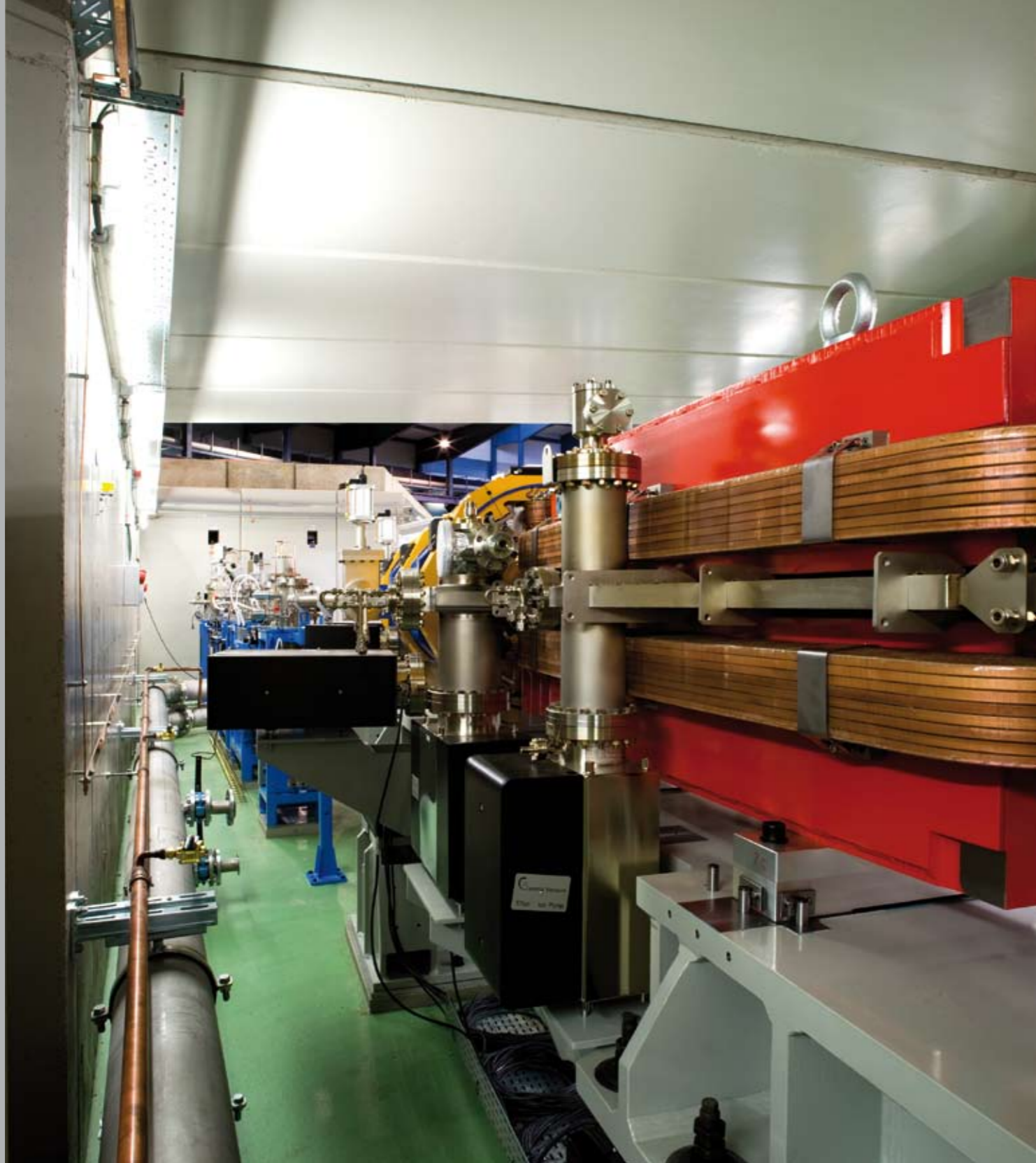
Description of ALBA

Descripción de ALBA / Descripció d'ALBA

View of the synchrotron radiation beam path as looking downstream from a point of the storage ring. On the forefront a dipole magnet (red) can be seen, from where the vacuum chamber for the photon beam transport emerges, traveling into the front end (blue supports), where the beam undergoes basic conditioning for its extraction to the beamline, sitting at the other side of the wall shown at the background.

Perspectiva del camino que sigue la radiación de sincrotrón, mirando aguas abajo desde un punto del anillo de almacenamiento. En primer plan se observa un imán dipolar (rojo), del que emerge la cámara de vacío para transportar el haz de fotones hasta el “front end” (soportes azules), donde recibe un tratamiento básico para su extracción hacia una línea de luz, situada al otro lado del muro que se ve al fondo.

Perspectiva del camí que segueix la radiació de sincrotró, mirant aigües avall des d'un punt de l'anell d'emmagatzematge. En primer pla s'observa un imant dipolar (vermell), del que emergeix la càmera de buit per a transportar el feix de fotons fins al “front end” (suports blaus), on rep un tractament bàsic per a la seva extracció cap a una línia de llum, situada a l'altre costat del mur que es veu al fons.



Description of the ALBA Synchrotron Light Source

The synchrotron light source ALBA is sited in the municipal term of Cerdanyola del Vallès, a medium size town at some 20 kilometres from the city centre of Barcelona (Spain). ALBA is in the neighbourhood of the campus of the “Universitat Autònoma de Barcelona” and of the “Parc Tecnològic del Vallès”. Currently ALBA is the first element of a new pole of scientific and technological excellence known as “Parc de l’ALBA” in which 60 ha will be devoted to a business park and scientific installations. The site of ALBA is close to several railway stations and to the motorway AP7 that goes from the French border to Madrid and Valencia.

The site of ALBA has undergone extensive geological studies since the middle of 2004, including detailed identification of sub-soil composition, long-term stability, vibration levels present, etc. and there is now a reasonable level of confidence about the suitability of the site to ensure the necessary mechanical stability of the critical floor area, i.e. the area on which the complex of accelerators and the beamlines are placed. The solution adopted for the base of the critical floor area consists of a 1m thick concrete slab essentially floating on a ca. 2 m thick re-fill of selected gravel, homogeneously and

Descripción de la Fuente de Luz de Sincrotrón ALBA

La Fuente de Luz de Sincrotrón ALBA está situada en el término municipal de Cerdanyola del Vallès, una ciudad de tamaño medio a unos 20 kilómetros del centro de la ciudad de Barcelona (España). ALBA está en las cercanías del campus de la “Universitat Autònoma de Barcelona” y del “Parc Tecnològic del Vallès”. Actualmente ALBA es el primer elemento de un nuevo polo de excelencia científica y tecnológica conocida como “Parc de l’ALBA” en el que 60 hectáreas se dedicarán a un parque empresarial y de instalaciones científicas. ALBA se encuentra cerca de varias estaciones de ferrocarril y la autopista AP-7 que va desde la frontera francesa a Madrid y Valencia.

El emplazamiento de ALBA ha sido objeto de exhaustivos estudios geológicos desde mediados de 2004, incluyendo la identificación detallada de la composición del subsuelo, su estabilidad a largo plazo, los niveles de vibración actuales, etc. y en este momento existe un nivel razonable de confianza sobre la idoneidad del lugar para asegurar la estabilidad mecánica necesaria de la superficie crítica, es decir, del área en la que se encuentran el complejo de aceleradores y las líneas de luz. La solución adoptada para la base de la superficie crítica consiste en una losa de 1 m de hormigón que esencialmente está flotando sobre una capa de 2 m de espesor de gravas graduadas, homogénea y adecuadamente compactadas para dar

Descripció de la Font de Llum de Sincrotró ALBA

La Font de Llum de Sincrotró ALBA està situada en el terme municipal de Cerdanyola del Vallès, una ciutat de grandària mitjana, situada a uns 20 quilòmetres del centre de Barcelona (Espanya). ALBA es troba a les proximitats del campus de la Universitat Autònoma de Barcelona i del Parc Tecnològic del Vallès. Actualment ALBA és el primer element d'un nou pol d'excel·lència científica i tecnològica coneguda com a “Parc de l’ALBA”, on 60 hectàrees es destinaran a un parc de negocis i d'instal·lacions científiques. La localització d'ALBA es troba prop de diverses estacions de ferrocarril i de l'autopista AP-7, que va des de la frontera francesa a Madrid i València.

L'emplaçament d'ALBA ha estat objecte d'exhaustius estudis geològics des de mitjans del 2004, incloent-hi la identificació detallada de la composició del subsòl, l'estabilitat a llarg termini, els nivells de vibració actuals, etc., i ara hi ha un nivell raonable de confiança en la idoneïtat del lloc per a assegurar l'estabilitat mecànica necessària de la superfície crítica, és a dir, de l'àrea en la qual es troben el complex d'acceleradors i les línies de llum. La solució adoptada per a la base de la superfície crítica consisteix en una losa d'1 m de formigó que essencialment està surant sobre una capa de 2 m d'espessor de gravas graduades, homogèniament i adequadament compactades per a donar estabilitat addicional, i entre dues capes

Upper view of the inside of the ALBA tunnel, with the roof partially removed. A front end can be seen on the left hand side, emerging from the storage ring circular path, which bends gradually to the right.

Vista superior del interior del túnel ALBA, con el techo parcialmente desmontado. Puede observarse un "front end" en el lado izquierdo, saliendo del trazado circular del anillo de almacenamiento, que se curva gradualmente hacia la derecha.

Vista superior de l'interior del túnel ALBA, amb el sostre parcialment desmuntat. Pot observar-se un "front end" en el costat esquerre, sortint del traçat circular de l'anell d'emmagatzematge, que es corba gradualment cap a la dreta.



suitably compacted for additional stability, and sandwiched between two layers of poor concrete for protection. This structure ensures the effective absence of differential movements between any two points of the critical floor area and also ensures the filtering out of vibrations arriving from the outside world.

The building complex designed by the architect E. Talón has total built-up surface of ca. 30100 m² and it is sited on a plot of land with a surface of ca. 65000 m². This complex consists of three main buildings: a technical building (ca. 7600 m²); the main Hall (ca. 18500 m²) placed over the slab but with decoupled foundations, and; the office/personnel wing (ca. 4000 m²). The main Hall and the office/personnel wing share a common metallic roof that allows the indirect entrance of natural light, but avoids temperature variations inside the building. The combination of the roof design and the internal air conditioning and temperature regulation equipment ensures that below a height of 4m the ambient temperature will be maintained within 0.5 degrees. The mechanical installations, comprising air conditioning, cooling, treatment and distribution of water arriving from the water grid, and fluids (i.e. natural gas, diesel, compressed air and technical fluids) are included as part of the Buildings' Project.

Cold and hot energy production is carried out centrally in plants placed in the

estabilidad adicional, y entre dos capas de protección de hormigón pobre. Esta estructura garantiza la ausencia efectiva de movimientos diferenciales entre dos puntos cualesquiera de la superficie crítica y también asegura el filtrado de las vibraciones que llegan desde el mundo exterior.

El complejo de edificios diseñado por el arquitecto E. Talón construidos tiene una superficie total de aproximadamente 30.100 m² y está situado en una parcela de terreno de una superficie de unos 65.000 m². Este complejo consta de tres edificios principales: el edificio técnico (de aproximadamente 7.600 m²), la sala principal (de unos 18.500 m²) colocada sobre la losa, pero con cimientos disociados, y el ala de oficinas y personal (aproximadamente 4.000 m²). La sala principal y el ala de oficinas y personal comparten un techo metálico común que permite la entrada indirecta de luz natural, pero evita las variaciones de temperatura en el interior del edificio. La combinación del diseño del techo, el aire acondicionado y el equipo interno de regulación de temperatura garantiza que, por debajo de una altura de 4 m, la temperatura ambiente se mantenga constante con un margen de 0,5 grados. Las instalaciones mecánicas, que incluyen el aire acondicionado, la refrigeración, el tratamiento y la distribución de agua procedente de la red y los fluidos (gas natural, diesel, aire comprimido y fluidos técnicos) se incluyen como parte del proyecto del edificio.

La producción de energía térmica y frigorífica se lleva a cabo de forma centralizada

de protecció de formigó pobre. Aquesta estructura garanteix l'absència efectiva de moviments diferencials entre dos punts qualssevol de la superfície crítica i també assegura el filtrat de les vibracions que arriben des del món exterior.

El complex d'edificis disenyat per l'arquitecte E. Talón construïts és d'una superfície total aproximada de 30.100 m² i està situat en una parcel·la de terreny d'una superfície d'uns 65.000 m². Aquest complex consta de tres edificis principals: l'edifici tècnic (aproximadament 7.600 m²), la sala principal (d'uns 18.500 m²) col·locada sobre la losa, però amb fonaments dissociats, i l'ala d'oficines i personal (aproximadament 4.000 m²). La sala principal i l'ala d'oficines i personal comparteixen un sostre metàl·lic comú que permet l'entrada indirecta de llum natural, però evita les variacions de temperatura a l'interior de l'edifici. La combinació del disseny del sostre, l'aire condicionat i l'equip intern de regulació de temperatura garanteix que, per sota d'una altura de 4 metres, la temperatura ambient es mantingui constant amb un marge de 0,5 graus. Les instal·lacions mecàniques, que inclouen l'aire condicionat, la refrigeració, el tractament i la distribució d'aigua procedent de la xarxa i els fluids (gas natural, dièsel, aire comprimit i fluids tècnics) s'inclouen en el projecte de l'edifici.

La producció d'energia tèrmica i frigorífica es porta a terme centralment en plantes situades a l'edifici tècnic. La distribució de l'aigua freda i calenta es realitza

Technical Building. Distribution of hot and cold water is achieved via pumps also installed in the Technical Building. Distribution of cold water is carried out via a number of independent circuits to the end points of usage. Water is treated with ion exchange and reverse osmosis units. The various gases and fluids are stored and/or delivered from source (e.g. natural gas) at the Technical Building and distributed to the rest of the facility thereafter.

Regarding electrical installations, one of the design criteria has been to ensure power redundancy and quality. Redundancy is achieved via two externally supplied, commutable active lines of 25 KV/12 MW each. These are derived from transformers taking power from a 220 kV external line or from the power generated in a close by co-generation plant. This plant also delivers the hot and, particularly, the cold energy needed for the temperature stabilization of the facility. Earth connection (< 0.2 ohm) is achieved via a 1x1 m² reticule made of naked, buried copper wire of 50 mm² cross section. The reticule is reinforced with copper-steel spokes and joined to an equipotential net of galvanised steel that is imbedded in the floor of the Hall. This net is also joined to a perimeter ring of naked copper, again with a 50 mm² cross-section. All earth networks are joined together into a single equipotential net.

en plantas situadas en el edificio técnico. La distribución del agua fría y caliente se realiza a través de bombas también instaladas en dicho edificio. La distribución de agua fría se lleva a cabo a través de diversos circuitos independientes para los distintos puntos finales de utilización. El agua se trata con intercambio de iones y unidades de ósmosis inversa. Los diversos gases y fluidos se almacenan en el edificio técnico, o se reciben allí desde la red (por ejemplo el gas natural), y se distribuyen desde allí al resto de la instalación.

En cuanto a las instalaciones eléctricas, uno de los criterios de diseño ha sido garantizar la redundancia del suministro de la energía y su calidad. La redundancia se logra a través de dos suministros externos, líneas activas conmutables, de 25 KV y 12 MW cada uno. Éstos llegan desde transformadores que toman la energía de una línea externa de 220 kV o la toman de una cercana planta de co-generación. Esta planta también ofrece energía calorífica y, en particular, la energía de refrigeración necesaria para la estabilización de la temperatura de la instalación. La conexión a tierra (<0,2 Ohm) se logra a través de un retículo de alambre de cobre de 50 mm² de sección transversal, desnudo y enterrado, de 1x1 m². El retículo se refuerza con pértigas de cobre y acero y se une a una red equipotencial de acero galvanizado que está incrustada en el suelo de la sala. Esta red también está unida a un anillo perimetral de cobre desnudo, de nuevo con una sección transversal de 50 mm². Todas las redes de tierra están unidas en una única red equipotencial.

a través de bombes també instal·lades en aquest mateix edifici. La distribució d'aigua freda es duu a terme a través de diversos circuits independents per als diferents punts finals d'utilització. L'aigua es tracta amb intercanvi d'ions i unitats d'osmosi inversa. Els diversos gasos i fluids s'emmagatzemen en l'edifici tècnic o es reben allí des de la xarxa (per exemple el gas natural), i es distribueixen des d'allí a la resta de la instal·lació.

Pel que fa a les instal·lacions elèctriques, un dels criteris de disseny ha estat garantir la redundància del subministrament de l'energia, així com la qualitat. La redundància s'assoleix a través de dos subministraments externs, línies actives conmutables, de 25 KV i 12 MW cadascuna. Aquestes arriben des de transformadors que prenen l'energia d'una línia externa de 220 KV o la prenen d'una planta propera de cogeneració. Aquesta planta també ofereix energia calorífica i, en particular, l'energia de refrigeració necessària per a l'estabilització de la temperatura de la instal·lació. La connexió a terra (<0,2 Ohm) s'assoleix a través d'una xarxa de fil de coure de 50 mm² de secció transversal, nu i enterrat, de 1x1 m². El reticle es reforça amb perxes de coure i acer i s'uneix a una xarxa equipotencial d'acer galvanitzat que està incrustada en el sòl de la sala. Aquesta xarxa també està unida a un anell perimetral de coure nu, també amb una secció transversal de 50 mm². Totes les xarxes de terra estan unides en una única xarxa equipotencial.

Two emergency diesel generators (720kW each) are installed in the Technical Building to back up static uninterruptible Power Supply units, UPS, in case of failure of the external supplies. Dynamic UPS, i.e. fly-wheels, are available as filters for short lived dips in the mains with autonomy of 12 seconds.

Regarding the complex of accelerators, the general scheme of ALBA is that of a modern synchrotron light source and it consists of an electron gun in which the electrons are produced and transferred to a linear accelerator where they are accelerated to a relativistic energy of 100 Million Electron-Volts (or 100 MeV) by means of electric fields of frequencies in the range of radio waves. Then the electron bunches, always circulating inside a tube in which an ultrahigh vacuum has been achieved, are transferred by means of a pulsed magnet to a booster synchrotron with a perimeter of ca. 250 m. There, the bunches turn thousands of times following an approximately circular trajectory and in each turn a radio-frequency cavity increases the electron energy even further to reach the nominal maximal energy of the facility, that in the case of ALBA is 3000 million eV (or 3 GeV). At that point the electron bunches are injected into a storage ring of 268.8 metres perimeter that is housed in the same tunnel that houses the booster. In the storage ring the electrons are stored and their near circular trajectory

Dos generadores diesel de emergencia (de 720 kW cada uno) están instalados en el edificio técnico para respaldar unidades estáticas de suministro ininterrumpible, UPS, en caso de fallo del suministro exterior. También hay UPS dinámicos, es decir volantes de inercia, como filtros para las cortas caídas de la red eléctrica con una autonomía de 12 segundos.

En cuanto al complejo de aceleradores, el esquema general de ALBA es el de una moderna fuente de luz de sincrotrón y consta de un cañón de electrones en el que éstos se producen y transfieren a un acelerador lineal, donde son acelerados a una energía relativista de 100 millones de electrón-voltios (ó 100 MeV) por medio de campos eléctricos de frecuencias en el rango de las ondas de radio. Después, los paquetes de electrones, que circulan siempre dentro de un tubo en el que se ha producido ultra alto vacío, se transfieren por medio de un imán pulsante a un sincrotrón propulsor de un perímetro de unos 250 m. Allí, los paquetes giran miles de veces, siguiendo una trayectoria aproximadamente circular y, en cada giro, una cavidad de radiofrecuencia incrementa la energía de los electrones aún más, para llegar a la energía máxima nominal de la instalación, que en el caso de ALBA es de 3.000 millones de eV (o 3 GeV). En ese momento, los paquetes de electrones se inyectan en un anillo de almacenamiento de 268,8 m de perímetro que se encuentra en el mismo túnel que alberga el sincrotrón propulsor. En el anillo de almacenamiento los electrones se almacenan y su trayectoria casi circular se

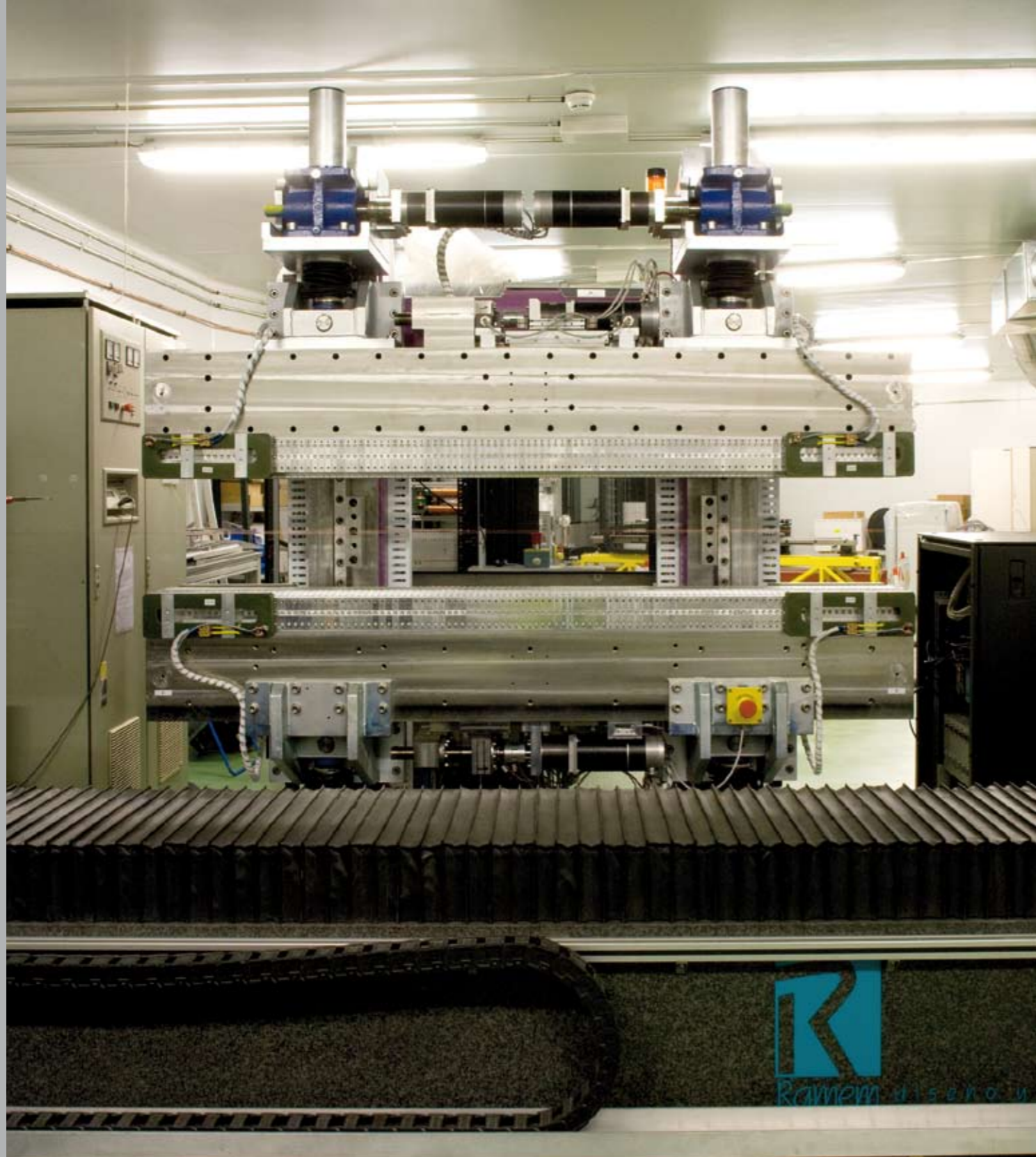
Dos generadors dièsel d'emergència (de 720 kW cadascun) estan instal·lats a l'edifici tècnic per a protegir unitats estàtiques de subministrament ininterrumpit, UPS, en cas de fallada del subministrament exterior. També hi ha UPS dinàmics, és a dir volants d'inèrcia, com a filtres per a les curtes caigudes de la xarxa elèctrica amb una autonomia de 12 segons.

Pel que fa al complex d'acceleradors, l'esquema general d'ALBA és el d'una moderna font de llum de sincrotró i consta d'un canó d'electrons en el qual aquests es produeixen i es transfereixen a un accelerador lineal, on són accelerats a una energia relativista de 100 milions d'electronvolts (o 100 MeV) mitjançant camps elèctrics de freqüències en el rang de les ones de ràdio. Després, els paquets d'electrons que circulen sempre dintre d'un tub en el qual s'ha produït un ultra alt buit, es transfereixen per mitjà d'un imant pulsant a un sincrotró propulsor d'un perímetre d'uns 250 m. Allí, els paquets giren milers de vegades, seguint una trajectòria gairebé circular i, en cada gir, una cavitat de radiofreqüència incrementa l'energia dels electrons encara més, per a arribar a l'energia màxima nominal de la instal·lació que, en el cas d'ALBA, és de 3000 milions d'eV (o 3 GeV). En aquest moment, els paquets d'electrons s'injecten en un anell d'emmagatzematge de 268,8 m de perímetre que es troba en el mateix túnel que alberga el sincrotró propulsor. En l'anell d'emmagatzematge els electrons s'emmagatzemen i la seva trajectòria gairebé circular es controla per mitjà de diferents

Side view of an insertion device. The electron beam will travel laterally, through a vacuum chamber placed between the upper and lower jaws, which must be closed tightly around the chamber. On the forefront a magnetic measurement bench can also be seen.

Vista lateral de un dispositivo de inserción. El haz de electrones se propagará lateralmente, a través de una cámara de vacío situada entre las dos mandíbulas, que deben cerrarse estrechamente en torno a la cámara. En primer plano se observa un banco de medidas magnéticas.

Vista lateral d'un dispositiu d'inserció. El feix d'electrons es propagarà lateralment, a través d'una càmera de buit situada entre les dues mandíbules, que han de tancar-se estretament entorn de la càmera. En primer plànol s'observa un banc de mesures magnètiques.



is controlled by means of different kinds of electromagnets. In fact, these are 32 bending magnets, 128 quadrupoles and 120 sextupoles with more than 100 correctors installed in the sextupoles.

The synchrotron light used by scientists is produced when the electrons pass through the dipolar electromagnets of the storage ring or through one of the insertion devices installed in the straight sections. The light is emitted along a tangent of the electron trajectory where it undergoes acceleration. The magnets act as electron lenses and are disposed in 32 cells with an overall 4-fold symmetry in such a way that the dimensions of the electron bunches are minimal in size at the points of light extraction. In other words, they are disposed so that the effective size of the light source is as small, i.e. as bright, as possible. The synchrotron light is allowed into the experimental area through the shield wall isolating the complex of accelerators from the outside world via a set of devices, including devices for radiological control and protection, generically known as front-ends. In the storage ring the energy the electrons lose as synchrotron light is restored to them by six radiofrequency cavities disposed around the storage ring, so that the electrons always travel around the ring at a constant velocity.

controla por medio de diferentes tipos de electroimanes. De hecho, éstos son 32 imanes de curvatura, 128 cuadrupolos y 120 sextupolos, con más de 100 correctores instalados en los sextupolos.

La luz de sincrotrón que utilizan los científicos se produce cuando los electrones pasan a través de los electroimanes dipolares del anillo de almacenamiento o a través de uno de los dispositivos de inserción instalados en los tramos rectos. La luz es emitida a lo largo de la tangente de la trayectoria de los electrones donde experimentan una aceleración. Los imanes actúan como lentes de electrones y se disponen en 32 celdas con una simetría cuaternaria, de tal manera que las dimensiones de los paquetes de electrones son de tamaño mínimo en los puntos de extracción de la luz. En otras palabras, están dispuestos de modo que el tamaño efectivo de la fuente de luz sea tan pequeño, es decir, tan brillante como sea posible. La luz de sincrotrón se dirige al área experimental cruzando el muro de protección que aísla el complejo de aceleradores del mundo exterior a través de un conjunto de dispositivos, incluidos los de control y protección radiológica, conocidos genéricamente como "front-ends". En el anillo de almacenamiento la energía que los electrones pierden en forma de luz de sincrotrón les es devuelta por seis cavidades de radiofrecuencia dispuestas alrededor del anillo de almacenamiento, de modo que los electrones siempre viajan alrededor del mismo a una velocidad constante.

tipus de electroimants. De fet, hi ha 32 imants de curvatura, 128 quadrupols i 120 sextupols, amb més de 100 correctors instal·lats en els sextupols.

La llum de sincrotró que utilitzen els científics es produeix quan els electrons passen a través dels electroimants dipolars de l'anell d'emmagatzematge o a través d'un dels dispositius d'inserció instal·lats en els trams rectes. La llum és emesa al llarg de la tangent de la trajectòria dels electrons, on experimenten una acceleració. Els imants actuen com a lents d'electrons i es disposen en 32 cel·les amb una simetria quaternària, de tal manera que les dimensions dels paquets d'electrons són de grandària mínima en els punts d'extracció de la llum. En altres paraules, estan disposats de manera que la grandària efectiva de la font de llum sigui tan petita i tan brillant com sigui possible. La llum de sincrotró es dirigeix a l'àrea experimental a través del mur de protecció que aïlla el complex d'acceleradors del món exterior a través d'un conjunt de dispositius, inclosos els dispositius de control i de protecció radiològica, coneguts genèricament com "front-ends". En l'anell d'emmagatzematge, l'energia que els electrons perden en forma de llum de sincrotró els es retornada per sis cavitats de radiofreqüència disposades al voltant de l'anell d'emmagatzematge, de manera que els electrons sempre viatgen al voltant de l'anell a una velocitat constant.





Initial portfolio of beamlines

Líneas de luz iniciales / Línies de llum inicials

Detail from the mechanism
of the Xaloc beamline
(BL13) monochromator.

Detalle de la mecánica del
monocromador para la
línea Xaloc (BL13).

Detall de la mecànica del
monocromador per a la
línia Xaloc (BL13).



Initial portfolio of beamlines at ALBA

To use electromagnetic radiation (i.e. light in its broadest sense!) to interrogate matter is an approach common to all scientific disciplines and synchrotron light sources offer an unprecedented brilliance, i.e. a potential in the precision of the data that is unsurpassed by most other sources. Therefore, one of the most immediately obvious features at any synchrotron light facility is the multidisciplinary nature of its scientific program. Naturally, some disciplines were off the mark earlier than others and, for example, the physics community had a clear majority in the early days of research based on synchrotron light. However, nowadays the use of synchrotron light has expanded to almost all scientific disciplines and, “de facto”, continues to do so. So, at any given day a synchrotron light facility may be hosting users that are conducting fundamental research in physics, chemistry, materials science, surface science, life science, environmental sciences, medicine, archaeology, palaeontology and cultural heritage, whilst alongside them one may find applied researchers working on subjects such as pharmaceuticals, cosmetics, food processing, industrial polymers, textiles, metallurgy, micro-engineering, etc. ALBA will almost certainly follow the multidisciplinary route that other facilities have followed in the past and, indeed, in the initial portfolio of

Líneas de luz iniciales en ALBA

La utilización de la radiación electromagnética (es decir, la luz en su sentido más amplio) para interrogar la materia es un enfoque común a todas las disciplinas científicas y las fuentes de luz de sincrotrón ofrecen un brillo sin precedentes, es decir, un gran potencial en la precisión de los datos que no es superado por la mayoría de otras fuentes. Por lo tanto, una de las características más obvias en cualquier instalación de luz de sincrotrón es el carácter multidisciplinar de su programa científico. Naturalmente, en algunas disciplinas se empezó antes que en otras y, por ejemplo, la comunidad de los físicos era una clara mayoría en los primeros días de la investigación basada en la luz de sincrotrón. Sin embargo, hoy en día el uso de la luz de sincrotrón se ha extendido a casi todas las disciplinas científicas y, de hecho, sigue haciéndolo. Así que, en un día cualquiera, en una instalación de luz de sincrotrón se puede encontrar a usuarios que están llevando a cabo investigación fundamental en física, química, ciencia de materiales, ciencia de superficies, ciencias biológicas, ciencias ambientales, medicina, arqueología, paleontología y patrimonio cultural. Al mismo tiempo, se puede encontrar a investigadores aplicados que trabajen sobre temas tales como productos farmacéuticos, cosméticos, procesamiento de alimentos, polímeros industriales, textiles, metalurgia, micro-ingeniería, etc. Es casi seguro que ALBA seguirá esta ruta multidisciplinar que otras instalaciones han

Línies de llum inicials a ALBA

La utilització de la radiació electromagnètica (és a dir, la llum en el seu sentit més ampli) per a interrogar la matèria és un enfocament comú a totes les disciplines científiques i les fonts de llum de sincrotró ofereixen una brillantor sense precedents, és a dir, un gran potencial en la precisió de les dades que no és superat per la majoria d'altres fonts. Per tant, una de les característiques més òbvies en qualsevol instal·lació de llum de sincrotró és el caràcter multidisciplinari del seu programa científic. Naturalment, en algunes disciplines es va començar abans que en unes altres i, per exemple, la comunitat dels físics era una clara majoria en els inicis de la investigació basada en la llum de sincrotró. No obstant això, avui dia l'ús de la llum de sincrotró s'ha estès a gairebé totes les disciplines científiques i, de fet, segueix fent-ho. Així, en un dia qualsevol, en una instal·lació de llum de sincrotró, es pot trobar usuaris duent a terme investigació fonamental en física, química, ciència de materials, ciència de superfícies, ciències biològiques, ciències ambientals, medicina, arqueologia, paleontologia i patrimoni cultural. Al mateix temps, es pot trobar a investigadors aplicats que treballin sobre temes tals com productes farmacèutics, cosmètics, processament d'aliments, polímers industrials, tèxtils, metal·lúrgics, micro-enginyeria, etc. És gairebé segur que ALBA seguirà aquesta ruta multidisciplinària que altres instal·lacions han seguit en el passat; de fet,



beamlines at ALBA the multidisciplinary trend is already apparent.

One should say from the start that the total capacity of beamlines and experimental stations at ALBA greatly exceeds the 7 beamlines that are in ALBA's initial portfolio. Considering that out of the 32 bending magnets in the Storage Ring at ALBA there are 16 from which light may be extracted and that there are 17 straight sections in which insertion devices may be installed, there are 33 potential beamlines that may be installed at ALBA. The 17 straight sections available comprise 3 of 8 m in length, 12 of 4.4 m in length and 2 of ca. 2.6 m in length. Consequently, given these options there is significant potential for variety in the types of insertion devices that can be used at ALBA. These, together with the 16 bending magnets, provide great potential for many different types of beamlines and, therefore, for a very broad scope in the scientific program.

The process that led to the decision to build 7 beamlines within the first phase of ALBA's capital project involved a number of steps: the "Asociación de Usuarios de Sincrotrón de España" (AUSE) organized a series of workshops to elaborate proposals for specific beamlines. In these meetings near a thousand Spanish scientists participated. As a result, a total of 13 proposals for beamlines were presented to ALBA in January 2005 and

seguido en el pasado y, de hecho, en la cartera inicial de líneas de luz de ALBA la tendencia multidisciplinar ya es evidente.

Para empezar hay que decir que la capacidad total de líneas de luz y de estaciones experimentales de ALBA supera con creces las 7 líneas de luz que están en la fase inicial. Teniendo en cuenta que de los 32 imanes de curvatura del anillo de almacenamiento de ALBA hay 16 de los que se puede extraer luz y que hay 17 tramos rectos en los que se pueden instalar dispositivos de inserción, es posible instalar en ALBA 33 líneas de luz. Las 17 secciones rectas disponibles comprenden 3 de 8 m de longitud, 12 de 4,4 m de longitud y 2 de unos 2,6 m de longitud. En consecuencia, teniendo en cuenta estas opciones, existe un potencial significativo para la diversidad en los tipos de dispositivos de inserción que se pueden utilizar en ALBA. Estos, junto con los 16 imanes de curvatura, ofrecen un gran potencial para muchos tipos diferentes de líneas de luz y, por tanto, para un alcance muy amplio del programa científico.

El proceso que condujo a la decisión de construir 7 líneas de luz en la primera fase del proyecto ALBA supuso una serie de etapas: la Asociación de Usuarios de Sincrotrón de España (AUSE) organizó una serie de talleres para elaborar propuestas concretas para líneas de luz. En estas reuniones participaron cerca de un millar de científicos españoles. Como resultado, en enero de 2005, se presentaron a ALBA un total de 13 propuestas de líneas de luz, que fueron

la tendència multidisciplinària a la cartera inicial de línies de llum d'ALBA ja és evident.

Cal dir des del començament que la capacitat total de línies de llum i d'estacions experimentals d'ALBA supera amb escreix les 7 línies de llum que hi ha a la fase inicial. Tenint en compte que dels 32 imants de curvatura de l'anell d'emmagatzematge d'ALBA, hi ha 16 dels quals es pot extreure llum i hi ha 17 trams rectes en els quals es poden instal·lar dispositius d'inserció, a ALBA és possible instal·lar 33 línies de llum. De les 17 seccions rectes disponibles n'hi ha 3 de 8 m de longitud, 12 de 4,4 m de longitud i 2 d'uns 2,6 m de longitud. En conseqüència, tenint en compte aquestes opcions, existeix un potencial significatiu per a la diversitat en els tipus de dispositius d'inserció que es poden utilitzar a ALBA. Aquests, juntament amb els 16 imants de curvatura, ofereixen un gran potencial per a molts tipus diferents de línies de llum i, per tant, per a un abast molt ampli del programa científic.

El procés que va conduir a la decisió de construir 7 línies de llum en la primera fase del projecte ALBA va suposar una sèrie d'etapes: l'Associació d'Usuaris de Sincrotró d'Espanya (AUSE) va organitzar una sèrie de tallers per a elaborar propostes concretes per a línies de llum. En aquestes reunions van participar-hi prop d'un miler de científics espanyols. Com a resultat, el gener de 2005, es van presentar a ALBA un total de 13 propostes de línies de llum, que van ser

these were submitted for advice to SAC in public sessions. SAC commissioned confidential reports about the proposals to independent referees, and later established a ranking of the proposals. In this ranking the quality of the top 7 beamlines was judged by SAC to be very close and, so, SAC recommended all 7 should be built. As explained above, the Governing Council of ALBA approved this recommendation and these 7 beamlines were incorporated into the capital project of ALBA and they are currently undergoing construction.

This initial set of 7 beamlines addresses a range of scientific objectives primarily in the areas of Materials Science, Physics, Chemistry and Biology. The 7 beamlines are: a soft X-ray beamline drawing photons from an Apple II type undulator and equipped with two end stations for XMCD (X-ray Magnetic Circular Dichroism) and resonant scattering experiments (BOREAS); another soft X-ray beamline, also with an APPLE II type undulator and two end stations, for PEEM (Photo Emission Electron Microscopy) and photo-emission spectroscopy from "real" surfaces, i.e. approaching the conditions of atmospheric pressure (CIRCE); an X-ray Absorption Spectroscopy (XAS) beamline, using a conventional wiggler, and capable of coping with "soft" edges, e.g. sulphur, as well as harder ones (CLÆSS); a high resolution powder diffraction beamline, equipped to

sometidas al asesoramiento del SAC en sesiones públicas. El SAC encargó informes confidenciales sobre cada propuesta a árbitros independientes y, más tarde, estableció una clasificación de las propuestas. En este ranking de calidad de las líneas, 7 de ellas fueron juzgadas de calidad parecida y así, el SAC recomendó que las 7 debían ser construidas. Como se explicó anteriormente, el Consejo Rector de ALBA aprobó esta recomendación y estas 7 líneas de luz se incorporaron al proyecto de ALBA y están actualmente en fase de construcción.

Este conjunto inicial de 7 líneas de luz aborda una serie de objetivos científicos, principalmente en las áreas de ciencia de los materiales, física, química y biología. Las 7 líneas de luz son: una línea de luz de rayos X blandos que extrae fotones de un ondulator del tipo Apple II y que está equipada con dos estaciones experimentales para XMCD (dicroísmo circular magnético de rayos X) y experimentos de dispersión resonante (BOREAS); otra línea de luz de rayos X blandos también de un ondulator de tipo Apple II y dos estaciones experimentales, para PEEM (microscopía de foto-emisión de electrones) y de espectroscopía de foto-emisión de superficies "reales", es decir, acercándose a las condiciones de presión atmosférica (CIRCE); una línea de luz de espectroscopía de absorción de rayos X (XAS), utilizando un "wiggler" convencional, y capaz de tratar bordes de espectros "suaves", por ejemplo, del azufre, así como otros más duros (CLÆSS); una línea de luz de difracción de polvo de alta resolución,

sotmeses a l'assessorament del SAC en sessions públiques. El SAC va encarregar informes confidencials sobre cada proposta a àrbitres independents i, més tard, va establir una classificació de les propostes. En aquest rànquing de qualitat de les línies, 7 d'elles van ser jutjades de qualitat semblant i així, el SAC va recomanar que les 7 havien de ser construïdes. Com s'ha explicat anteriorment, el Consell Rector d'ALBA va aprovar aquesta recomanació i aquestes 7 línies de llum es van incorporar al projecte d'ALBA, i en l'actualitat estan en fase de construcció.

Aquest conjunt inicial de 7 línies de llum aborda una sèrie d'objectius científics, principalment en les àrees de ciència dels materials, la física, la química i la biologia. Les 7 línies de llum són: una línia de llum de raigs X tous que extreu fotons d'un ondulator del tipus Apple II i que està equipada amb dues estacions finals per a XMCD (dicroisme circular magnètic de raigs X) i experiments de dispersió ressonant (BOREAS); un altra línia de llum de raigs X tous també d'un ondulator de tipus Apple II i dues estacions finals, per a PEEM (microscòpia de fotoemissió d'electrons) i d'espectroscòpia de fotoemissió de superfícies "reals", és a dir, que s'acosten a les condicions de pressió atmosfèrica (CIRCE); una línia de llum d'espectroscòpia d'absorció de raigs X (XAS), utilitzant un "wiggler" convencional, i capaç de tractar dintells d'espectres "suaus", per exemple, del sofre, així com uns altres més durs (CLÆSS); una línia de llum de difracció

Installation of the horizontal focussing mirror for the XALOC beamline (BL13).

Instalación del espejo de focalización horizontal para la línea XALOC (BL13).

Instalació del mirall de focalització horitzontal per a la línia XALOC (BL13).



carry out experiments under high pressure, drawing light from a low deflection parameter, low K, superconducting wiggler (MSPD); a macromolecular crystallography beamline using an in-vacuum undulator (XALOC); a beamline, also using an in-vacuum undulator for time resolved X-scattering/diffraction experiments on non-crystalline systems (NCD) and; a soft X-ray microscopy beamline, primarily for imaging biological material at the wavelengths of the water window (MISTRAL).

Towards the end of 2009, the evaluation process leading to the definition of the second phase of beamlines at ALBA was completed. In this case proposals for 8 new beamlines were received and the proposals were ranked essentially following the same procedures as for those in the first phase. The outcome of this round of proposals as approved by ALBA's Governing Council is that, conditional to budget availability, by 2011 ALBA will start the detailed design and subsequent construction of 2 more beamlines: one devoted to spectro-microscopy in the infrared region, and; a second one devoted to high precision photoemission studies at photon energies in the vacuum ultraviolet and very-soft X-ray region. The convenience for the construction of a third beamline, or more if the scientific case so justifies, will be reviewed during 2012.

equipada para llevar a cabo experimentos a altas presiones, que extrae la luz de un "wiggler" superconductor de bajo parámetro de deflexión y bajo K (MSPD); una línea de luz de cristalografía de macromoléculas utilizando un ondulator en vacío (XALOC); una línea de luz, también mediante un ondulator en vacío, para experimentos de dispersión y difracción de rayos X con resolución temporal de sistemas no-cristalinos (NCD); y una línea de luz de microscopía de rayos X blandos, principalmente para obtener imágenes de material biológico en las longitudes de onda de la ventana del agua (MISTRAL).

Hacia finales de 2009 se completó el proceso de evaluación conducente a la definición de la segunda fase de líneas de luz de ALBA. En este caso, las propuestas para nuevas líneas fueron 8, que se recibieron y clasificaron fundamentalmente siguiendo los mismos procedimientos que para las de la primera fase. El resultado de esta ronda de propuestas aprobadas por el Consejo Rector de ALBA fue que, supeditado a la disponibilidad presupuestaria, en 2011 ALBA iniciará el diseño detallado y la posterior construcción de 2 líneas de luz más: una dedicada a la espectro-microscopía en el infrarrojo, y una segunda dedicada a los estudios de emisión de fotoelectrones de alta precisión en energías de los fotones en el ultravioleta de vacío y en la región de rayos X muy blandos. La conveniencia, o más bien el grado de justificación científica para la construcción de una tercera línea de luz, o más, si el proyecto científico lo justifica, se revisará en 2012.

de pols d'alta resolució, equipada per a dur a terme experiments a altes pressions, que extreu la llum d'un "wiggler" superconductor de baix paràmetre de deflexió i baix K (MSPD); una línia de llum de cristal·lografia de macromolècules, utilitzant un ondulator en buit (XALOC); una línia de llum que també usa un ondulator en buit, per a experiments de dispersió i difracció de raigs X amb resolució temporal de sistemes no-cristal·lins (NCD); i una línia de llum de microscòpia de raigs X tous, principalment per a obtenir imatges de material biològic en les longituds d'ona de la finestra d'aigua (MISTRAL).

Cap a finals del 2009 es va completar el procés d'avaluació conduent a la definició de la segona fase de línies de llum d'ALBA. En aquest cas, les propostes per a noves línies van ser 8, les quals es van rebre i es van classificar fonamentalment seguint els mateixos procediments que per a les de la primera fase. El resultat d'aquesta ronda de propostes aprovades pel Consell Rector d'ALBA va ser que, supeditats a la disponibilitat pressupostària, el 2011, ALBA iniciarà el disseny detallat i la posterior construcció de 2 línies de llum més: una dedicada a espectromicroscòpia en l'infraroig, i una segona dedicada als estudis d'emissió de fotoelectrons d'alta precisió en energies dels fotons en l'ultraviolat de buit i en la regió de raigs X molt tous. La conveniència de la construcció d'una tercera línia de llum, o més, si el projecte científic ho justifica, es revisarà el 2012.





Scientific applications

Aplicaciones científicas / Aplicacions científiques



Soft X-Ray Science for Discovery

Fascinating experiments can be carried out with X rays on magnetic materials. Mostly they are done in the low energy range (“soft” x-rays), taking advantage of the tunability of synchrotron light. On the one hand, the x-ray energy (“color”) is selected to match the energy of the electronic levels of a certain element, in order to selectively study a particular material, attaining thus chemical specificity. This is shown in the sketch below: the incident radiation (red color) interacts with the material in the red layer, and it is insensitive to the materials in the yellow and blue layers. On the other hand, the polarization of the light might also be changed. Polarization is a property that has to do with spatial orientation, and thus can be used to study phenomena with direction dependence. For example, a magnetic material that is magnetized in a certain direction will not absorb equally light with right-handed or with left-handed polarization.

This second interaction is represented by the arrows in figure 1: in the red layer, the magnetization (white arrow) points along the direction of the incident x-ray and respectively in the same and opposite sense. More light is absorbed in one orientation than in the other at certain energies. In this way we can find out the orientation of the magnetic moments in a sample. This method, known as x-ray

Descubrir con ciencia de rayos X blandos

Pueden llevarse a cabo fascinantes experimentos con rayos X en materiales magnéticos. En su mayoría se realizan en la gama de baja energía (rayos X “blandos”), aprovechando la posibilidad de sintonización de la luz de sincrotrón. Por un lado, la energía de los rayos X (el “color”) se selecciona para que coincida con la energía de los niveles electrónicos de un cierto elemento, a fin de estudiar de forma selectiva un determinado material, consiguiendo así la especificidad química. Esto se muestra en el esquema inferior: la radiación incidente (rojo) interactúa con el material de la capa roja y es insensible a los materiales en las capas de color amarillo y azul. Por otro lado, la polarización de la luz también puede cambiarse. La polarización es una propiedad que tiene que ver con la orientación espacial y, por lo tanto, puede ser usada para estudiar fenómenos que dependan de la dirección. Por ejemplo, un material magnético que esté magnetizado en una determinada dirección no va a absorber igual la luz con polarización dextrógira (orientada a la derecha) que levógira (orientada a la izquierda).

Esta segunda interacción se representa por las flechas en la figura 1: en la capa roja, la magnetización (flecha blanca) apunta en la dirección del rayo X incidente y en el mismo sentido (izquierda) o en el contrario (derecha). A ciertas energías se absorbe más luz en una orientación que en la otra. De esta manera

Descobrir amb ciència de raigs X tous

Es poden dur a terme fascinants experiments amb els raigs X en materials magnètics. En general, aquests es realitzen en la gamma de baixa energia (raigs X “tous”), aprofitant la possibilitat de sintonització de la llum de sincrotró. D’una banda, l’energia dels raigs X (el “color”) se selecciona de manera que coincideixi amb l’energia dels nivells electrònics d’un cert element, a fi d’estudiar de forma selectiva un determinat material, aconseguint així l’especificitat química. Això es mostra a l’esquema inferior: la radiació incident (vermell) interactua amb el material de la capa vermella i és insensible als materials de les capes de color groc i blau. D’altra banda, la polarització de la llum també es pot canviar. La polarització és una propietat que està relacionada amb l’orientació espacial i, per tant, pot ser emprada per a estudiar fenòmens que depenguin de la direcció. Per exemple, un material magnètic que estigui magnetitzat en una determinada direcció no absorbirà igual la llum amb polarització dextrogira (orientada a la dreta) que levogira (orientada a l’esquerra).

Aquesta segona interacció es representa per les fletxes en la figura 1: en la capa vermella, la magnetització (fletxa blanca) apunta en la direcció dels raigs X incidents i en el mateix sentit (esquerra) o en el contrari (dreta). A certes energies s’absorbeix més llum en una orientació que en l’altra. D’aquesta manera podem descobrir l’orientació dels moments

magnetic dichroism, is similar to that used to find out if a sugar molecule is levogirous (left-) or dextrigirous (right-handed).

A state-of-the-art set-up for magnetic dichroism will be available at the beamline for Resonant Absorption and Scattering at ALBA. In this setup, it will be possible to apply very high magnetic fields (up to 6 Tesla) and to cool the sample down to temperatures close to the absolute zero temperature (-273 C). Both the sample and the field generating coils are cooled with a liquid-helium cryostat. The very intense magnetic fields are achieved lowering the temperature of the coils until they become superconducting. In this state, their electrical resistance dramatically drops and a current of hundreds of amperes can be circulating through them without causing melting. In this experimental station it will be possible to detect tiny magnetization signals, allowing for example to detect the magnetism of isolated atoms on the surface of a sample (i.e., down to one magnetic atom every 100,000,000) (Fig. 2).

At the Photoemission Spectroscopy and Microscopy beamline, a sophisticated electron microscope will be dedicated to the study of material surfaces at the nanoscale (1 nanometer = 0.000001 mm). It will use x-ray light to eject electrons from the samples and make images with them. Such a microscope is called a photoemission electron microscope or PEEM. In this

podemos descubrir la orientación de los momentos magnéticos en una muestra. Este método, conocido como dicroísmo magnético de rayos X, es similar al utilizado para averiguar si una molécula de azúcar es levógira o dextrógira.

Un instrumento de última generación para el dicroísmo magnético estará disponible en la línea de luz para absorción y dispersión resonante de ALBA. En él será posible aplicar campos magnéticos muy elevados (hasta 6 Tesla) y enfriar la muestra hasta temperaturas cercanas al cero absoluto (-273 C). Tanto la muestra como las bobinas que generan el campo se enfrían con un criostato de helio líquido. Los campos magnéticos muy intensos se logran bajando la temperatura de las bobinas hasta que se vuelven superconductoras. En este estado, su resistencia eléctrica cae radicalmente y una corriente de centenares de amperios puede circular a su través sin provocar su fusión. En esta estación experimental, será posible detectar pequeñísimas señales de magnetización, lo que permite, por ejemplo, detectar el magnetismo de átomos aislados en la superficie de una muestra (es decir, hasta de un átomo magnético cada 100.000.000) (Fig. 2).

En la línea de luz de espectroscopía y microscopía de fotoemisión, un sofisticado microscopio electrónico se dedicará al estudio de las superficies de materiales a escala nanométrica (1 nanómetro = 0,000001 mm). Hará uso de luz de rayos X para expulsar los electrones de las muestras y formar imágenes con ellos.

magnètics en una mostra. Aquest mètode, conegut com a dicroisme magnètic de raigs X, és similar a l'utilitzat per a esbrinar si una molècula de sucre és levogira o dextrógira.

Un instrument d'última generació per al dicroisme magnètic estarà disponible en la línia de llum per a absorció i dispersió ressonant d'ALBA. En ell serà possible aplicar camps magnètics molt elevats (fins a 6 Tesla) i refredar la mostra fins a temperatures properes al zero absolut (-273 C). Tant la mostra com les bobines que generen el camp es refreden amb un criostat d'heli líquid. Els camps magnètics molt intensos s'assoleixen baixant la temperatura de les bobines fins que es tornen superconductores. En aquest estat, la seva resistència elèctrica cau radicalment i un corrent de centenars d'ampers pot circular a través seu sense provocar-ne la fusió. En aquesta estació experimental serà possible detectar petítissimes senyals de magnetització, la qual cosa permet, per exemple, detectar el magnetisme d'àtoms aïllats en la superfície d'una mostra (és a dir, fins a un àtom magnètic cada 100.000.000) (Fig. 2).

A la línia de llum d'espectroscòpia i microscòpia de fotoemissió, un sofisticat microscopi electrònic es dedicarà a l'estudi de les superfícies de materials a escala nanomètrica (1 nanòmetre = 0,000001 mm). Farà ús de llum de raigs X per a expulsar els electrons de les mostres i formar imatges amb ells. Aquest microscopi s'anomena microscopi electrònic de fotoemissió o PEEM.

beamline it will be also possible to tune the light polarization and thus to be sensitive to the magnetization directions. The main parts of the PEEM experimental station are sketched in figure 3.

An example of application of the magnetic dichroism effect is the detailed investigation of the nature of magnetic memories which make use of the giant magneto-resistance effect or GMR. This effect, discovered in the late 80s by the 2007 Nobel laureate physicists Peter Grunberg and Albert Fert, has been essential to develop small size and large capacity memories which are today widely extended. Without it, neither laptops nor large capacity iPods would exist.

The GMR effect consists in the change in electrical resistance of a device consisting in two magnetic layers separated by a spacer, when the magnetizations of the two layers are parallel or antiparallel. This is used to codify a (magnetic) bit, "0 or 1" (Fig. 4).

In the last decade, soft x-rays studies have revealed the microscopic nature of magnetic properties used in modern magnetic devices. A landmark application was the use of x-ray magnetic microscopy to observe the magnetic domains in adjacent ferromagnetic and antiferromagnetic layers, combinations widely used in technology (spin valves). Figure 5 (left) is a sketch of a sample consist-

Este microscopio se llama microscopio electrónico de fotoemisión o PEEM. En esta línea de luz será también posible ajustar la polarización de la luz y, por lo tanto, será sensible a las direcciones de magnetización. Las partes principales de la estación experimental de PEEM se esbozan en la figura 3.

Un ejemplo de aplicación del efecto del dicroísmo magnético es la investigación detallada de la naturaleza de las memorias magnéticas que hacen uso del efecto de magneto-resistencia gigante o GMR. Este efecto, descubierto a finales de los años 80 por los físicos Peter Grünberg y Albert Fert, premios Nobel de 2007, ha sido esencial para desarrollar las pequeñas memorias de gran capacidad, hoy ampliamente extendidas. Sin él no existirían ni los portátiles, ni los iPods de gran capacidad.

El efecto GMR consiste en el cambio de la resistencia eléctrica de un dispositivo que contiene dos capas magnéticas separadas por un espaciador, cuando las magnetizaciones de las dos capas son paralelas o antiparalelas. Esto se usa para codificar un bit (magnético), "0 ó 1" (Fig. 4).

En la última década, los estudios con rayos X blandos han revelado la naturaleza microscópica de las propiedades magnéticas utilizadas en los modernos dispositivos magnéticos. Una aplicación referencial fue el uso de la microscopía magnética de rayos X para observar dominios magnéticos en capas adyacentes ferromagnéticas y antiferromagnéticas, combinaciones am-

En aquesta línia de llum serà també possible ajustar la polarització de la llum i, per tant, serà sensible a les direccions de magnetització. Les parts principals de l'estació experimental de PEEM s'esquematitzen a la figura 3.

Un exemple d'aplicació de l'efecte del dicroisme magnètic és la investigació detallada de la naturalesa de les memòries magnètiques que fan ús de l'efecte de magnetoresistència gegant o GMR. Aquest efecte, descobert a la fi dels anys 80 pels físics Peter Grünberg i Albert Fert, premis Nobel del 2007, ha estat essencial per a desenvolupar les petites memòries de gran capacitat, avui dia àmpliament esteses. Sense l'esmentat efecte no existirien ni els portàtils ni els iPods de gran capacitat.

L'efecte GMR consisteix en el canvi de la resistència elèctrica d'un dispositiu que conté dues capes magnètiques separades per un espaciador, quan les magnetitzacions de les dues capes són paral·leles o antiparal·leles. Això s'usa per a codificar un bit (magnètic), "0 o 1" (Fig. 4).

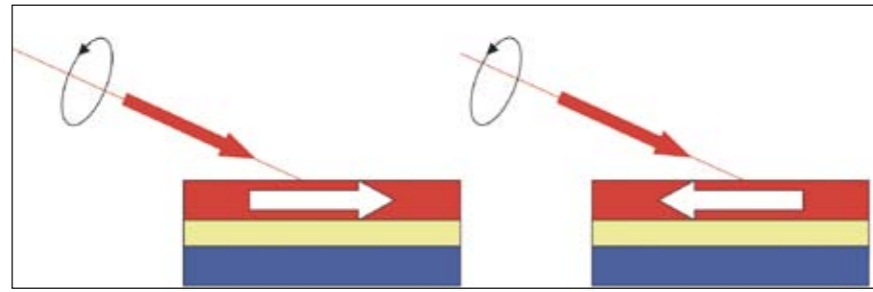
En la darrera dècada, els estudis amb raigs X tous han revelat la naturalesa microscòpica de les propietats magnètiques utilitzades en els moderns dispositius magnètics. Una aplicació referencial va ser l'ús de la microscòpia magnètica de raigs X per a observar dominis magnètics en capes adjacents ferromagnètiques i antiferromagnètiques, combinacions àmpliament utilitzades en tecnologia

The CIRCE beamline (BL24) optics seen from above. The photon beam will circulate from left to right. Notice the two branches leading to separate end stations.

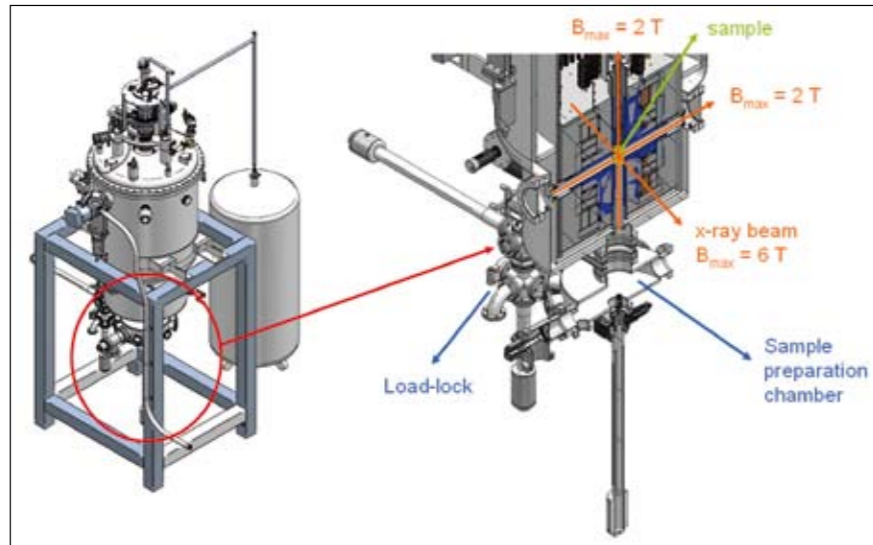
Óptica de la línea CIRCE (BL24) vista desde arriba. El haz de fotones discurrirá de izquierda a derecha. Obsérvense las dos ramas que llevan a estaciones experimentales distintas.

Òptica de la línia CIRCE (BL24) vista des de dalt. El feix de fotons anirà d'esquerra a dreta. Observin-se les dues branques que duen a estacions experimentals distintes.

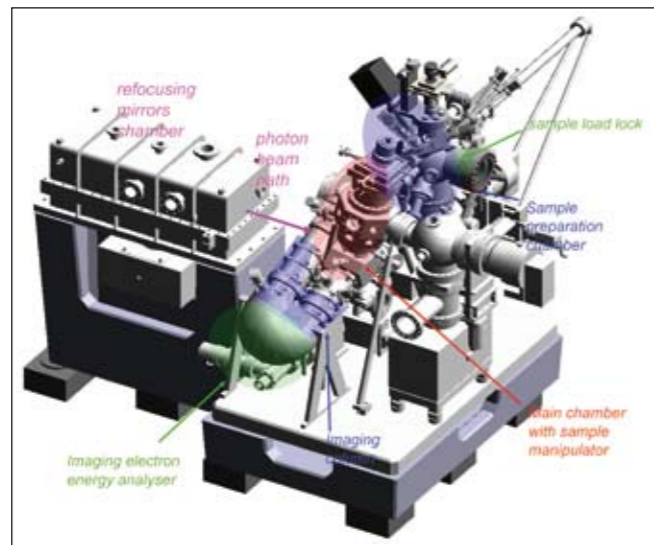




1



2



3

ing of eight atomic layers of cobalt on a nickel oxide substrate. The images on the right were recorded with an x-ray based PEEM microscope. Arrows and wavy arrows in the insets indicate the directions of the crystallographic axes and of the photon beam, respectively. The directions of the magnetic moments in the different domains (magnetization regions) are indicated by arrows. Tuning the x-ray energy to the levels of cobalt or nickel, permits imaging independently the domains of the top layer and of the underlying material. The magnetization direction of the Co film is found to be either parallel or antiparallel to the domains in the antiferromagnetic nickel oxide layer, depending on which of the two antiferromagnetic sublattices are present at the interface to Co. Therefore a certain link between both layers is found.

Thanks to x-ray techniques such as magnetic spectroscopy and magnetic imaging, scientists can now study and engineer magnetic devices at the nanoscale, and develop better, smaller and faster data memories.

Figure 1: Illustration of the X-ray magnetic dichroism effect. On the left, light polarization and magnetization have the same sense, and more light is absorbed.

Figure 2: Outline of the cryo-station (left) and inner parts of the sample environment (right), including a cross-section of the two superconductor coils. The sample position is marked in green. Possible directions of the applied magnetic field, as well as the synchrotron light

pliament utilizadas en tecnologia (vàlvules de espín). La figura 5 (esquerra) és un esquema d'una mostra composta de vuit capes atòmiques de cobalt sobre un substrat d'òxid de níquel. Les imatges de la dreta es van obtenir amb un microscopi PEEM basat en raigs X. Les fletxes i les fletxes ondulades en els requadres indiquen les direccions dels eixos cristal·logràfics i del haz de fotons, respectivament. Les direccions dels moments magnètics en els diferents dominis (regions de magnetització) se indiquen amb fletxes. Sintonitzant l'energia dels raigs X als nivells del cobalt o del níquel, es pot visualitzar de forma independent els dominis de la capa superior i dels materials subjacents. Se encuentra que la direcció de magnetització de la pel·lícula de Co es troba que és paral·lela o antiparal·lela als dominis de la capa antiferromagnètica d'òxid de níquel, depenent de quina de les dues subxarxes antiferromagnètiques estiguin presents en la interfície del Co. Per tant hi ha una certa interacció entre ambdues capes.

Gracias a técnicas de rayos X como la espectroscopía y la microscopía magnéticas, los científicos pueden estudiar y construir dispositivos magnéticos a escala nanométrica, y desarrollar memorias de datos mejores, más pequeñas y más rápidas.

Figura 1: Ilustración del efecto del dicroísmo magnético de rayos X. A la izquierda, la polarización de la luz y la magnetización tienen el mismo sentido, y se absorbe más luz.

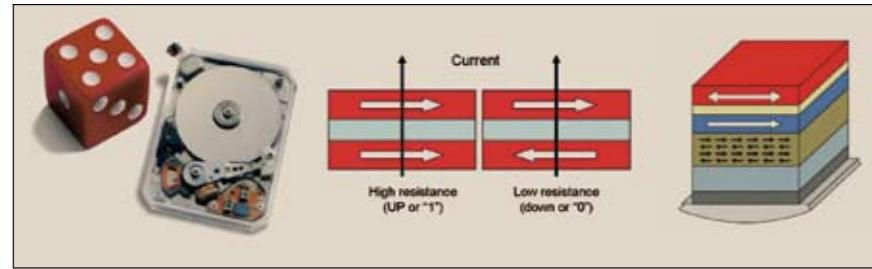
Figura 2: Esquema de la crio-estación (a la izquierda) y las partes internas del entorno de

(vàlvules d'espín). La figura 5 (esquerra) és un esquema d'una mostra composta de vuit capes atòmiques de cobalt sobre un substrat d'òxid de níquel. Les imatges de la dreta es van obtenir amb un microscopi PEEM basat en raigs X. Les fletxes i les fletxes ondulades en els requadres indiquen les direccions dels eixos cristal·logràfics i del haz de fotons, respectivament. Les direccions dels moments magnètics en els diferents dominis (regions de magnetització) s'indiquen amb fletxes. Sintonitzant l'energia dels raigs X als nivells del cobalt o del níquel, es pot visualitzar de forma independent els dominis de la capa superior i dels materials subjacents. La direcció de magnetització de la pel·lícula de Co es troba que és paral·lela o antiparal·lela als dominis de la capa antiferromagnètica d'òxid de níquel, depenent de quina de les dues subxarxes antiferromagnètiques estiguin presents en la interfície del Co. Per tant hi ha una certa interacció entre ambdues capes.

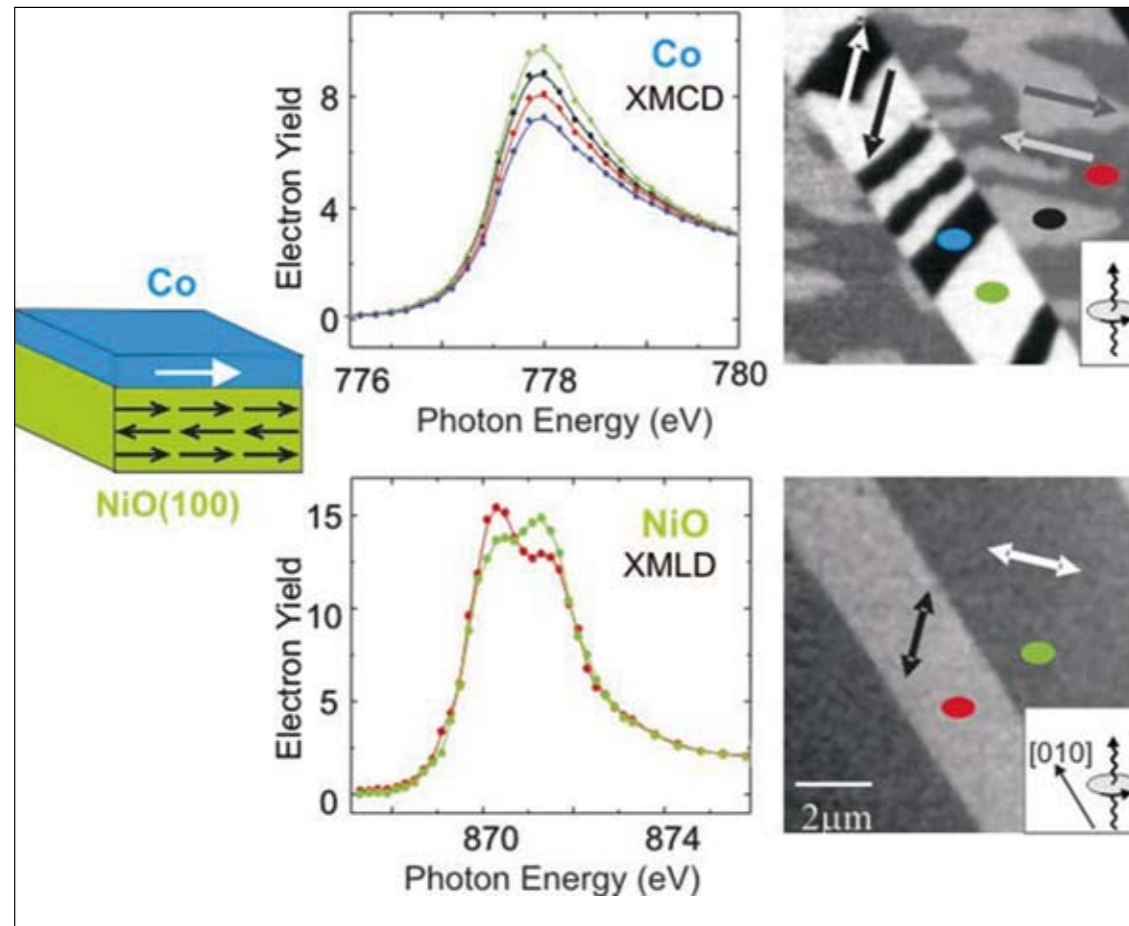
Gràcies a tècniques de raigs X com l'espectroscòpia i la microscòpia magnètiques, els científics poden estudiar i construir dispositius magnètics a escala nanomètrica, i desenvolupar memòries de dades millors, més petites i més ràpides.

Figura 1: Il·lustració de l'efecte del dicroisme magnètic de raigs X. A l'esquerra, la polarització de la llum i la magnetització tenen el mateix sentit, i s'absorbeix més llum.

Figura 2: Esquema de la crio-estació (a l'esquerra) i les parts internes de l'entorn de la mostra (a la dreta), incloent una secció trans-



4



5

beam way-through direction (collinear with the highest magnetic field direction), are indicated by orange arrows.

Figure 3: PEEM microscope CAD (computer aided design) model, showing the focusing mirrors, beam path, sample capabilities and the imaging column and electron energy analyzer.

Figure 4. (Left) A small IBM hard disk with a GMR effect based reading head sensor; (Center) Illustration of the GMR effect, with the two states used to codify a bit; (Right) The more complex structure, called a spin valve, that is actually used in applications.

Figure 5: (Left) Structure of a sample consisting of eight atomic layers of cobalt on a nickel oxide substrate; (middle). Signal of the magnetic dichroism effect for cobalt (top) and nickel (bottom), peaking at different photon energies, characteristic of each element; (right) images recorded by x-ray based PEEM microscope using the magnetic dichroism effect to generate contrast between differently oriented magnetic domains in the sample. The directions of the magnetic moments in each domain are indicated by arrows. The magnetization direction of the Co film is found to be either parallel or antiparallel to the domains in the antiferromagnetic nickel oxide layer. (Image courtesy of Prof. J. Stohr, Stanford Synchrotron Radiation Lightsource.)

la muestra (a la derecha), incluyendo una sección transversal de las bobinas superconductoras. La posición de la muestra está marcada en verde. Las posibles direcciones del campo magnético aplicado, así como la dirección del haz de luz de sincrotrón (alineada con la dirección del máximo campo magnético), se indican con flechas de color naranja.

Figura 3: Modelo CAD (diseño asistido por ordenador) de microscopio PEEM, que muestra los espejos focalizadores, la trayectoria del haz, el entorno de las muestras y la columna de formación de imagen, incluyendo un analizador de la energía de los electrones.

Figura 4. (Izquierda) Un pequeño disco duro de IBM con una cabeza de lectura basada en el efecto GMR; (Centro) Ilustración del efecto GMR, con los dos estados utilizados para codificar un bit; (Derecha) La estructura más compleja, llamada válvula de espín, que se utiliza en las aplicaciones reales.

Figura 5: (Izquierda) Estructura de una muestra compuesta de ocho capas de átomos de cobalto sobre un sustrato de óxido de níquel; (Centro) Señal del efecto del dichroísmo magnético del cobalto (arriba) y del níquel (abajo), que alcanzan un máximo a diferente energía de los fotones, característica de cada elemento; (Derecha) Imágenes grabadas con un microscopio PEEM basado en rayos X usando el efecto del dichroísmo magnético para generar contraste entre dominios magnéticos orientados diferentemente en la muestra. Las direcciones de los momentos magnéticos en cada dominio se indican con flechas. La dirección de magnetización de la película de Co se encuentra que es paralela o antiparalela a los dominios de la capa de óxido de níquel antiferromagnética. (Imagen cortesía del Prof. J. Stohr, Stanford Synchrotron Radiation Lightsource.)

versal de les bobines superconductores. La posició de la mostra està marcada en verd. Les possibles direccions del camp magnètic aplicat, així com la direcció del feix de llum de sincrotró (alineada amb la direcció del màxim camp magnètic) s'indiquen amb fletxes de color taronja.

Figura 3: Model CAD (disseny assistit per ordinador) de microscopi PEEM, que mostra els miralls focalitzadors, la trajectòria del feix, l'entorn de les mostres i la columna de formació d'imatge incloent un analitzador de l'energia dels electrons.

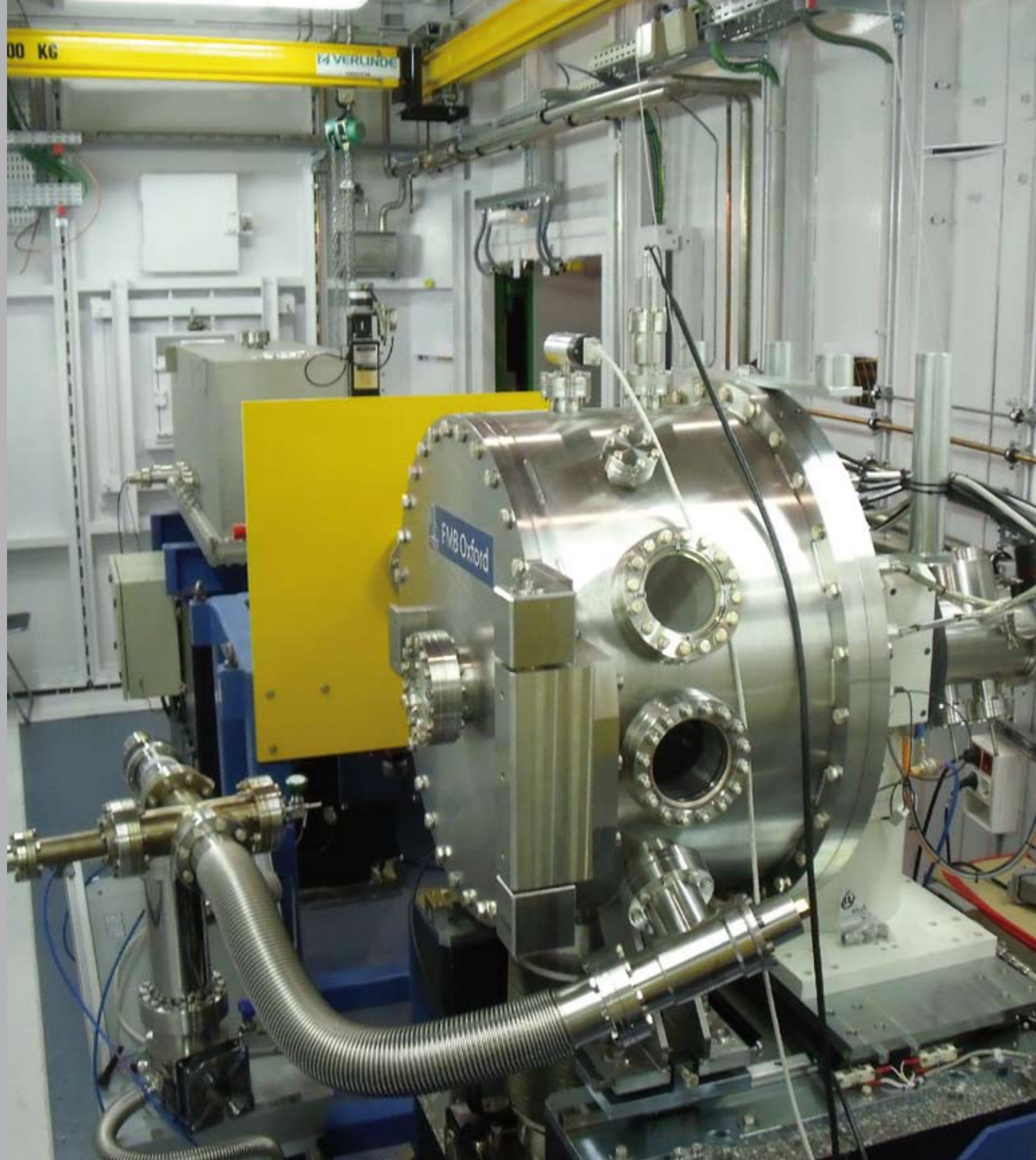
Figura 4. (Esquerra) Un petit disc dur d'IBM amb un cap de lectura basada en l'efecte GMR; (Centre) Il·lustració de l'efecte GMR, amb els dos estats utilitzats per a codificar un bit; (Dreta) L'estructura més complexa, anomenada vàlvula d'espín, que s'utilitza en les aplicacions reals.

Figura 5: (Esquerra) Estructura d'una mostra composta de vuit capes d'àtoms de cobalt sobre un substrat d'òxid de níquel; (Centre) Senyal de l'efecte del dichroisme magnètic del cobalt (a dalt) i del níquel (a baix), que arriben a un màxim a diferents energies dels fotons, característiques de cada element; (Dreta) Imatges gravades amb un microscopi PEEM basat en raigs X usant l'efecte del dichroisme magnètic per a generar contrast entre dominis magnètics orientats diferentment en la mostra. Les direccions dels moments magnètics en cada domini s'indiquen amb fletxes. La direcció de magnetització de la pel·lícula de Co es troba que és paral·lela o antiparal·lela als dominis de la capa d'òxid de níquel antiferromagnètica. (Imatge cortesía del Prof. J. Stohr, Stanford Synchrotron Radiation Lightsource.)

Fast monochromator (4 degree per second) of the CLÆSS beamline (BL22).

Monocromador rápido (4 grados por segundo) de la línea CLÆSS (BL22).

Monocromador ràpid (4 graus per segon) de la línia CLÆSS (BL22).



X-Ray Absorption Spectroscopy - Vehicle pollution is coming to an end

Air pollution is affecting our health and environment, and it is a major concern in our industrialized society. The incomplete combustion of fuels in automobiles is amongst the prime causes of such contamination. The catalytically aided purification is therefore of utmost importance and is the subject of studies by many industrial and academic researchers world-wide.

Three-Way Catalysts (TWCs) are the most widely used catalysts in petrol driven engines. The role of these catalysts is to convert the three main noxious gases of the car exhaust CO, NO_x and unburned hydrocarbons (C_nH_n) into harmless nitrogen, water and carbon dioxide. These catalysts are powder materials composed by finely dispersed precious metal nanoparticles of platinum (Pt), palladium (Pd) or rhodium (Rh) on a solid support such as alumina or silica. The real challenge in the development of these catalysts is to extend their life-time under highly dynamic and extreme local conditions. In this way, chemical engineering research must be accompanied by structural studies provided, for example, by means of a synchrotron light technique referred to as X-Ray Absorption Spectroscopy (XAS), see figure 1.

Espectroscopía de Absorción de Rayos X - Llegando al fin de la contaminación por automóviles

La contaminación del aire afecta a nuestra salud y al medio ambiente y, por consiguiente, preocupa enormemente a nuestra sociedad industrializada. La combustión incompleta de los combustibles de los automóviles es una de las principales causas de dicha contaminación. La purificación asistida por catálisis es, indudablemente, de suma importancia y por eso es objeto de investigación por numerosos académicos e industriales a escala mundial.

Los catalizadores de tres vías (TWCs) son los más utilizados en motores de gasolina. El papel de estos catalizadores es convertir los tres principales componentes nocivos de los gases de escape de los coches, CO, NO_x e hidrocarburos no quemados (C_nH_n) en gases inocuos como son el nitrógeno, el agua y el dióxido de carbono. Estos catalizadores son materiales en polvo compuesto por nanopartículas de metales preciosos, platino (Pt), paladio (Pd) o rodio (Rh) finamente dispersas sobre un soporte sólido, como alúmina o sílice. El verdadero reto en el desarrollo de estos catalizadores es extender su tiempo de vida en las condiciones reales de operación que son altamente dinámicas y extremas a nivel local. De esta manera, la investigación en ingeniería química debe ir acompañada de estudios de carácter estructural

Espectroscòpia d'absorció de raigs X - Arribant a la fi de la contaminació per automòbils

La contaminació de l'aire afecta a la nostra salut i al medi ambient i, per tant, preocupa enormement a la nostra societat industrialitzada. La combustió incompleta dels combustibles dels automòbils és una de les principals causes d'aquesta contaminació. La purificació assistida per catàlisi és indubtablement de summa importància i, per això, és objecte d'investigació per nombrosos acadèmics i industrials a escala mundial.

Els catalitzadors de tres vies (TWCs) són els catalitzadors més utilitzats en motors de gasolina. El paper d'aquests catalitzadors és convertir els tres principals components nocius dels gasos d'escapament dels cotxes, CO, NO_x i hidrocarburs no cremats (C_nH_n) en gasos innocus com són el nitrogen, l'aigua i el diòxid de carboni. Aquests catalitzadors són materials en pols compostats per nanopartícules de metalls preciosos, plati (Pt), pal·ladi (Pd) o rodi (Rh) finament disperses sobre un suport sòlid, com l'alúmina o la sílice. El veritable repte en el desenvolupament d'aquests catalitzadors és estendre el seu temps de vida en les condicions reals d'operació que són altament dinàmiques i extremes a nivell local. D'aquesta manera, la investigació

The set-up for studying the structure of any heterogeneous catalysts under real working conditions requires building tailor-made instruments – such as *in situ* catalytic cells – that fit synchrotron beamlines. See figure 2 for a few examples.

XAS is a synchrotron technique that allows to study materials in any sort of form (solid-crystalline or amorphous-, liquid or gas) in order to get structural and electronic information on the local environment around a selected type of atoms. For instance, one is able to obtain information on distances between atoms, number and type of the neighboring atoms and also electronic information like the degree of oxidation of a metal atom.

Figure 3 shows an extract of the results from the XAS experiment that TOYOTA did [Y. Nagai *et al.*, AIP, CP882, 2007, 594]. To their surprise, they found out that their catalyst formulae, once the Pt nanoparticles were sintered (phenomenon that refers to the agglomeration of small metal particles into larger aggregates) and therefore lost their activity to convert toxic to harmless gases, could split back into smaller nanoparticles (phenomenon called ‘redispersion’) under certain local atmospheric conditions; this facilitated the catalyst to recover its original activity. This can be seen with the difference of the main absorption peaks (ΔI) between two different atmospheric conditions

proporcionados, por ejemplo, por medio de una técnica de luz de sincrotrón denominada Espectroscopía de Absorción de rayos X (XAS), véase la figura 1.

El dispositivo para el estudio de la estructura de los catalizadores heterogéneos en condiciones reales de trabajo requiere la construcción de instrumentos a medida, como celdas catalíticas *in situ*, adaptadas a las líneas de luz de los sincrotrones. Véase figura 2 para algunos ejemplos.

La XAS es una técnica basada en luz de sincrotrón que permite estudiar materiales en cualquier tipo de forma (sólido cristalino o amorfo, líquido o gas) con el fin de obtener información estructural y electrónica del entorno de un tipo de átomos seleccionados. Por ejemplo, permite obtener información sobre las distancias entre átomos, el número y tipo de átomos vecinos y también información electrónica, como el grado de oxidación de un átomo metálico.

La Figura 3 muestra un extracto de los resultados del experimento XAS que hizo TOYOTA [Y. Nagai *et al.*, AIP, CP882, 2007, 594]. Para su sorpresa, descubrieron que sus compuestos catalíticos, una vez que las nanopartículas de Pt se “sinterizan” (fenómeno que se refiere a la aglomeración de pequeñas partículas de metal en agregados mayores) perdiendo así su actividad para convertir los gases tóxicos en inofensivos, podían dividirse de nuevo en pequeñas nanopartículas (fenómeno llamado “redispersión”) bajo

en ingeniería química ha d’anar acompanyada d’estudis de caràcter estructural proporcionats, per exemple, mitjançant una tècnica de llum de sincrotró denominada espectroscòpia d’Absorció de Raigs X (XAS), vegeu la figura 1.

El dispositiu per a l’estudi de l’estructura dels catalitzadors heterogenis en condicions reals de treball requereix la construcció d’instruments a mida, com cel·les catalítiques *in situ*, que s’ajustin a les línies de llum dels sincrotrons. Vegeu alguns exemples a la figura 2.

La XAS és una tècnica de sincrotró que permet estudiar materials en qualsevol tipus de forma (sòlid cristal·lí o amorf, líquid o gas) amb la finalitat d’obtenir informació estructural i electrònica de l’entorn d’un tipus d’àtoms seleccionats. Per exemple, permet obtenir informació sobre les distàncies entre àtoms, el nombre i tipus d’àtoms veïns i també informació electrònica, com ara el grau d’oxidació d’un àtom metàl·lic.

La Figura 3 mostra un extracte dels resultats de l’experiment XAS que va fer TOYOTA [Y. Nagai *et al.*, AIP, CP882, 2007, 594]. Per a la seva sorpresa, van descobrir que els seus compostos catalítics, tan bon punt les nanopartícules de Pt es “sinteritzen” (fenomen que fa referència a l’aglomeració de petites partícules de metall en agregats majors), perdent així la seva activitat per a convertir els gasos

(see line in blue and line in red). A large ΔI corresponds to a small Pt particle size, whilst a small ΔI corresponds to big agglomerated Pt particles. This sintering/redispersion phenomenon is reversible and can be controlled with temperature. This finding has been a true and long sought-for breakthrough for the contemporary automobile industry by being able to extend the ‘on board’ catalyst lifetime.

Figure 1: A schematic representation of a chemical reaction on a catalytic nanoparticle. The nanoparticle is of the face-centered cubic structure usual for many metals like copper, gold or platinum. Catalysis takes place on its surface. The atoms are differently coordinated there: 6-fold (white colored), 7-fold (green), 8-fold (blue) or 9-fold (black). Which surface atoms or which faces – hexagonal or square – are the most catalytically active? The study of the local spatial and electronic structure under reaction conditions helps to identify the most active sites and also to explore and improve the conditioning steps during preparation of catalysts. One of the most suitable experimental techniques for such research is synchrotron-based X-ray absorption spectroscopy. The biggest advantage of this technique, as compared to standard diffraction experiments, is its tunable sensitivity to given chemical elements. The advanced version of this technique at ALBA (when combined with x-ray emission spectroscopy) will also provide so called “site-selective” structural information, i.e. related to the atoms in selected chemical states.

Figure 2: (A) diode/ *in situ* cell/detector set-up for a XAS experiment in fluorescence detection mode used for the TOYOTA experiment;

ciertas condiciones atmosféricas locales, recuperando de esta manera la actividad original del catalizador. Esto se puede ver con la diferencia en altura del pico de absorción (ΔI) cuando se encuentra en dos condiciones atmosféricas diferentes (véase la línea en color azul y la línea en rojo). Un gran ΔI corresponde a un tamaño pequeño de partículas de Pt, mientras que un pequeño ΔI corresponde a grandes aglomerados de partículas de Pt. Este fenómeno de sinterización/redispersión es reversible y se puede controlar con la temperatura. Este hallazgo ha sido un verdadero descubrimiento buscado durante décadas por la industria del automóvil contemporánea, ya que es capaz de prolongar la vida útil del catalizador del vehículo.

Figura 1: Representación esquemática de una reacción química en una nanopartícula catalítica. La nanopartícula tiene la estructura cúbica centrada en la cara habitual de muchos metales como cobre, oro o platino. La catálisis se lleva a cabo en su superficie. Los átomos están diferentemente coordinados: coordinación 6 (de color blanco), 7 (verde), 8 (azul) o 9 (negro). ¿Qué átomos superficiales o qué caras - hexagonal o cuadrada - son más catalíticamente activos? El estudio de la estructura local espacial y electrónica bajo las condiciones de la reacción ayuda a identificar los sitios más activos y también a explorar y mejorar los pasos condicionantes durante la preparación de los catalizadores. Una de las técnicas experimentales más adecuadas para este tipo de investigación es la espectroscopía de absorción de rayos X basada en la luz de sincrotrón. La mayor ventaja de esta técnica, en comparación con los experimentos de difracción estándar, es su sensibilidad ajustable

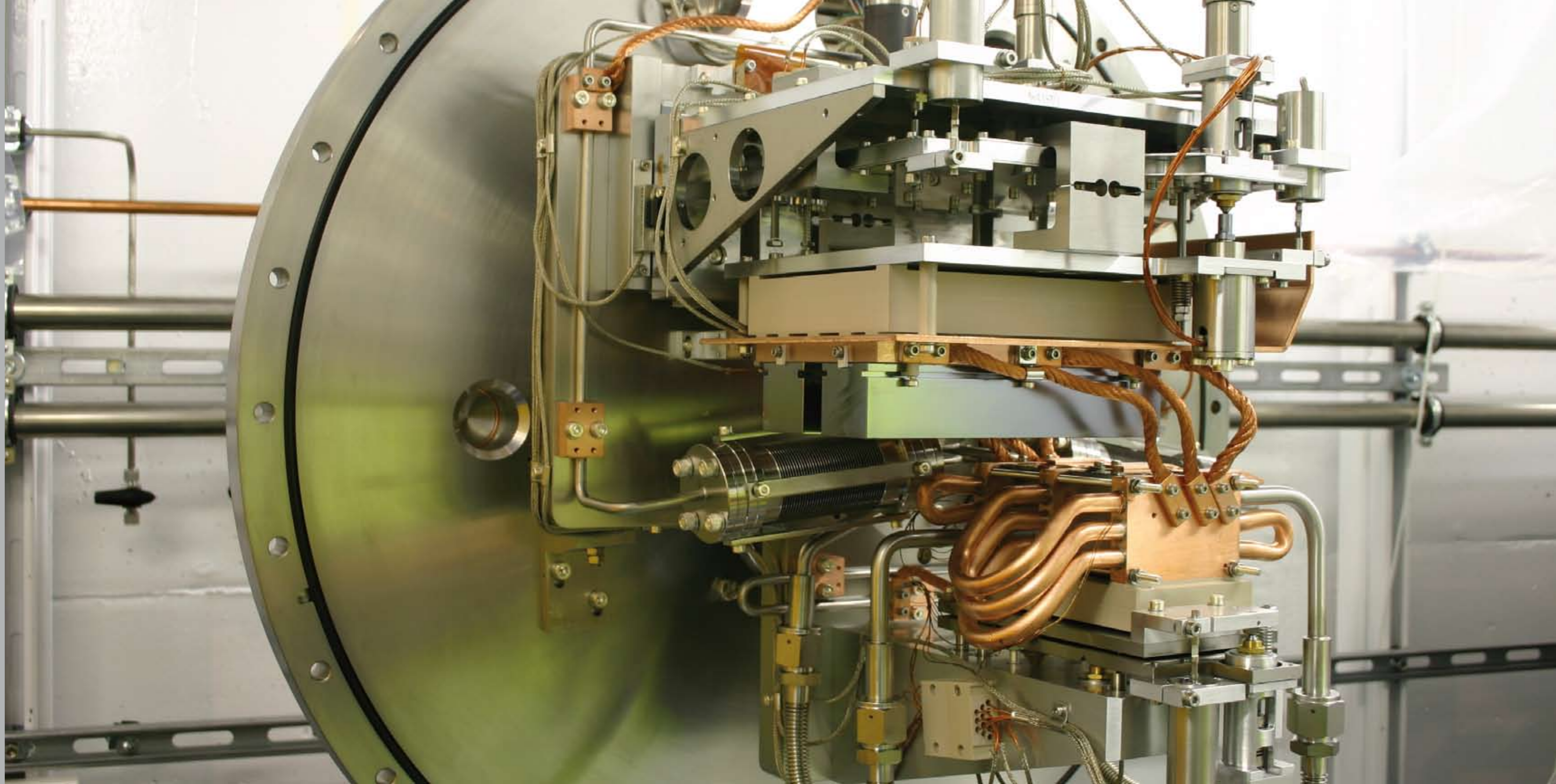
tòxics en inofensius, es podien dividir de nou en petites nanopartícules (fenomen anomenat “redispersió”) sota certes condicions atmosfèriques locals, recuperant així l’activitat original del catalitzador. Això es pot veure amb la diferència en l’altura del pic d’absorció (ΔI) quan es troba en dues condicions atmosfèriques diferents (vegeu la línia de color blau i la línia vermella). Un ΔI gran correspon a una grandària petita de partícules de Pt, mentre que un ΔI petit correspon a grans aglomerats de partícules de Pt. Aquest fenomen de sinterització/redispersió és reversible i es pot controlar amb la temperatura. Aquesta troballa ha suposat un veritable descobriment, cercat durant dècades per la indústria de l’automòbil contemporània, atès que és capaç de perllongar la vida útil del catalitzador del vehicle.

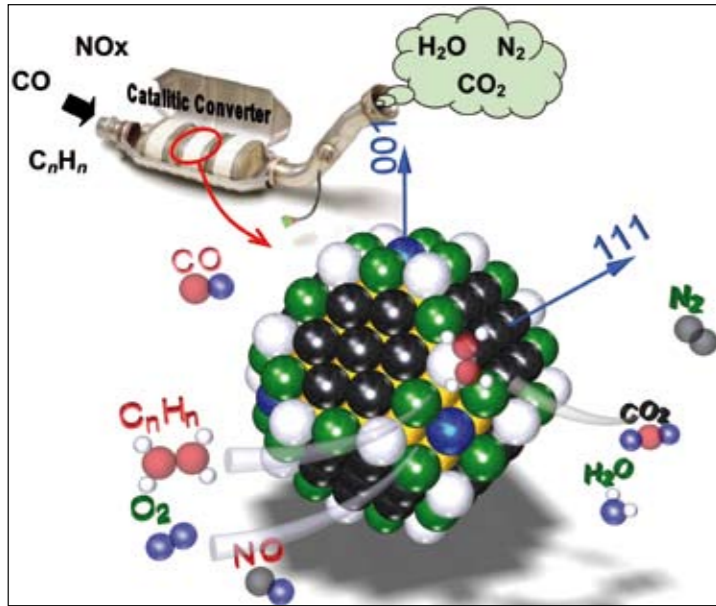
Figura 1: Representació esquemàtica d’una reacció química en una nanopartícula catalítica. La nanopartícula té l’estructura cúbica centrada a la cara habitual de molts metalls com el coure, l’or o el platí. La catàlisi es duu a terme en la superfície. Els àtoms estan diferentment coordinats: coordinació 6 (de color blanc), 7 (verd), 8 (blau) o 9 (negre). Quins àtoms superficials o quines cares - hexagonal o quadrada - són més catalíticament actius? L’estudi de l’estructura local espacial i electrònica sota les condicions de la reacció ajuda a identificar els llocs més actius així com a explorar i millorar els passos condicionants durant la preparació dels catalitzadors. Una de les tècniques experimentals més adequades per a aquest tipus d’investigació és la espectroscòpia d’absorció de raigs X basada en sincrotrons. El major avantatge d’aquesta

Detail of the inside of the monochromator for the CLÆSS beamline (BL22).

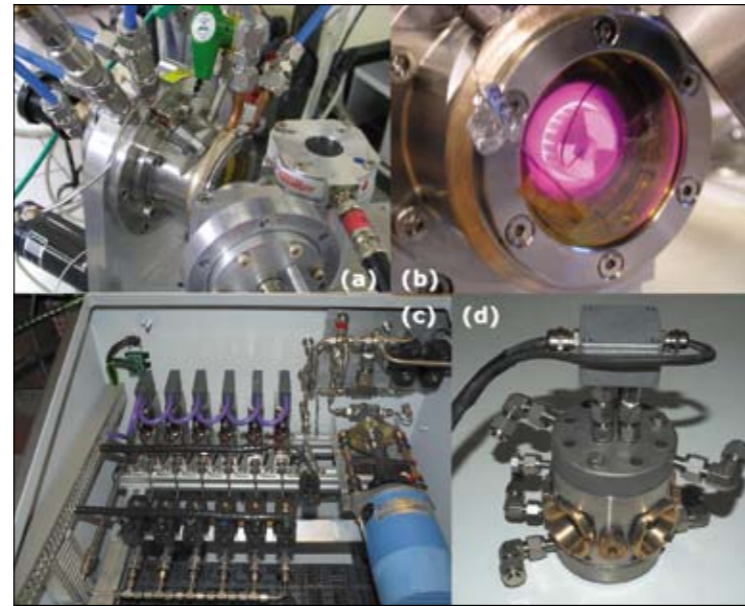
Detalle del interior del monocromador para la línea CLÆSS (BL22).

Detall de l'interior del monocromador per a la línia CLÆSS (BL22).

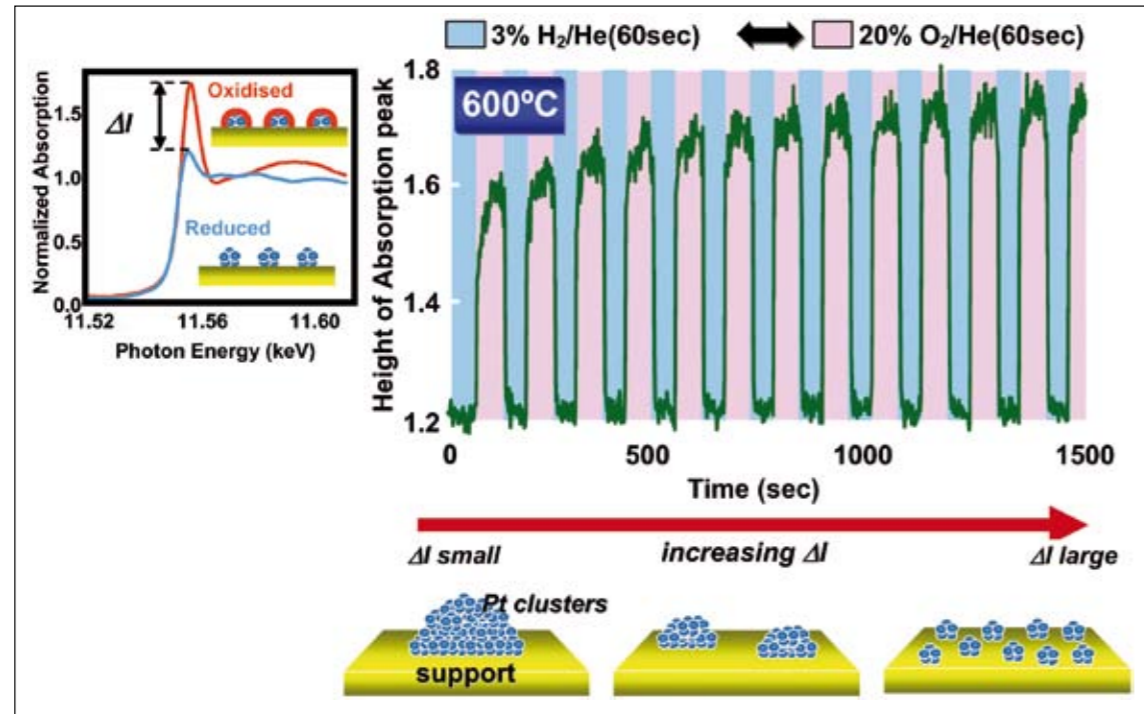




1



2



3

(B) the same *in situ* cell showing the catalyst in the center of the reactor; (C) advanced gas flow, temperature and pressure controller of ALBA built by ITQ-Valencia; (D) *in situ* cell that belongs to ALBA and has been built together with the ITQ of Valencia. Here, one can observe fittings for gas pipes and cooling circuits and several windows that may permit the synchronous utilization of complementary techniques.

Figure 3: The small graph at the left shows x-ray absorption spectra of Pt nanoparticles. The sharp rise at ~ 11.5 keV is called absorption edge. The position and the shape (height) of the edge are sensitive to the chemical state. The modulation of the absorption coefficient above the edge contains the structural information such as inter-atomic distances, number and type of neighboring atoms etc. The complete figure represents a piece of experimental results of TOYOTA team. It evidences the evolution in time of the averaged Pt particle size under specific reaction conditions through the difference ΔI in height of the absorption peaks between oxidized and reduced states.

a los distintos elementos químicos. La versión avanzada de esta técnica en ALBA (cuando se combina con la espectroscopía de emisión de rayos X) también proporcionará la información estructural denominada “de selectividad localizada”, es decir, en relación a los átomos en estados químicos seleccionados.

Figura 2: (A) Dispositivo diodo/celda *in situ*/ detector para un experimento XAS en modo de detección de fluorescencia utilizado por el experimento de TOYOTA; (B) la misma celda *in situ* que muestra el catalizador en el centro del reactor; (C) regulador avanzado de flujo de gas, de temperatura y de presión de ALBA construido por el ITQ-Valencia; (D) celda *in situ* que pertenece a ALBA y que ha sido construida junto con el ITQ de Valencia. Aquí se pueden observar los accesorios para las tuberías de gas y los circuitos de refrigeración y varias ventanas que pueden permitir la utilización sincrónica de técnicas complementarias.

Figura 3: El pequeño gráfico de la izquierda muestra espectros de absorción de rayos X de nanopartículas de Pt. El fuerte aumento en $\sim 11,5$ keV se llama borde de absorción. La posición y la forma (la altura) del borde dependen del estado químico. La modulación del coeficiente de absorción por encima del borde contiene la información estructural, tal como distancias entre los átomos, número y tipo de átomos vecinos, etc. La figura completa representa una parte de los resultados experimentales del equipo de TOYOTA. Se pone en evidencia la evolución en el tiempo del tamaño promedio de la partícula de Pt en condiciones de reacción específicas a través de la diferencia ΔI en la altura del pico de absorción en estado oxidado (espectro rojo) y reducido (espectro azul).

técnica, en comparación con los experimentos de difracción estándar, es su sensibilidad ajustable a los diferentes elementos químicos. La versión avanzada de esta técnica en ALBA (cuando se combina con la espectroscopía de emisión de rayos X) también proporcionará la información estructural denominada “de selectividad localizada”, es decir, en relación a los átomos en estados químicos seleccionados.

Figura 2: (A) Dispositivo diodo/cel·la *in situ*/ detector per a un experiment XAS en mode de detecció de fluorescència utilitzat per l'experiment de TOYOTA; (B) la mateixa cel·la *in situ* que mostra el catalitzador en el centre del reactor; (C) regulador avançat de flux de gas, de temperatura i de pressió d'ALBA construït pel ITQ-València; (D) cel·la *in situ* que pertany a ALBA i que ha estat construïda juntament amb l'ITQ de València. Aquí es poden observar els accessoris per a les canonades de gas i els circuits de refrigeració i diverses finestres que poden permetre la utilització sincrònica de tècniques complementàries.

Figura 3: El petit gràfic de l'esquerra mostra espectres d'absorció de raigs X de nanopartícules de Pt. El fort augment a $\sim 11,5$ keV s'anomena líndar d'absorció. La posició i la forma (l'altura) del dintell d'absorció depenen de l'estat químic. La modulació del coeficient d'absorció per sobre del líndar conté la informació estructural, tal com distàncies entre els àtoms, nombre i tipus d'àtoms veïns, etc. La figura completa representa una part dels resultats experimentals de l'equip de TOYOTA. Es posa en evidència l'evolució en el temps de la grandària mitjana de les partícules de Pt en condicions de reacció específiques a través de la diferència ΔI de l'altura del pic d'absorció en estat oxidat (espectre vermell) i reduït (espectre blau).

High Pressure Research: diamonds are best friends

Pressure covers perhaps the greatest range of all the physical variables — 60 orders of magnitude separate the pressure in the remotest vacuum of space from what is found inside a neutron star. The centre of the Earth is at a pressure of 350 GPa (3.5 million atmospheres) and more than 90% of the matter in the solar system exists at pressures above 100 GPa. Pressure, thus, shapes stars and planets or fashions continents and oceans. It can convert everyday liquids into spectacular crystals or turn common gases such as oxygen into exotic metals. And it can convert coal into diamonds.

Today, the maximum static pressure obtainable in the laboratory is several million atmospheres, and the pressure range presently accessible in the laboratory now approaches a remarkable 30 orders of magnitude.

High-pressure science and technology can be traced back over many centuries. Scientists have been devoted to study its effects on materials as well as to design and construct devices that can create extreme conditions. The development of apparatus to maintain materials at high hydrostatic pressures has been an active area of research for many years.

The diamond anvil cell has become the standard tool for the generation of high pressures over the last four decades and

Investigación a altas presiones: los diamantes son los mejores amigos

La presión tal vez abarca el mayor rango de valores de todas las magnitudes físicas: 60 órdenes de magnitud separan la presión de las zonas más remotas del espacio vacío de la que se encuentra dentro de una estrella de neutrones. El centro de la Tierra está a una presión de 350 GPa (3,5 millones de atmósferas) y más del 90% de la materia en el sistema solar se encuentra a presiones superiores a 100 GPa. La presión, por lo tanto, determina a las estrellas y a los planetas o da forma a los continentes y océanos. Puede convertir los líquidos corrientes en cristales espectaculares, o gases comunes, tales como el oxígeno, en metales exóticos. Además, puede convertir el carbón en diamantes.

Hoy en día, la presión estática máxima que se puede obtener en el laboratorio es de varios millones de atmósferas, y actualmente el rango de presiones accesibles en el laboratorio se aproxima a unos notables 30 órdenes de magnitud.

La ciencia y la tecnología de altas presiones se remontan a muchos siglos atrás. Los científicos se han dedicado a estudiar sus efectos sobre los materiales, así como a diseñar y construir dispositivos que puedan crear condiciones extremas. El desarrollo de aparatos para mantener los materiales a altas presiones hidrostáticas ha sido un área activa de investigación durante muchos años.

La celda de yunque de diamante se ha convertido en la herramienta estándar para

Investigació a altes pressions: els diamants són els millors amics

La pressió abasta tal vegada el major rang de valors de totes les magnituds físiques: 60 ordres de magnitud separen la pressió de les zones més remotes de l'espai buit de la que es troba dintre d'una estrella de neutrons. El centre de la Terra està a una pressió de 350 GPa (3,5 milions d'atmòsferes) i més del 90% de la matèria en el sistema solar es troba a pressions superiors a 100 GPa. La pressió, per tant, determina les estrelles i els planetes o dona forma als continents i als oceans. Pot convertir els líquids corrents en cristalls espectaculars, o gasos comuns, tals com l'oxigen, en metalls exòtics. A més, pot convertir el carbó en diamants.

Avui dia, la pressió estàtica màxima que es pot obtenir en el laboratori és de diversos milions d'atmòsferes, i actualment el rang de pressions accessibles en el laboratori s'aproxima a uns notables 30 ordres de magnitud.

La ciència i la tecnologia d'altres pressions es remunten a molts segles enrere. Els científics s'han dedicat a estudiar els seus efectes sobre els materials, així com a dissenyar i construir dispositius que puguin crear condicions extremes. El desenvolupament d'aparells per a mantenir els materials a altes pressions hidrostàtiques ha estat un àrea activa d'investigació durant molts anys.

La cel·la d'enclusa de diamant s'ha convertit en l'eina estàndard per a la generació

has been applied in a wide range of experimental studies. In this type of cell two gem-quality diamond anvils apply uniaxial pressure which is converted into hydrostatic pressure by means of a suitable medium, e.g. a liquid. The sample is then embedded into this liquid (see figure 1). Two advantages of this design have led to its widespread use in high pressure studies: (1) very high pressures up to 100 GPa and more can be achieved; and (2) diamonds are transparent over a wide range of the electromagnetic spectrum. The former means that, essentially, the entire pressure range of the Earth and terrestrial planets is accessible to direct study. The latter makes the diamond cell particularly suited for *in-situ* analyses, allowing for the application of a growing number of additional material probes.

High-pressure research has grown tremendously in the last two decades thanks to the rapid development of diamond anvil cell technology and to the existence of brilliant 3rd generation synchrotron sources. Nowadays, the contribution of synchrotron radiation to high pressure research is very important since the brilliance and versatility of its radiation is difficult to beat.

High pressure synchrotron experiments have, for instance, led to the discovery of the type of minerals which are believed to exist in the deep mantle of the Earth, such as perovskite which is thought to make up half of the Earth's bulk, and post-perovskite, which occurs at the core-mantle boundary and explains many anomalies

la generación de altas presiones en las últimas cuatro décadas y se ha empleado en una amplia gama de estudios experimentales. En este tipo de celda dos yunques de gemas de diamante de calidad ejercen una presión uniaxial que se convierte en presión hidrostática a través del medio adecuado, por ejemplo, un líquido. La muestra se sumerge luego en este líquido (véase figura 1). Dos ventajas de este diseño han dado lugar a su uso generalizado en los estudios de alta presión: (1) se pueden lograr muy altas presiones de hasta 100 GPa y más; y (2) los diamantes son transparentes en un amplio rango del espectro electromagnético. La primera significa que, en esencia, todo el rango de presiones de la Tierra y de los planetas terrestres es accesible al estudio directo. La segunda hace que la celda de diamantes sea especialmente adecuada para los análisis *in situ*, lo que permite la aplicación de un número creciente de sondas de análisis de materiales.

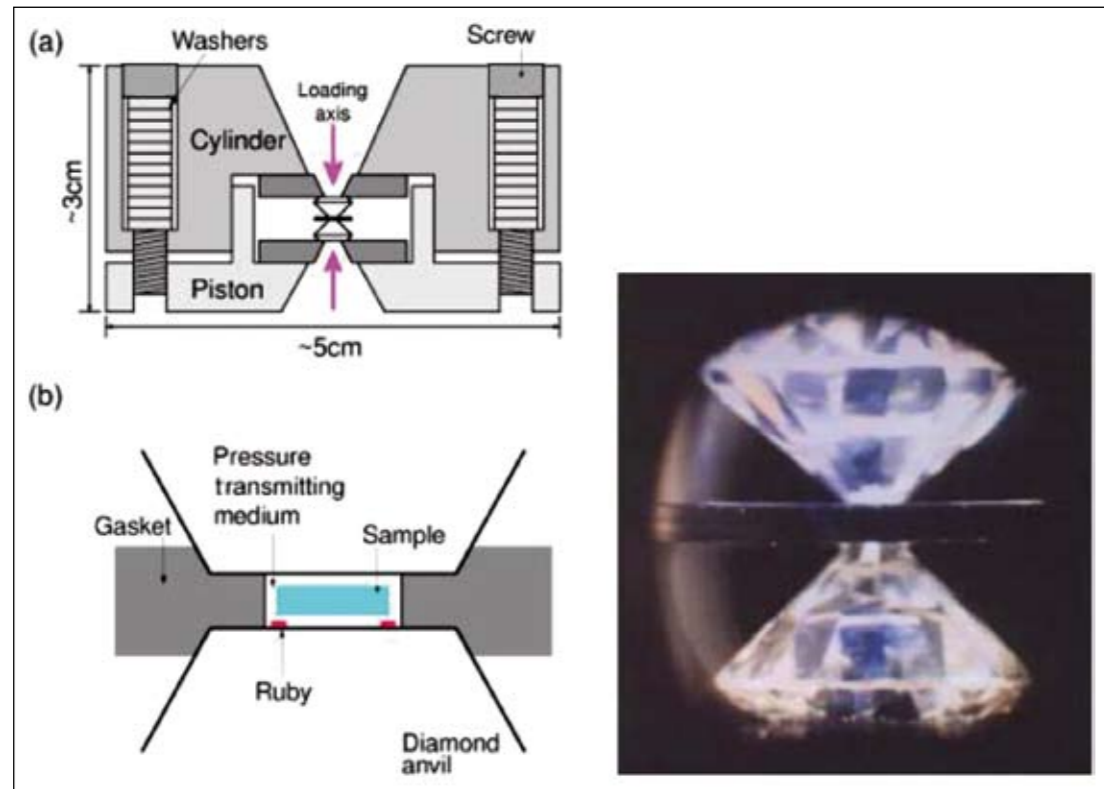
La investigación a alta presión ha crecido enormemente en los últimos dos decenios, gracias al rápido desarrollo de la tecnología de celdas de yunque de diamante y a la existencia de fuentes brillantes de radiación de sincrotrón de 3ª generación. Hoy en día, la contribución de la radiación de sincrotrón a la investigación a alta presión es muy importante ya que el brillo y la versatilidad de su radiación es difícil de batir.

Los experimentos a alta presión con luz de sincrotrón, por ejemplo, han llevado al descubrimiento del tipo de minerales que se cree existen en el manto profundo de la Tierra, tales como la perovskita, que se cree que es casi la mitad de la masa de la Tierra, y la post-perovskita, que se produ-

d'altres pressions en les últimes quatre dècades i s'ha emprat en una àmplia gamma d'estudis experimentals. En aquest tipus de cel·la dues encluses de gemes de diamant de qualitat exerceixen una pressió uniaxial que es converteix en pressió hidrostàtica a través del mitjà adequat, per exemple, un líquid. La mostra se submergeix després en aquest líquid (vegeu la figura 1). Dos avantatges d'aquest disseny han donat lloc al seu ús generalitzat en els estudis d'alta pressió: (1) es poden assolir molt altes pressions de fins a 100 GPa i més; i (2) els diamants són transparents en un ampli rang de l'espectre electromagnètic. La primera significa que, en essència, tot el rang de pressions de la Terra i dels planetes terrestres és accessible a l'estudi directe. La segona fa que la cel·la de diamants sigui especialment adequada per a les anàlisis *in situ*, el que permet l'aplicació d'un creixent nombre de sondes addicionals d'anàlisi de materials.

La investigació a alta pressió ha crescut enormement en els últims dos decennis, gràcies al ràpid desenvolupament de la tecnologia de cel·les d'enclusa de diamant i a l'existència de fonts brillants de radiació de sincrotró de 3a generació. Avui dia, la contribució de la radiació de sincrotró a la investigació a alta pressió és molt important ja que la brillantor i la versatilitat d'aquesta radiació és difícil de millorar.

Els experiments a alta pressió amb llum de sincrotró, per exemple, han dut al descobriment del tipus de minerals que es creu existeixen en el mantell profund de la Terra, tals com la perovskita, que es creu que és gairebé la meitat de la massa de la Terra, i la post-perovskita, que es produeix en



1

inferred for that region (see figure 2). Additionally, pressure is a 'clean' variable in that it can bring about large changes in structure and properties without altering the chemical composition or thermal energy of a system. Pressure can vary the interatomic distances in a structure considerably, more than, say, temperature; it provides an extremely powerful means for examining the relationship between structure and properties. The ability to probe this relationship with synchrotron light at high pressures has led to learn on the complexity of simple elements under high pressure such as the metallization of oxygen (see figure 3).

Figure 1: (Left) Schematic illustration of diamond anvil cell. (Right) Photomicrograph through side opening in the cell showing diamond anvils and metal gasket between them. The typical diameter of the diamond tips is ~0.6 mm.

Figure 2: Schematics showing the presence of perovskite and post-perovskite in the earth core and mantle composition (atomic structure in the insert).

Figure 3: (A) Diffraction image of solid oxygen at 133 GPa overlaid with the indexing of reflections arising from identified twins, indicated by normal and italic labels, respectively. (B) Detail of (A) to illustrate two different reflections belonging to the twins. (C) and (D) Photomicrographs of two oxygen single crystals, surrounded by helium in rhenium gaskets at 125 GPa, with the long axis perpendicular and parallel to the image, respectively. The field of view for both images is approximately 75 x 75 μm^2 .

ce en el límit entre el núcleo y el manto y explica muchas anomalías que se cree que hay en esa región (véase la figura 2). Además, la presión es una variable "limpia", ya que puede provocar grandes cambios en la estructura y las propiedades sin alterar la composición química o la energía térmica de un sistema. La presión puede variar las distancias interatómicas de una estructura de forma considerable, más que, por ejemplo, la temperatura; proporciona un medio muy potente para examinar la relación entre estructura y propiedades. La capacidad de comprobar estas relaciones con la radiación de sincrotrón a altas presiones ha llevado a aprender sobre la complejidad de elementos simples a alta presión, tales como la metalización del oxígeno (véase figura 3).

Figura 1: (Izquierda) Esquema de una celda de yunque de diamante. (Derecha) Fotomicrografía a través de la abertura lateral de la celda que muestra los yunques de diamante y la junta de metal entre ellos. El diámetro típico de las puntas de diamante es ~0,6 mm.

Figura 2: Esquema que muestra la presencia de perovskita y de post-perovskita en la composición del núcleo y el manto de la Tierra (estructura atómica en el recuadro).

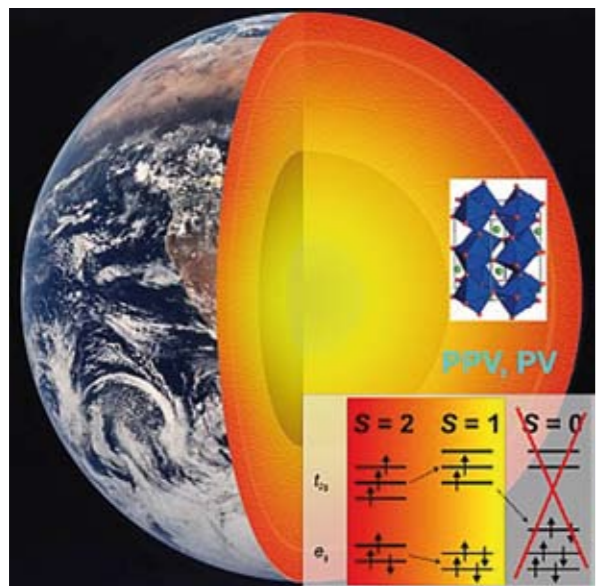
Figura 3: (A) Imagen de difracción del oxígeno sólido a 133 GPa, superpuesta con la indexación de las reflexiones surgidas de cristales gemelos identificados, indicados por etiquetas normales y en cursiva, respectivamente. (B) Detalle de (A) para ilustrar dos reflexiones diferentes pertenecientes a gemelos. (C) y (D) Fotomicrografías de dos cristales de oxígeno únicos, rodeados de helio con juntas de renio a 125 GPa, con el eje longitudinal perpendicular y paralelo a la imagen, respectivamente. El campo de visión de ambas imágenes es de aproximadamente 75 x 75 μm^2 .

el límit entre el nucli i el mantell i explica moltes anomalies que es creu que hi ha en aquesta regió (vegeu la figura 2). A més, la pressió és una variable "neta", ja que pot provocar grans canvis en l'estructura i les propietats sense alterar la composició química o l'energia tèrmica d'un sistema. La pressió pot variar les distàncies interatòmiques d'una estructura de forma considerable, més que, per exemple, la temperatura; proporciona un mitjà molt potent per a examinar la relació entre estructura i propietats. La capacitat de comprovar aquestes relacions amb la radiació de sincrotró a altes pressions ha dut a aprendre sobre la complexitat d'elements simples a alta pressió, tals com la metal·lització de l'oxigen (vegeu la figura 3).

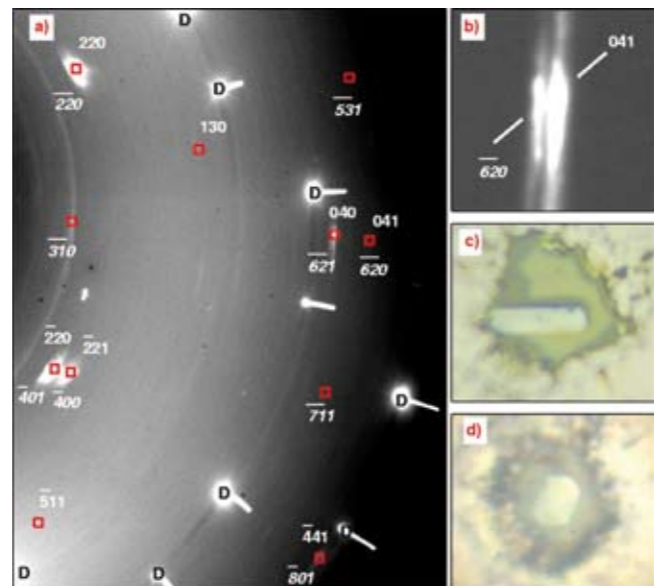
Figura 1: (Esquerra) Esquema d'una cel·la d'enclusa de diamant. (Dreta) Fotomicrografia a través de l'obertura lateral de la cel·la que mostra les encluses de diamant i la junta de metall entre elles. El diàmetre típic de les puntes de diamant és ~0,6 mm.

Figura 2: Esquema que mostra la presència de perovskita i de post-perovskita en la composició del nucli i el mantell de la Terra (estructura atòmica en el recuadre).

Figura 3: (A) Imatge de difracció de l'oxigen sòlid a 133 GPa, superposada amb la indexació de les reflexions sorgides de cristalls bessons identificats, indicats per etiquetes normals i en cursiva, respectivament. (B) Detall de (A) per a il·lustrar dues reflexions diferents pertanyents a bessons. (C) i (D) Fotomicrografies de dos cristalls d'oxigen únics, envoltats d'heli amb juntes de renio a 125 GPa, amb l'eix longitudinal perpendicular i paral·lel a la imatge, respectivament. El camp de visió d'ambdues imatges és d'aproximadament 75 x 75 μm^2 .



2



3

Materials Science: The struggle for performance

It seems to be one of the most powerful driving forces for human advancement to make life a bit more convenient tomorrow than it was yesterday. This technological development very often goes along with the discovery of new materials, the sophisticated mixture of already well-known components or simply its application in new fields.

The design of these new materials is more and more based on systematic studies and *ab-initio* calculations, thereby unraveling its characteristics and limitations with the final goal to achieve properties optimized for a very specific need.

Since all materials are composed of atoms or molecules, their specific arrangement, the crystallographic structure, is important to its properties. While classical crystallography originally deals with the investigation and description of an ideal, infinitely periodic arrangement of these ultimate components, the unit cell of a structure, the deviation from this ideality, the 'real structure', comes nowadays more and more into focus. The real structure of a material can have a strong impact on its characteristics.

Synchrotron research, especially diffraction, is a powerful tool to investigate ex-

Ciencia de materiales: La búsqueda del rendimiento

Uno de los motores más poderosos para el progreso humano es hacer la vida un poco más cómoda mañana de lo que fue ayer. Este desarrollo tecnológico va muy a menudo de la mano del descubrimiento de nuevos materiales, de la mezcla compleja de componentes ya bien conocidos o, simplemente, de su aplicación en nuevos campos.

El diseño de estos nuevos materiales está cada vez más fundamentado en estudios sistemáticos y en cálculos *ab initio*, desentrañando por tanto sus características y limitaciones con el objetivo final de lograr propiedades optimizadas para una necesidad muy concreta.

Dado que todos los materiales están compuestos de átomos o moléculas, su disposición específica, la estructura cristalográfica, es importante para sus propiedades. Aunque, originalmente, la cristalografía clásica se ocupaba de la investigación y descripción de una disposición ideal e infinitamente periódica de estos componentes últimos, la celda unidad de una estructura, la desviación de esta situación ideal, la "estructura real", tiene hoy en día cada vez más protagonismo. La estructura real de un material puede tener un fuerte impacto sobre sus características.

Ciència de materials: La recerca del rendiment

Un dels motors més poderosos per al progrés humà és aconseguir que la vida futura sigui una mica més còmoda que la d'ahir. Aquest desenvolupament tecnològic va molt sovint de la mà del descobriment de nous materials, de la barreja complexa de components ja ben coneguts o, simplement, de la seva aplicació en nous camps.

El disseny d'aquests nous materials està cada vegada més fonamentat en estudis sistemàtics i en càlculs *ab initio*, desentranant per tant les seves característiques i limitacions amb l'objectiu final d'assolir propietats optimitzades per a una necessitat molt concreta.

Atès que tots els materials estan composts d'àtoms o molècules, la seva disposició específica, l'estructura cristallogràfica, és important per a les seves propietats. Encara que originalment la cristal·lografia clàssica s'ocupava de la investigació i descripció d'una disposició ideal i infinitament periòdica d'aquests components últims, la cèl·lula unitat d'una estructura, la desviació d'aquesta situació ideal, l'estructura "real", té avui dia cada vegada més protagonisme. L'estructura real d'un material pot tenir un fort impacte sobre les seves característiques.

actly these aspects, resulting in the fact that nowadays all synchrotron installations worldwide with access to the necessary X-ray energy range facilitate this technique.

One example out of the vast variety of technologically relevant materials is the group of ferroelectrics which is a subgroup of the piezoelectric materials. We are literally surrounded by ferroelectrics, since they are used in mobile phone antennas or flash memories; they compose actuators for fuel injection systems in Diesel engines (Fig. 1), ink jet printers or ultrasonic testing equipment for technical or medical examination. And although this type of material is under investigation for many decades, now comprising hundreds of individual members, a huge number of research groups and industrial companies worldwide are doing research to understand and improve all its physical and chemical aspects.

A classical representative and working horse of this family is the compound lead-zirconate-titanate, PZT ($\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$), with a crystallographic structure very sensitive to its chemical composition (stoichiometry). While at high temperature well above room temperature its unit cell is cubic, a distortion freezes out on cooling, leading to an either rhombohedrally or tetragonally distorted cell where anions and cations are shifted with respect to each other (Fig. 2). They are, thereby,

La investigación en sincrotrones, especialmente la difracción, es una herramienta poderosa para explorar exactamente estos aspectos, lo que resulta en el hecho de que hoy en día todas las instalaciones de sincrotrón del mundo que tienen acceso a la gama de energía de rayos X necesaria facilitan esta técnica.

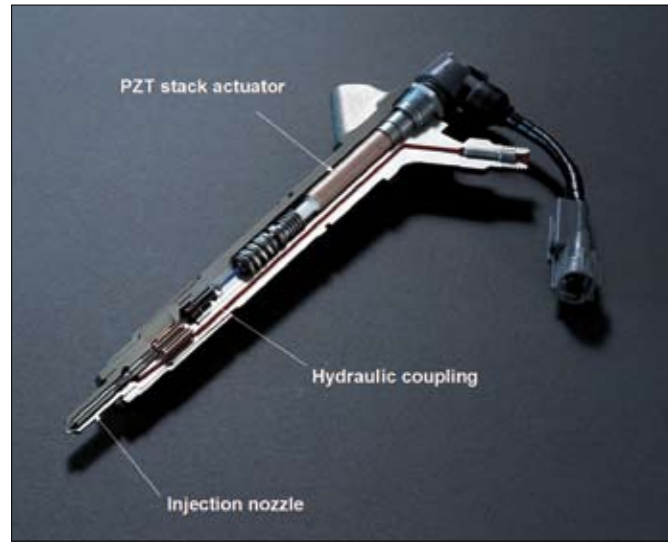
Un ejemplo de la gran variedad de materiales tecnológicamente relevantes es el grupo de los ferroeléctricos, que es un subgrupo de los materiales piezoeléctricos. Estamos literalmente rodeados de ferroeléctricos, ya que se utilizan en antenas de telefonía móvil o en memorias flash, componen los actuadores para sistemas de inyección de combustible en motores diésel (Fig. 1), en las impresoras de chorro de tinta o en los equipos de prueba de ultrasonidos para exámenes técnicos o médicos. Y aunque este tipo de material ha sido investigado durante muchas décadas, de manera que ahora incluye cientos de materiales diferentes, un gran número de grupos de investigación y de empresas industriales de todo el mundo están haciendo investigación para comprender y mejorar todos sus aspectos físicos y químicos.

Un representante clásico, y el caballo de batalla, de esta familia es el compuesto titanato-zirconato de plomo, PZT ($\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$), con una estructura cristalográfica muy sensible a su composición química (estequiometría). A al-

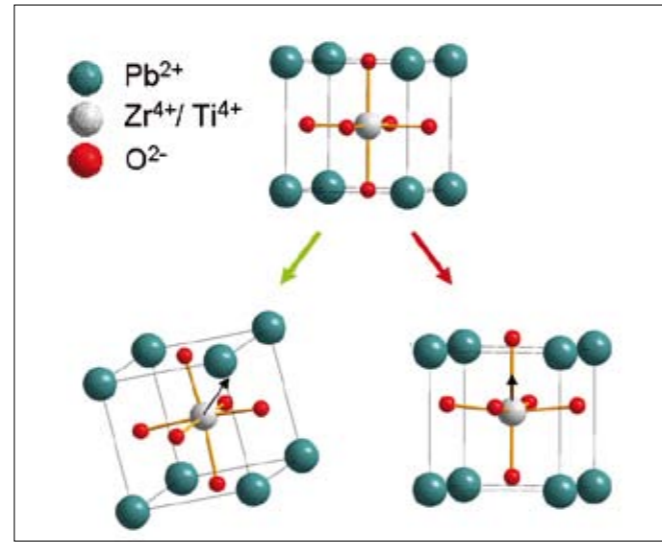
La investigació en sincrotrons, especialment la difracció, és una eina poderosa per a investigar exactament aquests aspectes, el que resulta en el fet que avui dia totes les instal·lacions de sincrotró del món que tenen accés a la gamma d'energia de raigs X necessària, faciliten aquesta tècnica.

Un exemple de la gran varietat de materials tecnològicament rellevants és el grup dels ferroelèctrics que és un subgrup dels materials piezoelèctrics. Estem literalment envoltats de ferroelèctrics, ja que s'utilitzen en antenes de telefonía mòbil o en memòries flash, componen els actuadors per a sistemes d'injecció de combustible en motors dièsel (vegeu la figura 1), en les impressores de raig de tinta o en els equips de prova d'ultrasò per a exàmens tècnics o mèdics. I encara que aquest tipus de material ha estat investigat durant moltes dècades, de manera que ara inclou centenars de materials diferents, un gran nombre de grups d'investigació i d'empreses industrials de tot el món estan fent investigació per a comprendre i millorar tots els seus aspectes físics i químics.

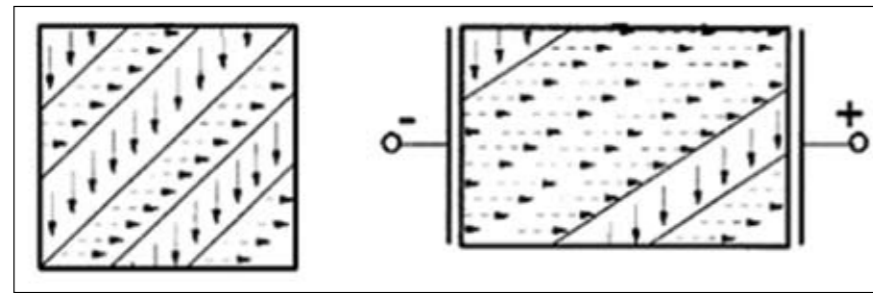
Un representant clàssic, i el cavall de batalla, d'aquesta família és el compost titanat-zirconat de plom, PZT ($\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$), amb una estructura cristal·logràfica molt sensible a la seva composició química (estequiometria). A altes temperatures, molt per sobre



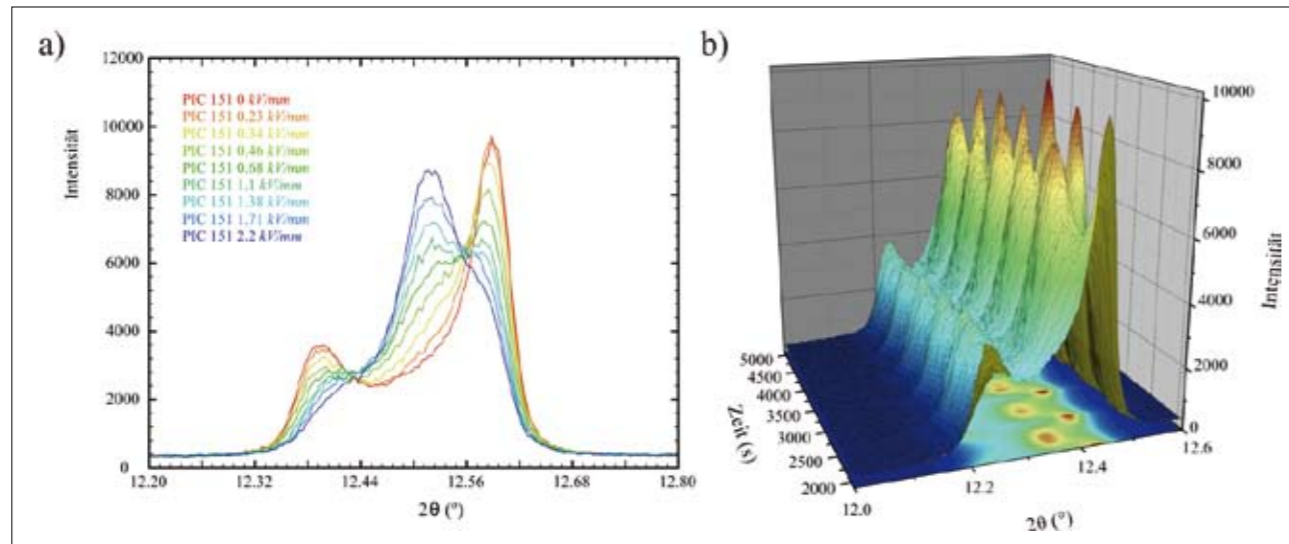
1



2



3



4

forming an electrical dipole, carrying an electrical polarization that is proportional to the distortion. The ‘ferro’ component in the name ‘ferroelectrics’ is derived from the fact that the polarization is permanent even without an external electric field since it is a feature of its crystallographic structure.

Figure 1: Fuel injection system for Diesel engines with Piezo stack actuator from DENSO company.

Figure 2: Unit cell of PZT with the cubic cell (top) and the rhombohedral (bottom left) and tetragonal distortions (bottom right). Not only are the cations shifted inside the unit cell, also the unit cell itself is elongated in the same direction.

Figure 3: Change of the domain configuration and macroscopic size in a PZT sample under application of an electric field [Hoffmann *et al.* Acta Mater. (2001) 1301-1310].

Figure 4: Detail of a sequence of synchrotron diffraction patterns under the application of a periodic electric field. The structural changes are clearly indicated by the change in intensity of the individual reflections.

Two things can now happen when ferroelectrics are exposed to an electric field: the already distorted cell is either elongated or compressed in the direction of the field or might be rotated if it is not already in the field direction. Both effects lead to a macroscopic mechanical elongation depending on the strength of the applied external field, and in this

tas temperaturas, bien por encima de la temperatura ambiente, su celda unidad es cúbica, sin embargo al enfriarse se congela una distorsión, lo que lleva a una celda distorsionada romboédrica o tetragonalmente en la que los aniones y cationes se desplazan entre sí (Fig. 2). Están, por lo tanto, formando un dipolo eléctrico, lo que lleva a una polarización eléctrica que es proporcional a la distorsión. El componente “ferro” del nombre “ferroeléctrico” deriva del hecho de que la polarización es permanente, puesto que existe sin un campo eléctrico externo, ya que es una característica de su estructura cristallográfica.

Figura 1: Sistema de inyección de combustible para motores diésel con actuador piezoeléctrico de la compañía DENSO.

Figura 2: Celda unidad de PZT con la celda cúbica (arriba) y las distorsiones romboédrica (inferior izquierda) y tetragonal (inferior derecha). No sólo los cationes se han desplazado dentro de la celda unidad, también la propia celda unidad se ha alargado en la misma dirección.

Figura 3: Cambio de la configuración de dominios y del tamaño macroscópico en una muestra de PZT bajo la aplicación de un campo eléctrico [Hoffmann *et al.* Acta Mater. (2001) 1301-1310].

Figura 4: Detalle de una secuencia de patrones de difracción de sincrotrón bajo la aplicación de un campo eléctrico periódico. Los cambios estructurales están claramente indicados por el cambio en la intensidad de las reflexiones individuales.

de la temperatura ambiente, la cel·la unitat és cúbica; no obstant això, quan es refreda es congela una distorsió que duu a una cel·la distorsionada romboèdricament o tetragonalment en la qual els anions i cations es desplacen entre si (vegeu la figura 2). Estan, per tant, formant un dipol elèctric que duu a una polarització elèctrica que és proporcional a la distorsió. El component “ferro” del nom “ferroelèctric” deriva del fet que la polarització és permanent, ja que existeix sense un camp elèctric extern, ja que és una característica de l’estructura cristal·logràfica.

Figura 1: Sistema d’injecció de combustible per a motors diésel amb actuador piezoelèctric de la companyia DENSO.

Figura 2: Cel·la unitat de PZT amb la cel·la cúbica (a dalt) i les distorsions romboèdrica (inferior esquerra) i tetragonal (inferior dreta). No només els cations s’han desplaçat dintre de la cel·la unitat, també la pròpia cel·la unitat s’ha allargat en la mateixa direcció.

Figura 3: Canvi de la configuració de dominis i de la grandària macroscòpica en una mostra de PZT sota l’aplicació d’un camp elèctric [Hoffmann *et al.* Acta Mater. (2001) 1301-1310].

Figura 4: Detall d’una seqüència de patrons de difracció de sincrotró sota l’aplicació d’un camp elèctric periòdic. Els canvis estructurals estan clarament indicats pel canvi en la intensitat de les reflexions individuals.

Quan els ferroelèctrics s’exposen a un camp elèctric poden succeir dues co-

way introducing an elegant coupling between electrical and mechanical quantities, which is the basic feature exploited in piezoelectric actuators.

Since mechanical deformation and electric dipoles must cancel out in the material in total, small domains of the order of micrometer or smaller form inside the bulk material having intrinsically the same polarization, but distinct orientations with respect to each other. Under application of an external electrical or mechanical field (i.e. voltage or pressure) these domains can rearrange themselves and grow in field direction to accommodate for the new equilibrium, thereby changing the macroscopic shape of the sample (Fig. 3). The resistance with which the material reacts upon these changes then obviously depends on the mobility of the domain walls, in other words: enhancing the mobility of the domain walls as well as pinning them down would both influence the coupling between electrical and mechanical properties.

Both effects can be induced, for instance, by doping with Na^+ or La^{3+} as electron acceptors or donors, replacing lead (Pb^{2+}) and thereby introducing either lead or oxygen vacancies in their neighborhood. A similar mechanism holds for the second cation site (Zr/Ti).

The crystallographic structure of a specific compound as well as its reaction to

Pueden suceder dos cosas cuando los ferroeléctricos se exponen a un campo eléctrico: la celda ya distorsionada bien se alarga o comprime en la dirección del campo o bien puede rotar si no está ya en la dirección del campo. Ambos efectos dan lugar a un alargamiento mecánico macroscópico en función de la intensidad del campo externo aplicado, introduciendo de esta manera un elegante acoplamiento entre las magnitudes eléctricas y mecánicas, que es la característica básica que se explota en los actuadores piezoeléctricos.

Dado que, en total, la deformación mecánica y los dipolos eléctricos en el material deben cancelarse, se forman en el interior del material pequeños dominios, del orden del micrómetro o menos, que tienen intrínsecamente la misma polarización pero con orientaciones diferentes entre sí. Bajo la aplicación de un campo eléctrico o mecánico externo (es decir, voltaje o presión) estos dominios pueden reorganizarse y crecer en la dirección del campo para acomodarse al nuevo equilibrio, cambiando así la forma macroscópica de la muestra (Fig. 3). La resistencia con la que el material reacciona a estos cambios, depende entonces obviamente de la movilidad de las paredes de dominio; en otras palabras: tanto el aumento de la movilidad de las paredes de dominio como su fijación influirán en el acoplamiento entre las propiedades eléctricas y mecánicas.

ses: la cel·la ja distorsionada bé s'allarga o es comprimeix en la direcció del camp o bé pot rotar si no està ja en la direcció del camp. Ambdós efectes donen lloc a un allargament mecànic macroscòpic en funció de la intensitat del camp extern aplicat, introduint d'aquesta manera un elegant acoblament entre les magnituds elèctriques i mecàniques, que és la característica bàsica que s'explota en els actuadors piezoelèctrics.

Atès que, en total, la deformació mecànica i els dipols elèctrics en el material s'han de cancel·lar, en l'interior del material es formen petits dominis de l'ordre del micròmetre o menys, que tenen intrínsecament la mateixa polarització però amb orientacions diferents entre si. Sota l'aplicació d'un camp elèctric o mecànic extern (és a dir, voltatge o pressió) aquests dominis es poden reorganitzar i créixer en la direcció del camp per a acomodar-se al nou equilibri, canviant així la forma macroscòpica de la mostra (vegeu la figura 3). La resistència amb la qual el material reacciona a aquests canvis depèn llavors, òbviament, de la mobilitat de les parets de domini; en altres paraules: tant l'augment de la mobilitat de les parets de domini com la seva fixació influirà en l'acoblament entre les propietats elèctriques i mecàniques.

Ambdós efectes poden ser induïts, per exemple, pel dopatge amb Na^+ o La^{3+} com receptors o donants d'electrons,

temperature or external field can now be probed by diffraction methods as Synchrotron-, Neutron-, and Electron diffraction. All methods have their area of application and are usually used complementarily. Synchrotron diffraction gives the highest resolution (Fig. 4), therefore providing most detailed structural information and can also be easily applied to probe materials under real time as well as real operating conditions.

Aspects, as the fragmentation of the domains to a nanometer scale, structural changeover depending on the local stoichiometry, mechanisms of material fatigue under multiple duty cycles, as well as the design of new lead free materials with acceptable characteristics are nowadays in the focus of research.

Ambos efectos pueden ser inducidos, por ejemplo, por el dopaje con Na^+ o La^{3+} como receptores o donantes de electrones, en sustitución de plomo (Pb^{2+}) y por lo tanto introduciendo vacantes de plomo o de oxígeno a su alrededor. Un mecanismo similar funciona para el segundo catión (Zr/Ti).

La estructura cristallográfica de un compuesto específico, así como su reacción a la temperatura o a un campo externo puede ser investigada hoy por métodos de difracción con luz de sincrotrón, neutrones y electrones. Todos los métodos tienen su ámbito de aplicación y se suelen utilizar de manera complementaria. La difracción de luz de sincrotrón da la más alta resolución (Fig. 4), proporcionando por tanto la información estructural más detallada y también se puede aplicar fácilmente para analizar materiales en tiempo real, así como en condiciones reales de funcionamiento.

Aspectos como la fragmentación de los dominios a escala nanométrica, el cambio estructural en función de la estequiometría local, los mecanismos de fatiga del material en diversos ciclos de trabajo, así como el diseño de nuevos materiales libres de plomo con características aceptables, están hoy en día en el foco de la investigación.

en substitució del plom (Pb^{2+}) i, d'aquesta manera, introduir vacants de plom o d'oxigen al seu al voltant. Un mecanisme similar funciona per al segon catió (Zr/Ti).

L'estructura cristal·logràfica d'un compost específic, així com la seva reacció a la temperatura o a un camp extern, avui pot ser investigada per mètodes de difracció amb llum de sincrotró, neutrons i electrons. Tots els mètodes tenen el seu àmbit d'aplicació i se solen utilitzar de manera complementària. La difracció de llum de sincrotró dóna la més alta resolució (vegeu la figura 4) proporcionant, per tant, la informació estructural més detallada i també es pot aplicar fàcilment per a analitzar materials en temps real, així com en condicions reals de funcionament.

Aspectes com la fragmentació dels dominis a escala nanomètrica, el canvi estructural en funció de l'estequiometria local, els mecanismes de fatiga del material en diversos cicles de treball, així com el disseny de nous materials lliures de plom amb característiques acceptables, avui dia estan en el focus de la investigació.

Installation of optics instrumentation for the XALOC beamline (BL13).

Instal·lació d'instrumentació òptica per a la línia XALOC (BL13).

Instal·lació d'instrumentació òptica per a la línia XALOC (BL13).



Macromolecular X-ray Crystallography at ALBA: How are the molecules of life?

Life in its most concise expression is composed of two main types of macromolecules: proteins and nucleic acids. Proteins are strings of smaller molecules called amino acids, of which there are 20 types (examples are: glutamine, methionine). These strings fold into wavy and ribbon-like 3D structures of just a few tens of nanometers, that is, tens of a millionth of a millimeter, resulting in an enormous number of shapes, sizes, and functions that are crucial for life. Examples of these functions are: production of motion in muscles (*myosin*, Fig. 1A), carrying nerve impulses in neurons (*ion channel*, Fig. 1B), packing DNA in the chromosomes (*nucleosome*, Fig. 1C), energy conversion (*ATP synthase*, Fig. 1D), control of sugar levels in the blood (*insulin*, Fig. 1E), oxygen transport (*haemoglobin*, Fig. 1F) or alcohol elimination (*alcohol dehydrogenase*, Fig. 1G). Nucleic acids on the other hand manage the information about how to build the living organism. These nucleic acids are the DNA, which stores the information, and the RNA, which transports and translates the information into proteins. Nucleic acids are strings of molecules called nucleotides, of which there are only 4 types: T/U, G, C, A. The nucleotides are decoded following simple

Cristalografía de macromoléculas: ¿Cómo son las moléculas de la vida?

La vida, en su expresión más concisa, se compone de dos tipos principales de macromoléculas: proteínas y ácidos nucleicos. Las proteínas son cadenas de moléculas más pequeñas llamadas aminoácidos, de los cuales hay 20 tipos (algunos ejemplos son: la glutamina y la metionina). Estas cadenas se pliegan en forma de cintas onduladas, como estructuras 3D de sólo unas pocas decenas de nanómetros, es decir, decenas de una millonésima de milímetro, dando lugar a un enorme número de formas, tamaños y funciones que son cruciales para la vida. Ejemplos de estas funciones son: producción de movimiento de los músculos (*miosina*, fig. 1A), transporte de impulsos nerviosos en las neuronas (*canales iónicos*, fig. 1B), empaquetamiento de ADN en los cromosomas (*nucleosomas*, fig. 1C), conversión de energía (*ATP sintasa*, fig. 1D), control de niveles de azúcar en sangre (*insulina*, fig. 1E), transporte de oxígeno (*hemoglobina*, fig. 1F) o la eliminación de alcohol (*alcohol deshidrogenasa*, fig. 1G). Los ácidos nucleicos, por otro lado, gestionan la información acerca de cómo construir el organismo vivo. Estos ácidos nucleicos son el ADN, que almacena la información, y el ARN, que transporta y traduce la información a las proteínas. Los ácidos nucleicos son cadenas de moléculas llamadas nucleótidos, de los cuales sólo hay 4 tipos: T/U, G, C, A. Los nucleótidos son decodificados según

Cristal·lografia de macromolècules: Com són les molècules de la vida?

La vida, en la seva expressió més concisa, es compon de dos tipus principals de macromolècules: proteïnes i àcids nucleics. Les proteïnes són cadenes de molècules més petites anomenades aminoàcids, dels quals n'hi ha 20 tipus (alguns exemples són la glutamina i la metionina). Aquestes cadenes es pleguen en forma de cintes ondulades, com estructures 3D de només unes poques desenes de nanòmetres, és a dir, desenes d'una milionèsima de mil·límetre, donant lloc a un enorme nombre de formes, grandàries i funcions que són crucials per a la vida. Exemples d'aquestes funcions són la producció de moviment dels músculs (*miosina*, fig. 1A), el transport d'impulsos nerviosos en les neurones (*canals iònics*, fig. 1B), l'empaquetament d'ADN en els cromosomes (*nucleosomes*, fig. 1C), la conversió d'energia (*ATP sintasa*, fig. 1D), el control de nivells de sucre en sang (*insulina*, fig. 1E), el transport d'oxigen (*hemoglobina*, fig. 1F) o l'eliminació d'alcohol (*alcohol deshidrogenasa*, fig. 1G). Els àcids nucleics, d'altra banda, gestionen la informació sobre com construir l'organisme viu. Aquests àcids nucleics són l'ADN, que emmagatzema la informació, i l'ARN, que transporta i tradueix la informació a les proteïnes. Els àcids nucleics són cadenes de molècules anomenades nucleòtids, dels quals només n'hi ha 4 tipus: T/U, G, C, A. Els nucleòtids són decodificats segons unes regles senzi-

Installation of the optical elements for the XALOC beamline (BL13).

Instalación de elementos ópticos para la línea XALOC (BL13).

Instal·lació d'elements òptics per a la línia XALOC (BL13).



rules to produce proteins. In essence, each three nucleotides in a sequence are decoded into one amino acid (for example, AUG codes methionine), so that the protein amino acid chain is defined. However, knowing these rules is not enough as they give us only the 1-dimensional sequence of amino acids that compose each protein. Proteins are 3D entities that can not be seen with regular microscopes, so scientists had to come up with another technique: macromolecular X-ray crystallography.

In macromolecular X-ray crystallography, scientists expose a crystal of a macromolecule (a protein or a nucleic acid) with an X-ray beam. When the X rays hit the crystal, they are scattered generating a *dotted* image [Fig. 2A-B]. These images can then be treated mathematically to obtain the structure at atomic level of the protein that forms the crystal. Due to the inherent complexity of proteins, making a crystal can be a daunting process, and to get useful crystals one may need to carry out thousands of trials. When useful protein crystals are finally obtained [Fig. 2C-D], the scientists travel to a strong X-ray light source like a synchrotron to measure high-quality *dotted* images and obtain the structure of the macromolecule. This technique is now widely used: of a meager 13 crystal structures determined until the 1970s, this number has increased to 55,000. Still, this is a tiny number compared with the hundreds of thousands of proteins that are necessary

unas reglas sencillas para producir proteínas. En esencia, cada tres nucleótidos en una secuencia se decodifican en un solo aminoácido (por ejemplo, AUG codifica la metionina), de modo que se define la cadena de aminoácidos de la proteína. Sin embargo, conocer estas reglas no es suficiente ya que nos dan sólo la secuencia 1-dimensional de los aminoácidos que componen cada proteína. Las proteínas son entidades 3D que no se pueden ver con microscopios ordinarios, por lo que los científicos tuvieron que acudir a otra técnica: la cristalografía de macromoléculas de rayos X.

En la cristalografía de macromoléculas de rayos X, los científicos exponen un cristal de una macromolécula (una proteína o un ácido nucleico), a un haz de rayos X. Cuando los rayos X inciden sobre el cristal, se dispersan generando una imagen de “puntos” [Fig. 2A-B]. Estas imágenes se pueden tratar matemáticamente para obtener la estructura a escala atómica de la proteína que forma el cristal. Debido a la inherente complejidad de las proteínas, hacer un cristal puede ser un proceso desalentador y para obtener cristales utilizables se puede necesitar llevar a cabo miles de pruebas. Cuando finalmente se obtienen cristales de proteínas útiles [Fig. 2C-D], los científicos van a una fuente potente de rayos X, como una fuente de luz de sincrotrón, para medir las imágenes de “puntos” de alta calidad y obtener la estructura de la macromolécula. Esta técnica se utiliza ampliamente: de unas escasas 13 estructuras cristalinas determinadas hasta la década de 1970, este número ha aumentado a 55.000. Sin

lles per a produir proteïnes. En essència, cada tres nucleòtids en una seqüència es decodifiquen en un sol aminoàcid (per exemple, AUG codifica la metionina), de manera que es defineix la cadena d'aminoàcids de la proteïna. No obstant això, conèixer aquestes regles no és suficient ja que ens donen només la seqüència 1-dimensional dels aminoàcids que componen cada proteïna. Les proteïnes són entitats 3D que no es poden veure amb microscopis ordinaris, pel que els científics van haver d'acudir a una altra tècnica: la cristal·lografia de macromolècules de raigs X.

En la cristal·lografia de macromolècules de raigs X, els científics exposen un cristall d'una macromolècula (una proteïna o un àcid nucleic), a un feix de raigs X. Quan els raigs X incideixen sobre el cristall es dispersen generant una imatge de “punts” [Fig. 2A-B]. Aquestes imatges es poden tractar matemàticament per a obtenir l'estructura a escala atòmica de la proteïna que forma el cristall. A causa de la inherent complexitat de les proteïnes, fer un cristall pot ser un procés descoratjador i per a obtenir cristalls utilitzables es pot necessitar portar a terme milers de proves. Quan, finalment, s'obtenen cristalls de proteïnes útils [Fig. 2C-D], els científics van a una font potent de raigs X, com una font de llum de sincrotró, per a mesurar les imatges de “punts” d'alta qualitat i obtenir l'estructura de la macromolècula. Aquesta tècnica s'utilitza àmpliament: d'unes escasses 13 estructures cristal·lines determinades fins a la dècada de 1970, aquest nombre ha augmentat a 55.000. No obstant

Panoramic view of the optical elements at the XALOC beamline (BL13).

Vista panorámica de los elementos ópticos de la línea XALOC (BL13).

Vista panorámica dels elements òptics de la línia XALOC (BL13).



for life, so the work has just started. The success of X-ray crystallography in obtaining 3D structures of macromolecules has been possible due to the availability of synchrotron light sources. In fact, the brilliance and wavelength tunability of the X rays produced in a synchrotron have proven crucial in many projects.

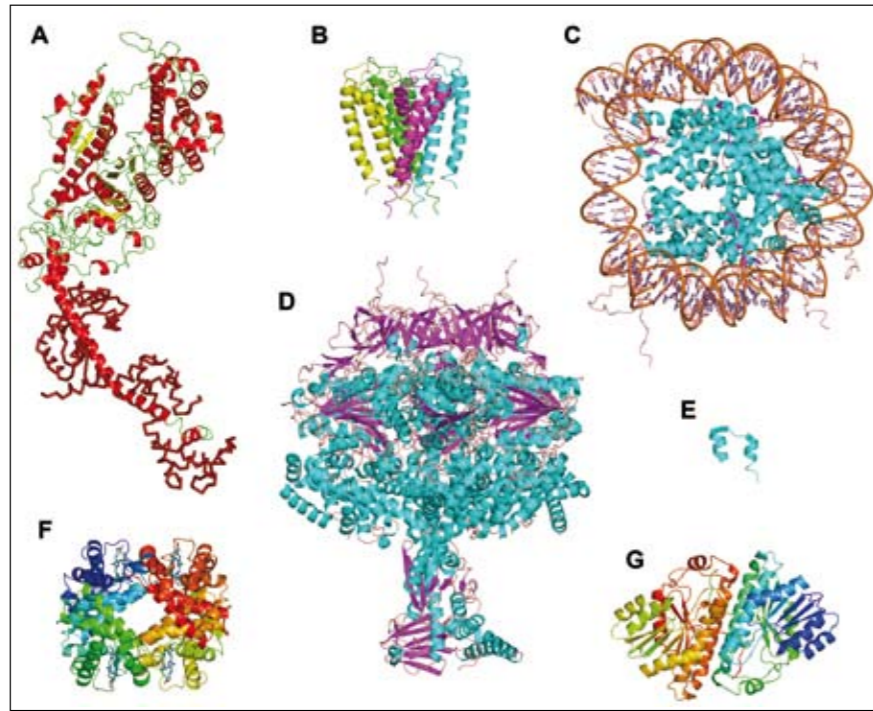
A good example of how powerful is macromolecular X-ray crystallography is given by the 2009 Nobel Prize in Chemistry, awarded to Venkatraman Ramakrishnan, Thomas A. Steitz, and Ada E. Yonath “for studies of the structure and function of the ribosome”. They used synchrotron light sources from around the world to determine the 3D structure of one of the largest molecular machines in the cell: the *ribosome*. This macromolecule is in fact a protein factory that *reads* the information stored in DNA and produces new proteins [Fig. 3]. In order to achieve this, two nucleic acids are required: transfer RNA (tRNA) and messenger RNA (mRNA). Each type of tRNA molecule contains three nucleotides on one end of the molecule and a single amino acid on the other end. When the proper match is found between the tRNA nucleotides and those of the mRNA, the amino acid that is carried by the tRNA molecule is then transferred by the ribosome to start or elongate a protein chain. The studies of these researches showed that the ribosome is divided into two main subunits; the big subunit is responsible for attaching the amino acids together and

embargo, este es un número pequeño en comparación con los cientos de miles de proteínas que son necesarias para la vida, así que el trabajo acaba de empezar. El éxito de la cristalografía de rayos X en la obtención de estructuras 3D de macromoléculas ha sido posible gracias a la disponibilidad de fuentes de luz de sincrotrón. De hecho, la brillantez y sintonizabilidad de la longitud de onda de los rayos X producidos en un sincrotrón han demostrado ser cruciales en muchos proyectos.

Un buen ejemplo de lo potente que es la cristalografía macromolecular de rayos X viene dado por el Premio Nobel de Química de 2009, otorgado a Venkatraman Ramakrishnan, Thomas A. Steitz y Ada E. Yonath “por el estudio de la estructura y función del *ribosoma*”. Utilizaron fuentes de radiación de sincrotrón de todo el mundo para determinar la estructura 3D de una de las máquinas moleculares más grandes de la célula: el *ribosoma*. Esta macromolécula es, en realidad, una fábrica de proteínas que lee la información almacenada en el ADN y produce nuevas proteínas [Fig. 3]. Para lograr esto, son necesarios dos ácidos nucleicos: el ARN de transferencia (ARNt) y el ARN mensajero (ARNm). Cada tipo de molécula de ARNt contiene tres nucleótidos en un extremo de la molécula y un único aminoácido en el otro extremo. Cuando se encuentra el ajuste adecuado entre los nucleótidos del ARNt y los del ARNm, el aminoácido que es transportado por la molécula del ARNt es transferido por el ribosoma para iniciar o alargar una cadena de proteínas. Los estudios de estas investigaciones mostraron que el ribosoma

això, aquest és un nombre petit en comparació amb els centenars de milers de proteïnes que són necessàries per a la vida, així que el treball tot just acaba de començar. L'èxit de la cristal·lografia de raigs X en l'obtenció d'estructures 3D de macromolècules ha estat possible gràcies a la disponibilitat de fonts de llum de sincrotró. De fet, la brillantor i sintonitzabilitat de la longitud d'ona dels raigs X produïts en un sincrotró han demostrat ser crucials en molts projectes.

Un bon exemple de la potència de la cristal·lografia macromolecular de raigs X ve donat pel premi Nobel de Química del 2009, atorgat a Venkatraman Ramakrishnan, Thomas A. Steitz i Ada E. Yonath “per l'estudi de l'estructura i funció del *ribosoma*”. Van utilitzar fonts de radiació de sincrotró de tot el món per a determinar l'estructura 3D d'una de les màquines moleculares més grans de la cèl·lula: el *ribosoma*. Aquesta macromolècula és, en realitat, una fàbrica de proteïnes que llegeix la informació emmagatzemada en l'ADN i produeix noves proteïnes [Fig. 3]. Per a assolir això, són necessaris dos àcids nucleics: l'ARN de transferència (ARNt) i l'ARN missatger (ARNm). Cada tipus de molècula de ARNt conté tres nucleòtids en un extrem de la molècula i un únic aminoàcid en l'altre extrem. Quan es troba l'ajustament adequat entre els nucleòtids de l'ARNt i els de l'ARNm, l'aminoàcid que es transporta per la molècula de l'ARNt és transferit pel ribosoma per a iniciar o allargar una cadena de proteïnes. Els estudis d'aquestes investigacions van mostrar que el ribosoma es divideix en dues subunitats principals, la subunitat gran és



1

starting or elongating a new protein, and the small subunit that acts as a ruler that checks that the DNA reading process is correct. Using this atomic ruler, the ribosome double-checks that everything is fine and ensures that errors only occur about once in 100,000 amino acids. In this case macromolecular X-ray crystallography has provided a way to see how this exquisite machine works and how proteins and life itself are born.

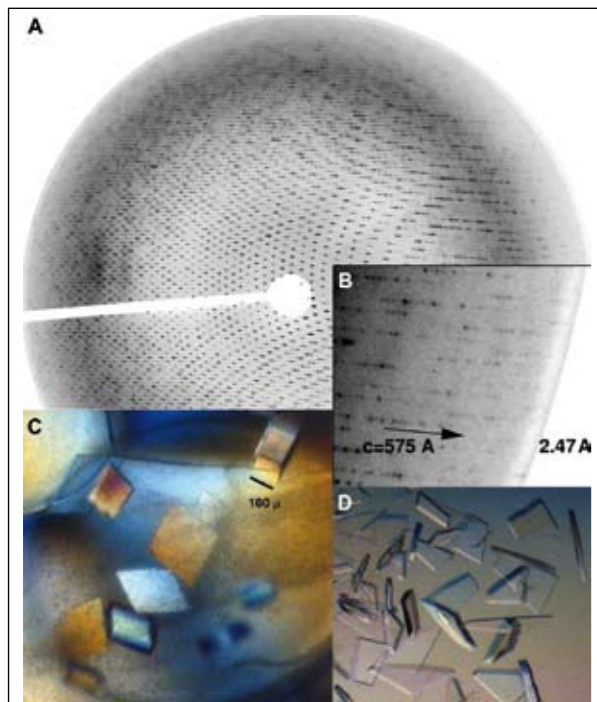
Figure 1: Several 3D structures of proteins and DNA determined by X-ray crystallography. The 3D structure determination of some of them was awarded with the Nobel Price in Chemistry: (B) in 2003, (D) in 1997, (E) in 1964, and (F) in 1962. The coordinates where obtained from the Protein Data Bank.

se divide en dos subunidades principales, la subunidad grande es responsable de la colocación de los aminoácidos juntos y empezar o elongar una nueva proteína, y la subunidad pequeña actúa como una regla que verifica que el proceso de lectura del ADN es correcto. Usando esta regla atómica, el ribosoma comprueba doblemente que todo está bien y asegura que los errores sólo se producen una vez en cada 100.000 aminoácidos. En este caso la cristalografía macromolecular de rayos X ha proporcionado una forma de ver cómo funciona esta exquisita máquina y cómo nacen las proteínas y la vida misma.

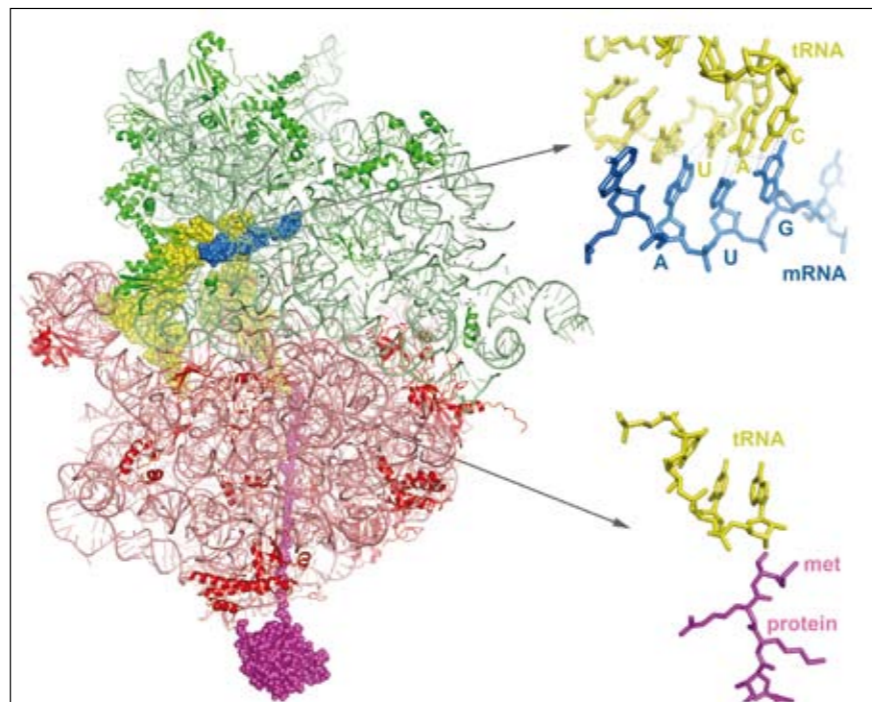
Figura 1: Varias estructuras 3D de proteínas y de ADN determinadas por cristalografía de rayos X. La determinación de la estructura 3D de algunas de ellas fue galardonada con el Premio Nobel de Química: (B) en 2003, (D) en 1997, (E) en 1964 y (F) en 1962. Las coordenadas se obtuvieron del Banco de Datos de Proteínas.

responsable de la col·locació dels aminoàcids junts i començar o elongar una nova proteïna, i la subunitat petita actua com un regle que verifica que el procés de lectura de l'ADN és correcte. Usant aquest regle atòmic, el ribosoma comprova doblement que tot està bé i assegura que els errors només es produeixen una vegada en cada 100.000 aminoàcids. En aquest cas la cristal·lografia macromolecular de raigs X ha proporcionat una forma de veure com funciona aquesta exquisida màquina i com neixen les proteïnes i la vida mateixa.

Figura 1: Diverses estructures 3D de proteïnes i d'ADN determinades per cristal·lografia de raigs X. La determinació de l'estructura 3D d'algunes va ser guardonada amb els Premis Nobel de Química: (B) el 2003, (D) el 1997, (E) el 1964 i (F) el 1962. Les coordenades es van obtenir del Banc de Dades de Proteïnes.



2



3

Figure 2: Partial view of an X-ray diffraction image produced by a crystal of the large subunit of the ribosome (A) and a close-up (B). Crystals of the large subunit of the ribosome (C, D), the bar represents 0.1 mm. These photographs are courtesy of Prof. T. Steitz.

Figure 3: A cut-off view of the structure of the ribosome: large subunit (red), small subunit (green), tRNA (yellow), mRNA (blue), and a newly manufactured protein (magenta). Top right: nucleotide matching between the tRNA (yellow) and the mRNA (blue). Bottom right: transfer of one amino acid (methionine) from the tRNA (yellow) to the new protein chain (magenta). The coordinates were obtained from the Protein Data Bank.

Figura 2: Vista parcial de una imatge de difracció de raigs X produïda per un cristall de la subunitat gran del ribosoma (A) i una ampliació (B). Cristalls de la subunitat gran del ribosoma (C, D), la barra representa 0,1 mm. Aquestes fotografies són cortesia del Prof. T. Steitz.

Figura 3: Corte de la estructura del ribosoma: la subunitat grande (rojo), la subunitat pequeña (verde), el ARNt (amarillo, tRNA en inglés), el ARNm (azul, mRNA en inglés), y una proteína de nueva fabricación (magenta). Arriba a la derecha: concordancia de nucleótidos entre el ARNt (groc) i l'ARNm (blau). A baix a la derecha: transferència d'un aminoàcid (metionina) del ARNt (groc) a la nova cadena de proteïnes (magenta). Las coordenadas se obtuvieron del Banco de Datos de Proteínas.

Panoramic view of the ALBA Hall, with the XALOC beamline (BL13) hutch at the forefront (white) and the accelerator tunnel (with the roof partially open for storage ring mechanical installation) plus the NCD beamline (BL11) hutch (purple) at the background.

Vista panorámica del edificio principal de ALBA, con la cabina de la línea XALOC (BL13) en la parte delantera (blanco) y el túnel de aceleradores (con el techo parcialmente abierto para el montaje del anillo de almacenamiento) y la cabina de la línea NCD (BL11, violeta) al fondo.

Vista panoràmica de l'edifici principal d'ALBA, amb la cabina de la línia XALOC (BL13) a la part davantera (blanc) i el túnel d'acceleradors (amb el sostre parcialment obert per al muntatge de l'anell d'emmagatzematge) i la cabina de la línia NCD (BL11, violeta) al fons.



External view of the monochromator for the NCD beamline (BL11).

Vista exterior del monocromador para la línea NCD (BL11).

Vista exterior del monocromador per a la línia NCD (BL11).



A beamline for time resolved X-ray scattering experiments on non-crystalline systems

The technique of time resolved X-ray scattering and diffraction both at very low scattering angles, i.e. small angle X-ray scattering or SAX, and at wider angles, i.e. wide angle X-ray scattering or WAX, is very popular and its application can be found at nearly all synchrotron light sources. The high brilliance of X-rays from undulators at third generation synchrotron light sources makes those specially suited for these applications.

X-ray scattering/diffraction experiments at small and wide angles are almost invariably conducted on non-crystalline, or poorly crystalline, materials and, hence, the generic name for the technique used here. This is because functional biological systems can only be investigated in a non-crystalline state where the main aim of the technique is to describe the important correlation between molecular structure and function.

The functional specimens may be available as solutions, gels, sols or fibrous polymers of biological systems or man-made ones (e.g. solutions of proteins, such as myosin, or cells organelles, such as microtubules, fibres such as DNA, or muscles tissues, or industrial polymers). With the experimental method it is possi-

Experimentos de dispersión de rayos X con resolución temporal en sistemas no cristalinos

La técnica de dispersión/difracción de rayos X con resolución temporal, tanto a ángulos de dispersión muy bajos, es decir, dispersión de rayos X a pequeño ángulo o SAX, como a ángulos más anchos, es decir, dispersión de rayos X a ángulos grandes o WAX, es muy popular y su aplicación se encuentra en casi todas las fuentes de luz de sincrotrón. El alto brillo de los rayos X de los onduladores de las fuentes de luz de sincrotrón de tercera generación hace que estén especialmente adaptados para estas aplicaciones.

Los experimentos de dispersión/difracción de rayos X a ángulos pequeños y grandes se llevan a cabo casi invariablemente en materiales no-cristalinos, o poco cristalinos, y de aquí viene el nombre genérico de la técnica utilizada. Esto se debe a que los sistemas biológicos funcionales sólo se pueden investigar en un estado no-cristalino donde el principal objetivo de la técnica es describir la importante correlación entre la estructura molecular y la función.

Las muestras funcionales pueden presentarse como soluciones, geles, soles o polímeros fibrosos de sistemas biológicos o artificiales (por ejemplo, soluciones de proteínas, como la miosina, o orgánulos celulares, como los microtúbulos,

Experiments de dispersió de raigs X amb resolució temporal en sistemes no cristal·lins

La tècnica de dispersió/difracció de raigs X amb resolució temporal, tant a angles de dispersió molt baixos, és a dir, dispersió de raigs X a petit angle o SAX, i a angles més amples, és a dir, dispersió de raigs X a angles grans o WAX, és molt popular i la seva aplicació es troba en gairebé totes les fonts de llum de sincrotró. L'alta brillantor dels raigs X dels onduladors de les fonts de llum de sincrotró de tercera generació fa que estiguin especialment adaptats per a aquestes aplicacions.

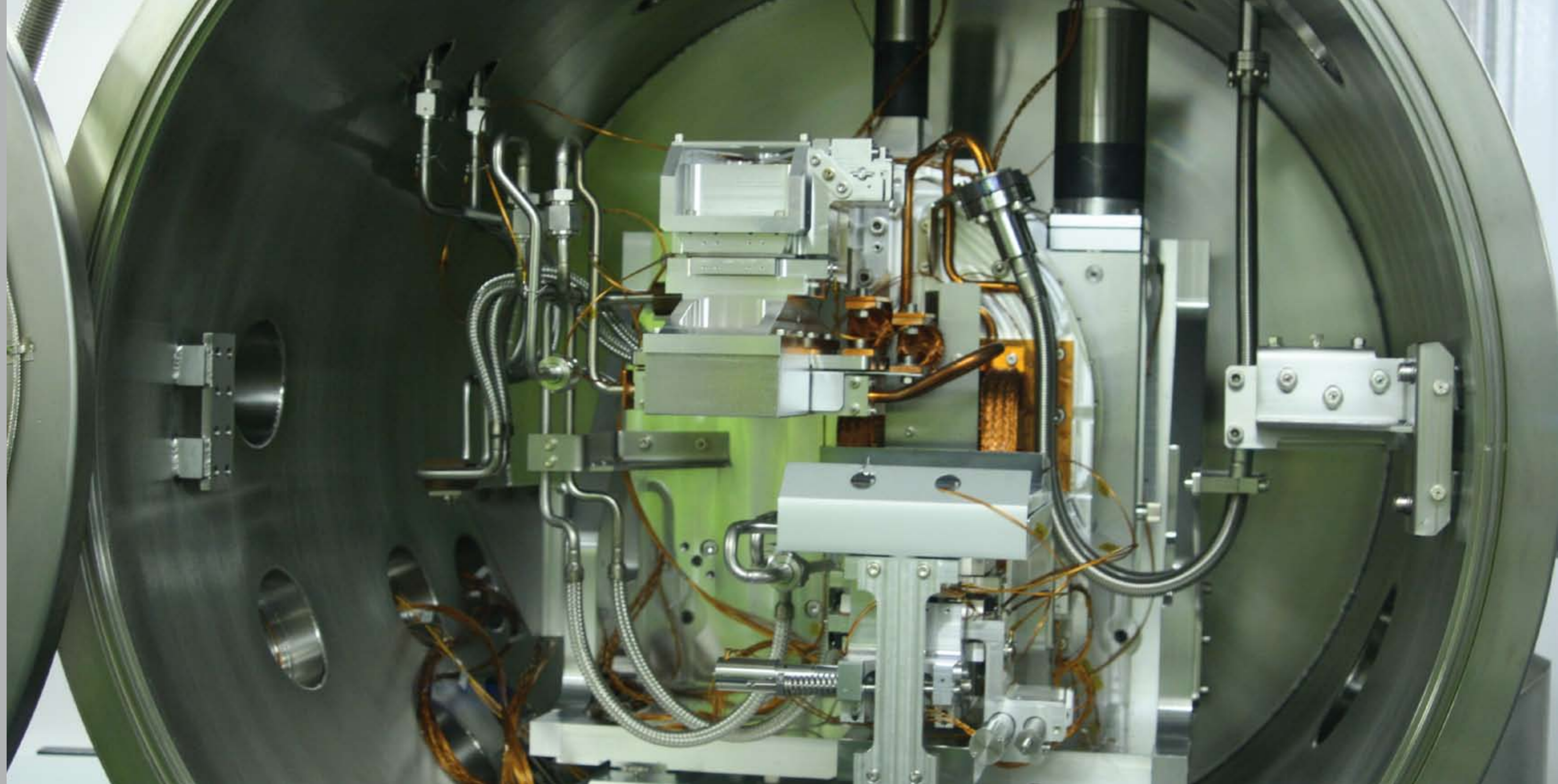
Els experiments de dispersió/difracció de raigs X a angles petits i amples es porten a terme gairebé invariablement en materials no-cristal·lins, o poc cristal·lins, i d'aquí ve el nom genèric de la tècnica utilitzada. Això es deu al fet que els sistemes biològics funcionals només es poden investigar en un estat no-cristal·lí on el principal objectiu de la tècnica és descriure la important correlació entre l'estructura molecular i la funció.

Les mostres funcionals poden presentar-se com solucions, gels, sols o polímers fibrosos de sistemes biològics o artificials (per exemple, solucions de proteïnes, com la miosina, o orgànuls cel·lulars, com microtúbuls, fibres com l'ADN, tei-

Inside view of the monochromator for the NCD beamline (BL11).

Vista interior del monocromador para la línea NCD (BL11).

Vista interior del monocromador per a la línia NCD (BL11).



ble to extract structural information at the molecular level whilst the system carries out its function (e.g. the self-assembly of a cell organelle or of a large molecular complex from its basic building blocks).

To illustrate the potential of the technique let us stay with fibres. We are daily surrounded by materials that contain fibers that are natural, in other words biological, or manmade. A fiber is a generic term for any thread or filaments forming animal or plant tissues. For instance, fibers form the structural component of skin, bone, hair, collagen and muscle tissues (Fig. 1). The most common organic compound on Earth that forms the structural component of cell walls in green plants, algae and the oomycetes is *cellulose*. Nearly 33 percent of all plant matter is cellulose and its industrial usage is varied.

In fact, the interest in fibres goes back many years as in the 1930s William Thomas Astbury in Leeds, UK, an English physicist and molecular biologist made a number of pioneering X-ray diffraction studies of fibrous substances such as wool with funding from the textile industry. His results led to the discovery of the alfa-helix by Linus Pauling. Naturally, the best known, and arguably the most important, biological fibrous system is DNA and, indeed, DNA is still studied today at synchrotron light facilities but it was Astbury in collaboration with Torbjörn Caspersson, who together studied for the first time the structure of DNA.

fibras como el ADN, tejidos musculares, o polímeros industriales). Con el método experimental es posible extraer información estructural a nivel molecular mientras el sistema lleva a cabo su función (por ejemplo, el auto-ensamblaje de un orgánulo celular o de un complejo molecular grande a partir de sus bloques constitutivos básicos).

Para ilustrar el potencial de la técnica quedemos con fibras. Estamos todos los días rodeados de materiales que contienen fibras que son naturales, en otras palabras, biológicas, o artificiales. Fibra es un término genérico para cualquier hilo o filamento que forme tejidos animales o vegetales. Por ejemplo, las fibras constituyen el componente estructural de la piel, los huesos, el cabello, el colágeno y el tejido muscular (Fig. 1). El compuesto orgánico más común en la Tierra, que forma el componente estructural de las paredes celulares de las plantas verdes, las algas y los oomicetos, es la celulosa. Casi el 33 por ciento de toda la materia vegetal es celulosa y su uso industrial es variado.

De hecho, el interés por las fibras viene de muchos años atrás cuando en la década de 1930 William Thomas Astbury, en Leeds, Reino Unido, un físico y biólogo molecular inglés, realizó una serie de estudios pioneros de difracción de rayos X de sustancias fibrosas, como la lana, con la financiación de la industria textil. Sus resultados llevaron al descubrimiento de la alfa-hélice por Linus Pauling. Naturalmente, la más conocida, y pro-

xits musculars, o polímers industrials). Amb el mètode experimental és possible extreure informació estructural a nivell molecular mentre el sistema porta a terme la seva funció (per exemple, l'auto-ensamblatge d'un orgànul cel·lular o d'un complex molecular gran a partir dels seus blocs constitucionals bàsics).

Per tal d'il·lustrar el potencial de la tècnica quedem-nos amb fibres. Estem tots els dies envoltats de materials que contenen fibres que són naturals, en altres paraules, biològiques, o artificials. Una fibra és un terme genèric per a qualsevol fil o filament que formi teixits animals o vegetals. Per exemple, les fibres constitueixen el component estructural de la pell, els ossos, els cabells, el col·làgen i el teixit muscular (Fig. 1). El compost orgànic més comú en la Terra, que forma el component estructural de les parets cel·lulars de les plantes verdes, les algues i els oomicets, és la cel·lulosa. Gairebé el 33 per cent de tota la matèria vegetal és cel·lulosa i el seu ús industrial és variat.

De fet, l'interès per les fibres ve de molts anys enrere quan en la dècada de 1930 William Thomas Astbury, a Leeds, Regne Unit, físic i biòleg molecular anglès, va realitzar una sèrie d'estudis de difracció de raigs X pioners de substàncies fibroses, com la llana, amb el finançament de la indústria tèxtil. Els seus resultats van dur al descobriment de la alfa-hèlix per Linus Pauling. Naturalment, el més conegut, i probablement el més important,

With advances in fibre diffraction theory by the 1950s and using information from these early studies allowed Rosalind Franklin, Maurice Wilkins, Francis Crick and James D Watson (see Fig. 2) to fully determine the structure of DNA in 1953 and were nine years later awarded a Noble prize for this work. The cylindrically averaged diffraction pattern of fibers that incidentally produce the famous helical cross do in general not provide the atomic but rather the molecular structure of the investigated systems.

It is true that the structure of fibers is almost always built around some form of helical organization and, indeed, this is one of the properties that allow them to sustain large compressions and extensions in the direction of the fibre axis and, thus, make them important as structural building blocks in many systems (biological or otherwise). However, they are sensitive to shear.

Complex as it is, the structure of DNA, given its relatively small periodic repeats, was solved using data collected with conventional X-ray sources. The advent of synchrotron light sources has allowed to look at structural transitions in DNA, i.e. has allowed to detect short-lived structural intermediates. However, third generation synchrotron light sources such as ALBA have already allowed and will continue allow to establishing important structural functional relationships in much more complicated fibrous sys-

blemente el más importante sistema fibroso biológico es el ADN y, de hecho, el ADN sigue siendo estudiado hoy en las instalaciones de luz de sincrotrón, pero fueron Astbury y Torbjörn Caspersson en colaboración quienes, conjuntamente, estudiaron por primera vez la estructura del ADN. Los avances en la teoría de la difracción por fibras en los años 1950 y el uso de la información de estos primeros estudios permitió a Rosalind Franklin, Maurice Wilkins, Francis Crick y James D. Watson (véase Fig. 2) esclarecer completamente la estructura del ADN en 1953 y nueve años más tarde les fue concedido un premio Nobel por este trabajo. El patrón de difracción promediado cilíndricamente de las fibras que, por cierto, producen la famosa cruz helicoidal, en general no proporciona la estructura atómica sino más bien la molecular de los sistemas investigados.

Es cierto que la estructura de las fibras se estructura casi siempre en torno a alguna forma de organización helicoidal y, de hecho, esta es una de las propiedades que les permite aguantar compresiones y extensiones en la dirección del eje de la fibra y, por tanto, las hace importantes como bloques de construcción estructurales en muchos sistemas (biológicos o no). Sin embargo, son sensibles al corte.

Pese a su complejidad, dadas su relativamente pequeñas repeticiones periódicas, la estructura del ADN se resolvió a partir de datos recogidos con fuentes

sistema fibrós biològic és l'ADN i, de fet, l'ADN segueix sent estudiat avui en les instal·lacions de llum de sincrotró, però van ser Astbury y Torbjörn Caspersson qui, conjuntament, van estudiar per primera vegada l'estructura de l'ADN. Els avenços en la teoria de la difracció per fibres en els anys 1950 i l'ús de la informació d'aquests primers estudis va permetre a Rosalind Franklin, Maurice Wilkins, Francis Crick i James D. Watson (vegeu la figura 2) esclarir completament l'estructura de l'ADN el 1953 i, nou anys més tard, els va ser concedit un premi Nobel per aquest treball. El patró de difracció mitjanat cilíndricament de les fibres que, per cert, produeixen la famosa creu helicoidal, en general no proporciona l'estructura atòmica sinó més aviat la molecular dels sistemes investigats.

És cert que les fibres s'estructuren gairebé sempre entorn d'alguna forma d'organització helicoidal i, de fet, aquesta és una de les propietats que els permet aguantar compresions i extensions en la direcció de l'eix de la fibra i, per tant, els fan importants com blocs de construcció estructurals en molts sistemes (biològics o no). No obstant això, són sensibles al tall.

Complexa com és l'estructura de l'ADN, ateses les seves relativament petites repeticions periòdiques, es va resoldre a partir de dades recollides amb fonts de raigs X convencionals. L'adveniment de les fonts de llum de sincrotró ha per-

tems. A good example of such a complex system is muscle tissues.

Muscle tissues are organised assemblies of helical structures. The two most important ones are the so-called thin and thick filaments that contain the motor proteins actin and myosin, respectively. Monomers of actin and myosin assemble during cell differentiation into these filaments with a helical organization. In the long helical groove of actin thin filaments there lays a filamentous protein called tropomyosin and at every ca. 14 actin monomers there is another protein called troponin. The thick filaments are primarily made up of myosin (but by no means exclusively!) that has self assembled so that the alpha-helical tails of myosin pack into a backbone from which the motor domains protrude following a triple helical structure. Thick and thin muscle filaments emanate with opposite polarities from plates of proteins and where they overlap they do so with a hexagonal arrangement. As can be deduced from the description above this is a complex composed of biological molecules that probably has the largest crystallographic repeat ever studied, the repeating unit, or sarcomere, is approximately 2.3 μm . The repeat of the sarcomere is in fact so large that it can be seen by eye. Within this large assembly the various proteins modify their structures and in the process they transform chemical energy into force and/or motion.

de rayos X convencionales. El advenimiento de las fuentes de luz de sincrotrón ha permitido observar transiciones estructurales en el ADN, es decir, ha permitido detectar estados estructurales intermediarios de vida corta. Sin embargo, las fuentes de luz de sincrotrón de tercera generación, tales como ALBA ya han permitido, y seguirán permitiendo, establecer importantes relaciones funcionales estructurales en sistemas fibrosos mucho más complicados. Un buen ejemplo de tales sistemas complejos es el tejido muscular.

Los tejidos musculares son ensamblajes organizados de estructuras helicoidales. Los dos más importantes son los filamentos llamados fino y grueso que contienen las proteínas motoras actina y miosina, respectivamente. Los monómeros de actina y miosina se ensamblan durante la diferenciación celular en estos filamentos en una organización helicoidal. En el largo surco helicoidal de la actina del filamento delgado hay una proteína filamentosa denominada tropomiosina y a, aproximadamente, cada 14 monómeros de actina hay otra proteína llamada troponina. Los filamentos gruesos están compuestos esencialmente de miosina (¡pero en absoluto exclusivamente!) que se han auto-ensamblado de manera que las colas del alfa-hélice de la miosina se empaquetan en una columna vertebral de la que sobresalen los dominios motores siguiendo una estructura helicoidal triple. Los filamentos musculares gruesos y delgados emanan con

mès observar transicions estructurals en l'ADN, és a dir, detectar estats estructurals intermediaris de vida curta. No obstant això, les fonts de llum de sincrotró de tercera generació, tals com ALBA, ja han permès, i seguiran permetent, establir importants relacions funcionals estructurals en sistemes fibrosos molt més complicats. Un bon exemple d'aquests sistemes complexos és el teixit muscular.

Els teixits musculars són ensamblatges organitzats d'estructures helicoidals. Els dos més importants són els filaments anomenats fi i gruixut que contenen les proteïnes motores l'actina i la miosina, respectivament. Els monòmers d'actina i de miosina s'ensamblen durant la diferenciació cel·lular en aquests filaments en una organització helicoidal. En el llarg solc helicoidal de l'actina del filament prim hi ha una proteïna filamentosa denominada tropomiosina i aproximadament a cada 14 monòmers d'actina hi ha una altra proteïna anomenada troponina. Els filaments gruixuts, compostos essencialment de miosina (però no pas exclusivament!) s'autoensamblen de manera que les cues de l'alfa-hèlix de la miosina s'empaqueten en una columna vertebral de la qual sobresurten els dominis motors seguint una estructura helicoidal triple. Els filaments musculars gruixuts i prims emanen amb polaritats oposades de plaques de proteïnes i, on se superposen, ho fan en una disposició hexagonal. Tal com es pot deduir de la

In order to correlate structural changes with the functionality of muscle tissue it is essential that intermediate structural states crucial to the function of muscle and that only are present for a brief moment can be recorded in a time-resolved manner. For example: during muscle activation molecular rearrangements movements of troponin and tropomyosin filaments associated with this initial phase of contraction last only for a few milliseconds. X-ray sources of extremely high brilliance are needed to capture the important structural information about these short-lived intermediates whilst at the same time adequately resolving the diffraction features associated with large crystallographic repeats. Quite simply, much of what is known today about skeletal muscle structure and function has only been possible to ascertain because of the availability of ever more brilliant synchrotron light sources such as ALBA is designed to be.

Figure 1: Transmission electron micrograph of a longitudinal section of frog sartorius muscle where the repeating sarcomere structure can be clearly seen (Courtesy of J. Bordas).

Figure 2: A non-crystalline X-ray diffraction pattern of DNA recorded in 1943 by W. Astbury that demonstrated how DNA must have a regular, periodic structure. The X-ray diagram clearly shows the feature of the helical cross. http://www.genome.gov/Images/EdKit/picture_1943.gif

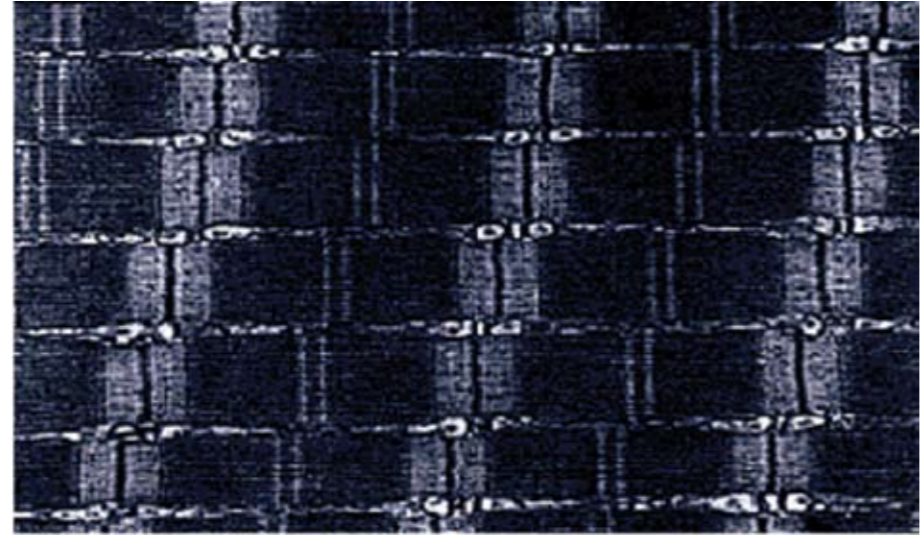
Figure 3: Two-dimensional X-ray diffraction patterns from live frog leg muscle in two

polaridades opuestas de placas de proteínas y, donde se superponen, lo hacen en una disposición hexagonal. Como puede deducirse de la descripción anterior se trata de un complejo compuesto de moléculas biológicas que posee probablemente la mayor repetición cristalográfica jamás estudiada, ya que la unidad que se repite, o sarcómero, es de aproximadamente 2,3 μm . La repetición del sarcómero es, de hecho, tan grande que puede verse a simple vista. Dentro de este gran ensamblaje, las distintas proteínas modifican sus estructuras y, en el proceso, transforman la energía química en fuerza y/o movimiento.

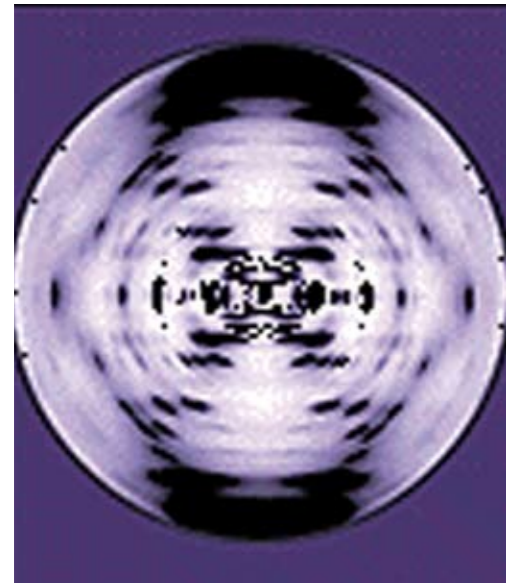
Con el fin de correlacionar los cambios estructurales con la funcionalidad del tejido muscular es esencial que los estados estructurales intermediarios, cruciales para la función del músculo y que sólo están presentes durante un breve instante, se puedan registrar con resolución temporal. Por ejemplo: durante la activación del músculo los movimientos de reordenamiento molecular de los filamentos de troponina y tropomiosina, asociados con esta fase inicial de la contracción, duran sólo unos pocos milisegundos. Las fuentes de rayos X de muy alta brillantez son necesarias para captar la importante información estructural sobre estos intermediarios de corta duración, mientras que, al mismo tiempo, sea posible resolver adecuadamente las características de la difracción asociadas con grandes repeticiones cristalográficas. En pocas palabras, mu-

descripció anterior es tracta d'un complex compost de molècules biològiques que posseeix probablement la major repetició cristal·logràfica mai estudiada, ja que la unitat que es repeteix, o sarcòmer, és d'uns 2,3 μm . De fet, la repetició del sarcòmer és tan gran que es pot veure a simple vista. Dins d'aquest gran ensamblatge, les diferents proteïnes modifiquen les seves estructures i, en el procés, transformen l'energia química en força i/o moviment.

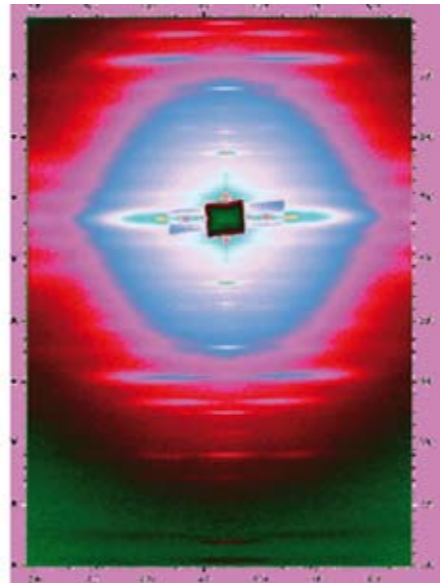
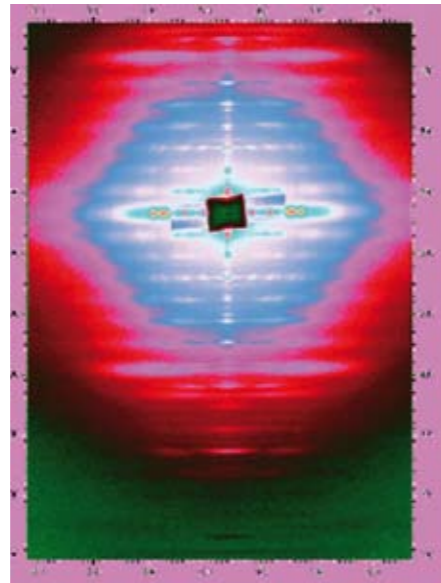
Amb la finalitat de correlacionar els canvis estructurals amb la funcionalitat del teixit muscular és essencial que els estats estructurals intermediaris, crucials per a la funció del múscul i que només estan presents durant un breu instant, es puguin registrar amb resolució temporal. Per exemple, durant l'activació del múscul els moviments de reordenament molecular dels filaments de troponina i tropomiosina, associats amb aquesta fase inicial de la contracció, dura només uns pocs mil·lisegons. Les fonts de raigs X de molt alta brillantor són necessàries per a captar la important informació estructural sobre aquests intermediaris de curta durada, mentre que alhora resolten adequadament les característiques de la difracció associades amb grans repeticions cristal·logràfiques. En poques paraules, molt del que avui es coneix sobre l'estructura i funció esquelètica del múscul només ha estat possible de determinar gràcies a la disponibilitat de fonts de llum de sincrotró, cada vegada



1



2



3

structurally well-defined states of the contraction cycle are shown. In the left panel is shown a diffraction pattern from a muscle at rest. It exhibits a semi-ordered system and therefore more reflections are observed. In the right panel is shown a diagram from a muscle that is producing tension during steady state contraction but that is prevented from changing its length during contraction, so called isometric contraction. Here, intensities of the reflections are redistributed and appear at slightly different positions that reflect the fact that interaction between the actin and myosin fibres is taking place during contraction. In both pattern it is possible to see the helical crosses from the main muscle protein fibres, actin and myosin). (Data collected at ID-02, ESRF).

cho de lo que hoy se conoce acerca de la estructura y función esquelética del músculo se ha podido determinar sólo debido a la disponibilidad de fuentes de luz de sincrotrón cada vez más brillantes, como la que ofrece el diseño de ALBA.

Figura 1: Micrografía electrónica de transmisión de una sección longitudinal del músculo sartorio de la rana en la que la estructura del sarcómero que se repite se puede ver claramente (Cortesía de J. Bordas).

Figura 2: Patrón de difracción de rayos X no cristalino de ADN registrado en 1943 por W. Astbury que demostró como el ADN debe tener una estructura regular y periódica. El diagrama de rayos X muestra claramente la característica de la cruz helicoidal. http://www.genome.gov/Images/EdKit/picture_1943.gif

Figura 3: Se muestran los patrones bidimensionales de difracción de rayos x del músculo vivo de la pata de una rana en dos estados estructuralmente bien definidos del ciclo de contracción. En el panel izquierdo se muestra un patrón de difracción de un músculo en reposo. Exhibe un sistema semiordenado y, por lo tanto, se observan más reflexiones. En el panel de la derecha se muestra un patrón de un músculo en el que se está produciendo tensión durante el estado de contracción estacionario, pero que no puede cambiar su longitud durante la contracción, lo que se llama contracción isométrica. Aquí, las intensidades de las reflexiones están redistribuidas y aparecen en posiciones ligeramente diferentes que reflejan el hecho de que la interacción entre las fibras de actina y miosina tiene lugar durante la contracción. En los dos patrones es posible ver las cruces helicoidales de las fibras de proteína del músculo principal, la actina y la miosina. (Datos recogidos en el ID-02, ESRF).

més brillants, com la que oferix el disseny d'ALBA.

Figura 1: Micrografia electrònica de transmissió d'una secció longitudinal del múscul sartori de la granota en la qual l'estructura del sarcòmer que es repeteix es pot veure clarament (Cortesía de J. Bordas).

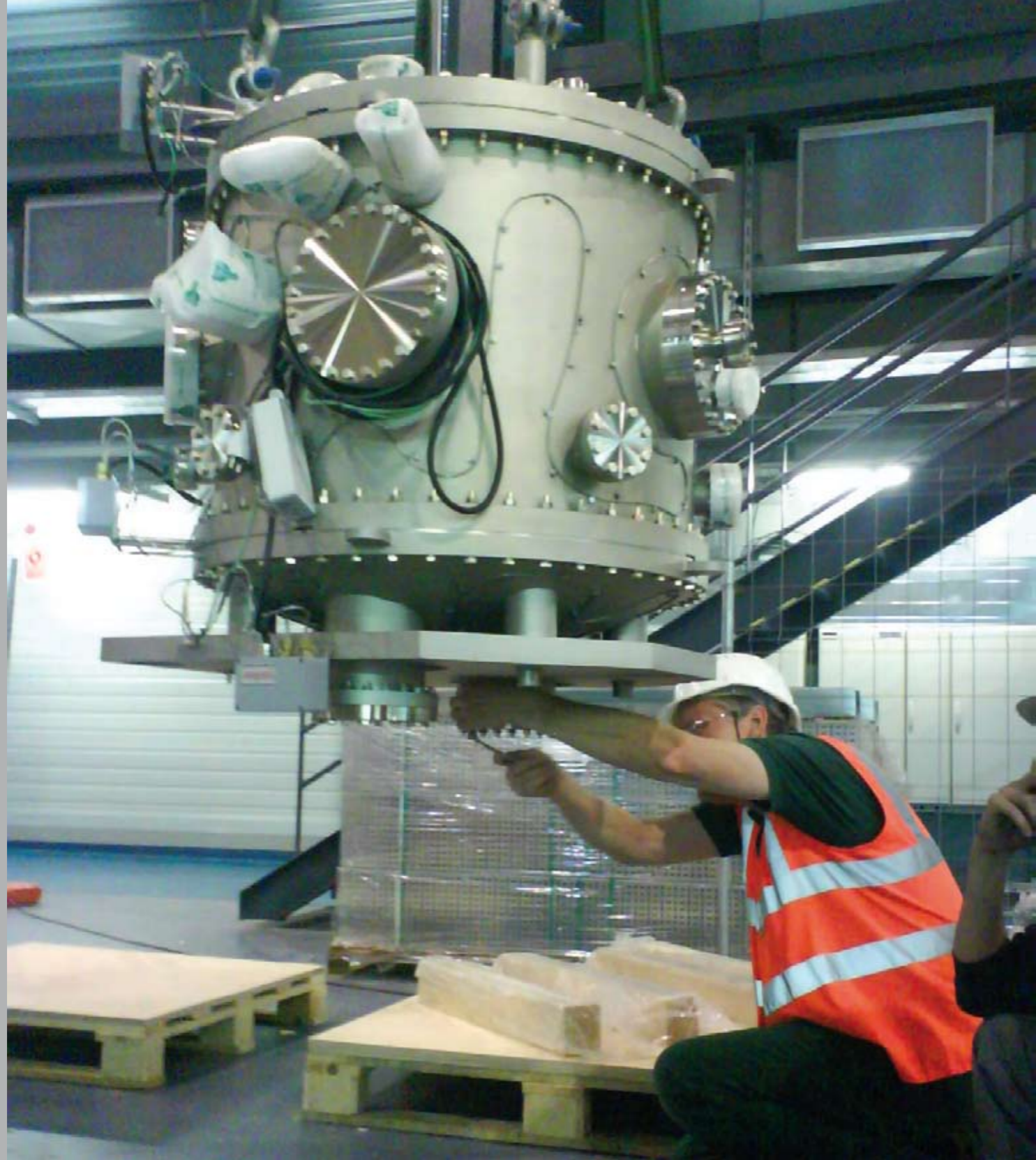
Figura 2: Patró de difracció de raigs X no cristal·lí d'ADN registrat el 1943 per W. Astbury, que va demostrar com l'ADN ha de tenir una estructura regular i periòdica. El diagrama de raigs X mostra clarament la característica de la creu helicoidal. http://www.genome.gov/Images/EdKit/picture_1943.gif

Figura 3: Es mostren els patrons bidimensionals de difracció de raigs X del múscul viu de la pota d'una granota en dos estats estructuralment ben definits del cicle de contracció. A la part esquerra es mostra un patró de difracció d'un múscul en repòs. Exhibeix un sistema semiordenat i, per tant, s'observen més reflexions. A la part dreta es mostra un patró d'un múscul que està produint tensió durant l'estat de contracció estacionari, però que no pot canviar la seva longitud durant la contracció, el que s'anomena contracció isomètrica. Aquí, les intensitats de les reflexions estan redistribuïdes i apareixen en posicions lleugerament diferents que reflecteixen el fet que la interacció entre les fibres d'actina i miosina té lloc durant la contracció. En els dos patrons és possible veure les creus helicoidals de les fibres de proteïna del múscul principal, l'actina i la miosina. (Dades recollides en l'ANEU-02, ESRF).

Monochromator vacuum chamber of the MISTRAL beamline (BL09).

Cámara de vacío del monocromador de la línea MISTRAL (BL09).

Càmera de buit del monocromador de la línia MISTRAL (BL09).



The Transmission X-ray Microscopy beamline at ALBA

The Transmission X-ray Microscope (TXM) allows imaging tiny samples such as cells and viruses, for example, with high spatial resolution (i.e. $25\text{-}50 \times 10^{-6}$ mm). As for radiography, the transmitted signal of X-ray photons going through the sample is collected on a CCD camera (which has substituted today the photographic film) and a geometric projection of the object absorption is revealed. A projection is thus an image of the object absorption contrast at a given orientation with respect to the photon beam. Depending on the energy, some elements constituting the sample will absorb the photons impinging it and in the CCD image they will appear darker than the non absorbing ones. Computed tomography is the 3D counterpart of radiography. It allows calculating the 3D distribution of the linear absorption coefficient of the object based on a series of projections taken at different tilt angles. The goal of the TXM is to reconstruct the volume of the investigated sample from its geometrical projections.

The scientific aim of the TXM in combination with other techniques such as Transmission Electron Microscopy and Visible Light Microscopy is to be able to locate subcellular structures at the time of key cellular events. The ultimate goal

La línea de luz de microscopía de transmisión de rayos X de ALBA

La microscopía de transmisión de rayos X (TXM) permite obtener imágenes de pequeñas muestras como, por ejemplo, células y virus con alta resolución espacial (es decir, $25\text{-}50 \times 10^{-6}$ mm). Como en el caso de una radiografía, la señal de transmisión de los fotones de rayos X que pasan a través de la muestra se recoge en una cámara CCD (que ha sustituido hoy en día a la película fotográfica) dando lugar a una proyección geométrica de la absorción del objeto. Una proyección es, pues, una imagen del contraste de la absorción del objeto a una orientación dada en relación con el haz de fotones. Dependiendo de la energía, algunos de los elementos que constituyen la muestra absorberán los fotones incidentes y en la imagen CCD aparecerán más oscuros que los no absorbentes. La tomografía computerizada es la versión 3D de la radiografía. Permite el cálculo de la distribución 3D del coeficiente de absorción lineal del objeto sobre la base de una serie de proyecciones tomadas a diferentes ángulos de inclinación. El objetivo de la TXM es reconstruir el volumen de la muestra investigada a partir de sus proyecciones geométricas.

El objetivo científico de la TXM, en combinación con otras técnicas como la mi-

La línia de llum de microscòpia de transmissió de raigs X d'ALBA

La microscòpia de transmissió de raigs X (TXM) permet obtenir imatges de petites mostres com, per exemple, cèl·lules i virus amb alta resolució espacial (es a dir, $25\text{-}50 \times 10^{-6}$ mm). Com en el cas d'una radiografia, el senyal de transmissió dels fotons de raigs X que passa a través de la mostra es recull en una càmera CCD (que ha substituït avui dia a la pel·lícula fotogràfica) i dona lloc a una projecció geomètrica de l'absorció de l'objecte. Una projecció és, doncs, una imatge del contrast d'absorció de l'objecte a una orientació donada en relació amb el feix de fotons. Depenent de l'energia, alguns dels elements que constitueixen la mostra absorbiran els fotons incidents i en la imatge CCD apareixeran més foscs que els no absorbents. La tomografia computeritzada és la versió 3D de la radiografia. Permet el càlcul de la distribució 3D del coeficient d'absorció lineal de l'objecte sobre la base d'una sèrie de projeccions preses a diferents angles d'inclinació. L'objectiu de la TXM és reconstruir el volum de la mostra investigada a partir de les seves projeccions geomètriques.

L'objectiu científic de la TXM, en combinació amb altres tècniques com la microscòpia electrònica de transmissió i la microscòpia de llum visible, és ésser

of imaging techniques in biology is to create an atlas of the cell. For this purpose, the water window spectral range only accessible in synchrotrons, between the inner-shell absorption edges of carbon (284 eV) and oxygen (543 eV), is one approach for imaging biological samples because water layers of 10 μm thick can be penetrated (i.e. water is “transparent” at these energies) while organic cell structures can be visualized with good absorption contrast. Specimens can thus be imaged in their natural hydrated state. However, they have to be stable under vacuum and during irradiation with the X-ray photons. This can only be achieved by vitrification of the sample via a cryo-fixation process involving very low temperatures (about -200 C).

Vitrification is a process by which the viscosity of the sample is increased to such a high value that ice crystal formation has no time to start. Imagine cooling an organism in such a way that it becomes immediately immobile. This is what vitrification does, to “suspend life”. It is also a good preservative method for biological material, embryos are, for example, cryo-preserved for *in vitro* fertilization, and the vitreous state of the specimen holds as long as the temperature is below -135 C. In addition, the photon dose received by the sample has to be limited to preclude radiation-induced damage.

microscopía electrónica de transmisión y la microscopía de luz visible, es ser capaz de localizar estructuras subcelulares en el momento preciso de eventos celulares clave. El fin último de las técnicas de imagen en biología es la creación de un atlas de la célula. Para este propósito, el rango espectral de la ventana del agua, sólo accesible en sincrotrones, entre los bordes de absorción de las capas internas del carbono (284 eV) y del oxígeno (543 eV), es un método que permite obtener imágenes de muestras biológicas porque pueden atravesarse capas de agua de 10 μm de espesor, (es decir, el agua es “transparente” a estas energías), mientras que las estructuras celulares orgánicas se visualizan con un buen contraste de absorción. Los especímenes pueden entonces ser estudiados en su estado natural de hidratación. Sin embargo, tienen que ser estables en vacío y durante la irradiación con los fotones de rayos X. Esto sólo puede lograrse mediante la vitrificación de la muestra a través de un proceso de criofijación a temperaturas muy bajas (alrededor de -200 C).

La vitrificación es un proceso por el cual la viscosidad de la muestra se incrementa a un valor tan alto que la formación de cristales de hielo no tiene tiempo de empezar. Imagínese refrigerar un organismo de tal manera que se convierta de inmediato en inmóvil. Esto es lo que hace la vitrificación: “suspender la

capaç de localitzar estructures subcelulars en el moment precís dels esdeveniments cel·lulars clau. La finalitat última de les tècniques d’imatge en biologia és la creació d’un atlas de la cèl·lula. Per això, el rang espectral de la finestra d’aigua, només accessible en sincrotrons, entre els llindars d’absorció de les capes internes del carboni (284 eV) i de l’oxigen (543 eV), és un mètode que permet obtenir imatges de mostres biològiques perquè poden penetrar en capes d’aigua de 10 μm de gruix, (és a dir, l’aigua és “transparent” a aquestes energies), mentre que les estructures cel·lulars orgàniques es visualitzen amb un bon contrast d’absorció. Aleshores els espècimens es poden estudiar en el seu estat natural d’hidratació. No obstant això, han de ser estables en buit i durant la irradiació amb els fotons de raigs X. Això només es pot assolir mitjançant la vitrificació de la mostra a través d’un procés de criofixació a temperatures molt baixes (al voltant de -200 C).

La vitrificació és un procés pel qual la viscositat de la mostra s’incrementa a un valor tan alt que la formació de cristalls de gel no té temps de començar. Imagini’s refrigerar un organisme de tal manera que es converteixi immediatament en immòbil. Això és el que fa la vitrificació: “suspender la vida”. També és un bon mètode de conservació de material biològic, ja que els embrions, per exemple, es crioconserven per a la fertilització *in*

Here are some examples of what can be revealed by X-ray imaging:

The first example is a soft X-ray reconstruction of phenotypically distinct *Candida albicans* that was achieved in the Advanced Light Source (ALS, Berkeley, USA) by the group of C. Larabell from the National Center for X-ray Tomography [Uchida *et al.* PNAS 106: 19375-19380 (2009)]. In response to environmental and/or cellular signals, it can switch from a benign yeast-like phenotype (Figs. 1A-B) to a highly invasive, multicellular pathogenic cell type (Figs. 1C-D). This work allowed investigating the use of peptoids (small protein-like chains) for antifungal and antimicrobial therapies to prevent systematic infections.

The second example shows the spectroscopic possibilities of the microscope. Molecules that are chemically similar can be distinguished as they show particular absorption contrast signatures over a certain range of energies. This is shown in the following investigation on bull sperm cells. On the left, one projection image of a series taken from 282 eV to 300 eV of dehydrated mature bull sperm by X. Zhang [Zhang *et al.* JSB 116, 335-344 (1996)] at National Synchrotron Light Source (NSLS, Brookhaven, USA). The spectral differences between protamine (nuclear proteins) and DNA are used to obtain the quantitative map distributions of these molecules. Similar experiments

vida”. También es un buen método de conservación de material biológico, ya que los embriones, por ejemplo, se crioconservan para la fertilización *in vitro*, y el estado vítreo de la muestra se mantiene siempre que la temperatura esté por debajo de -135 C. Además, la dosis de fotones recibida por la muestra tiene que ser limitada para evitar el daño inducido por la radiación.

Éstos son algunos ejemplos de lo que puede ser revelado por imágenes de rayos X:

El primer ejemplo es una reconstrucción con rayos X blandos de los distintos fenotipos de la levadura *Candida albicans* que se obtuvo en la Advanced Light Source (ALS, Berkeley, EE.UU.) por el grupo de C. Larabell, del Centro Nacional para Tomografía de Rayos X [Uchida *et al.* PNAS 106: 19375-19380 (2009)]. En respuesta al medio ambiente y/o a señales celulares, puede cambiar de un fenotipo tipo levadura benigna (Figs. 1A-B) a un tipo de célula altamente invasiva, multicelular patógena (Fig. 1C-D). Este trabajo permitió investigar el uso de peptoides (pequeñas cadenas del tipo de las proteínas) para terapias antifúngicas y antibióticas para prevenir infecciones sistémicas.

El segundo ejemplo muestra las posibilidades espectroscópicas del microscopio. Moléculas que son químicamente

vitro, i l’estat vitri de la mostra es manté sempre que la temperatura estigui per sota de -135 C. A més a més, la dosi de fotons rebuts per la mostra ha de ser limitada per tal d’evitar el dany induït per la radiació.

Aquests són alguns exemples del que pot ser revelat per imatges de raigs X:

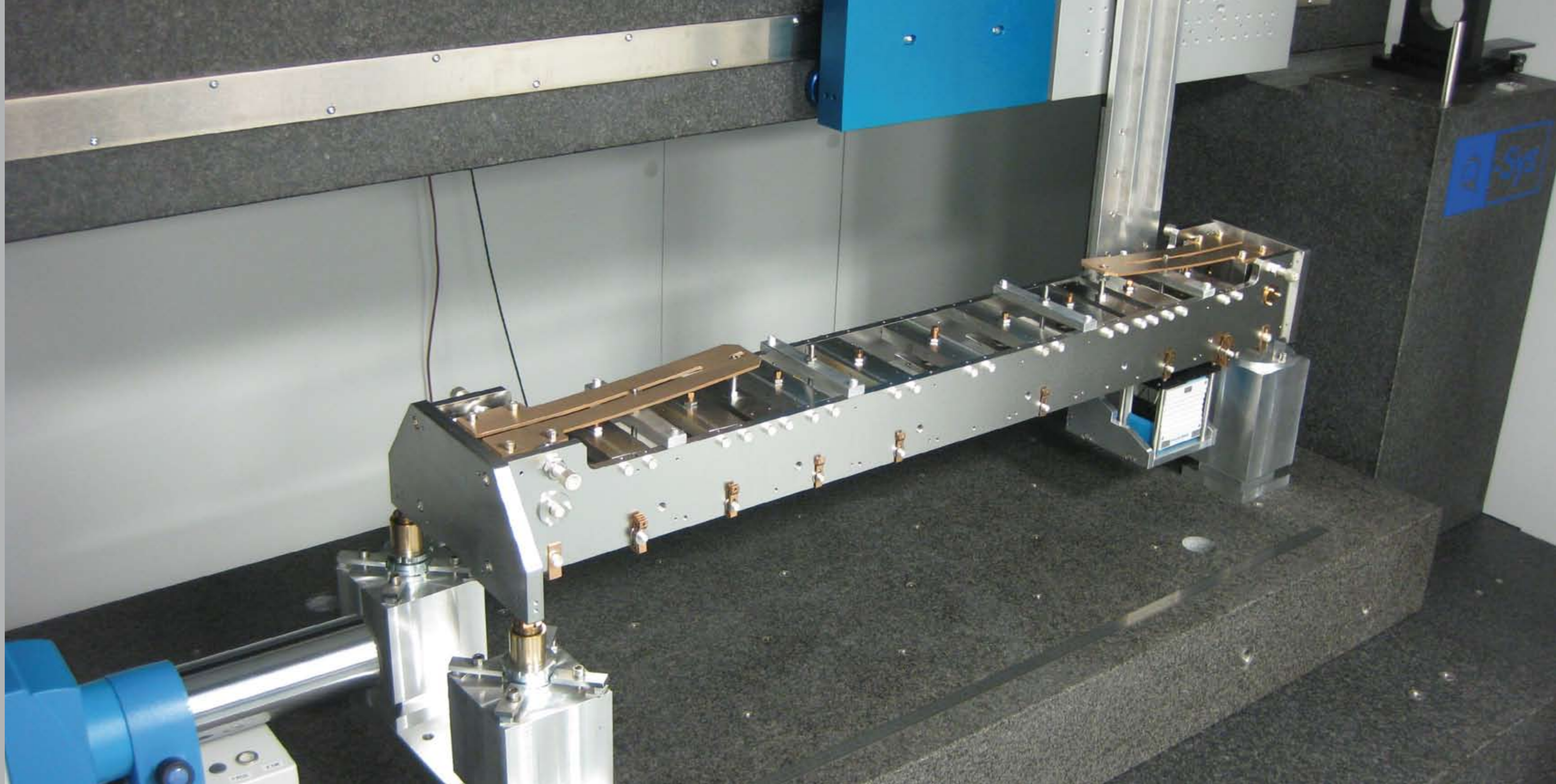
El primer exemple és una reconstrucció amb raigs X tous dels distints fenotips del llevat *Candida albicans* que es va obtenir en la Advanced Light Source (ALS, Berkeley, EUA) pel grup de C. Larabell, del Centre Nacional per a Tomografia de Raigs X [Uchida *et al.* PNAS 106: 19375-19380 (2009)]. En resposta al medi ambient i/o a senyals cel·lulars, pot canviar d’un fenotip tipus llevat benigne (Figs. 1A-B) a un tipus de cèl·lula altament invasiva, multicel·lular i patògena (Fig. 1C-D). Aquest treball va permetre investigar l’ús de peptoids (petites cadenes del tipus de les proteïnes) per a teràpies antifúngiques i antibiòtiques per a prevenir infeccions sistèmiques.

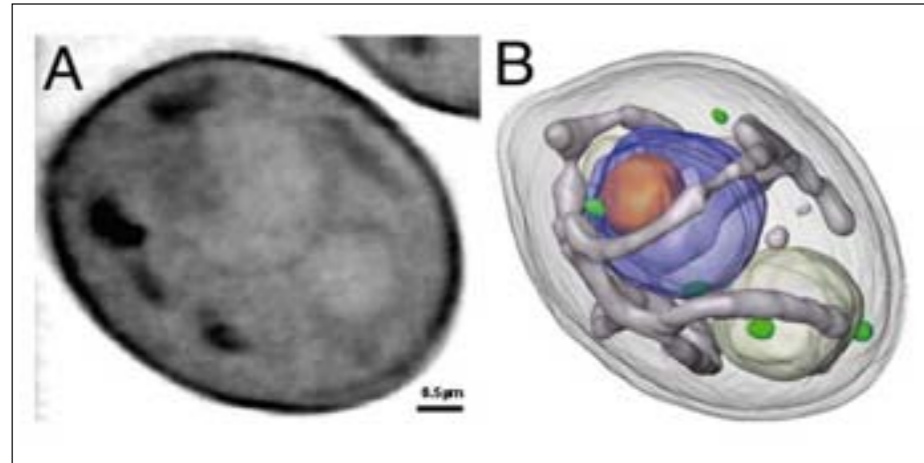
El segon exemple mostra les possibilitats espectroscòpiques del microscopi. Molècules que són químicament similars es poden distingir ja que mostren senyals molt particulars en el seu contrast d’absorció en un cert rang d’energies. Això es mostra en la següent investigació sobre les cèl·lules d’esperma de toro. A l’esquerra tenim una imatge

X-ray mirror with the optical surface facing down being characterized at the ALBA metrology laboratory.

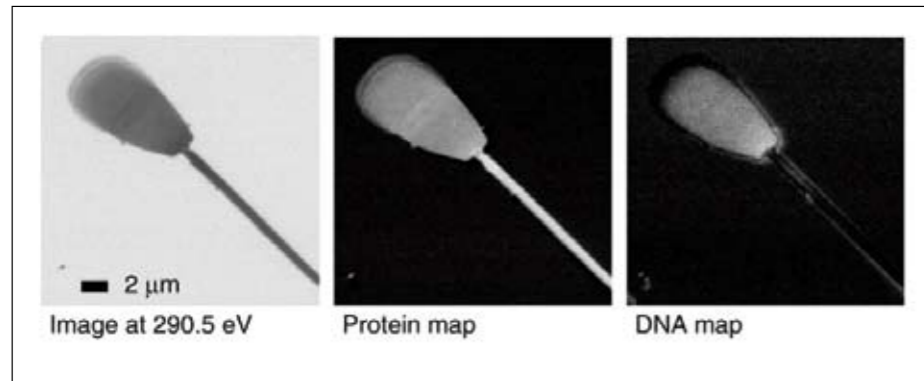
Espejo de rayos X con la superficie óptica hacia abajo durante su caracterización en el laboratorio de metrología de ALBA.

Mirall de raigs X amb la superfície òptica cap avall durant la seva caracterització al laboratori de metrologia d'ALBA.





1 (A & B)



2



1 (C & D)

conducted on human sperm were useful to identify protamine deficiencies in the sperm of infertile patients.

Figure 1: A & C show slices from tomographic reconstructions of the yeast-like cell (A) and the pathogenic cell type (C). B & D show the volume rendered views of both the yeast (B) and pathogenic (D) cells. The structures constituting the cells have been revealed. *Courtesy of C. Larabell.*

Figure 2: Left: absorption contrast image of bull sperm cell collected at 290.5 eV. Middle: distribution map of protamine showing that this nuclear protein is more concentrated on the tail than on the head. Right: distribution map of DNA showing that it is more concentrated on the head. *Courtesy of J. Kirtz.*

similares se pueden distinguir, ya que muestran señales muy particulares en su contraste de absorción en un cierto rango de energías. Esto se muestra en la siguiente investigación sobre células de esperma de toro. A la izquierda, tenemos una imagen de una serie tomada de 282 eV a 300 eV de esperma de toro adulto deshidratado por X. Zhang [Zhang *et al.* JSB 116, 335-344 (1996)] en la "National Synchrotron Light Source" (NSLS, Brookhaven, EE.UU.). Las diferencias espectrales entre la protamina (proteínas nucleares) y el ADN se utilizan para obtener mapas de la distribución cuantitativa de estas moléculas. Experimentos similares realizados en esperma humano fueron útiles para identificar deficiencias de protamina en el semen de pacientes infértiles.

Figura 1: A y C muestran cortes de reconstrucciones tomográficas de células tipo levadura (A) y tipo célula patógena (C). En B & D se muestran vistas volumétricas de ambas, levadura (B) y célula patógena (D). Las estructuras que constituyen las células pueden visualizarse claramente. *Cortesía de C. Larabell.*

Figura 2: Izquierda: imagen de contraste de absorción de una célula de esperma de toro tomada a 290,5 eV. Centro: mapa de distribución de la protamina que demuestra que esta proteína nuclear está más concentrada en la cola que en la cabeza. Derecha: mapa de distribución de ADN que muestra que éste está más concentrado en la cabeza. *Cortesía de J. Kirtz.*

d'una sèrie presa des de 282 eV a 300 eV d'esperma de toro adult deshidratat per X. Zhang [Zhang *et al.* JSB 116, 335-344 (1996)] a la "National Synchrotron Light Source" (NSLS, Brookhaven, EUA). Les diferències espectrals entre la protamina (proteïnes nuclears) i l'ADN s'utilitzen per a obtenir mapes de la distribució quantitativa d'aquestes molècules. Experiments similars realitzats en esperma humà van ser útils per a identificar deficiències de protamina en el semen de pacients infèrtils.

Figura 1: A i C mostren talls de reconstruccions tomogràfiques de cèl·lules tipus llevats (A) i tipus cèl·lula patògena (C). A B i D es mostren vistes volumètriques d'ambdues, llevat (B) i cèl·lula patògena (D). Les estructures que constitueixen les cèl·lules es poden visualitzar clarament. *Cortesía de C. Larabell.*

Figura 2: Esquerra: imatge de contrast d'absorció d'una cèl·lula d'esperma de toro presa a 290,5 eV. Centre: mapa de distribució de la protamina que demostra que aquesta proteïna nuclear està més concentrada en la cua que en el cap. Dreta: mapa de distribució d'ADN que mostra que aquest està més concentrat en el cap. *Cortesía de J. Kirtz.*

elecnor



Credits

The Synchrotron Light Source ALBA

EDITION

March 2010

TEXTS

Lucía Aballe, Jordi Benach,
Joan Bordas, Maria Brzhezinskaya,
Salvador Ferrer, Gastón García,
Gemma Guilera, Jordi Juanhuix,
Konstantin Klementiev, Michael Knapp,
Ramon Pascual, Inmaculada Peral,
Eva Pereiro, Manuel Valvidares and
Agneta Svensson

GRAPHIC DESIGN

Francesc Guitart / Oscar Cusidó

LAY OUT

Eix Comunicació The Creative Project

PHOTOGRAPHIES

Alba archives
Pepo Segura

PRINT

Grafiques APR

LEGAL DEPOSIT

B.xxxxxxx





