

ALGUNOS HITOS HISTÓRICOS EN EL DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO MÉDICO POR IMÁGENES

SOME HISTORICAL LANDMARKS IN THE DEVELOPMENT OF MEDICAL IMAGING

DR. MARCELO GÁLVEZ M. (1)

1. Departamento de Diagnóstico por Imágenes, Clínica Las Condes.

Email: mgalvez@clc.cl

RESUMEN

El mundo como lo conocemos actualmente ha requerido de importantes cambios, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XVIII. Estos cambios tienen relación al desarrollo industrial, científico, tecnológico, energético y económico que han sucedido en el mundo, así como también la influencia que han tenido las grandes guerras.

El desarrollo científico-tecnológico se ha producido en gran parte por la investigación realizada a la energía del vapor del agua, la transmisión del sonido, el estudio del fenómeno eléctrico y ondas electromagnéticas, extracción y refinamiento del petróleo, en el estudio del átomo y en el desarrollo de los computadores.

La medicina, como el resto de las actividades humanas se ha visto fuertemente influenciada por estos cambios, consolidándose como una disciplina más científica y con gran utilización de la tecnología.

Muchas vidas de mujeres y hombres destacados confluyen en distintos momentos de esta historia, cuyos descubrimientos y trabajo han permitido el progreso de la especialidad.

Esta revisión de la historia hace un recorrido cronológico de los hechos y descubrimientos que han hecho posible la aparición y el desarrollo de la radiología. Se enfatizan los desarrollos producidos en los equipos de rayos X, ecografía, tomografía computada, resonancia magnética, radioprotección y de los sistemas de visualización. Veremos además el desarrollo

paralelo de los computadores e informática médica debido a su gran influencia en la radiología.

Palabras clave: Radiología, historia, revolución industrial.

SUMMARY

The world as we known it now, has required huge changes, especially since the second half of 18th century. These changes have relation to the economic, energy, technological, scientific, and industrial developments that have happened in the world as well as influence of large wars.

The scientific and technological development has occurred in large part, by the energy water steam research, sound transmission, the study of electrical phenomena and electromagnetic waves, oil extraction and refinemen, the study of the atom and computers development.

Medicine like other human activities has been strongly influenced by these changes, becoming a more scientific discipline with use of technology.

Many lives of prominent men and women come together at different times in the story, whose discoveries and work have allowed progress of the specialty.

This review makes a chronological history of events and discoveries that have led to the emergence and development

of radiology. The article emphasize the development of x-ray equipment, ultrasound, CT scan, MRI, radiation protection and display systems. We will also see the parallel of the computers development and medical informatics due to its great influence in radiology.

Key words: Radiology, history, industrial revolution.

INTRODUCCIÓN

El mundo como lo conocemos actualmente ha requerido de importantes cambios, especialmente los observados a partir de la segunda mitad del siglo XVIII. Estos cambios tienen relación al desarrollo industrial, científico, tecnológico, energético y económico que han sucedido en el mundo, así como también la influencia que han tenido las grandes guerras. El desarrollo científico-tecnológico se ha producido en gran parte por la investigación realizada en la energía del vapor del agua, la transmisión del sonido, el estudio del fenómeno eléctrico y ondas electromagnéticas, extracción y refinamiento del petróleo, en el estudio del átomo y en el desarrollo de los computadores.

La historia también se compone de descubrimientos o hallazgos inesperados cuando se está buscando una cosa distinta, como por ejemplo los que llevaron al descubrimiento de la penicilina, Viagra, teflón, Post-it, entre otros. De hecho, la radiología comenzó con un hallazgo incidental mientras se estudiaba los rayos catódicos.

A pesar de lo nefasto de las guerras mundiales, muchos avances científicos derivan de la tecnología bélica desarrollada en estos años.

La medicina, como el resto de las actividades humanas se ha visto fuertemente influida por estos cambios, consolidándose como una disciplina más científica y con gran utilización de tecnología.

Muchas vidas de mujeres y hombres destacados confluyen en distintos momentos de esta historia, cuyos descubrimientos y trabajo han permitido el progreso de la especialidad.

Esta revisión de la historia hace un recorrido cronológico de los hechos y descubrimientos que han hecho posible la aparición y el desarrollo de la radiología. Se enfatizan los desarrollos producidos en los equipos de rayos X, ecografía, tomografía computada, resonancia magnética, radioprotección y de los sistemas de visualización. Veremos además el desarrollo paralelo de los computadores e informática médica debido a su gran influencia en la radiología.

PRIMERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL (1770-1850)

Han existido periodos de la historia dónde ocurrieron grandes y repentinos cambios, conocidos como revoluciones. Dentro de ellas se reconocen las revoluciones industriales, que se caracterizaron por tener un importante desarrollo tecnológico en algunas áreas, movidos por algún tipo de energía.

La revolución industrial (1770-1850) se considera la primera gran transformación movida por el poder del vapor y que permitió el desarrollo de la industria, principalmente textil y el origen del ferrocarril (Figura 1). Su extensión geográfica fue escasa, estableciéndose principalmente en Inglaterra.

El desarrollo del ferrocarril y sus vías permitieron la unión de puntos lejanos, disminuyendo significativamente los tiempos de transporte, aumentando el desplazamiento de cargas y haciendo posibles transacciones en dimensiones que la humanidad no había visto con anterioridad.

SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL (1850-1914)

La siguiente gran transformación, conocida como la segunda revolución industrial (1850-1914) se produce gracias a la electricidad y del petróleo que permitieron la aparición de la industria electromecánica, química y la producción del automóvil (Figura 2). Su extensión geográfica



Figura 1. Locomotora a vapor (Stephenson's Rocket). Museo de Ciencia de Londres. Autor: William M. Connolley. Dominio público Wikimedia Commons.



Figura 2. Henry Ford. Ford Modelo T. Autor: Ford Motor Company. Dominio público Wikimedia Commons.

fica es mayor que la primera revolución industrial abarcando Europa occidental, Estados Unidos y Japón.

Esta nueva época de cambios requirió de mucha experimentación y generó una revolución científica con investigación en numerosos campos de la ciencia.

Es precisamente aquí, y por causalidad que durante el estudio del fenómeno eléctrico que Wilhelm Roentgen (1845-1923) descubrió los rayos X que originaron una nueva especialidad médica la cual se ha diversificado hasta nuestros días y que ha transformado la práctica médica (Figura 3).

Roentgen, nació en Alemania, pero su familia emigró tempranamente a Holanda. Luego de completar su educación básica fue expulsado de la escuela técnica de Utrecht y no pudo realizar sus estudios universitarios en este país (1). Con la ayuda de un amigo pudo ingresar a la Universidad en Zúrich donde se recibió primeramente como ingeniero mecánico y posteriormente obtuvo su doctorado en física. Volvió a Alemania como ayudante de esta cátedra en la Universidad de Warzburgo. Al comienzo de su carrera fue trasladado a diferentes universidades dentro de Alemania para finalmente ser elegido como rector de la Universidad de Wurzburg.

En 1895, a los 50 años, Roentgen cautivado por el trabajo sobre los rayos catódicos de otros investigadores decidió repetir el mismo estos experimentos. Hasta ese momento no se conocía su exacta naturaleza. Los rayos catódicos son una corriente de electrones que viajan en el interior de un tubo al vacío desde el cátodo (-) al ánodo (+) al hacer circular corriente de alto voltaje entre ellos. Estos electrones son visibles luego de chocar con el recubrimiento interno fluorescente del tubo (Figura 4).

En uno de estos experimentos realizado la noche del 30 noviembre del 1895 Roentgen estaba interesado en las propiedades de la luz emitida, por lo que cubrió completamente el tubo de rayos con un cartón y descartó toda filtración posible de la luz (Figura 5).

Al apagar la luz de la habitación pudo ver a corta distancia un resplandor verdoso sobre la mesa, proveniente de un cartón cubierto con una sustancia fluorescente que había dejado descuidadamente encima en un experimento anterior.

Su sorpresa fue aún mayor al percatarse que al apagar el tubo de rayos el resplandor desaparecía y al acercar el cartón hacia el tubo cubierto este resplandor aumentaba.

Luego de este inesperado hallazgo se dedicó a investigar estos singulares rayos que denominó "Rayos X" por no saber su exacta naturaleza. Posteriormente descubrió que no atravesaban el metal, ennegrecían las placas fotográficas y que podía hacer impresiones de las cosas densas, incluso de los huesos, originando las radiografías (2). La primera radiografía fue realizada el 22 de diciembre del 1895, obteniéndose la clásica imagen de la mano de su esposa (Figura 6).



Figura 3. Retrato de Wilhelm Conrad Roentgen. ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv. Dominio público Wikimedia Commons. <http://www.nobelprize.org/>.

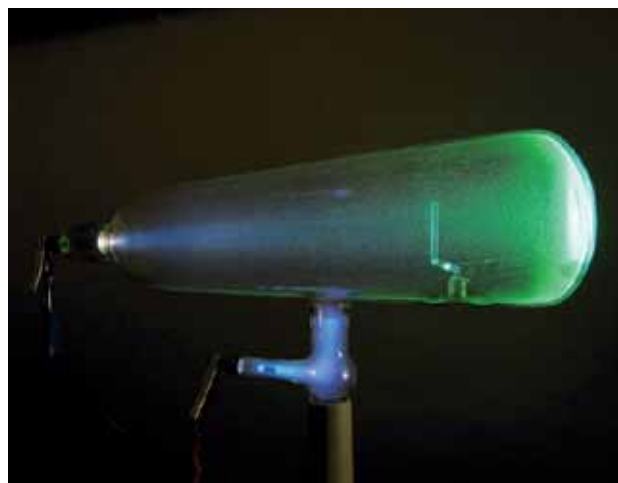


Figura 4. Tubo Rayos Catódicos o tubo de Crookes encendido. Autor: D-Kuru. Dominio público Wikimedia Commons.

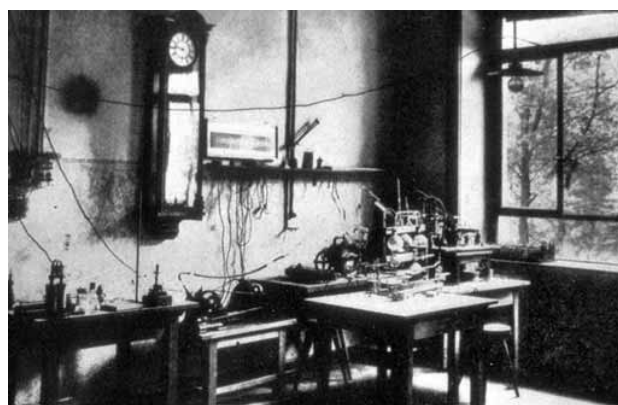


Figura 5. Laboratorio de Wilhelm Roentgen en la Universidad de Wurzburg, donde hizo el descubrimiento de los Rayos X. Dominio público Wikimedia Commons. <http://www.nobelprize.org/>.

Figura 6. Mano con Anillos: Una impresión de la Primera Radiografía de Wilhelm Rontgen. Muestra la mano izquierda de su señora Anna Bertha Ludwig. Fue presentada al Profesor Ludwig Zehnder del Instituto de Física de la Universidad de Freiburg el 01 de enero de 1896. Dominio público Wikimedia Commons. Fotografo: Wilhelm Rontgen. <http://www.nobelprize.org/>.

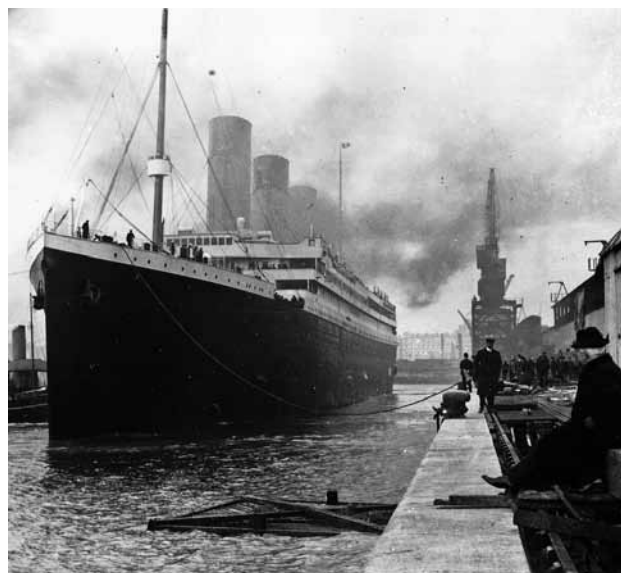


Figura 7. RMS Titanic en el Puerto de Southampton. Abril 1912. Autor: Desconocido. Dominio público Wikimedia Commons.

Roentgen presentó su descubrimiento en la sociedad científica de Wurzburg en enero del 1896. Se le concedió el grado de *doctor honoris causa* en medicina y obtuvo el premio Nobel de Física en el año 1901 en "Reconocimiento a los extraordinarios servicios por el descubrimiento de los Rayos X". Fue muy humilde, rechazando el título de "Von" por parte del Rey y regaló su descubrimiento a la humanidad sin patentarlo.

A finales de la segunda revolución industrial sucede un acontecimiento que años después iba a contribuir al desarrollo de otra técnica de imágenes. El 14 del abril del 1912, el trasatlántico británico Titanic se hundió en su viaje inaugural desde Southampton a Nueva York al chocar con un iceberg (Figura 7). La muerte de más de 1.500 personas hizo pensar que era necesario desarrollar una tecnología que permitiera detectar objetos bajo el agua, idea que posteriormente deriva en el origen de la ecografía.

Entre 1895 y el año 1914 se obtuvieron los primeros avances en la producción de equipos de radiología convencional, como los dispositivos para limitar el haz de rayos X, las rejillas evitar la dispersión y las mesas móviles.

PRIMERA GUERRA MUNDIAL (1914-1918)

La segunda revolución industrial fue interrumpida abruptamente por la Primera Guerra Mundial (Figura 8). Sin embargo, aún en este periodo se lograron algunos avances, como la utilización de equipos portátiles de Rayos X desarrollados por Marie Curie (3) que eran de utilidad para la visualización de estructuras óseas y localización de fragmentos de bala (4). Apareció además la primera película radiológica de doble capa que permitió mejorar la imagen y reducir la dosis de radiación.



Figura 8. Primera Guerra Mundial. Sargento del ejército británico en una trinchera en Bélgica en septiembre de 1917, mirando por un periscopio las líneas alemanas. Fuente: Colección del Museo Imperial de la Guerra. Autor: Teniente Ernest Brooks. Dominio público Wikimedia Commons.

En el concierto bélico naval y con la idea de detectar objetos bajo el agua mediante ondas de sonido se creó el Sonar, el cual se instaló en los submarinos británicos para localizar submarinos alemanes.

Luego de terminada la Guerra se ratificó la utilidad de las imágenes radiológicas, por lo que se comenzó la instalación de equipos de rayos en la mayor parte de los hospitales.

1920s

En la década del 1920 se produjo un importante avance de las técnicas radiológicas, aumentándose la potencia de los equipos estáticos. En el año 1926 apareció el primer equipo dual que permitía realizar tanto radiografías como radioscopías.

Desde el punto de vista de la radioprotección a mediados del 1920 aparecieron las primeras medidas de radiación con la invención de los dosímetros para personas y los "Roentgenómetros" que miden la radiación invisible, emitida por los equipos.

1930s

Durante los años 30 se aumentó paulatinamente la potencia de los equipos radiológicos fijos y apareció la planigrafía, como primer intento de obtener imágenes tridimensionales mediante Rayos X.

A mediados de los años 30 se estandarizó el uso de las imágenes de foto-fluorografía, inventada por Manuel Abreu en 1918, médico radiólogo brasileño que fueron de mucha utilidad para el control de la tuberculosis (5).

Además aparecen en esta década los verdaderos equipos portátiles, pero todavía con baja potencia.

Hasta esta época los cálculos matemáticos para los desarrollos tecnológicos se hacían manualmente. Los matemáticos e ingenieros requerían forzosamente de nuevas máquinas que procesaran y almacenaran los datos para convertirlos en información útil y reutilizable.

En 1937 George Stibitz (1904-1995), matemático norteamericano que trabajaba en los laboratorios Bell, en New York desarrolló la "calculadora de números complejos" que resolvía complejos cálculos matemáticos en segundos, por lo que se le considera como el padre del primer computador digital.

Cuatro décadas después esta nueva tecnología va a revolucionar completamente la radiología, ya que hizo posible la aparición de las imágenes de la tomografía computada y resonancia magnética.

SEGUNDA GUERRA MUNDIAL (1939-1945)

La segunda Guerra mundial paralizó casi completamente el desarrollo en gran parte del mundo (Figura 9), sin embargo se realizan importantes avances en áreas ligadas a la industria bélica que posteriormente resultaron útiles para la medicina.

Durante esta guerra, el futuro padre de la tomografía computada, Godfrey Housfield (1919-2004) trabajó como ingeniero militar de la *Royal Airforce* en el desarrollo del radar para detectar los aviones alemanes que bombardeaban Gran Bretaña (Figura 10). El radar es un equipo que envía ondas de radio, las cuales al chocar con un objeto en vuelo vuelven y permiten calcular su distancia, altitud y dirección (Figura 11).

Felix Bloch (1905-1983) uno de los padres de la Resonancia Magnética, fue un físico suizo que estudió ingeniería en Zúrich y se doctoró en Leipzig. Emigró a Estados Unidos en 1933 para trabajar en la Universidad de Stanford y cambió su nacionalidad en el 1939. Durante la segun-



Figura 9. Segunda Guerra Mundial. Batalla de Stalingrado, Rusia. Octubre de 1942. Autor: Desconocido. Dominio público Wikimedia Commons.



Figura 10. Godfrey N. Hounsfield http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979/hounsfield.html



Figura 11. Radar alemán en la playa de Normandía, Francia. 22 de junio de 1944. Autor: Desconocido. Dominio público Wikimedia Commons.

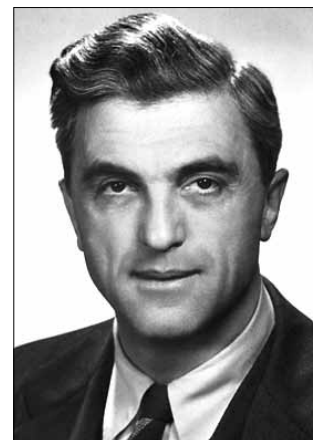


Figura 12. Felix Bloch. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1952/bloch.html.

da guerra mundial trabajó en temas de energía nuclear en el Laboratorio Nacional de Los Álamos (Figura 12).

Es precisamente en este laboratorio donde se crean las bombas nucleares que caen sobre Hiroshima y Nagasaki el 6 y 9 de agosto de 1945, con las cuales se termina la segunda guerra mundial (Figura 13).

SEGUNDA MITAD DE LOS 1940S

Luego de la Segunda Guerra Mundial y con la vuelta de la paz se lograron importantes avances tecnológicos en muchas áreas del conocimiento. En el caso de la radiología se inventa el intensificador de imágenes que aumenta 1000 veces la luminosidad de la fluoroscopia.

Además aparece la primera reveladora automática que requería de al menos 40 minutos para procesar una placa.

Godfrey Housfield, ingresa a la empresa EMI para dirigir el proyecto del primer computador comercial en Inglaterra (6) y Felix Bloch se incorpora al proyecto de Radar de la Universidad de Harvard.

Edward Purcell (1912-1997) el otro de los padres de la técnica de resonancia magnética, fue un físico estadounidense que estudio en Harvard, donde obtuvo la cátedra de física en 1946 (Figura 14). Demostró la existencia del hidrógeno en el espacio interestelar y detectó las microondas emitidas por el hidrógeno en el espacio. Estudió las características del núcleo atómico sometidos a un campo magnético, los cuales absorben energía proveniente de ondas específicas de radiofrecuencia permitiendo obtener información muy importante de la estructura molecular de los materiales. Hay que recordar que estos estudios eran solamente evaluaciones químicas y no imágenes.

Basados en el conocimiento de la piezoelectricidad y luego del éxito del sonar y del radar numerosos científicos en Europa y Estados Unidos plantearon la utilización del ultrasonido para la visualización de los órganos internos (7), sin embargo mayor desarrollo de la electrónica en Estados Unidos les dio la ventaja (8).

George Ludwig (1922-1973) trabajando en *Naval Medical Research Institute*, Bethesda, Maryland a finales de los años 40 fue el primer científico en aplicar ondas de ultrasonido con fines médicos en el cuerpo humano. Sin embargo se considera al británico John Wild (1914-2009) como padre del ultrasonido, debido a que el 1949 fue el primero en hacer mediciones de la pared del intestino trabajando en Estados Unidos (9).

1950s

En la década del 50 persiste el ingreso de científicos y médicos en las distintas áreas de la medicina, en especial en la Radiología. Se logran muchos avances, principalmente en las áreas destinadas a acortar los tiempos de exposición para eliminar los artefactos de movimiento y disminuir la radiación sobre el paciente. Mejorar los equipos de planigrafía y equiparar la potencia de los equipos portátiles.

En el año 1952 Felix Bloch y Edward Purcell obtuvieron el Premio Nobel de Física por su trabajo en el desarrollo de nuevos métodos para la medición de la precesión magnética nuclear.

Ese mismo año, Herman Carr (1924-2008), físico norteamericano y discípulo de Purcell utilizando un gradiente en el campo magnético hace posible la localización espacial en una dimensión (1D), dando el primer paso para el desarrollo futuro de las imágenes por resonancia magnética.

En el año 1954 se produce el primer transistor de silicio, considerado como una de las grandes invenciones del siglo veinte. Los transistores son el componente activo clave en prácticamente todos los dispositivos electrónicos. Su importancia radicó en que pudieron ser producidos en



Figura 13. Segunda Guerra Mundial. Prefectura de Hiroshima, Japón. Dominio público Wikimedia Commons.



Figura 14. E. M. Purcell. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1952/purcell.html.

forma masiva y a bajo costo permitiendo masificar la producción de computadores en las próximas décadas.

En el año 1956 el otro de los padres de la tomografía computada, el físico sudafricano Allan Cormack (1924-1998) trabajando Hospital Groote Schuur de la Ciudad del Cabo, el mismo donde una década después se realizaría el primer trasplante de corazón en el mundo, estaba intrigado por cómo se calculaba la dosis de Rayos X para los pacientes de radioterapia, lo que se hacía en forma muy aproximada (Figura 15). Pensó que era mejor estimar la densidad de los tejidos subyacentes para realizar un mejor cálculo de la dosis.

Para esto substituyó los Rayos X por Rayos Gamma y para obtener los datos en forma digital reemplazó las placas radiológicas por un contador Geiger. En 1963 publica la solución matemática del problema fundando las bases de la tomografía computada (10).

1960s

La década del 60 se considera como un periodo de consolidación y refinamiento del equipamiento radiológico convencional, desarrollándose los primeros equipos de fluoroscopia telecomandados. Aparecieron además los primeros sistemas de visualización o negatoscopios automáticos que permitían cargar, ver e informar muchos exámenes en forma ordenada.

En el año 1962 aparece el disco "Love Me Do", del desconocido grupo musical The Beatles, los cuales habían tenido problemas para conseguir sello discográfico. El inesperado éxito del primer disco y de los subsiguientes hizo posible que la empresa EMI tuviera recursos para investigación y desarrollo, permitiendo que Godfrey Housfield utilizando sus conocimientos sobre radares y utilizando el trabajo de Cormack se embarcara en un nuevo proyecto que consistía en localizar las estructuras internas utilizando rayos X (Figura 16).



Figura 15. Allan M. Cormack. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979/cormack.html



Figura 16. The Beatles. Aeropuerto Kennedy. 7 de febrero de 1964. Autor: United Press International. Dominio público Wikimedia Commons.

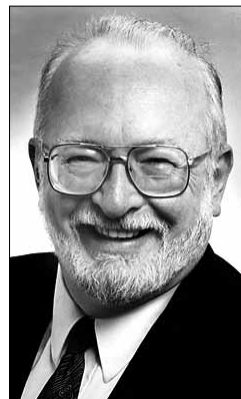


Figura 17. Paul C. Lauterbur http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2003/lauterbur.html



Figura 18. Sir Peter Mansfield http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2003/mansfield.html

También en el 1962 y después de dos años de trabajo en la Universidad de Colorado, Joseph Holmes (1902-1982), William Wright (1926-2008) y Ralph Meyerdirk (1925-2004) crearon el primer ecógrafo modo B. Wright and Meyerdirk dejaron la Universidad para fundar Physionic Engineering Inc., que lanzó en 1963 el primer ecógrafo comercial modo B. A fines de 1960 en la Universidad de Washington, el Dr. Gene Strandness (1928-2002) conduce la investigación de la utilización del Ultrasonido Doppler para el diagnóstico de enfermedades vasculares, desarrollando posteriormente la tecnología para unir las imágenes Doppler con el modo B y ver las estructuras vasculares en tiempo real.

1970s

Durante la década del 70 se producen acontecimientos que marcaron una inflexión en la medicina, tan importantes como el mismo descubrimiento de los rayos X, principalmente secundario a la sinergia entre la radiología y la informática. Este es el momento en que comienza el paso desde la tecnología analógica a digital y permitió la aparición de dos nuevas técnicas de imágenes durante este periodo, la tomografía computada y la resonancia magnética.

La idea de utilizar técnicas de reconstrucción de imágenes mediante computadoras fue primariamente utilizada en astronomía (1957) y en microscopia electrónica (1968).

En esta década aparecen los primeros convertidores analógicos digitales que permiten contar con el primer equipo de fluoroscopia digital. Esta técnica posibilita la realización de una máscara de la imagen aumentando que permiten un gran avance en las imágenes angiográficas.

Aparecen además las primeras reveladoras automáticas que se pueden utilizar con luz natural. Consisten en impresoras con películas selladas que se cargan sin problemas, por lo que ya no son necesarias las cámaras oscuras, sin embargo se siguió utilizando el revelado húmedo.

En el 1970 Godfrey Housfield obtiene la primera imagen *in vitro* de tomografía computada (11). Hasta este momento la radiología sólo entregaba imágenes bidimensionales, por lo que esta técnica cambia realmente la forma de visualización de las estructuras internas (12).

El primer tomógrafo computado clínico se instaló en el Hospital Atkinson Morley de Londres en el 1972, el cual era utilizado sólo para imágenes cerebrales. Las primeras imágenes tomográficas de abdomen se obtuvieron en 1975.

En el año 1971 el Dr. Raymond Damadian (1936) publicó el primer trabajo de resonancia magnética que permitía distinguir tejido tumoral del normal *in vivo* utilizando resonancia magnética debido a que tenían distintos tiempos de relajación (13). Propone que es posible realizar imágenes de resonancia magnética para la detección de lesiones, sin embargo no describe el método para generar las imágenes ya que hasta este momento sólo era posible obtener información de todo el volumen del paciente dentro del resonador.

Fue Paul Lauterbur (Figura 17), químico americano que trabajaba en la Universidad de Illinois quien en 1973, expandiendo la idea propuesta por Herman Carr, describió una técnica utilizando gradientes dentro del campo magnético que permitían obtener información espacial de cada uno de los puntos dentro del volumen y generar imágenes 2D y 3D (14). Esta técnica fue posible gracias al trabajo previo de Housfield en tomografía computada y es la técnica que se utiliza en todos los resonadores actuales.

La primera imagen de resonancia magnética fue publicada por Paul Lauterbur el 16 de marzo de 1973 y correspondía a dos tubos capilares. El principal inconveniente de la técnica propuesta por él era que se requerían horas para producir una sola imagen, lo que hacía poco factible su utilización *in vivo*.

El 1974 Damadian recibió la primera patente en el campo resonancia magnética para detectar tejido neoplásico, sin describir la forma exacta de como se adquirirían las imágenes.

Fue el trabajo de Peter Mansfield (Figura 18), físico británico de la universidad de Nottingham, que demostró como las señales de radio pueden ser analizadas matemáticamente haciendo posible transformar la señal obtenida en una imagen. Esta técnica matemática permitió que los resonadores hicieran las imágenes en segundos en vez de horas. La primera imagen de resonancia del cuerpo humano fue hecha por Mansfield en 1976 y correspondía al dedo del su estudiante el Dr. Andrew Maudsley que fue publicada en 1977 (15).

La primera imagen de resonancia magnética del cuerpo fue realizada por el equipo del Dr. Damadian el 3 de Julio de 1977 en su máquina "Indomitable". La imagen correspondía al tórax del coinvestigador Larry Minkoff y fue realizada en cuatro horas y cuarenta minutos. Sin embargo la tecnología utilizada por esta máquina no se emplea en ninguno de los equipos actuales.

En 1978, Damadian formó su propia empresa para la producción de resonadores magnéticos, FONAR que falló en la venta de su equipo "Indomitable". Produjeron el primer equipo comercial en 1980 adoptando la tecnología de Lauterbur y Mansfield.

Allan Cormack y Godfrey Housfield recibieron el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1979, por su trabajo en el "Desarrollo de la tomografía computada". Housfield es nombrado Sir por la Reina en 1981.

1980s

En los 80 se producen pocos progresos en las técnicas de radiología convencional, sin embargo comienza una nueva revolución por la entrada de la radiología digital estática.

Los detectores de radiografía digital fueron desarrollados a mediados de los años 80, sin embargo las imágenes de radiología digital no fueron una realidad hasta principios de la siguiente década.

Una de las principales dificultades con las imágenes de tomografía computada y resonancia magnética a comienzos de los años 80 era que tenían un formato propio, dado por la empresa productora de estos equipos, sin tener la posibilidad de comunicación entre ellos, lo cual generaba muchos problemas en los hospitales.

La ACR (*American College of Radiology*) y la NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) se reunieron en 1983 para consolidar un estándar de visualización, impresión, almacenamiento y transmisión de las imágenes médicas conocido como protocolo DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*). La primera versión del protocolo se publicó en el año 1985 y se ha ido actualizando periódicamente hasta nuestros días. Esto ha permitido la integración de los equipos, servido-

res, estaciones de trabajo e impresoras de múltiples marcas dentro de un sistema de almacenamiento y comunicación PACS (*Picture Archiving and Communication System*).

1990s

Durante esta década se produjeron dos tecnologías de radiología digital, la radiografía computada (CR, *Computed Radiography*) y la Radiografía digital directa (DR, *Digital Radiography*).

La radiografía computada (CR, *Computed Radiography*), introducida a comienzo del 1990 es similar a la radiografía convencional, sólo que en vez de una placa radiológica utiliza un casete que actúa como sensor de rayos X, hecho con material fotoestimulante que almacena la información hasta que posteriormente es "revelado" un lector láser (CR reader) que descifra y digitaliza la imagen. Posteriormente la imagen digital propiamente tal puede ser visualizada y manipulada cambiando el brillo, contraste o aumentar el tamaño de un área que nos interesa. Obviamente esto hace innecesario contar con una "luz fuerte" o nuestra característica lupa en la sala de informe.

Otra de las ventajas importantes de las radiografías digitales es que no se usan las placas radiológicas evitando la producción de desechos químicos que inevitablemente los laboratorios de radiología producían.

Además las imágenes digitales requieren menos radiación para producir un contraste similar a las radiografías convencionales.

Otras de las ventajas es la posibilidad de contar con una presentación inmediata del resultado, eliminando el costo del procesamiento de las placas.

A mediados de la década del 90 se introduce la radiografía Digital (DR, *Digital Radiography*) que elimina la necesidad de un casete, transformando directamente en imagen los rayos X que emergen del paciente. Para este proceso se han utilizando dos tecnologías.

La primera es utilizar un sensor digital (CCD, *Charge Coupled Device*) inventado por Willard Boyle y George Smith en 1969 que utiliza el efecto fotoeléctrico, transformando la luz en señales eléctricas, que es primeramente utilizado en la producción de cámaras fotográficas y posteriormente en equipos radiológicos.

La segunda tecnología introducida a fines de la década del 1990, con el desarrollo de la tecnología *Flat Panel*. El *flat panel* es un convertidor de rayos X a luz, similares a los de las cámaras fotográficas, pero que debido a la divergencia de este tipo de rayos, los sensores son cientos de veces más grandes que los utilizados en fotografía.

2000s

Paul Lauterbur y Peter Mansfield obtuvieron el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en el año 2003 por "Sus descubrimientos con respecto a las imágenes de Resonancia Magnética".

En este momento comenzó la controversia por parte de Raymond Damadian quien no fue incluido en el galardón por el comité del Nobel y publicó anuncios a toda plana en el New York Times, Washington Post y Los Angeles Times bajo el título de "La vergonzosa injusticia que debe ser corregida". A pesar de que Lauterbur y Mansfield reconocieron que trabajaron sobre la idea de Damadian fueron ellos los que permitieron producir las primeras imágenes 2D y 3D (16).

Durante esta década se produjo una importante transformación de los servicios de radiología caminando paulatinamente hacia las imágenes digitales.

Las técnicas de tomografía computada y resonancia magnética avan-

zaron hacia equipos de tomografía más rápidos y con menos radiación y resonadores más poderosos.

En el año 2009, Willard Boyle y George Smith reciben el Premio Nobel de Física por "La invención de un circuito semiconductor de imágenes el sensor CCD".

TERCERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL (2007 – PRESENTE)

Se estima que actualmente nos encontremos en el comienzo de una nueva revolución industrial, pero basada en el desarrollo informático el que teóricamente tendrá su mayor desarrollo en el año 2025 y que será impulsado por las energías renovables. Su extensión geográfica a diferencia de las otras revoluciones industriales se espera que abarque la mayor parte del globo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Díaz F. W.C. Roentgen y sus dos fracasos universitarios antes del descubrimiento de los Rayos X. *Rev Chil Radiol* 1996; 2(1):5-9.
2. Röntgen WC. Über Eine neue Art von Strahlen. *Sitzungs-Berichte der physik.-med. Gesellschaft zu Würzburg* 1895; 137: 132-141.
3. García D, García C. Marie Curie, una gran científica, una gran mujer. *Rev. Chil. Radiol.* 2006; 12 (3): 139-145
4. Van Tiggelen, R. Contributions of radiology to surgery. A history older than a century. *Hist Sci Med.* 2012; 46(2): 175-181.
5. Gikovate F, Nogueira DP. Sistemática mass roentgenphotography: economical unviability and eventual danger regarding exposure to radiations. *Rev Saude Publica.* 1976; 40(3): 389-96.
6. Bosch E. Historia de la Radiología. Sir Godfrey Newbold Hounsfield y la Tomografía computada, su contribución a la medicina moderna. *Rev. Chil. Radiol.* 2004; 10 (4): 183-185.
7. Edler I, Lindström K. The history of echocardiography. *Ultrasound Med Biol.* 2004; 30(12): 1565-644.
8. Ortega D., Seguel S. Historia del Ultrasonido: el caso chileno. *Rev. Chil. Radiol.* 2004; 10 (2): 89-92.
9. Watts, G. "John Wild". *British Medical Journal.* 2009; 339: b4428
10. Cormack AM. Representation of a function by its line integrals, with some radiological applications. *Journal of Applied Physics* 1963; 34: 2722-2727.
11. Soffia P. Historia de la radiología Pasado, Presente y Futuro de la Tomografía Axial Computada. *Rev. Chil. Radiol.* 2000; 6(3): 120-125
12. Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system. *Br J Radiol* 1973; 46 (552): 1016-1022.
13. Damadian RV. Tumor Detection by Nuclear Magnetic Resonance. *Science* 1971; 171 (3976): 1151-1153.
14. Lauterbur PC. Image formation by induced local interactions: examples employing nuclear magnetic resonance. *Nature* 1973; 242: 190-191
15. Mansfield P, Maudsley A. Medical Imaging by NMR. *British Journal of Radiology* 1977; 50 (591): 188-194
16. Canals M. Historia de la Resonancia Magnética de Fourier a Lauterbur y Mansfield: en ciencias, nadie sabe para quien trabaja. *Rev. Chil. Radiol.* 2008; 14(1): 39-45

El autor declara no tener conflictos de interés, con relación a este artículo.