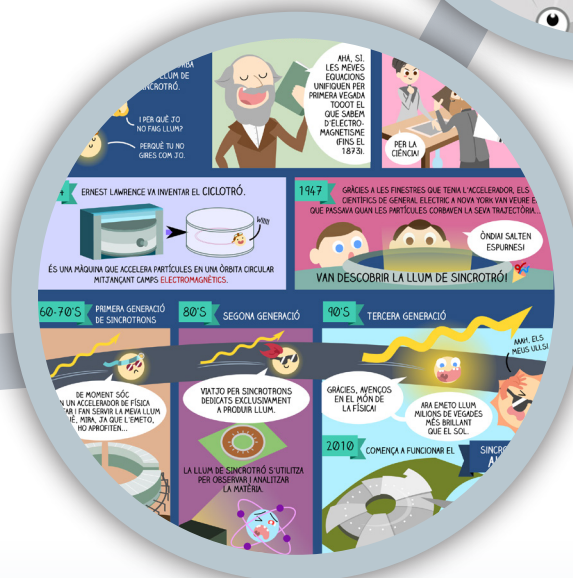
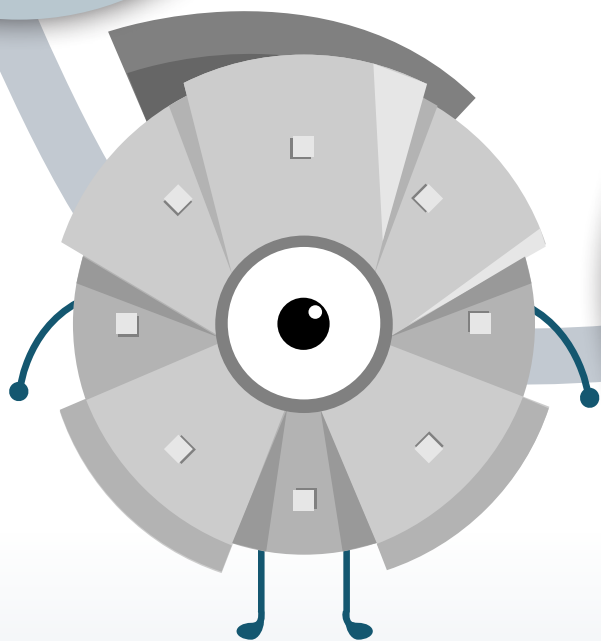




# ALBA

# Divulga

12 Visuals per descobrir  
i comprendre el Síncrotró ALBA





# Divulga

12 Visuals per descobrir  
i comprendre el Síncrotró ALBA

**Edició**

Laia Torres Aribau i Ana Belén Martínez

**Contingut científic**

Gastón García, Montse Pont, Salvador Ferrer, Francis Pérez, Joan Casas

**Disseny i il·lustració**

Patricia Puig Marin, Miriam Rivera, Lucas Wainer, Sarah Moreira, Laia Torres Aribau, Iuris.Doc, Genial.ly, Canva

**Maquetació i disseny**

Lucas Wainer

**Impressió**

J Moreno Graphic

© Sincrotró ALBA. Tots els drets reservats.

**Sincrotró ALBA**

Carrer de la Llum 2-26

08290 Cerdanyola del Vallès (Barcelona)

Spain

Projecte finançat per FECYT-MINECO (FCT-16-10857).

# ÍNDEX

05	Introducció
06	Com funciona el Síncrotró ALBA?
08	La llum de síncrotró
10	Els síncrotrons en el món
12	Història de la llum de síncrotró
16	Tècniques de microscòpia al Síncrotró ALBA
18	Tècniques de difracció al Síncrotró ALBA
20	Tècniques d'espectroscòpia al Síncrotró ALBA
24	El Síncrotró ALBA en 25 paraules
26	7 dades increïbles que no sabies del Síncrotró ALBA
28	ALBA vs LHC: dos acceleradors de partícules, iguals... o no?
32	Elles també brillen. Dones al Síncrotró ALBA





## Introducció

L'ALBA és l'única font de llum de sincrotró que existeix a Espanya i una de les que s'ha construït més recentment a Europa. Mitjançant l'acceleració d'electrons dins un túnel, es produeix aquesta llum tan especial: la llum de sincrotró.

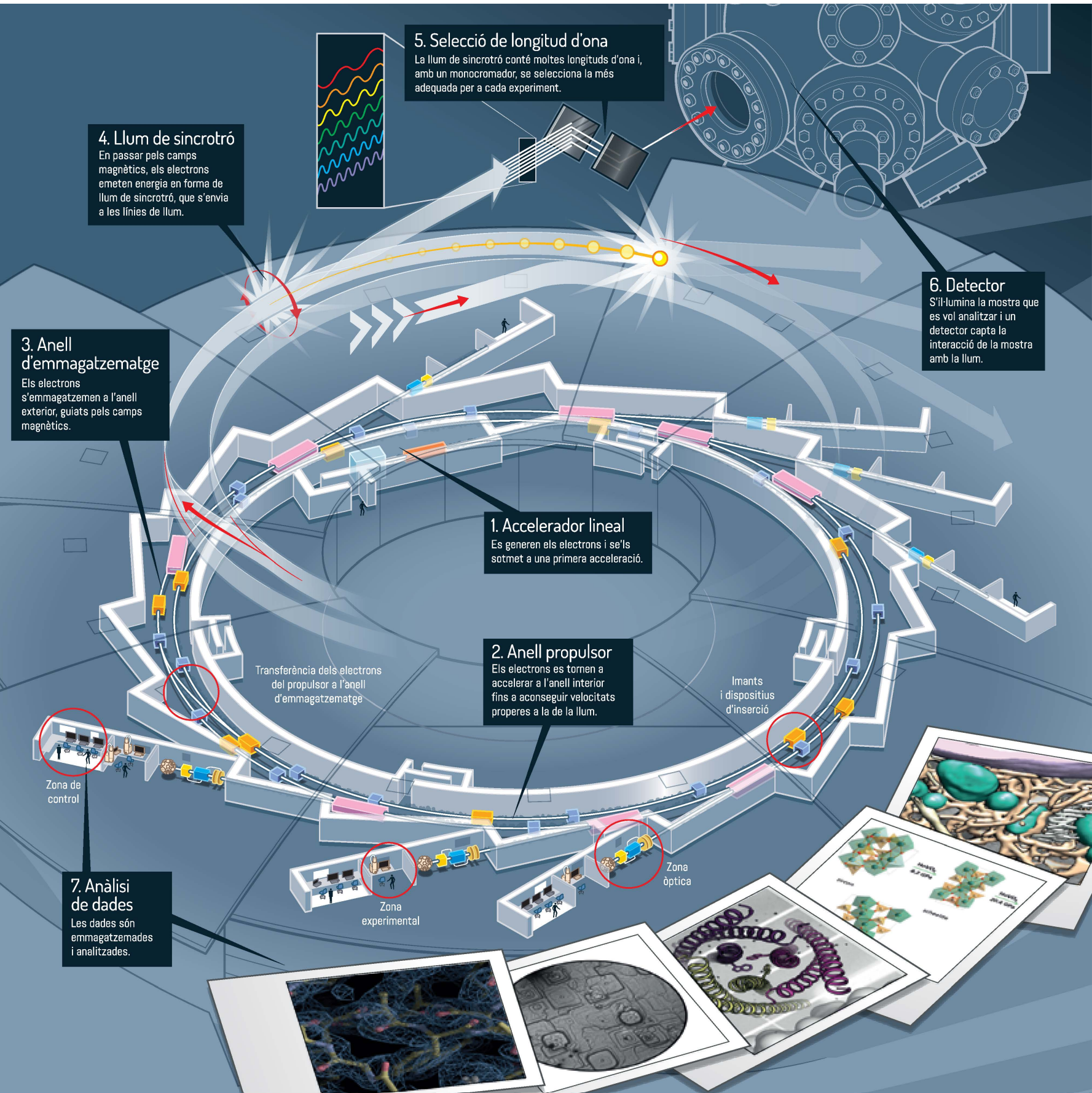
La llum de sincrotró és radiació electromagnètica i comprèn un rang de l'espectre que va des de la llum infraroja fins als raigs X, passant per la llum visible i l'ultraviolat. La llum de sincrotró té un seguit d'avantatges que la fan una eina molt interessant per a la ciència: permet visualitzar i analitzar la matèria i les seves propietats a nivell atòmic i molecular. Amb ella es realitzen experiments en molts àmbits de la ciència i la tecnologia.

Però... com funciona exactament el Sincrotró ALBA? S'assembla al CERN, l'accelerador de partícules de Ginebra? Qui treballa a l'ALBA? Quan van aparèixer els primers sincrotrons? Totes aquestes preguntes i moltes més les podràs resoldre gràcies a aquest llibre ALBA Divulga.

Et presentem una col·lecció de visuals i il·lustracions per explorar i descobrir la ciència del Sincrotró ALBA. Esperem que ho gaudeixis!

01

# Com funciona el Sincrotró ALBA?







# APLICACIONS

Les propietats de la llum de sincrotró permeten obtenir informació de gran qualitat sobre les característiques de les mostres que s'analitzen. Actualment, l'ALBA disposa de vuit línies de llum en funcionament i de tres més en construcció que es fan servir per experimentar en:

BIOLOGIA  
I BIOMEDICINA



NANOTECNOLOGIA



CIÈNCIA DE MATERIALS



PATRIMONI HISTÒRIC  
I ARTÍSTIC



FÍSICA



MEDI AMBIENT



QUÍMICA



## 02 La llum de sincrotró

### BRILLANT

La característica principal de la llum de sincrotró és la seva gran brillantor. **Com més brillant és la llum**, podem **veure detalls més petits de la matèria**.

Els raigs X generats de manera convencional són poc brillants i no permeten obtenir tanta informació. En canvi, la llum de sincrotró és tan brillant que dóna **moltes interaccions llum-matèria** i, per tant, **més informació sobre la mostra** podem obtenir.

### LLUM POLSADA

Els sincrotrons emeten la **llum en forma de polsos**. Els electrons viatgen dins dels acceleradors en forma de paquets, de manera que cada paquet emet un pols de llum.

Mitjançant uns dispositius, s'aconsegueixen **polsos en intervals de temps molt i molt curts**. Això obre la porta a **estudiar fenòmens molt ràpids**, com ara reaccions químiques, de forma que es puguin estudiar canvis en la composició, estructura o forma dels materials a mesura que es produeix la reacció.

Els tubs de raigs X convencionals, en canvi, emeten de manera contínua o en polsos de freqüències molt baixes. Així, aquell investigador que vulgui **saber com evolucionen les seves mostres al llarg del temps**, haurà d'usar un sincrotró.

### AMPLI ESPECTRE

La llum de sincrotró abasta un ampli rang de longituds d'ona. L'avantatge és que mitjançant diferents dispositius, **es pot escollir quin tipus de llum es vol segons l'experiment** que s'ha de dur a terme. Hi ha un tipus de **llum més indicada** que una altra **segons la matèria a analitzar**. Per exemple, si volem veure com estan ordenats els àtoms dins d'un material, utilitzarem raigs X de més energia. En canvi, si volem estudiar les propietats electròniques o magnètiques dels materials, utilitzarem raigs X de baixa energia.

### POLARITZACIÓ

La llum és una ona que oscil·la i **als sincrotrons es pot controlar** perfectament, **segons la necessitat de l'experiment**, la seva **direcció d'oscil·lació**: lineal, circular o el·líptica. Per això es diu que la llum de sincrotró està polaritzada. En el cas dels raigs X generats de manera convencional la llum surt oscil·lant de totes les formes alhora, no està polaritzada. El control de la polarització és útil per a molts tipus d'experiments diferents. Segons quin sigui el material, no reaccionarà igual davant de llum polaritzada de diverses formes.





# E S P E C T R E D E L L U M

Fonts de llum



**ONES RÀDIO**

**MICROONES**

**RADIACIÓ INFRAROJA**

**LLUM VISIBLE**

**RADIACIÓ ULTRAVIOLADA**

**RAIGS X**

**RADIACIÓ GAMMA**

$10^3$

( $\lambda$ )

$10^{-2}$

$10^{-5}$

$0.5 \cdot 10^{-6}$

$10^{-8}$

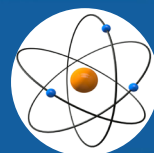
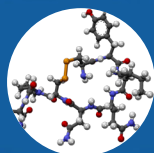
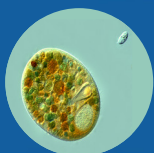
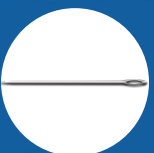
$10^{-10}$

$10^{-12}$



**LLUM DE SINCROTRÓ**

Longitud d'ona ( $\lambda$ )



Metres



La freqüència és el número de repeticions de l'ona per cada segon



A

V

A

N

T

A

T

G

E

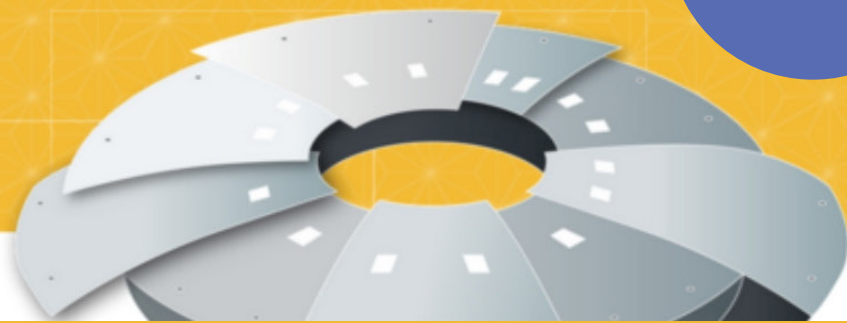
S

BRILLANT

LLUM POLSADA

AMPLI ESPECTRE

POLARITZACIÓ



# 03 Els sincrotrons en el món

**Stanford Synchrotron Radiation Lightsource**






**Canadian Light Source - CLS**




**Advanced Photon Source - APS**




**Cornell High Energy Synchrotron Source - CHESS**

**Sincrotró ALBA**




**Elettra Synchrotron Light Laboratory**




**National Synchrotron Light Source II - NSLS II**




**SIRIUS - Laboratório Nacional de Luz Síncrotron**



**SOLEIL Synchrotron**




**European Synchrotron Radiation Facility - ESRF**




**Swiss Light Source - SLS**

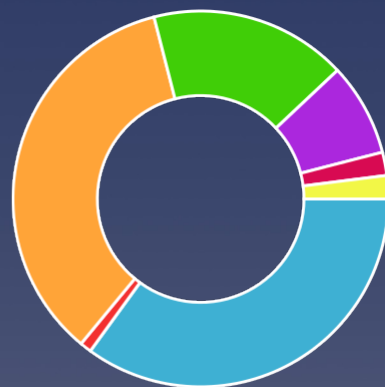



**Diamond Light Source**

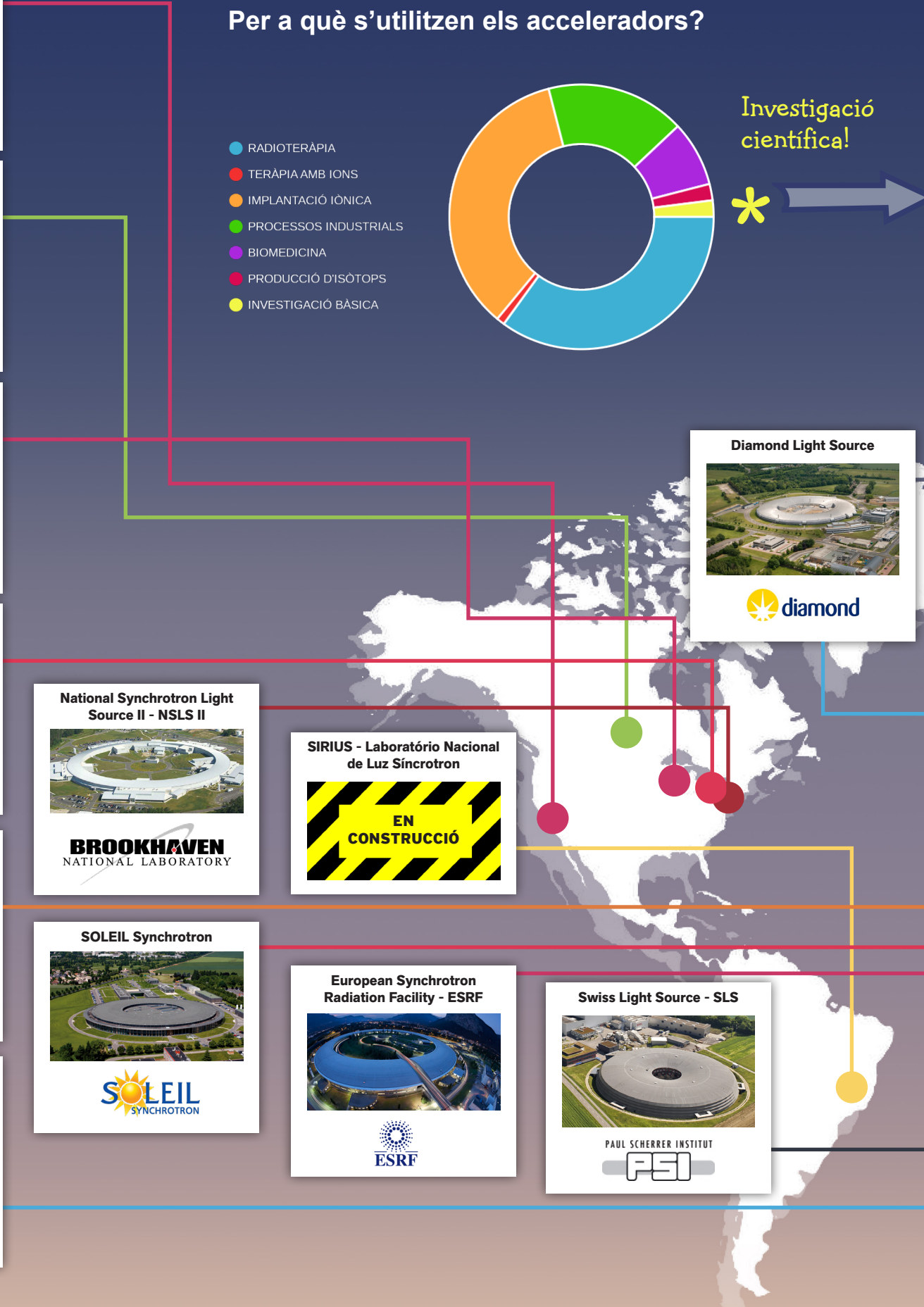



## Per a què s'utilitzen els acceleradors?

- RADIOTERÀPIA
- TERÀPIA AMB IONS
- IMPLANTACIÓ IÒNICA
- PROCESSOS INDUSTRIALS
- BIOMEDICINA
- PRODUCCIÓ D'ISÒTOPS
- INVESTIGACIÓ BÀSICA



Investigació científica!

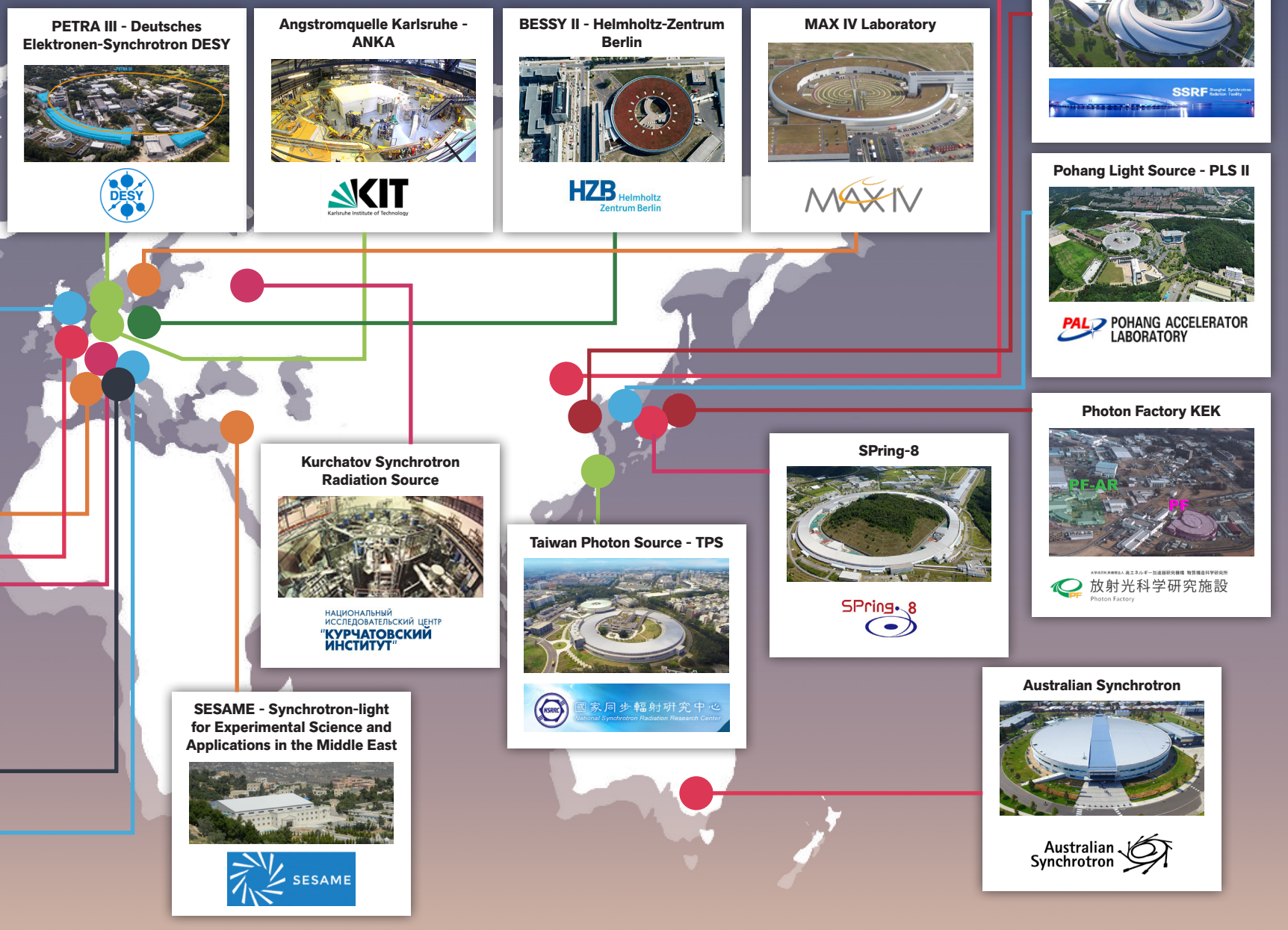






Una petita part dels acceleradors que hi ha al món estan dedicats a la investigació científica. Uns d'ells són les fonts de llum de sincrotró.

Al món n'hi ha una trentena que tenen una energia de més de 2GeV (energia que tenen els seus electrons accelerats). Un d'ells és: el Sincrotró ALBA.



**PETRA III - Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY**

**Angstromquelle Karlsruhe - ANKA**

**BESSY II - Helmholtz-Zentrum Berlin**

**MAX IV Laboratory**

**Beijing Synchrotron Radiation Facility - BSRF**

**Shanghai Synchrotron Radiation Facility - SSRF**

**Pohang Light Source - PLS II**

**Photon Factory KEK**

**SPring-8**

**Kurchatov Synchrotron Radiation Source**

**Taiwan Photon Source - TPS**

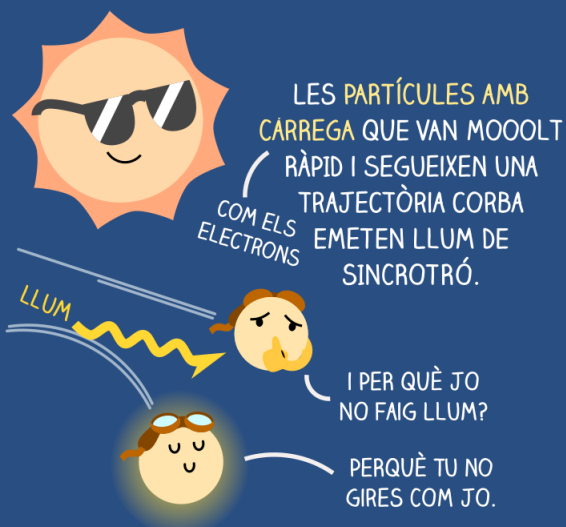
**SESAME - Synchrotron-light for Experimental Science and Applications in the Middle East**

**Australian Synchrotron**

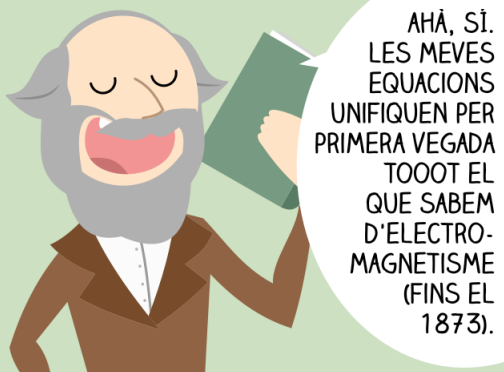


## LA HISTÒRIA DE LA LLUM DE SINCROTRÓ

LA LLUM DE SINCROTRÓ ÉS TAN ANTIGA COM LES ESTRELLES...



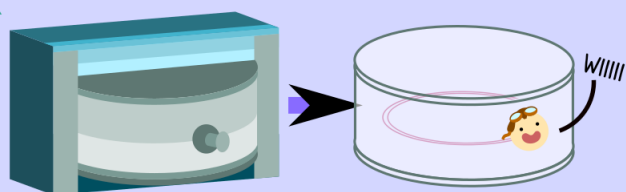
1873 JAMES CLERK MAXWELL PUBLICA "TRACTAT D'ELECTRICITAT I MAGNETISME".



1895 WILHELM RÖNTGEN DESCOBREIX ELS RAIGS X, UN TIPUS DE LLUM DE SINCROTRÓ. LA MÀ DE LA SEVA DONA VA SER LA PRIMERA RADIOGRAFIA!



1934 ERNEST LAWRENCE VA INVENTAR EL CICLOTRÓ.



ÉS UNA MÀQUINA QUE ACCELERA PARTÍCULES EN UNA ÒRBITA CIRCULAR MITJANÇANT CAMPS ELECTROMAGNÈTICS.

1947 GRÀCIES A LES FINESTRES QUE TENIA L'ACCELERADOR, ELS CIENTÍFICS DE GENERAL ELECTRIC A NOVA YORK VAN VEURE EL QUE PASSAVA QUAN LES PARTÍCULES CORBAVEN LA SEVA TRAJECTÒRIA...





60-70'S

PRIMERA GENERACIÓ  
DE SINCROTRONS

80'S

SEGONA GENERACIÓ

90'S

TERCERA GENERACIÓ

DE MOMENT SÓC EN UN ACCELERADOR DE FÍSICA NUCLEAR I FAN SERVIR LA MEVA LLUM PERQUÈ, MIRA, JA QUE L'EMETO, HO APROFITEN...

SEMBLA QUE TENIM FUGUES DE LLUM.

POTSER PODRÍEM FER-LA SERVIR PER ALGUNA COSA, NO?

VIATJO PER SINCROTRONS DEDICATS EXCLUSIVAMENT A PRODUIR LLUM.

LA LLUM DE SINCROTRÓ S'UTILITZA PER OBSERVAR I ANALITZAR LA MATÈRIA.

CONFESSAI QUÈ ENS HAS DE DIR DE LES TEVES PROPIETATS?

GRÀCIES, AVENÇOS EN EL MÓN DE LA FÍSICA!

ARA EMETO LLUM MILIONS DE VEGADES MÉS BRILLANT QUE EL SOL.

2010 COMENÇA A FUNCIONAR EL **SINCROTRÓ ALBA**

ACTUALMENT, TÉ 8 LÍNIES DE LLUM, ON S'INVESTIGA LA MATÈRIA EN CAMPS COM LA BIOLOGIA, QUÍMICA, NANOTECNOLOGIA O CIÈNCIA DE MATERIALS.

ENCARA QUEDEN MOLTS MISTERIS PER SORTIR A LA LLUM (DE SINCROTRÓ)!

AAAH, ELS MEUS ULLS!



## Tècniques

Amb la llum de sincrotró s'analitza la matèria a les diferents línies de llum (o laboratoris) del Sincrotró ALBA. En elles es fan servir diferents tècniques segons la finalitat dels experiments que s'hi fan. Podem classificar aquestes tècniques en tres grans àrees:

- **Microscòpia.** Tècnica destinada a obtenir imatges de materials, molècules... per conèixer la seva estructura i les seves propietats electròniques, magnètiques i químiques, entre d'altres.

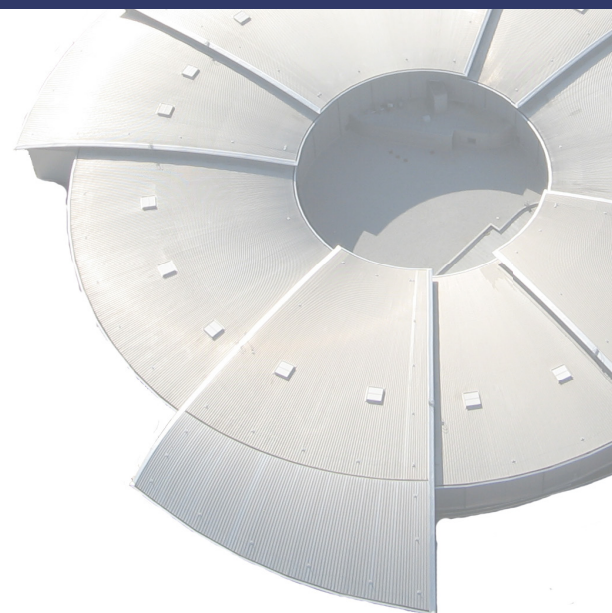
- **Difracció.** Procés físic basat en la desviació de les ones al trobar un obstacle. Amb la tècnica s'obtenen patrons de difracció que permeten determinar l'estructura dels materials a l'utilitzar els àtoms de la mostra com a petits obstacles.

- **Espectroscòpia.** És l'estudi de la interacció entre la llum i la matèria. S'analitza la diferència entre la llum que arriba a la mostra i la que en surt per determinar les propietats microscòpiques dels materials.

A continuació pots aprofundir en cada una d'aquestes tècniques i saber com es treballa en les línies de llum de l'ALBA.

05

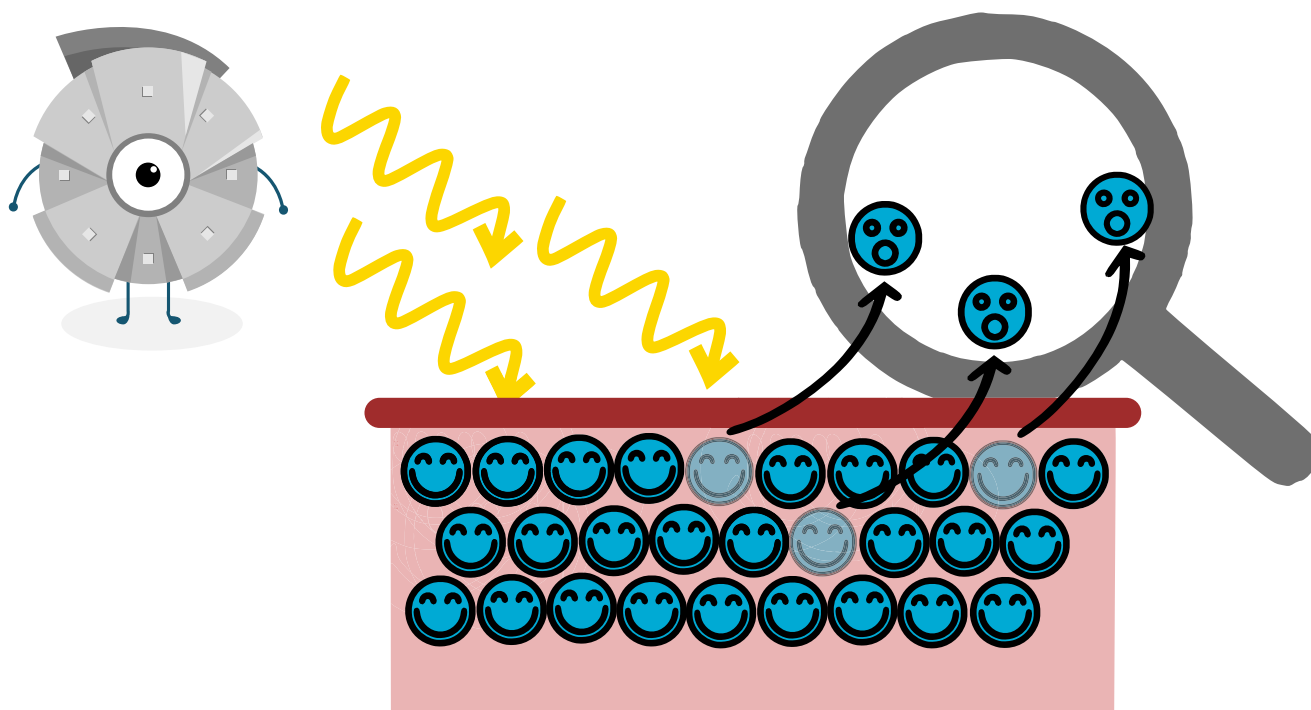
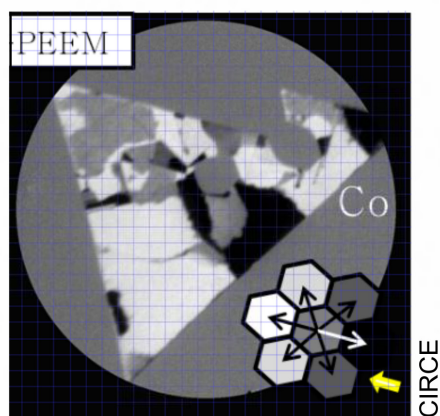
# Tècniques de microscòpia al Sincrotró ALBA



## MICROSCÒPIA ELECTRÒNICA DE FOTOEMISSIÓ

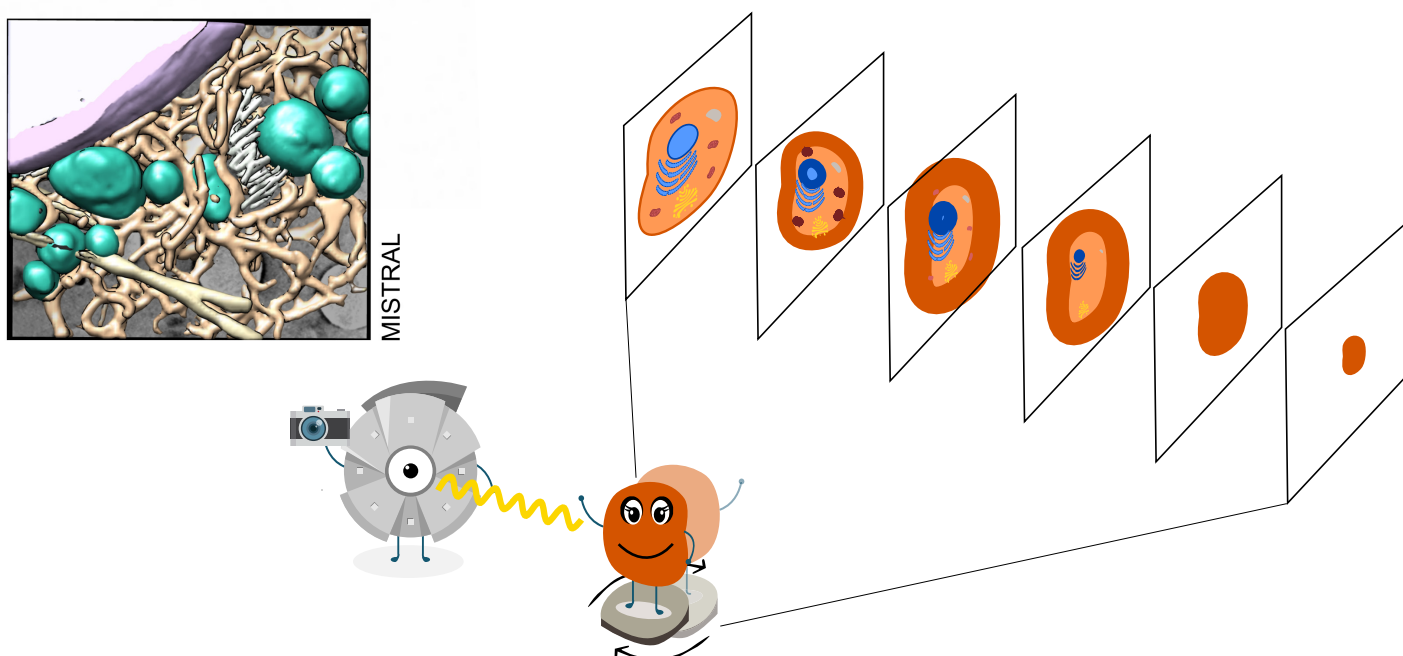
Tècnica basada en l'efecte fotoelèctric: els electrons dels àtoms més superficials de la mostra són alliberats després d'absorbir l'energia dels fotons de la llum de sincrotró.

Així, s'obté una imatge amplificada de la superfície de la mostra i ens dona informació estructural, química i magnètica del material.



## MICROSCÒPIA DE TRANSMISSIÓ DE RAIGS X

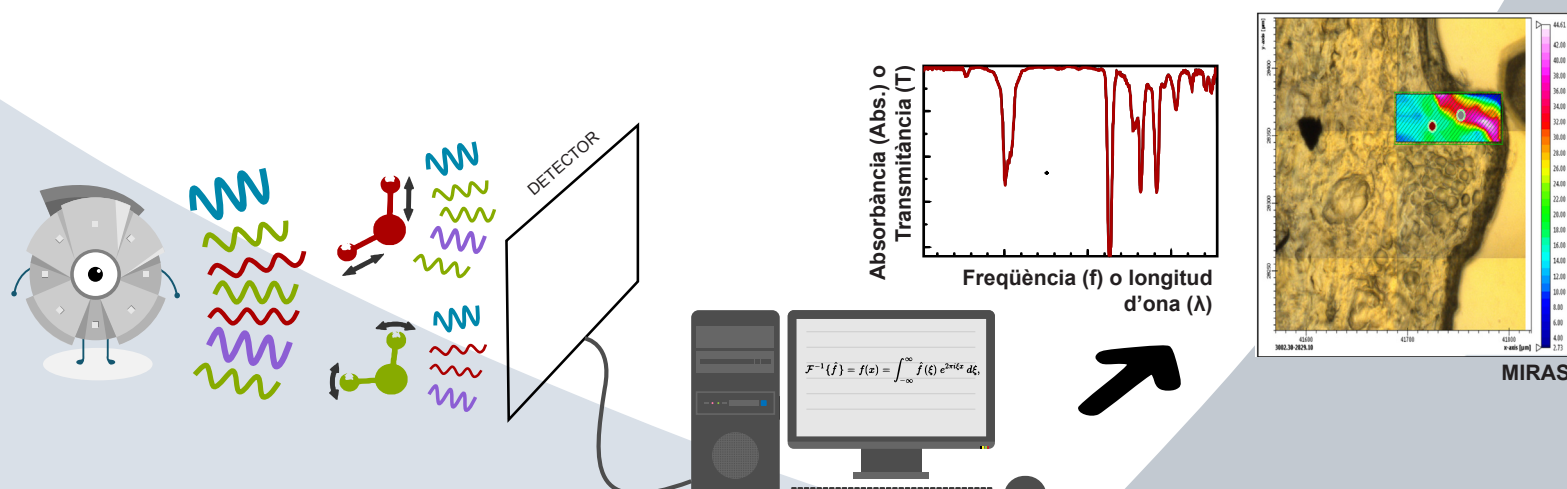
La mostra és irradiada amb un feix de raigs X tous (de baixa energia) i se'n prenen imatges a diferents angles, cosa que permet crear una **reconstrucció 3D de la mostra: una tomografia d'una cèl·lula** per exemple (semblant a un TAC convencional però amb 1 milió de cops més de resolució).



## MICROSCÒPIA D'INFRAROIG

La **mostra és irradiada** amb varies longituds d'ona de l'infraroig i es mesura l'absorció i/o emissió resultant. Amb un **procés matemàtic**, la Transformada de Fourier, es tracten les dades per a **crear un espectre d'infraroig (IR)** i finalment una **imatge**.

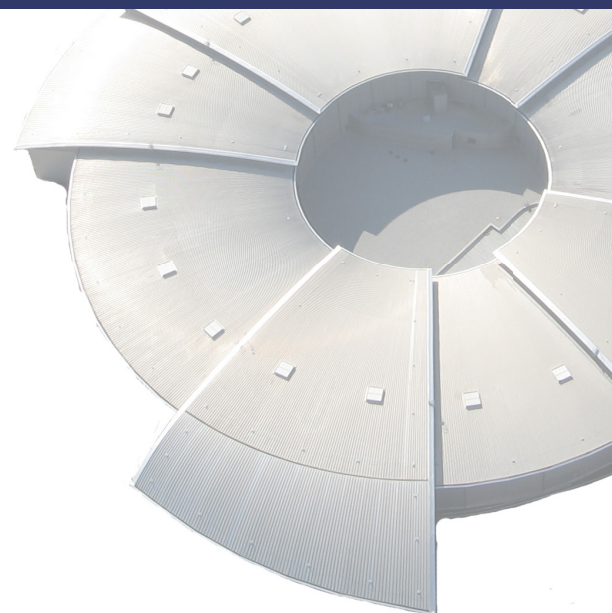
L'**espectre IR** permet identificar les vibracions moleculars i, per tant, la **composició química dels materials**.





# 06

## Tècniques de difracció al Síncrotró ALBA

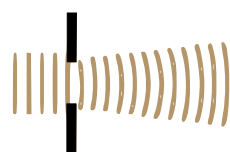


### Què és la difracció d'una ona?

Una **ona** altera la seva **direcció de propagació** quan es troba amb un **obstacle** o passa per un **punt estret**. Quan és tan petit com la longitud d'ona de la llum, l'efecte de la difracció és més gran.

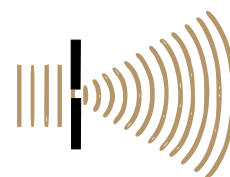
L'ona difractada **dóna informació sobre l'obstacle** que l'ha difractat. Els patrons de difracció obtinguts amb **llum de síncrotró** són de gran resolució i permeten reconstruir l'estructura de diferents materials i molècules.

Major obertura,  
menor difracció



ona      ona difractada

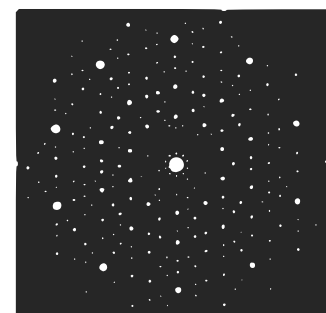
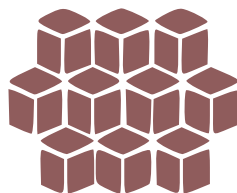
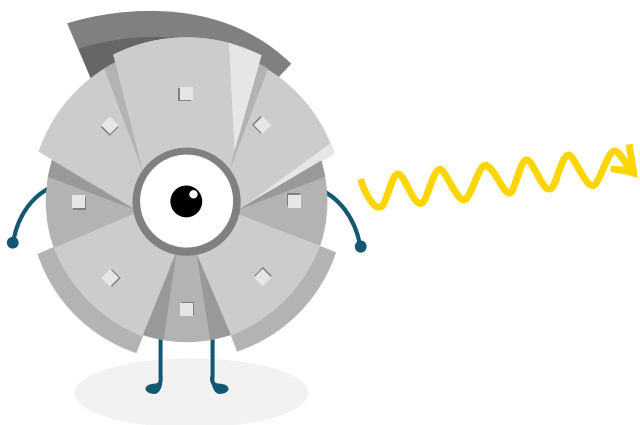
Menor obertura,  
major difracció



ona      ona difractada

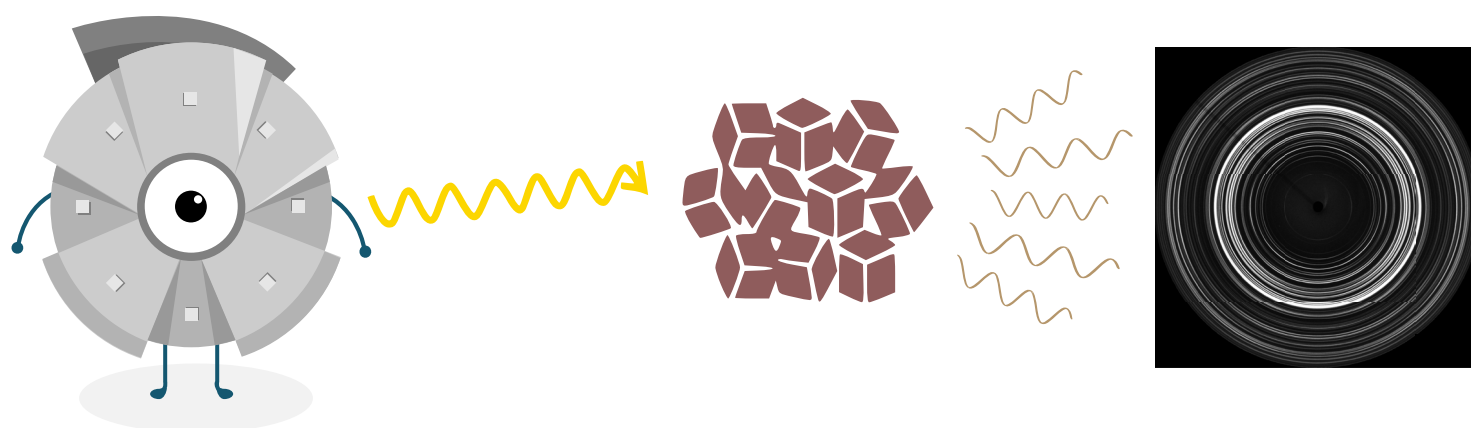
### DIFRACCIÓ MONOCRISTAL·LINA

mostra: 1 **cristall**  
**perfecte** repetit i ordenat



El patró de difracció de raigs X permet obtenir l'**estructura geomètrica 3D del cristall** a escala atòmica.

## DIFRACCIÓ DE POLS



mostra: **sòlid policristal·lí**  
agregats de cristalls perfectes  
amb orientacions aleatòries  
entre sí

En el patró de difracció el senyal dels pics (punts) se solapa i es formen **anells**. Tractant aquesta informació s'obté l'**estructura 3D** del material. A més a l'ALBA hi ha el valor afegit de poder **canviar les condicions en què es troba la mostra** (temperatura, pressió...) i estudiar com això l'afecta.

## DIFRACCIÓ NO CRISTAL·LINA



mostra: materials que **no** formen **cristalls** sinó estructures periòdiques a més gran escala (plàstics, fibres, teixits vius...)

"Photo 51" Rosalind Franklin

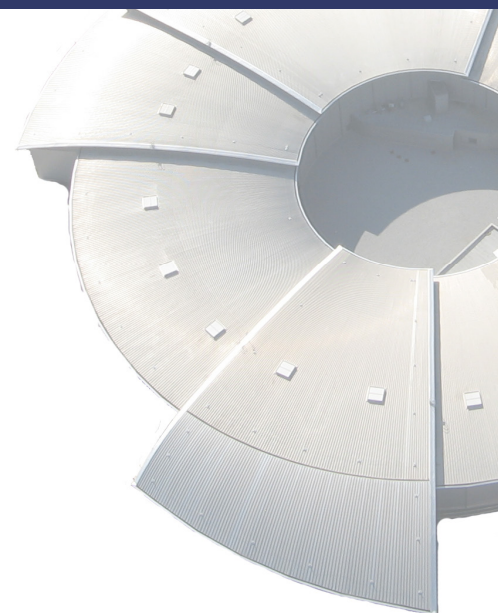


El patró de difracció proporciona informació sobre l'**estructura de la matèria** i els seus **canvis**, a causa de les condicions ambientals o dels processos fisiològics.



# 07

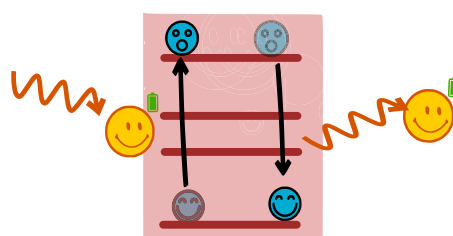
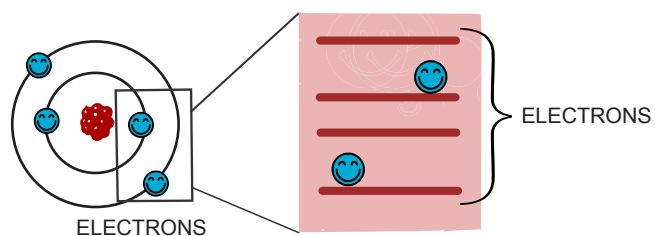
## Tècniques de espectroscòpia al Síncrotró ALBA



En els àtoms, els **electrons** giren al voltant del nucli en els **orbitals**, amb uns nivells concrets d'energia.

Per passar d'un orbital a un altre de nivell **SUPERIOR** cal **ENERGIA**.

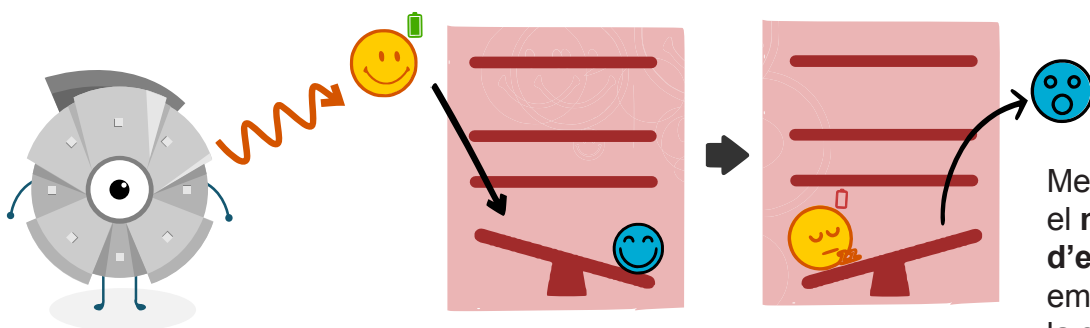
Al passar a un orbital **INFERIOR** s'allibera **ENERGIA**.



- llum de síncrotró
- fotó (partícula de llum)
- electró de la mostra a analitzar

### FOTOEMISSIÓ

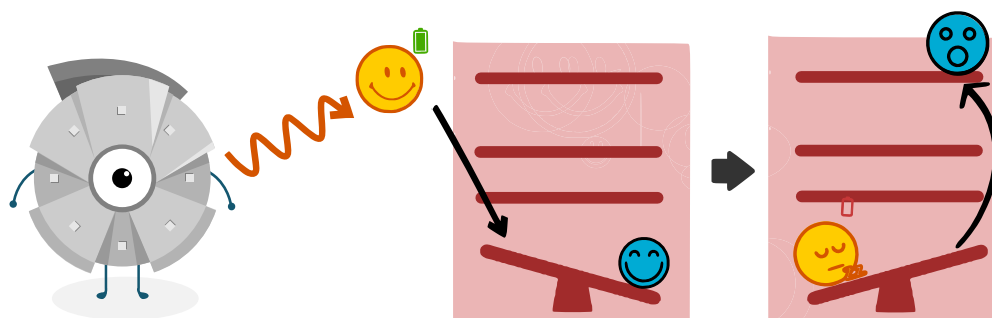
El fotó té energia suficient per **alliberar** un **electró** de l'àtom de la mostra.



Mesurem el **nº d'electrons** emesos i la seva energia.

### ABSORCIÓ

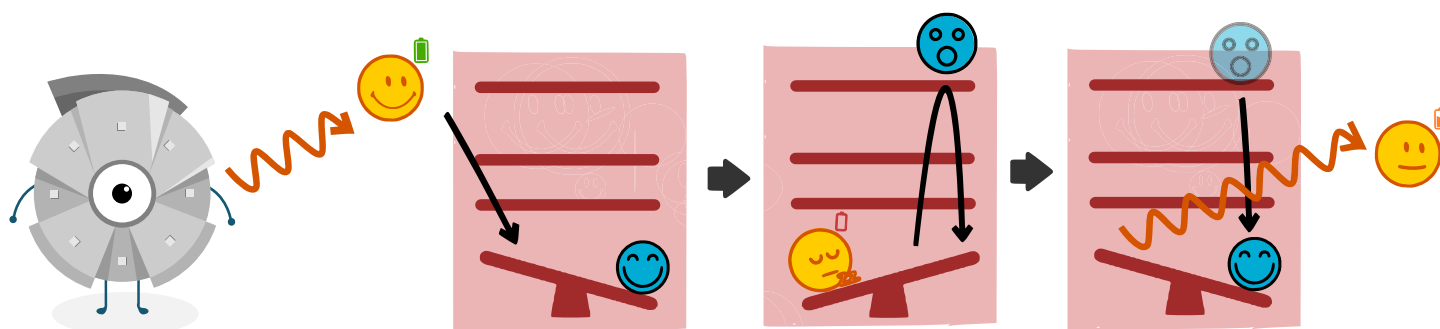
L'àtom absorbeix un fotó amb l'energia exacta per a fer saltar un **electró** a un **nivell atòmic superior**.



Mesurem la **transmissió** de la mostra (l'energia que no ha absorbit).

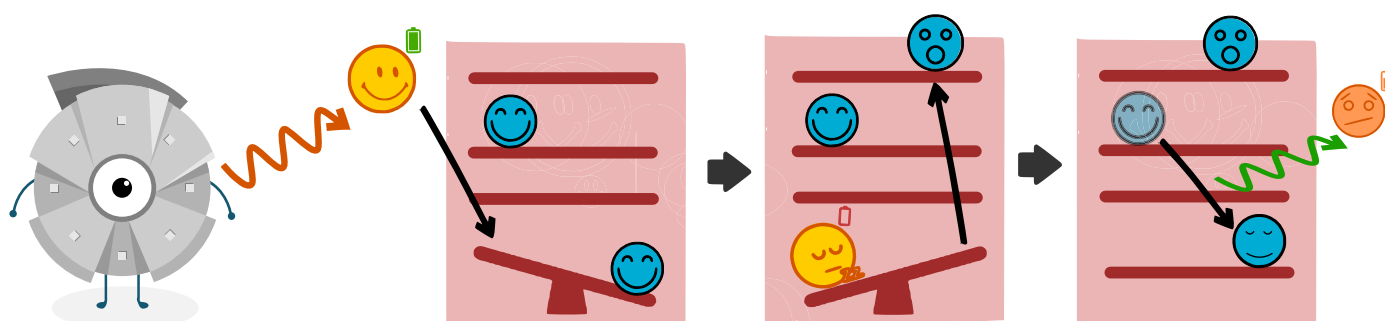
## DISPERSIÓ RESSONANT

El **fotó** és absorbit i emès immediatament després d'haver donat energia a l'**electró**. Mesurem aquesta **transferència d'energia** (similar als xocs del billar).



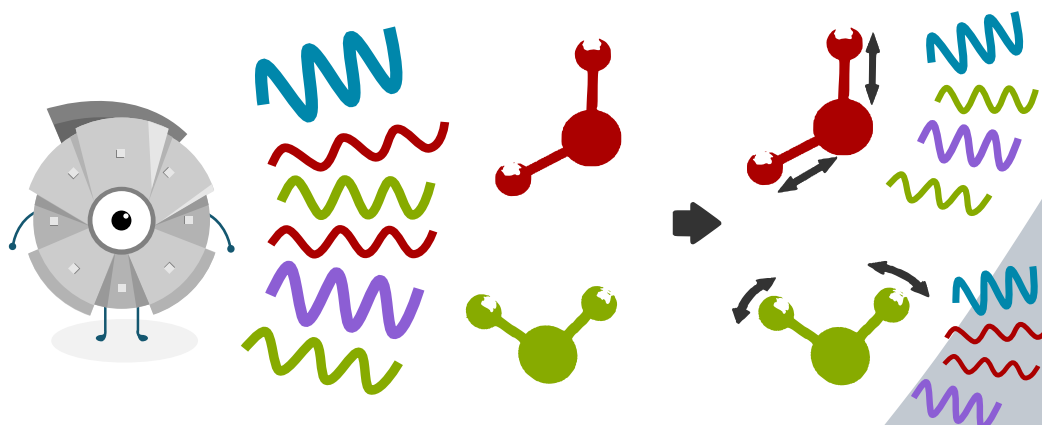
## FLUORESCÈNCIA DE RAIGS X

L'**electró** és excitat pel fotó, **deixant un lloc buit**. Llavors, un **altre** electró d'un nivell superior **baixa a ocupar aquest lloc**, emetent energia que mesurarem.



## INFRAROIG

Les **molècules roten i vibren** quan absorbeixen llum d'igual freqüència que algunes de les seves freqüències de ressonància (les que les fan vibrar al màxim).



La llum amb **freqüència diferent** a la de ressonància **no és absorbida** per la molècula.



## Sincrotró ALBA

Si has arribat fins aquí ja en deus saber molt de sincrotrons, i en concret de l'ALBA, tot i que t'hauràs trobat amb paraules estranyes, noms complexos de tècniques i expressions ben complicades. Però no pateixis, a continuació t'oferim un glossari per fer-t'ho més fàcil.

A més, sabies que en un segon els electrons del Sincrotró ALBA fan un milió de voltes a l'anell accelerador? T'ensenyarem unes quantes curiositats més amb les que podràs deixar bocabadats als teus amics quan els les expliquis. Xifres i dades perquè acabis sent tot un expert en sincrotrons!

Per cert, ja has descobert en què s'assemblen l'ALBA i l'accelerador LHC del CERN a Suïssa? És una pregunta que ens fan sovint i t'ho expliquem en detall, no t'ho perdís!



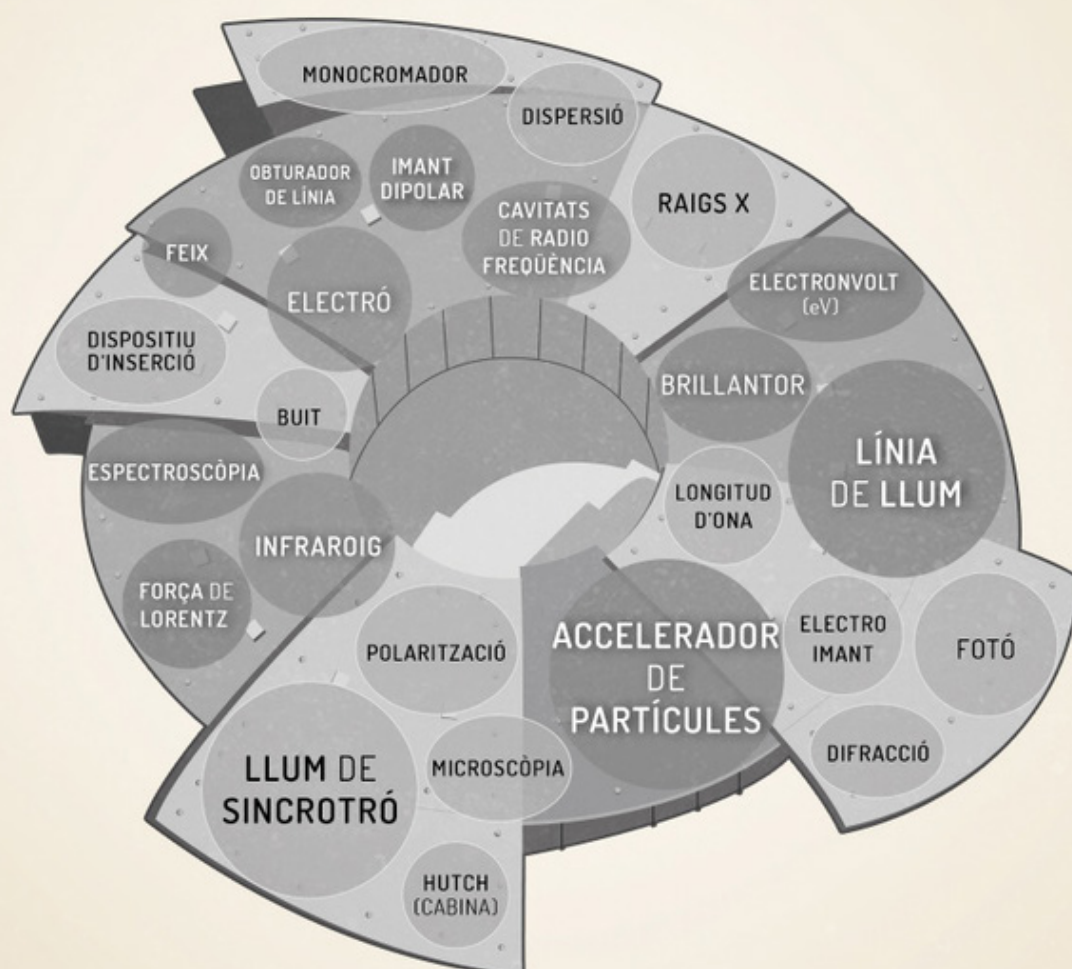
08

# El Sincrotró ALBA en 25 paraules

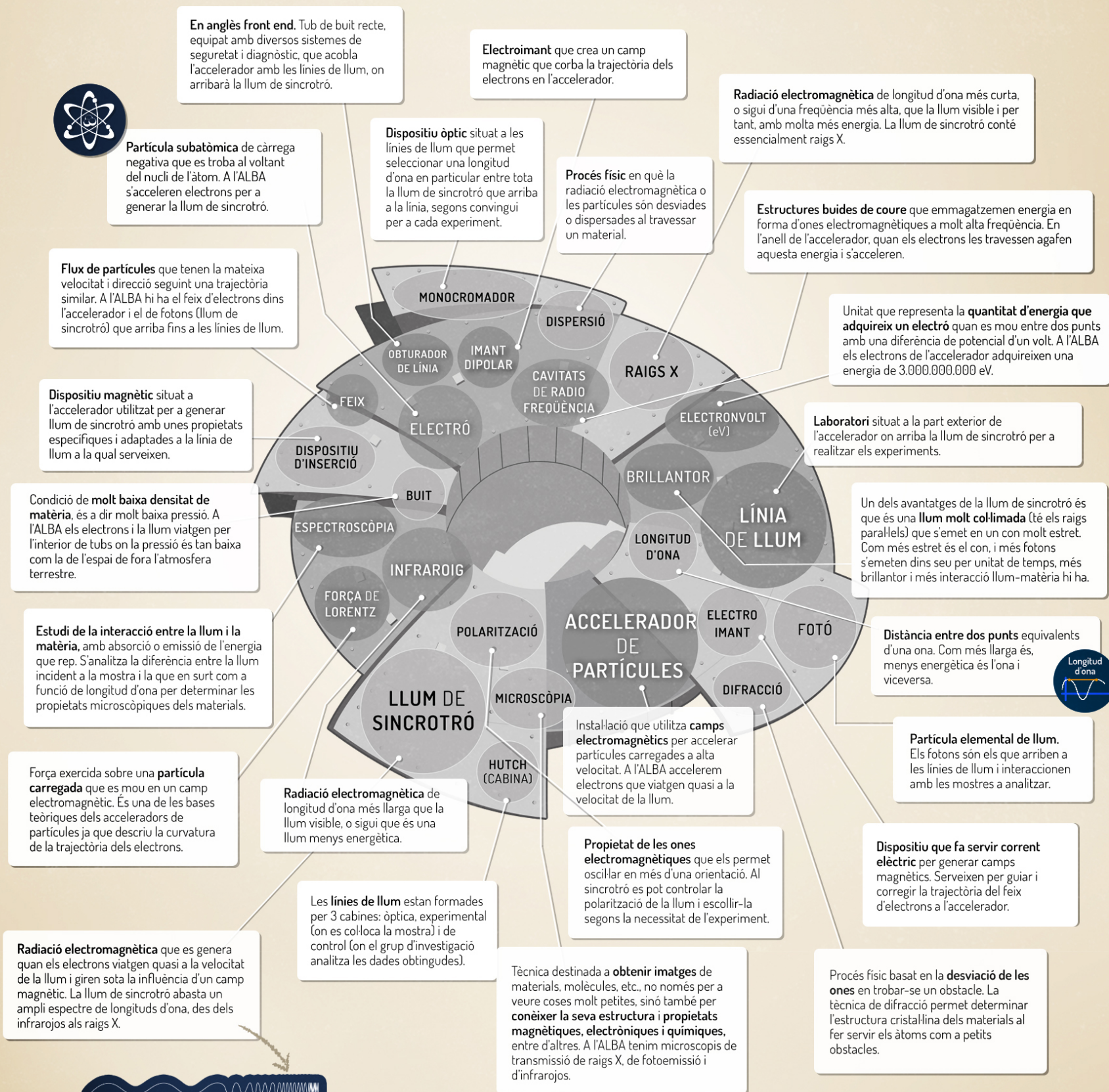
EL  
**SINCROTRÓ**  
**ALBA**  
EN

**25**  
PARAULES

Amb una ullada a aquestes 25 paraules et podràs fer una idea de què és el Sincrotró ALBA. Algunes són ben complexes, però no pateixis! Te les expliquem totes.









09

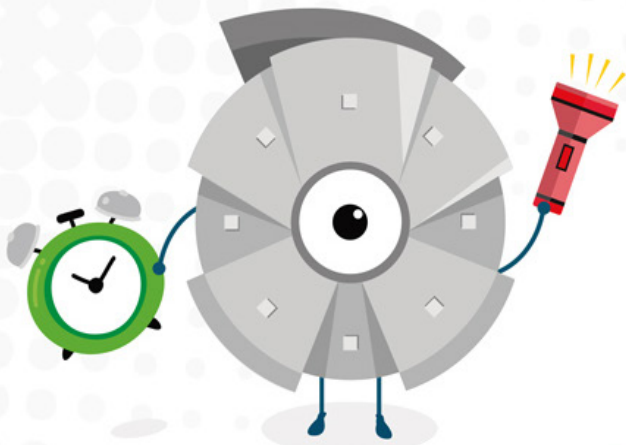
## 7 dades increïbles que no sabies del Sincrotró ALBA



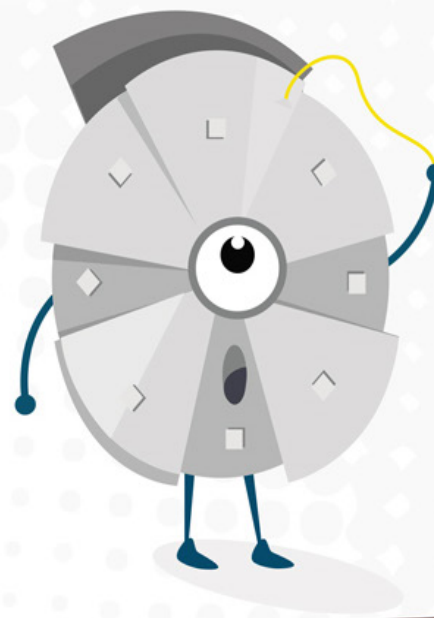
### DADES INCREÏBLES QUE NO SABIES DEL SINCROTRÓ ALBA

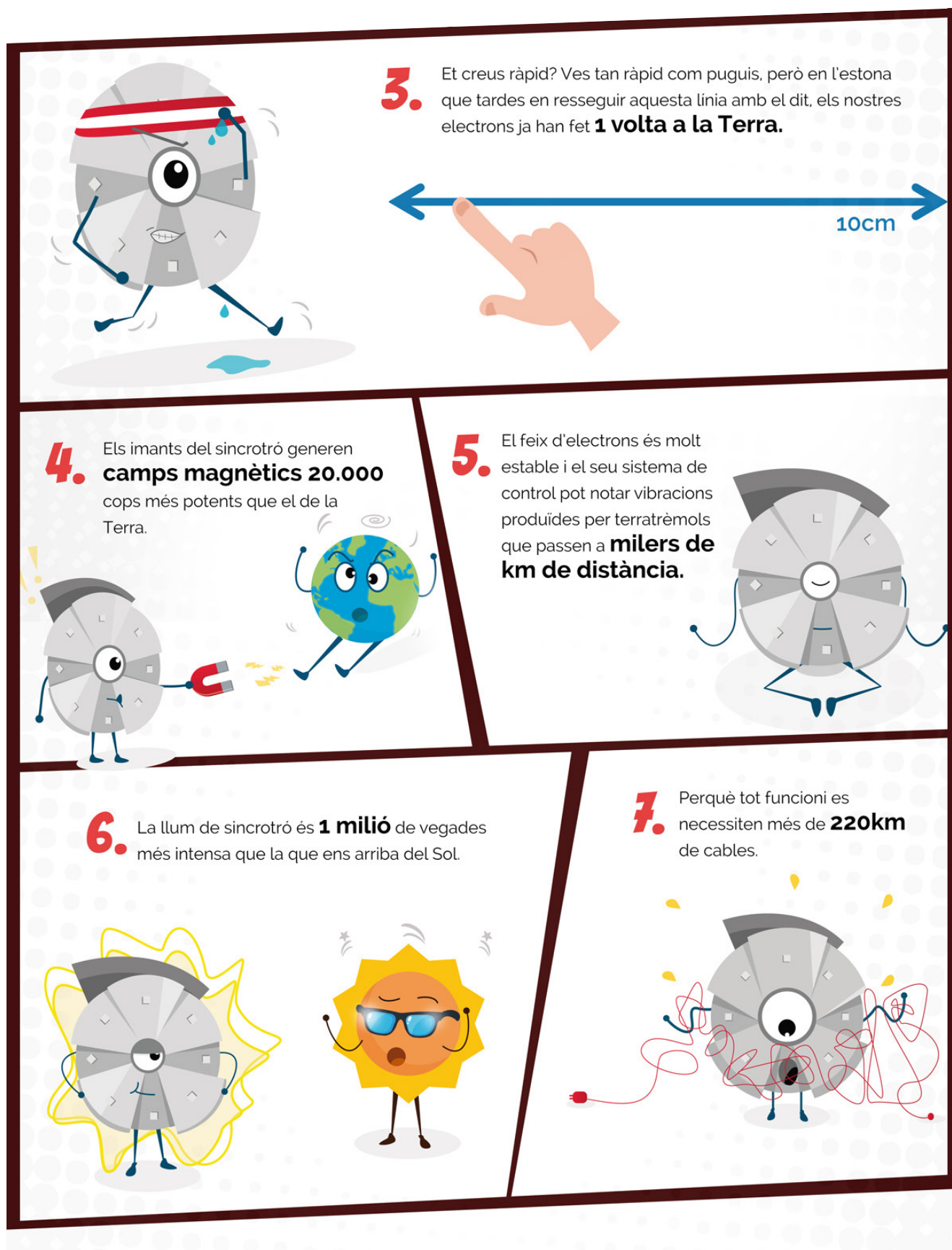
El **Sincrotró ALBA** és una instal·lació científica amb unes característiques molt singulars. Aquestes són algunes de les **xifres espectaculars** en què es mou:

- 1.** El Sincrotró ALBA produeix **6.000 hores** de llum a l'any perquè **1.300 investigadors** facin els seus estudis.



- 2.** Per produir la llum, s'acceleren electrons que formen un **feix més prim que un cabell**.







10

# ALBA vs LHC. dos acceleradors de partícules, iguals... o no?

## ALBA VS. LHC CERN

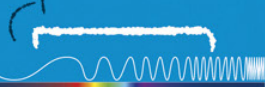
### Dos acceleradors de partícules, iguals... o no?



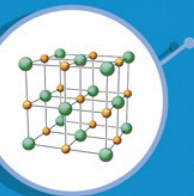
1 feix d'electrons

Electró

Llum de sincrotró



Analitzar la matèria i les seves propietats a nivell atòmic i molecular



Ciència de materials, nanotecnologia, biologia, química, patrimoni històric i artístic, física, medicina, medi ambient...

268m d'anell

situat dins un búnquer de formigó



QUÈ ACCELEREN?



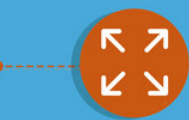
PRODUUEIXEN



PROPÒSIT



RESULTATS CIENTÍFICS



DIMENSIONS

2 feixos de protons

(o dos feixos de ions) en direccions oposades

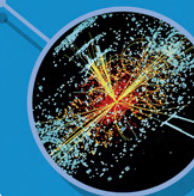


Protó

Collisions de partícules



Investigar a nivell subatòmic els components bàsics de la matèria i les seves interaccions



Física de partícules, origen de l'Univers, matèria i antimatèria, Bosó de Higgs

26,7km d'anell

A 100m sota terra és el major accelerador de partícules del món

CONSTEN DE

8 línies de llum  
3 en construcció



CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES

664 imants en el túnel  
Camp magnètic de fins a 1,4T  
Energia del feix 3GeV  
Feix al 99,9999986% de la velocitat de la llum  
Pressió: buit  $10^{-10}$  mbar



3 MW



QUI HO FA SERVIR?

Grups de recerca

65% espanyols  
30% europeus  
5% resta del món



envien les seves propostes pròpies d'experiments i els millors són seleccionats

# ALBA







## 4 punts de col·lisió

amb sistemes de detecció de partícules

- 9600 imants en el túnel
- Camp magnètic de fins a 7,74T
- Energia d'un feix 6.500GeV
- Feix al 99,9999991% de la velocitat de la llum
- Pressió: buit  $10^{-10}$  mbar

## CONSUM ENERGÈTIC

120 MW



## De tot el món

col·laboren per dur a terme experiments en cada punt de col·lisió

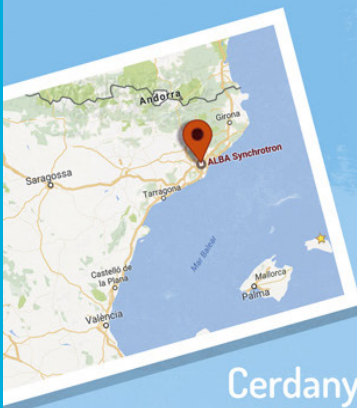
**Grups de recerca**

200 plantilla  
1.300 investigadors/any



## TREBALLADORS

2.500 plantilla  
13.000 usuaris

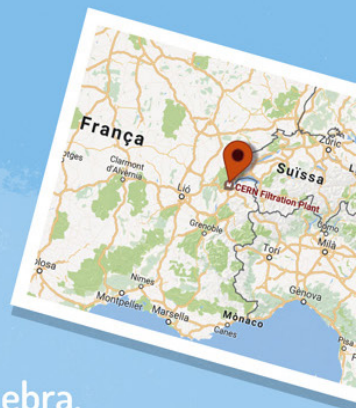


Cerdanyola del Vallès,  
Catalunya, Espanya



## UBICACIÓ

Ginebra,  
instal·lacions en ambdós costats de la frontera franco-suïssa



Aprovació del projecte del LHC

1998

Aprovació del projecte de l'ALBA

2006

Primera col·lisió al LHC

2012

1994

Inici de construcció del LHC

2003

Inici de construcció de l'ALBA

2009

Primer experiment a l'ALBA

200M euros inversió inicial  
20M euros anuals (2016)



## COST

3.500M euros inversió inicial  
19M euros anuals (2015)

## CELLS:

Consorti per a la Construcció, Equipament i Explotació del Laboratori de Llum Sincrotró



## QUI EL GESTIONA?

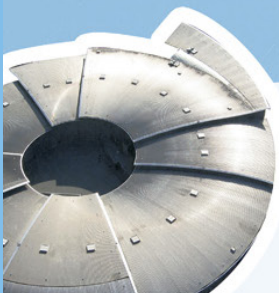
Finançat per la Generalitat de Catalunya i el Gobierno de España

CERN:  
Consell Europeu per a la Recerca Nuclear

22 estats membres



LHC





## Dones al Sincrotró ALBA

L'11 de febrer és el Dia de la Dona i la Nena a la Ciència. Aquest visual va ser un petit homenatge a les dones que treballen al Sincrotró ALBA. Des d'enginyeres, biòlogues, químiques, informàtiques, administratives, físiques i comptables passant per la mateixa directora del sincrotró, volem reivindicar el seu paper en l'àmbit de la ciència i la tecnologia.

11

Elles també brillen.  
Dones al Sincrotró ALBA

# ELLES TAMBÉ BRILLEN

## DONES AL SINCROTRÓ ALBA

11 de febrer

Dia de la Dona i la Nena a la Ciència





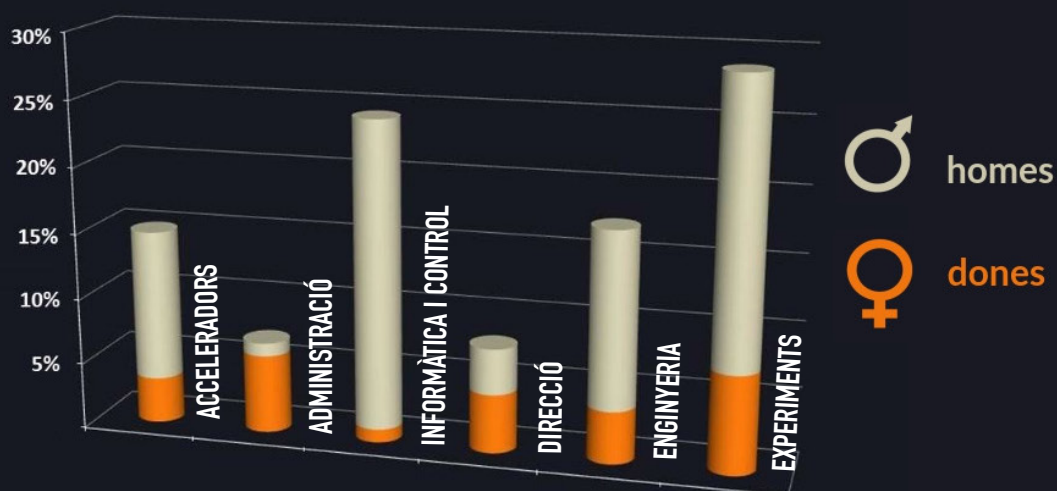


Les **dones** representen el **25%** dels treballadors del Síncrotró ALBA.

Distribuïdes en **6 àrees**



I quina és la **proporció de dones** i homes en cada divisió?



“Cal animar les noies a estudiar ciència i tecnologia perquè, en el futur, no sigui una notícia el fet que una dona dirigeixi un centre de recerca”.

Caterina Biscari, Directora









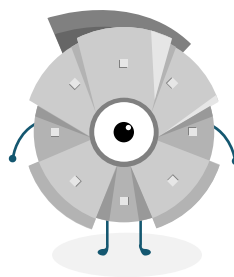


Aquest llibre neix amb l'objectiu de donar a conèixer i difondre la ciència del Síncrotró ALBA així com les seves particularitats i característiques de funcionament.

Forma part d'un projecte de divulgació en què il·lustracions, infografies i visuals serveixen per apropar i familiaritzar al públic general amb una instal·lació científic-tecnològica com el Síncrotró ALBA. Situada a Cerdanyola del Vallès (Barcelona), l'ALBA és una instal·lació pública finançada a parts iguals pel Ministeri d'Economia i Competitivitat (MINECO) i la Generalitat de Catalunya.



Amb la col·laboració de:



Il·lustració del Síncrotró ALBA cedida per:

