



UNIVERSITAT DE BARCELONA



100  
anys

# Els raigs X: unes ones centenàries en el diagnòstic mèdic

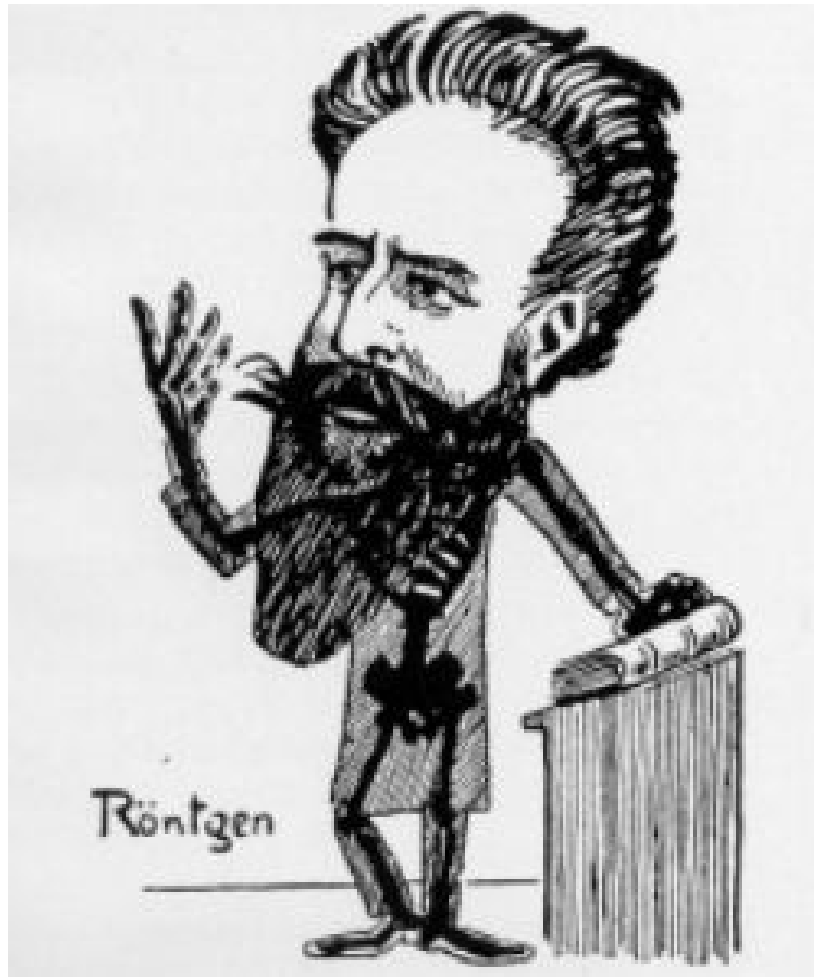
**González-Sistal, A**

Facultat de Medicina  
Departament de Ciències Fisiològiques II

[angelgonzalez@ub.edu](mailto:angelgonzalez@ub.edu)

## ÍNDEX

W. C. Röntgen .....	2
Què son? .....	3
Com es produeixen? .....	5
Alguns fets rellevants relacionats amb els fonaments físics.....	8
Utilització en el diagnòstic per la imatge .....	9
Alguns fets rellevants relacionats amb les aplicacions mèdiques.....	11
Bibliografia .....	13



**Wilhelm Conrad Röntgen** (Lenep, Prússia 1845 - Munich, Alemanya 1923)

El 8 de novembre de 1895 produeix un tipus de radiació electromagnètica nova anomenada raigs X. El van premiar amb el grau honorari de Doctor en Medicina per la Universitat de Würzburg després d'aquest descobriment. Posteriorment, va ser guardonat amb el Premi Nobel de Física l'any 1901. Va donar la recompensa monetària a la seva universitat. Anys més tard rebutja registrar qualsevol patent relacionada amb el seu descobriment per raons ètiques.

---

**Nota.-** Aquest document digital ha donat suport a l'exposició d'un aparell antic de raigs X, al Campus de Bellvitge, cedit per la Fundació Universitària Agustí Pedro i Pons UB. Aquest aparell data dels anys 20 del segle passat.

## QUÈ SON?

L'espectre electromagnètic és el conjunt de totes les radiacions electromagnètiques, des de les de major freqüència (raigs còsmics, raigs X), fins a les de menor freqüència, com les ones de ràdio. Tota ona electromagnètica suposa una propagació d'energia a través de l'espai i, per tant, una transmissió d'energia des del sistema que la produeix fins el que la rep. Presenten un comportament ondulatori.

La diferència entre els diferents tipus de radiació es determina per un dels següents paràmetres que ahora estan interrelacionats:

- longitud d'ona ( $\lambda$ , distància entre dos màxims successius)
- freqüència ( $\nu$ , nombre d'ones per unitat de temps;  $\nu = c / \lambda$ )
- energia ( $E$ , producte de la constant de Planck per la freqüència;  $E = h \cdot \nu$ ;  $E = h \cdot c / \lambda$ )

Com a conseqüència de les relacions anteriors, una radiació electromagnètica quant més elevada és la seva energia major és la freqüència i més petita la seva longitud d'ona.

Els fotons de raigs X tenen una energia de l'ordre de 1 keV a 100 keV.

---

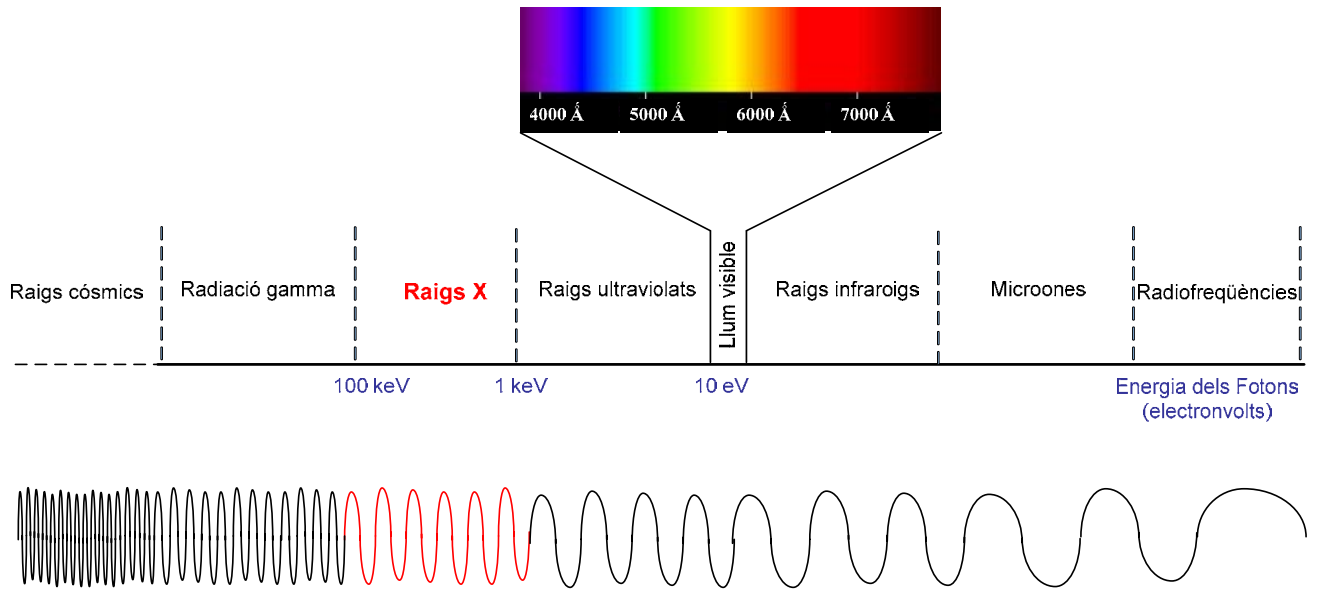
Angström (Å);  $1 \text{ Å} = 10^{-10}$  metres

Electronvolt (eV);  $1 \text{ eV} = 1.60210 \cdot 10^{-19}$  Joules;  $1 \text{ KeV} = 10^3 \text{ eV}$

Constant de Planck:  $h = 4.1356 \cdot 10^{-15} \cdot \text{eV} \cdot \text{s}$

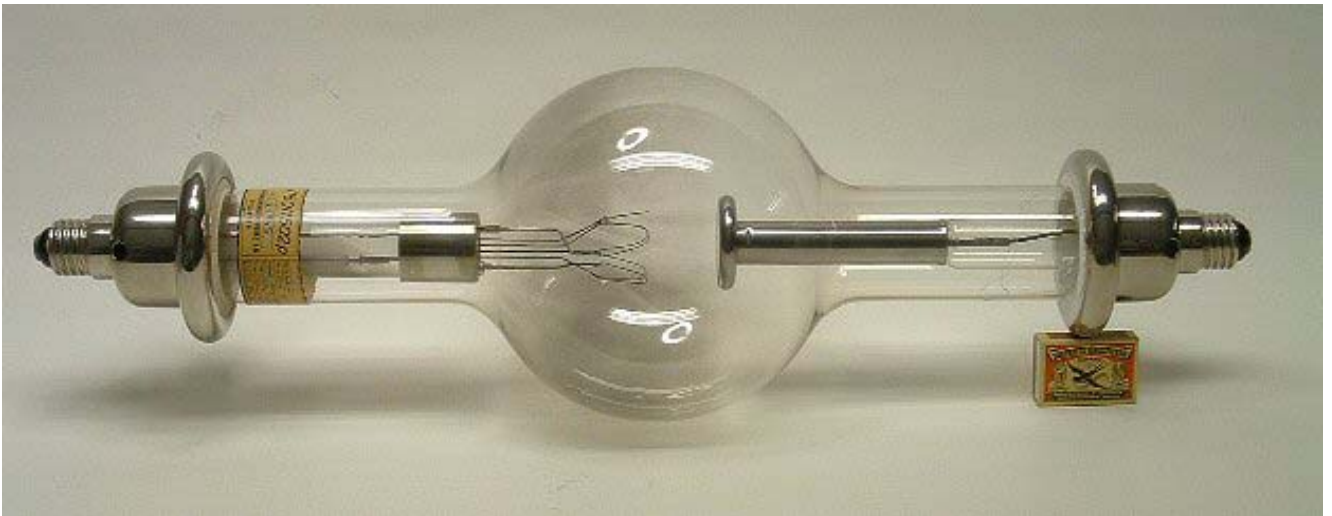
Constant de la velocitat de la llum al buit:  $c = 299.792.458 \text{ m/s}$

# Espectre electromagnètic

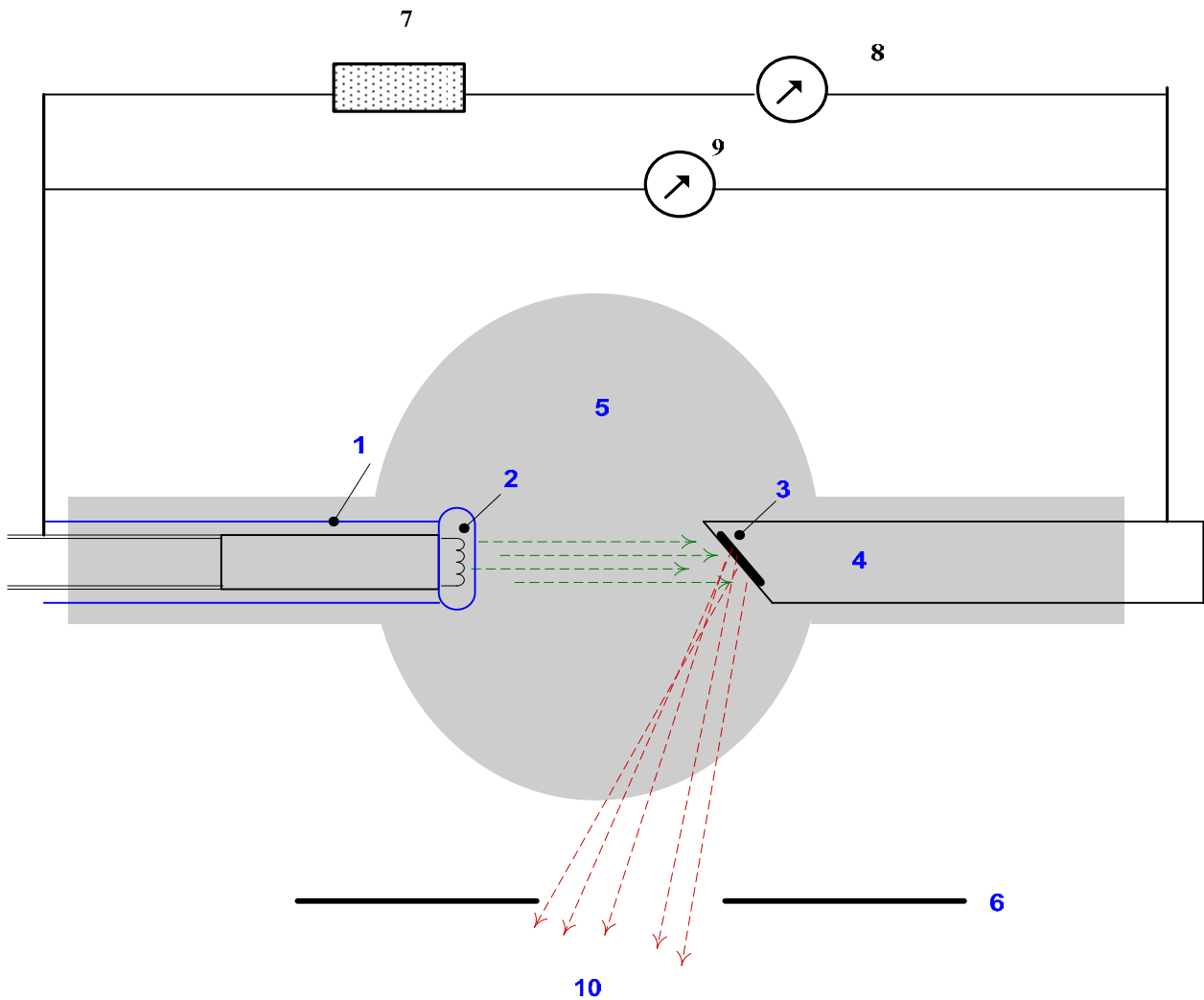


## COM ES PRODUEIXEN

La producció de raigs X te lloc a l'interior d'un tub de Coolidge, que està ple d'un gas a baixa pressió. Alhora aquest es troba aïllat per un estoig plomat.



El tub de raigs X compren: el càtode **1**, un filament incandescent, font d'electrons **2** , el focus **3**, l' ànode **4** i l' espai en el que s'ha practicat el buit **5**. L'estoig de plom que l'envolta presenta un diafragma **6**.



Aquest tub va connectat a: una font d'alta tensió **7**, un amperímetre **8** i un voltímetre **9**. Això dona com a resultat la producció de fotons X **10**.

La font d'alta tensió produeix el corrent elèctric que passa per la font d'electrons, constituïda per un filament incandescent. De la variació de corrent depèn la *quantitat de raigs X* produïts. El corrent elèctric es mesura en miliamperímetres (mA).

Els electrons s'acceleren en funció de la tensió aplicada al interior del tub entre el filament (càtode) i la peça metàl·lica (ànode). Aquesta tensió es mesura en kilovolts (kV) i de la seva variació depèn la *qualitat dels raigs X* (baix voltatge: 40-90 kV, alt voltatge 100-130kV). Aquest fotons poden tenir qualsevol energia per sota de l'energia cinètica de l'electró que els ha provocat.

El recorregut dels electrons entre el càtode i l'ànode es realitza en la zona del tub on s'ha fet el buit. Els electrons accelerats xoquen a gran velocitat contra una placa metàl·lica i la seva energia cinètica es transforma una gran part en calor i altre en fotons X mitjançant dos fenòmens diferents: col·lisió (interacció entre un electró del feix incident i un electró d'un àtom de l'ànode) i frenada (radiació produïda per la desacceleració d'un electró incident en les proximitats del nucli d'un àtom).

L'ànode és la peça metàl·lica que frena els electrons accelerats. Generalment és una placa d'un metall de nombre atòmic Z elevat, un dels més freqüents és el tungsté (Z = 74). La superfície que rep els electrons accelerats s'anomena focus del tub. A l'ànode s'associa un sistema de refredament.

El tub es troba tancat en un estoig plomat i només una finestra deixa passar els fotons de raigs X útils. Un sistema de diafragmes plomats permeten reduir la dimensió del feix segons la mida de la zona a examinar i obtenir així una imatge de qualitat. La geometria de l'ànode d'aproximadament 17° també contribueix a fer el feix més estret.

---

Amper (A) = Coulomb / segon ; Miliamper (mA) =  $10^{-3}$  A

Volt (V) = Joule / Coulomb; Kilovolt (kV) =  $10^3$  V



## ALGUNS FETS RELLEVANTS RELACIONATS AMB ELS FONAMENTS FÍSICS

**1887 H. Hertz** descobreix l'efecte fotoelèctric que va ser explicat anys més tard. Aquest consisteix en la interacció d'un fotó incident amb un electró intern d'un àtom.

**1887-1892 N. Tesla** descobreix el fenomen de frenada, que es la radiació produïda per la desacceleració d'un electró incident en les proximitats del nucli d'un àtom.

**1895 W. C. Röntgen** descobreix els raigs X a partir dels experiments per analitzar els raigs catòdics. En reconeixement, va rebre el **premi Nobel de Física** l'any **1901**.

**1897 J.J. Thomson** va anunciar l'existència de partícules carregades negativament més petites que l'àtom d'hidrogen denominades electrons. Per aquest motiu, va ser recompensat amb el **premi Nobel de Física** l'any **1906**.

**1905 A. Einstein** postula el comportament corpuscular de la llum, això permet interpretar l'efecte fotoelèctric. Aquesta teoria li va proporcionar el **premi Nobel de Física** l'any **1921**.

**1912 M. von Laue** perfecciona el mètode per mesurar la longitud d'ona dels raigs X. Així va demostrar que aquests eren de naturalesa anàloga a la llum. Va ser guardonat amb el **premi Nobel de Física** l'any **1914**.

**1913 W.D. Coolidge** va realitzar el càtode del tub de raigs x i l'ànode de tungsté que permetien alts voltatges. Aquest tub va representar l'aportació més important pels aparells de raigs X.

**1923 A. H. Compton** descobreix l'efecte que es produeix al interaccionar un fotó incident amb un electró perifèric. Això va confirmar que la radiació electromagnètica té propietats tant d'ona com de partícula.

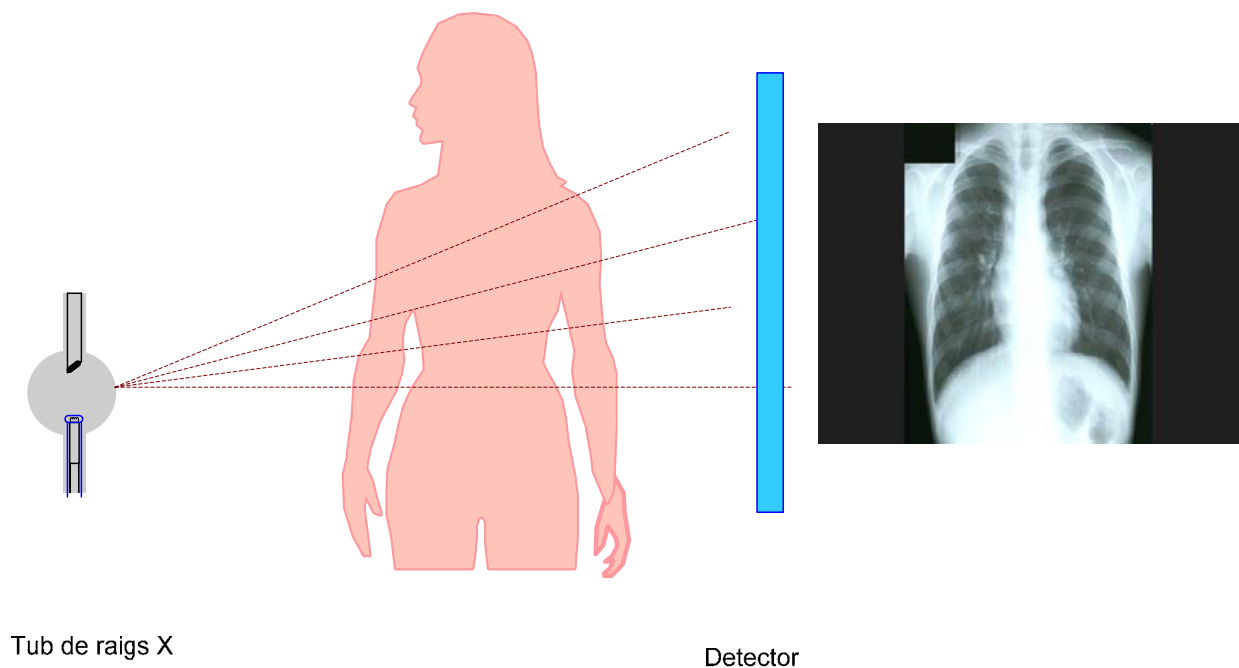
## UTILITZACIÓ EN EL DIAGNÒSTIC PER LA IMATGE

El radiodiagnòstic, consisteix en l'exploració de les estructures anatòmiques internes amb ajuda de la imatge proporcionada per un feix de raigs X. Aquest té la capacitat de travessar el subjecte. Les estructures denses, com els ossos, bloquegen la major part d'aquests fotons i es veuen de color blanc. El metall i els medis de contrast també es veuran de color blanc. Les estructures que contenen aire es mostraran negres i els músculs, el greix i els líquids com ombres de color gris.

La base fonamental per l'aplicació dels raigs X és la propietat que posseeixen d'atenuació exponencial. El grau de penetració d'aquests fotons en un determinat medi, depèn de la naturalesa del medi i l'energia dels fotons. Al travessar un material poden ser absorbits o dispersats de la seva trajectòria. Això resulta una disminució en la intensitat general.

Els processos d'absorció o dispersió són deguts a interaccions entre els àtoms del medi i els fotons X. Les interaccions més importants les constitueixen els efectes: fotoelèctric (interacció d'un fotó incident amb un electró intern d'un àtom), Compton (interacció d'un fotó incident amb un electró perifèric) i materialització (un fotó d'energia elevada interacciona amb el camp elèctric existent en les proximitats del nucli).

## Formació d'una imatge radiològica



A banda de la radiologia convencional, els equips i tècniques especials més freqüents en radiologia son:

- Equips: mamògraf, densitometria òssia, radiologia dental
- Radiologia intervencionista: fluoroscopia, angiologia i equips quirúrgics
- Tomografia Computada

Amb l'arribada de la informàtica i la seva inclusió en el control sobre els aparells de diagnòstic, i sobre els mètodes d'obtenció i reconstrucció d'imatges, s'ha donat el segon gran pas en la història del radiodiagnòstic.

## ALGUNS FETS RELLEVANTS RELACIONATS AMB LES APLICACIONS MÈDIQUES

**1896 T. Edison** se li atribueix el disseny i fabricació del primer fluoroscopi (aparell de raigs X que permet observar els òrgans interns en moviment). Va desenvolupar pantalles fluorescents de tungsté.

**1896\* C. Comas** realitza les primeres radiografies a Barcelona.

**1906 J. Bergonié** i **R. Tribondeau** descriuen la llei de radiosensibilitat dels teixits. Al estudiar els efectes de la radiació ionitzant en ratolins, van arribar a la conclusió que les cèl·lules presenten diferent sensibilitat a la radiació en funció de diferents factors intrínsecs.

**1910\*** Primer Congrés Internacional d' Electrologia i Radiologia Mèdiques a Barcelona.

**1914** Fundació del Institut del Radi on es van estudiar les aplicacions dels raigs X i la radiactivitat en diferents camps i en Medicina. M. Curie es nomena directora.

**1914-1918 M. Curie** primera professional de la Física Mèdica. Va participar en la solució de problemes relacionats amb ferides i fractures mitjançant l'ús de la radiografia. També, proposà l'ús de la radiografia mòbil destinada als soldats ferits al front.

**1920** Es fundà el primer comitè de protecció de raigs X anomenat: American Röntgen Ray Society. L'any 1922 aquesta societat adoptà les normes de protecció de radiació.

**1927 Egas Moniz** desenvolupa la Angiografia per contrast radiopac per diagnosticar diferents trastorns vasculars cerebrals.

**1928** Al Congrés Internacional de Radiologia d'Estocolm: 1) s'adopta la unitat Röntgen (R) formalment i 2) es constitueix el Comitè Internacional de Protecció de raigs X i radi.

**1946 H. J. Muller** li concedeixen el **premi Nobel de Fisiologia i Medicina** pel descobriment de producció de mutacions mitjançant raigs X.

**1951 C. Thompson** defineix el concepte de Gamut (l'listat complet de les causes d'un patró o d'una troballa radiològica concreta). A partir d'aquest moment es van organitzar registres de patologia radiològica.

**1963 J. Cameron** i **J. Sorenson** van descriure un nou mètode de mesura de la densitat de massa òssia per absorciometria de fotó simple (SPA), que anirà amb els anys evolucionant a l'actual densitometria òssia.

**1966 P. Strax, S. Shapiro** i **L. Venet** van avaluar l'ús de la mamografia com a tècnica de cribatge en el càncer de mama.

**1967 A. M. Cormack** publica els primers treballs sobre la Tomografia Computada (TC).

**1969 G. M. Hounsfield** dirigeix l'equip que va aconseguir el primer prototip aplicable de TC. Pels seus treballs i el desenvolupament de la TC, Cormack i Hounsfield comparteixen el **premi Nobel de Fisiologia i Medicina** l'any **1979**.

**1984 F. Mouyens** va inventar el primer sistema de radiologia amb imatge digital directe.

---

\* àmbit del diagnòstic per la imatge a Catalunya.

## BIBLIOGRAFIA

Baldwin, N: *Edison: Inventing the century*, University of Chicago Press, 2001.

Cameron JR, Orenson, J : *Measurement of bone mineral in vivo: an improvement method*. *Science* 142, 230-232, 1963.

Cheney M, Uth R, Glenn J: *Tesla, Master of Lightning*, Barnes & Noble publishing, 1999.

Dahl, F: *Flash of the cathode rays: a history of J.J. Thomson's electron*, Institute of Physics Publishing, 1997.

Daintith J, Mitchell S, Tootill E, Gjertsen D: *Biographical encyclopedia of scientists*, Taylor & Francis, Institute of Physics publishing, 1994.

Desiderius P: *Röntgen: descubridor de los rayos X*, Emecé, Buenos Aires ,1945.

Essig, M: *Edison and the electric chair: a history of light and death*, New York, Walker & Company, 2003.

Fölsing, A: *Heinrich Hertz, Hoffmann and Campe*, Hamburg ,1997.

Galle P, Paulin, R :*Biofísica, Radiobiología y Radiopatología*. Editorial Masson. 2003.

Pais, A: *Subtle is the Lord: the Science and the live of Albert Einstein*, Oxford University Press, 1982.

Raju TN: *The Nobel chronicles*. 1979: Allan MacLeod Cormack (b 1924); and Sir Godfrey Newbold Hounsfield (b 1919). *Lancet* 6:354:1653, 1999.

Reeder MM, Felson B: *Gamuts in Radiology. Comprehensive lists of Roentgen differential diagnosis*, Published by Audiovisual Radiology of Cincinnati, 1975.

Reid, R: *Marie Curie derrière la legende*, Editions Seuil, Paris, 1979.

Ribondeau, L: *De quelques résultats de la radiotherapie et essai de fixation d'une technique rationnelle*. *Comptes-Rendus de Séances de l'Académie des Sciences* 143, 983-985, 1906.

Sánchez Ron, JM: *Marie Curie y su tiempo*, Ed. Crítica, Barcelona, 2000.

Shapiro S, Strax P, Venet L: *Evaluation of periodic breast cancer screening with mammography. methodology and early observations*. *JAMA* 28:195:731-8, 1999.

Streller E: *Wilhelm Conrad Röntgen: 1845-1923*, Bonn, Inter Naciones, 1973.

Thomas Kurgan G: *The Nobel Scientists. A biographical encyclopedia*. Prumetheus books, 2002.

Webb, S. Historical experiments predating commercially available computed tomography. Br J Radiol 65:835-7, 1992.

### Links de Internet

AIP center for history of physics. <http://www.aip.org/history>

**The cathode ray tube site.** <http://www.harvardsquarelibrary.org/unitarians/coolidge.html>

The Nobel Foundation. <http://nobelprize.org>

## Procedència de les imatges

Caricatura Röntgen: <http://radiologia.iespana.es/hr/hri1.htm>

Espectre electromagnètic: pròpia

Tub de Coolidge (Siemens Reiniger-werke V150/1502p):  
<http://www.harvardsquarelibrary.org/unitarians/coolidge.html>

Esquema del tub de Coolidge: pròpia

Exemple de formació d'una imatge radiològica: pròpia