



UNIVERSITAT DE BARCELONA



100  
anys

# Los rayos X: unas ondas centenarias en el diagnóstico médico

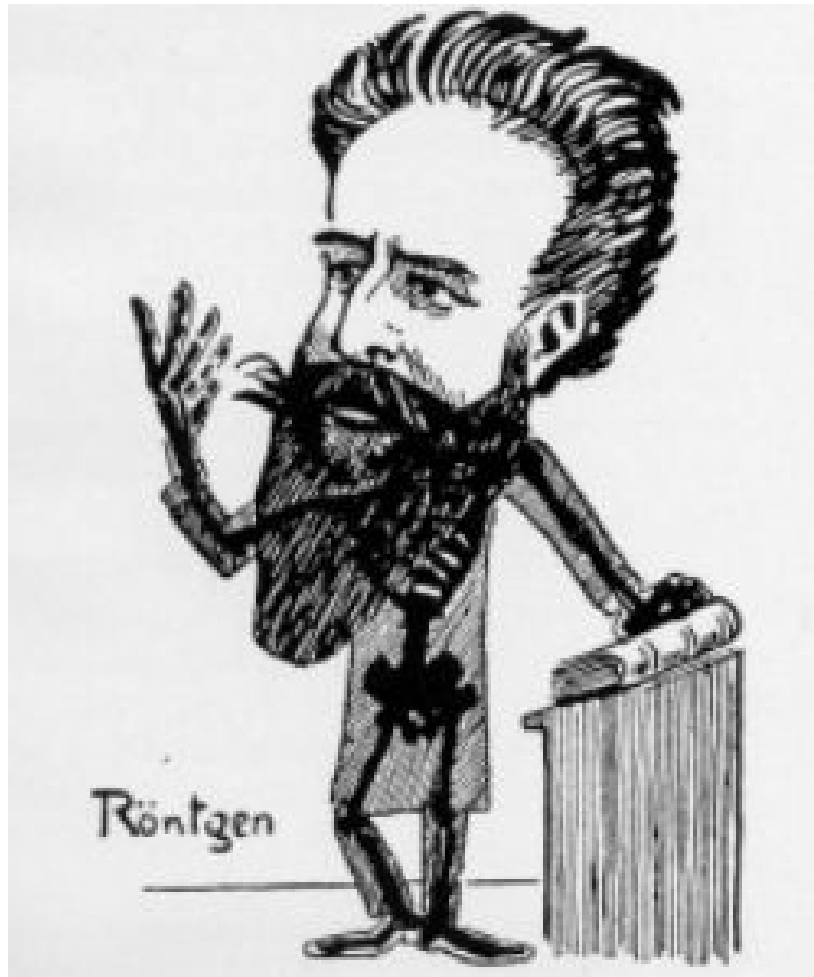
**González-Sistal, A**

Facultad de Medicina  
Departamento de Ciencias Fisiológicas II

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

## ÍNDICE

W. C. Röntgen .....	2
¿Qué son? .....	3
¿Cómo se producen? .....	5
Algunos hechos relevantes relacionados con los fundamentos físicos .....	8
Utilización en el diagnóstico por la imagen .....	9
Algunos hechos relevantes relacionados con las aplicaciones médicas .....	11
Bibliografía .....	13



**Wilhelm Conrad Röntgen** (Lennep, Prússia 1845 - Munich, Alemania 1923)

El 8 de noviembre de 1895 produce un tipo de radiación electromagnética nueva denominada rayos X. Le premiaron con el grado honorario de Doctor en Medicina por la Universidad de Würzburg tras este descubrimiento. Posteriormente, fue galardonado con el Premio Nobel de Física el año 1901. Dio la recompensa monetaria a su universidad. Años más tarde rechaza registrar cualquier patente relacionada con su descubrimiento por razones éticas.

---

**Nota.-** Este documento digital ha documentado la exposición de un aparato antiguo de rayos X, en el Campus de Bellvitge, cedido por la Fundació Universitària Agustí Pedro i Pons UB. Este aparato fecha de los años 20 del siglo pasado.

## ¿QUÉ SON?

El espectro electromagnético es el conjunto de todas las radiaciones electromagnéticas, desde las de mayor frecuencia (rayos cósmicos, rayos X), hasta las de menor frecuencia como las ondas de radio. Toda onda electromagnética supone una propagación de energía a través del espacio y, por tanto, una transmisión de energía desde el sistema que la produce hasta el que la recibe. Presentan un comportamiento ondulatorio.

La diferencia entre los diferentes tipos de radiación se determina por uno de los siguientes parámetros que a la vez están interrelacionados:

- la longitud de onda ( $\lambda$ , distancia entre dos máximos sucesivos)
- Frecuencia ( $\nu$ , número de ondas por unidad de tiempo;  $\nu = c / \lambda$ )
- Energía ( $E$ , producto de la constante de Planck por la frecuencia;  $E = h \cdot \nu$ ;  $E = h \cdot c / \lambda$ )

Como consecuencia de las relaciones anteriores, una radiación electromagnética cuanto más elevada es su energía mayor es la frecuencia y más pequeña su longitud de onda.

Los fotones de rayos X tienen una energía del orden de 1 keV a 100 keV.

---

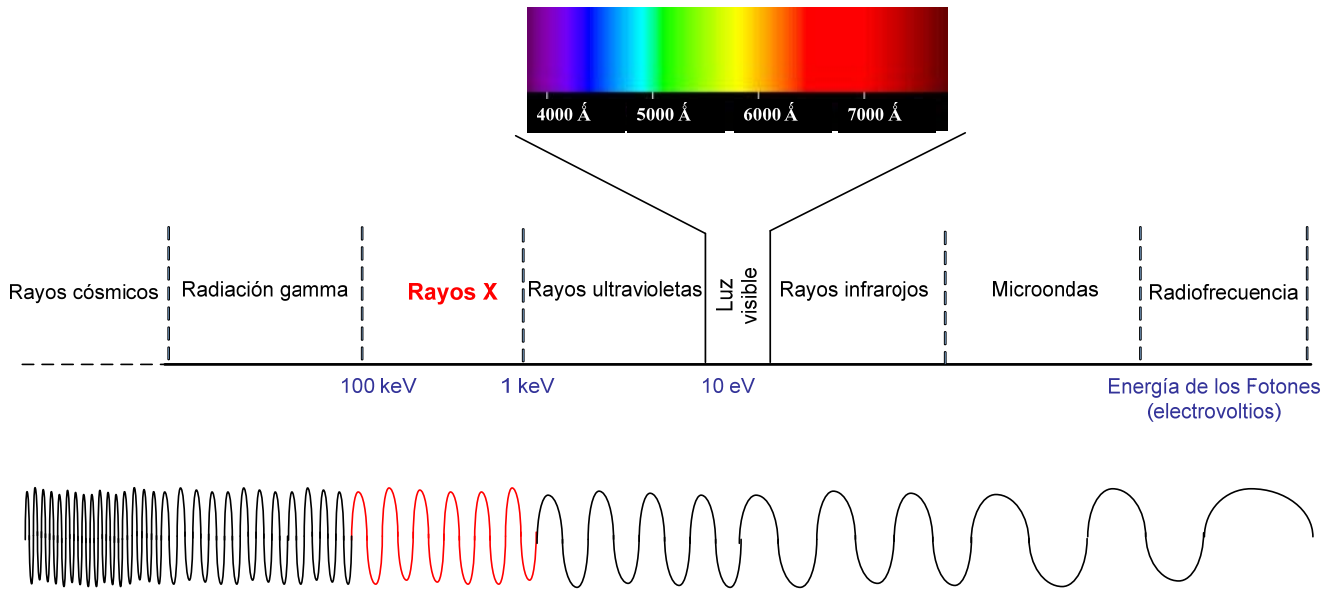
Angström (Å);  $1 \text{ Å} = 10^{-10}$  metros

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

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

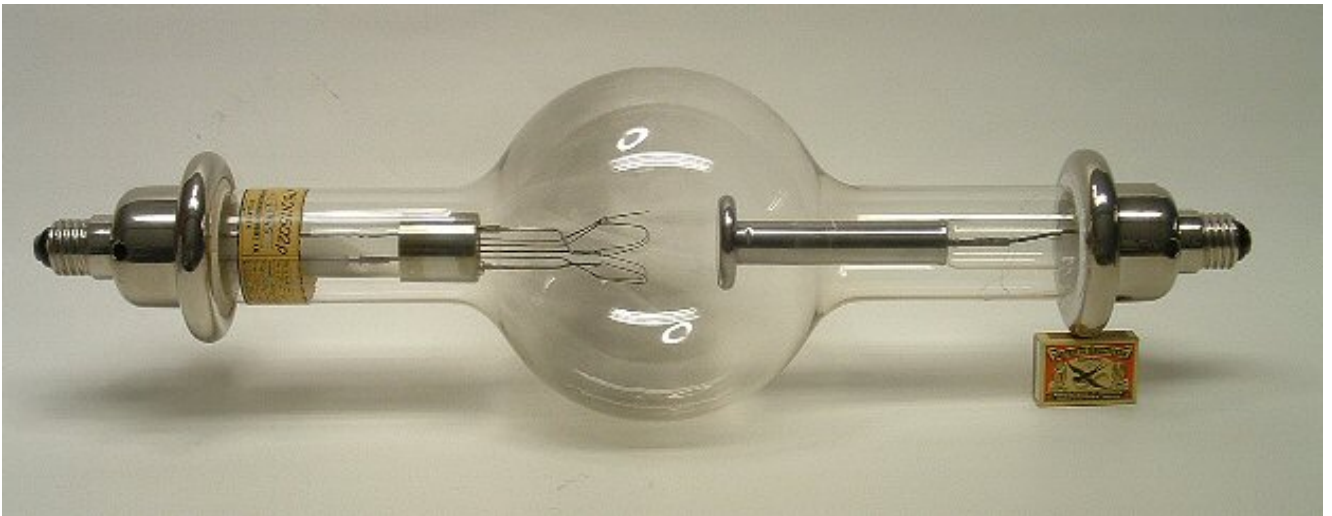
Constante de la velocidad de la luz en el vacío:  $c = 299.792.458 \text{ m/s}$

# Espectro electromagnético

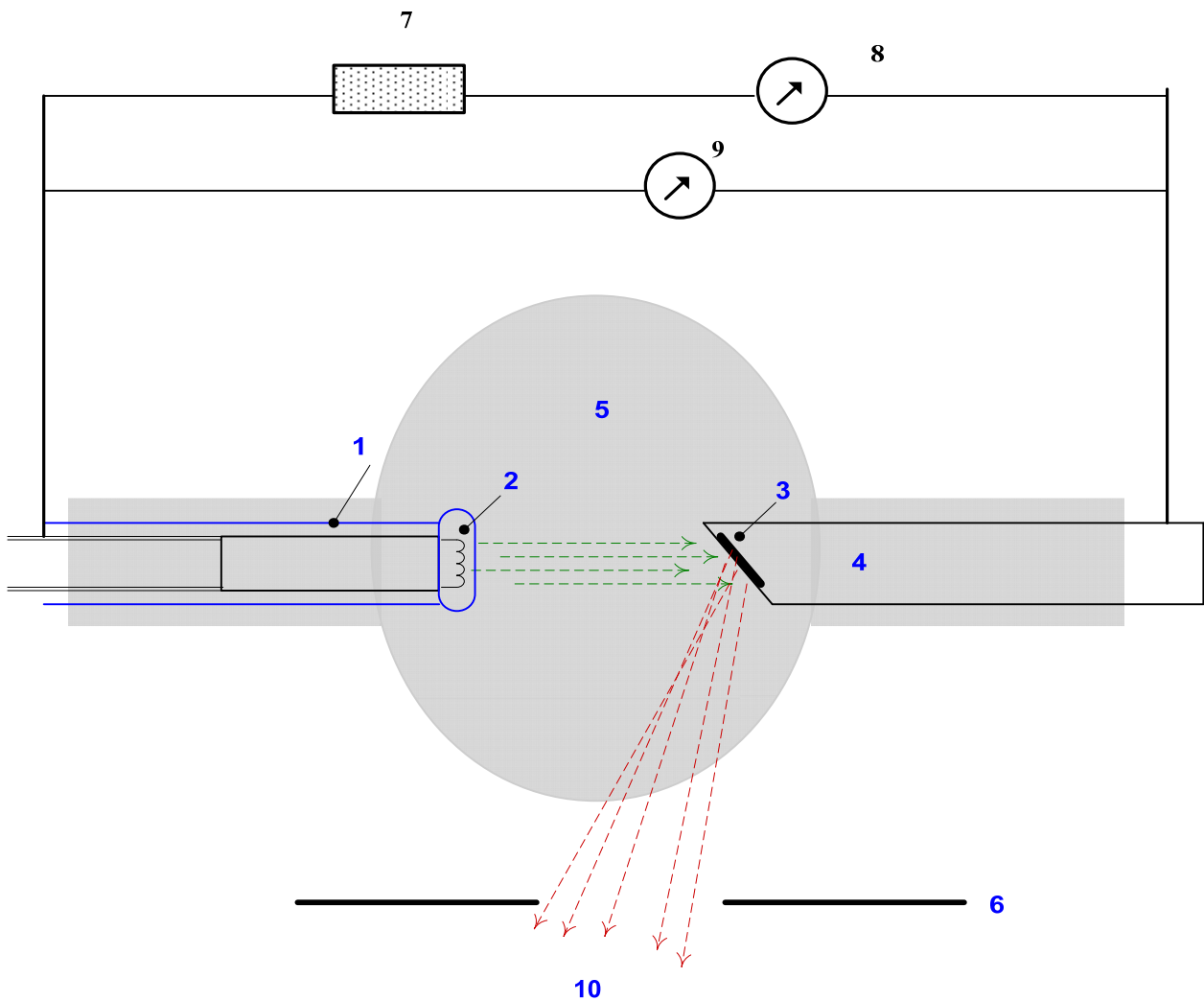


## ¿CÓMO SE PRODUCEN?

La producción de rayos X tiene lugar en el interior de un tubo de Coolidge, que está lleno de un gas a baja presión. A la vez éste se encuentra aislado por un estuche plomado.



El tubo de rayos X está formado por: el cátodo **1**, un filamento incandescente o fuente de electrones **2**, el foco **3**, el ánodo **4** y el espacio en el que se ha practicado el vacío **5**. El estuche de plomo que lo rodea presenta un diafragma **6**.



Éste tubo va conectado a: una fuente de alta tensión **7**, un amperímetro **8** y un voltímetro **9**. Esto da como resultado la producción de fotones X **10**.

La fuente de alta tensión produce la corriente eléctrica que pasa por la fuente de electrones, constituida por un filamento incandescente. De la variación de corriente depende la cantidad de rayos X producidos. La corriente eléctrica se mide en miliamperímetros (mA).

Los electrones se aceleran en función de la tensión aplicada en el interior del tubo entre el filamento (cátodo) y la pieza metálica (ánodo). Esta tensión se mide en kilovoltios (KV) y de su variación depende la calidad de los rayos X (bajo voltaje: 40-90 KV, alto voltaje 100-130KV). Estos fotones pueden tener cualquier energía por debajo de la energía cinética del electrón que los ha provocado.

El recorrido de los electrones entre el cátodo y el ánodo se realiza en la zona del tubo donde se ha hecho el vacío. Los electrones acelerados chocan a gran velocidad contra una placa metálica y su energía cinética se transforma una gran parte en calor y otra en fotones X mediante dos fenómenos diferentes: colisión (interacción entre un electrón del haz incidente y un electrón de un átomo del ánodo) y frenada (radiación producida por la desaceleración de un electrón incidente en las proximidades del núcleo de un átomo).

El ánodo es la pieza metálica que frena los electrones acelerados. Generalmente es una placa de un metal de número atómico Z elevado, uno de los más frecuentes es el tungsteno ( $Z = 74$ ). La superficie que recibe los electrones acelerados se denomina foco del tubo. Al ánodo se asocia a un sistema de enfriamiento.

El tubo se encuentra cerrado en un estuche plomado y sólo una ventana deja pasar los fotones de rayos X útiles. Un sistema de diafragmas permite reducir la dimensión del haz según la medida de la zona a examinar y obtener así una imagen de calidad. La geometría del ánodo, de aproximadamente  $17^\circ$ , también contribuye a hacer el haz más estrecho.

---

Amperio (A) = Coulomb / segundo; Miliamperio (mA) =  $10^{-3}$  A

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



## ALGUNOS HECHOS RELEVANTES RELACIONADOS CON LOS FUNDAMENTOS FÍSICOS

**1887 H. Hertz** descubre el efecto fotoeléctrico que fue explicado años más tarde. Este consiste en la interacción de un fotón incidente con un electrón interno de un átomo.

**1887-1892 N. Tesla** descubre el fenómeno de frenada, que es la radiación producida por la desaceleración de un electrón incidente en las proximidades del núcleo de un átomo.

**1895 W. C. Röntgen** descubre los rayos X a partir de los experimentos para analizar los rayos catódicos. En reconocimiento, recibió el **premio Nobel de Física** el año **1901**.

**1897 J.J. Thomson** anunció la existencia de partículas cargadas negativamente más pequeñas que el átomo de hidrógeno denominadas electrones. Por este motivo, fue recompensado con el **premio Nobel de Física** el año **1906**.

**1905 A. Einstein** postula el comportamiento corpuscular de la luz, esto permitió interpretar el efecto fotoeléctrico. Esta teoría le proporcionó el **premio Nobel de Física** el año **1921**.

**1912 M. von Laue** perfecciona el método para medir la longitud de onda de los rayos X. Así demostró que estos eran de naturaleza análoga a la luz. Fue galardonado con el **premio Nobel de Física** el año **1914**.

**1913 W.D. Coolidge** realizó el cátodo del tubo de rayos X y el ánodo de tungsteno que permitían altos voltajes. Este tubo representó la aportación más importante para los aparatos de rayos X.

**1923 A. H. Compton** descubre el efecto que se produce al interaccionar un fotón incidente con un electrón periférico. Esto confirmó que la radiación electromagnética tiene propiedades tanto de onda como de partícula.

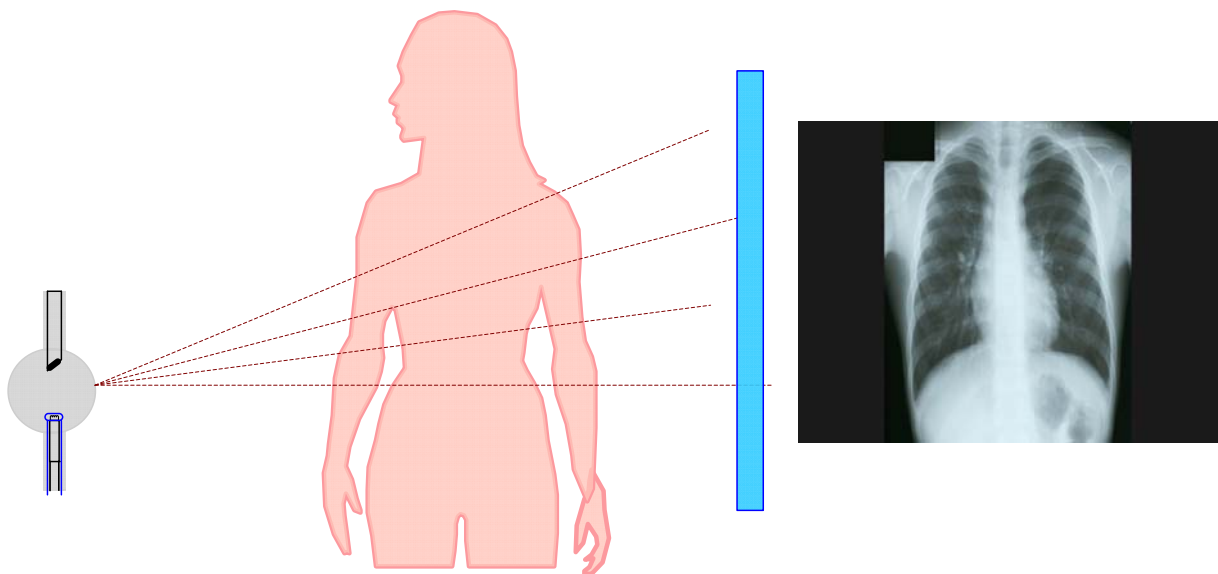
## UTILIZACIÓN EN EL DIAGNÓSTICO POR LA IMAGEN

El radiodiagnóstico, consiste en la exploración de las estructuras anatómicas internas con ayuda de la imagen proporcionada por un haz de rayos X. Este tiene la capacidad de atravesar al sujeto. Las estructuras densas, como los huesos, bloquean la mayor parte de estos fotones y se ven de color blanco. El metal y los medios de contraste también se verán de color blanco. Las estructuras que contienen aire se mostrarán negras y los músculos, la grasa y los líquidos como sombras de color gris.

La base fundamental para la aplicación de los rayos X es la propiedad que poseen de atenuación exponencial. El grado de penetración de estos fotones en un determinado medio, depende de la naturaleza del medio y la energía de los fotones. Al atravesar un material pueden ser absorbidos o dispersados de su trayectoria. Esto resulta una disminución en la intensidad general.

Los procesos de absorción o dispersión son debidos a interacciones entre los átomos del medio y los fotones X. Las interacciones más importantes las constituyen los efectos: fotoeléctrico (interacción de un fotón incidente con un electrón interno de un átomo), Compton (interacción de un fotón incidente con un electrón periférico) y materialización (un fotón de energía elevada interacciona con el campo eléctrico existente en las proximidades del núcleo).

## Formación de una imagen radiológica



Tubos de rayos X

Detector

A parte de la radiología convencional, los equipos y técnicas especiales más frecuentes en Radiología son:

- Equipos: mamógrafo, densitometría ósea, radiología dental.
- Radiología intervencionista: fluoroscopia, angioradiología y equipos quirúrgicos
- Tomografía Computarizada

Con la llegada de la informática y su inclusión en el control sobre los aparatos de diagnóstico, y sobre los métodos de obtención y reconstrucción de imágenes, se ha dado el segundo gran paso en la historia del radiodiagnóstico.

## ALGUNOS HECHOS RELEVANTES RELACIONADOS CON LAS APLICACIONES MÉDICAS

**1896 T. Edison** se le atribuye el diseño y fabricación del primer fluoroscopio (aparato de rayos X que permitió observar los órganos internos en movimiento). Desarrolló pantallas fluorescentes de tungsteno.

**1896\* C. Comas** realiza las primeras radiografías en Barcelona.

**1906 J. Bergonié y R. Tribondeau** describen la ley de radiosensibilidad de los tejidos. Al estudiar los efectos de la radiación ionizante en ratones, llegaron a la conclusión que las células presentan diferente sensibilidad a la radiación en función de diferentes factores intrínsecos.

**1910\*** Primer Congreso Internacional de Electrología y Radiología Médicas en Barcelona.

**1914** Fundación del Instituto del Radio donde se estudiaron las aplicaciones de los rayos X y la radiactividad en diferentes campos y en Medicina. M. Curie es nombrada directora.

**1914-1918 M. Curie** primera profesional de la Física Médica. Participó en la solución de problemas relacionados con heridas y fracturas mediante el uso de la radiografía. También, propuso el uso de la radiografía móvil destinada a los soldados heridos en el frente.

**1920** Se fundó el primer comité de protección de rayos X denominado: American Röntgen Ray Society. En 1922 esta sociedad adoptó las normas de protección de radiación.

**1927 Egas Moniz** desarrolla la Angiografía por contraste radiopaco para diagnosticar diferentes trastornos vasculares cerebrales.

**1928** En el Congreso Internacional de Radiología de Estocolmo: 1) se adopta la unidad Röntgen (R) formalmente y 2) se constituye el Comité Internacional de Protección de rayos X y radio.

**1946 H. J. Muller** le conceden el premio Nobel de Fisiología y Medicina por el descubrimiento de producción de mutaciones mediante rayos X.

**1951 C. Thompson** define el concepto de Gamut (listado completo de las causas de un patrón o de un hallazgo radiológico concreto). A partir de este momento se organizaron registros de patología radiológica.

**1963 J. Cameron y J. Sorenson** describieron un nuevo método de medida de la densidad de masa ósea mediante absorciometría de fotón simple (SPA), que irá con los años evolucionando a la actual densitometría ósea.

**1966 P. Strax, S. Shapiro y L. Venet** evaluaron el uso de la mamografía como técnica de cribado en el cáncer de mama.

**1967 A.m. Cormack** publica los primeros trabajos sobre la Tomografía Computarizada (TC).

**1969 G. M. Hounsfield** dirige el equipo que consiguió el primer prototipo aplicable de TC. Por sus trabajos y el desarrollo de la TC, Cormack y Hounsfield comparten el premio Nobel de Fisiología y Medicina el año 1979.

**1984 F. Mouyens** inventó el primer sistema de radiología con imagen digital directa.

---

\* ámbito de diagnóstico por la imagen en Cataluña.

## BIBLIOGRAFÍA

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>

## Procedencia de las imágenes

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

Espectro electromagnético: propia.

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

Esquema del tubo de Coolidge: propia.

Ejemplo de formación de una imagen radiológica: propia.