

EL NACIMIENTO DE LA FÍSICA MÉDICA: ORÍGENES Y DESARROLLO EN EL SIGLO XX

ÁNGEL DEL CASTILLO BELMONTE
Hospital Clínico Universitario de Valladolid

CARLOS PARADINAS JIMÉNEZ
JUAN RIERA PALMERO
Universidad de Valladolid

RESUMEN

El origen de la física médica tiene en los premios Nobel una referencia importante para el establecimiento de los vínculos entre Física y Medicina. El uso de las radiaciones será una de las causas del asentamiento del trabajo de los físicos en las distintas disciplinas radiológicas, con un transvase de recursos de conocimientos, medios y humanos desde los laboratorios de física a los hospitales. Si en sus inicios las colaboraciones de físicos se limitaban a las grandes instituciones, más tarde serán el desarrollo y la difusión de la telecobaltoterapia y las aportaciones tecnológicas las que facilitarán su integración dentro de los hospitales. La toma de conciencia académica y profesional de los pioneros en esta disciplina proviene del Reino Unido, y será el germen de la creación de las distintas sociedades que aglutinan los intereses y expresan la identidad de una profesión que adquiere significado en el último cuarto del siglo XX.

ABSTRACT

The origin of Medical Physics has an important reference in the Nobel Awards, linking Medicine and Physics. The radiation applications would be one of the reasons for the beginning of physicists' tasks in every radiological branch exchanging knowledge, human and material resources between physics laboratories and hospitals. In the beginning, only the most important hospitals had the physicist's collaboration, but later the development and widespread of cobaltotherapy as a clinical practice and the technologies that came into hospitals would be the cause of the incorporation of physicists into hospitals. The United Kingdom would be the pioneer of the academic and professional recognition, and the origin of the several medical physics societies which helped to establish Medical Physics as a profession that acquires relevance in the last quarter of the twentieth century.

Palabras clave: Física, Medicina, Física Médica, Siglo XX.

Keywords: Physics, Medicine, Medical Physics, 20th Century.

I. Aportaciones de la Física a la Medicina

No es fácil trazar con exactitud los inicios de la Física Médica. Con la desaparición del concepto del funcionamiento divino del cuerpo humano, desde finales en el siglo XVI, aparecen vínculos importantes entre el saber médico y las ciencias [WELLS, 2001]. Así es como el pensamiento científico empezó a desempeñar un papel más relevante en el desarrollo de la Medicina y de la Física. Las dos ciencias se encontraban entonces tan cercanas que se dio con frecuencia la situación de que una misma persona hiciera aportaciones en ambas. Algunas de estas figuras contribuyeron a acrecentar el conocimiento científico desde la teoría de la Física y la Física fundamental, ya que planteaban al hombre como un miembro de la naturaleza y, por tanto, sujeto a las mismas leyes [PARADINAS, 1978]. Por otra parte, la Física participa y se aplica en la Medicina desde la instrumentación, en aplicaciones que trasladan el conocimiento y los desarrollos de la Física a la Medicina. Es el caso del diseño de aparatos de aplicación médica que aparecen ya en el siglo XIX, como el estetoscopio, el laringoscopio o el termómetro clínico.

El marco de la Medicina prerradiológica no estaría completo sin mencionar el periodo de efervescencia vivido a finales del XIX. Es entonces cuando, a partir de la electrofísica y con los más diversos artilugios, se realizaban aplicaciones con intenciones terapéuticas sobre las más diversas enfermedades o con intención experimental para observar los cambios introducidos en el organismo.

Los fundamentos para el uso de las radiaciones, pieza central del comienzo de su empleo con fines médicos, se encuentran en los descubridores que en un periodo relativamente corto de tiempo señalaron un camino de interacción entre la Física, los físicos y la Medicina. Si se considera la excelencia de los premios Nobel y su impacto en la Física aplicada a la Medicina es posible caracterizar esta gran aportación [CICARELLI, 2000]. El descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1895 es uno de los grandes avances de la Medicina. Por este motivo recibió en 1901 el primer premio Nobel en Física.

Poco más tarde se descubrirían otros tipos de radiaciones. En 1896, Becquerel descubrió la radiactividad [DUTREIX *et al*, 1995]. La baja actividad del Uranio supuso un freno a sus aplicaciones en Medicina. Sería el trabajo del matrimonio Curie con su descubrimiento del Radio en 1898, quien despertó un nuevo interés en la radiactividad. El Dr. Danlos con el préstamo de una fuente de Radio por parte de Pierre Curie, realizó la primera aplicación de radioterapia [MOULD, 1998]. Esto dio inicio a las aplicaciones de la radioterapia entendida como aplicación terapéutica con radio. Aunque hoy en día el término es aceptado para el uso de las radiaciones ionizantes con fines terapéuticos, en aquella época se consideraba diferente de la aplicación de rayos roentgen.

Pero tal vez sea la propia Madame Curie quien con muchas de las actividades desarrolladas pudiera considerarse la auténtica precursora y modelo de la futura disciplina de Física Médica. Podríamos citar la fundación del Instituto de Radio de París, lugar en el que se buscaba la alianza entre distintas disciplinas como la física y su aplicación a la medicina, idea que tendría sus correspondientes réplicas en distintos países [DUTREIX *et al*, 1998]. Sus enseñanzas sobre los rayos X a los médicos que les acompañaban en las *petites curies* [FRÖMAN, 1996] (ambulancias que portaban equipos de rayos X) durante la I Guerra Mundial. O la participación en algunas de las aplicaciones de radioterapia en pacientes [MOULD, 1998].

La luz de Curie se verá proyectará aún más allá, pues será su hija Irene y el marido de ésta, Frédéric Joliot que en 1933 pondrían la piedra angular de la Medicina Nuclear con su descubrimiento de la radiactividad artificial [SAENGER *et al*, 1999].

Los principales avances de la medicina se suceden en la segunda mitad del siglo XX, como consecuencia del gran avance experimentado en la ciencia.

Los instrumentación, especialmente en el diagnóstico, experimenta grandes avances a partir de 1970, lo que fue posible gracias al desarrollo de los ordenadores [GRAY *et al*, 2000]. La tomografía computarizada fue presentada en 1973 por Hounsfield (Premio Nobel en 1979) y la resonancia nuclear magnética, introducida en los ochenta. Otras aplicaciones y técnicas de detección, en el ámbito del diagnóstico por imagen, contaron con la colaboración de físicos en su creación y desarrollo, como la cámara Anger o la tomografía por emisión de positrones, que son sistemas que nacen de la física cuya interpretación está dentro de la Medicina [KEREIAKES, 1987].

II. Integración de la Física en la Medicina

La presencia de la Física en los Hospitales es anterior a la de los propios físicos, que comenzaron a participar hacia 1890, con los primeros tratamientos con rayos X [COHEN *et al*, 1995]. Su tarea en esos primeros tiempos se integra en gabinetes de Radiología muy semejantes a laboratorios de Física, donde parte del trabajo consistía en mantener las máquinas en funcionamiento y que la entrega de la dosis tuviera una cierta consistencia [LAUGHLIN, 1995].

El Radio mostró unas enormes expectativas terapéuticas, pero por su escasez [COURSEY *et al*, 2002; ROBINSON, 2000] se empezaron a estudiar algunos derivados como el radón [BRENNER, 2000], una labor que correspondió a los físicos de los Hospitales [WEBSTER, 1993; BRUCER, 1993]. En sus inicios tras

el éxito de los Curie y la obtención de un mayor apoyo económico, algunos de los becados en su laboratorio, como Jacques Danne [STOVALL *et al*, 1995] y William Duane [BRUCER, 1993; WEBSTER, 1993], son hoy considerados pioneros de la física médica.

Los laboratorios del Radio representan esa primera alianza entre médicos y físicos en la investigación, como la fundación en 1906 del Laboratorio Biológico del Radio, dirigido por Domini y con Danne como físico. En 1909 el Instituto del Radio de París, con la cooperación del Instituto Pasteur y de la Universidad de París. Contaba con Claudius Regard responsable investigación médica y biológica y otro de investigación física y química dirigido por Curie.

Los físicos eran los responsables de las fuentes de radio y el cálculo de la distribución de la dosis, también con máquinas de ortovoltaje y participaban en los tratamientos clínicos con radiaciones. La presencia de físicos en los gabinetes de radioterapia comenzó en 1910, aunque sólo en las grandes instituciones. Con el tiempo, un físico como Sidney Russ, del Middlesex Hospital de Londres, pasó de ayudante al estatus específico de físico hospitalario, en 1913, y más tarde a dirigir el Departamento de Física aplicada a la Medicina. En los años ulteriores comenzarían a ser más normal que los físicos trabajaran en diferentes hospitales del Reino Unido, como Frank Hopwood en el St. Bartholomew's o William Mayneord en el Royal Cancer Hospital, con lo que el número de físicos hospitalarios fue en aumento [LAUGHLIN *et al*, 1998].

Las máquinas de telerradioterapia eran pocas y caras. Su desarrollo, entre 1910 y 1950, se llevó a cabo principalmente en los institutos del Radio y en hospitales con participación activa de los físicos de la época, Sievert en el Radiummehet de Suecia, Regaud en el Instituto del Radio de París, Grimmatt en Instituto del Radio de Londres y Failla en el Roosevelt Hospital. Estas máquinas tenían unos tamaños descomunales y se dirigían a un uso casi exclusivamente experimental que en su gran mayoría intentaban trasvasar los recursos o los descubrimientos de los laboratorios de investigación a la clínica mientras su funcionamiento era supervisado por físicos. Muchas de las máquinas se desarrollaron como herramientas para física y posteriormente pasaron a un plano clínico.

Las unidades de supervoltaje con tensiones superiores a los 500 KV se instalaron en grandes ciudades como Roma, Londres o Berlín. En esa primera época se podían considerar como unidades experimentales que se aplicaban a pacientes desahuciados. En 1937 aparecerían los aceleradores de Van der Graaf que, con el perfeccionamiento de los transformadores de resonancia, fueron los primeros equipos con posibilidades comerciales. Las bases técnicas para los la construcción de los aceleradores lineales se establecieron con la introducción de las fuentes de

microondas y del magnetrón. La construcción de los betatrones suponen un primer paso con las primeras experiencias en Inglaterra y Estados Unidos.

Como herencia del desarrollo en la II Guerra Mundial del radar, en el hospital Hammersmith de Londres, se instaló en 1952 el primer acelerador de uso médico, desarrollado en Standford. A partir de 1969 los aceleradores de 4 MV se convirtieron en máquinas más fiables y populares.

En los años siguientes, entre 1939 a 1969 el número total de máquinas de megavoltaje (VanderGraffs, aceleradores lineales, betatrones, etc.) vendidas a nivel mundial no era mayor de 136 [SCHULTZ, 1975]. En todo caso, la presencia de este tipo de instalaciones motivó que pronto aparecieran las primeras recomendaciones y la inspección por parte de expertos, una tarea que combinaba la labor de físicos y médicos [HENDEE, 1993].

Tras el final de la II Guerra Mundial se produjo la incorporación masiva de tecnología en la Medicina. Además, los avances recientes en Física nuclear y el funcionamiento de reactores nucleares facilitaron la presencia de máquinas de Cobalto y, con ellas, la entrada de los físicos en los hospitales. Las máquinas de Cobalto despertaron grandes expectativas ya que se planteaban como una alternativa a los aparatos de teleterapia, más fiables y con la posibilidad de emplearlos como técnica transcutánea en el tratamiento del cáncer. En Canadá se instaló la primera unidad de Cobalto-60. Fue diseñada y caracterizada por físicos, cuyo entrenamiento básico en Física Médica procedía del Reino Unido [CORMACK *et al*, 1999]. En esta unidad se formaron los pioneros de esta nueva rama de la Física. Con ella se realizaron investigaciones que permitieron perfeccionar los sistemas de dosimetría, encabezadas por Harold Johns cuya publicación «*The Physics of Radiology*» en su momento uno de los pilares de la formación de la Física Médica.

Gilbert Fletcher, médico, realizó importantes avances en los tratamientos oncológicos gracias a la telecobaltoterapia. Grimmet, físico, estudió con Sievert y contribuyó al diseño del Cobalto. Más tarde trabajó con Fletcher en el MD Anderson siguiendo el modelo inglés de departamentos de Física Médica. Su modelo fue imitado en el resto del mundo y significó una contribución importante a la difusión de esta técnica. De hecho, se vendieron más de mil unidades de máquinas de telecobaltoterapia en tan solo diez años.

Fue este desarrollo lo que, aparte de popularizar esta técnica, marcó la necesidad de un sistema de medida adecuado. El empleo de las radiaciones ionizantes dejó notar no sólo sus efectos adversos, sino también la dificultad de describirlos y cuantificarlos [HARDING, 1997]. Con la ausencia de dosimetría se tendía a aumentar los efectos secundarios ya que las máquinas tenían un mayor poder de

penetración en el tejido. Los frecuentes accidentes ocurridos durante la práctica radioterápica estimularon la realización de numerosos estudios sobre dosimetría en este periodo. El espentímetro de Béclere supuso a partir de 1900 la posibilidad de calcular el voltaje aplicado. Villard, en el mismo año, describe los cambios en la coloración de soluciones tras ser expuestas a los rayos X. A Holzkenchnecht se debe un radiocronómetro para la medida de la radiación en 1902. La primera definición física de la unidad de ionización se le atribuye a Villard con la denominada unidad V. En años posteriores se describirán varios métodos dosimétricos, incluso esbozos de la medida de la energía por unidad de masa que se desarrollará décadas más tarde. Mientras tanto, los radioterapeutas emplearon la medida del eritema cutáneo para conocer la dosis radioterápica. La complejidad de los cálculos en dosimetría fue algo que asumieron los físicos y que permitió resolver problemas técnicos y mejorar la tolerancia de los tratamientos [QUIMBY, 1945].

Los físicos desarrollaron los sistemas de medida y de especificación de la dosis que en 1928 cristalizó en el roentgen como unidad de medida. La sistematización de la dosimetría, como sucedió con el Radio, fue uno de los modos de eliminar los problemas para su aplicación. Entre 1920 y 1930 surgieron con Sievert los métodos y sistemas de dosimetría. En 1923 Robert Coliez publicó las primeras curvas de isodosis en un implante uterino y a finales de los años 20 se construyeron en Bruselas curvas de isodosis para implantes intersticiales y superficiales. Entre 1934 y 1938 Paterson y Parker, del Hospital Cristie, publicaron el sistema de Manchester aceptado universalmente junto con el de París, publicado por Pierquin, Chassagne y Dutreix. En Nueva York, Edith Quimby propuso su propio método. Estos modelos llegarían a estandarizarse tras la II Guerra Mundial.

En radioterapia profunda, Coliez publicó en 1922 las primeras tablas de isodosis, lo que mejoró de forma notable el conocimiento para su aplicación. En radioterapia de contacto Chapul publicaría en 1934 los trabajos que sistematizaría esta práctica radioterápica.

El conocimiento de los posibles efectos nocivos resalta la necesidad de la radioprotección y del desarrollo de los aparatos de medida de la radiación, como el de Geiger, perfeccionado por Müller en 1928. Es en ese año cuando se constituye el primer Comité Internacional de Protección Radiológica durante la celebración del Congreso Internacional de Radiología celebrado en Estocolmo.

Sin embargo, las unidades dosimétricas múltiples sólo se unificaron por consenso en el roentgen en el Congreso de Radiología de Estocolmo de 1927. Las unidades en el empleo de radioisótopos se potencian por comités como la *International Radium Commission*. Se emplean como unidad de medida el curie y el rutherford, éste aplicado a radioisótopos artificiales. Otras unidades fueron la uni-

dad D de Mallet o la intensidad milicurio-hora definido por Sievert. En conjunto destaca que la terapia con Radio y la roentgenterapia se planteaban como si no tuvieran un principio físico común.

El descubrimiento de los isótopos radiactivos supone un gran avance en las aplicaciones de las radiaciones en la Medicina. Tras descubrir la radiactividad artificial, la construcción del ciclotrón por parte de Lawrence en 1931 llevó a producir isótopos radiactivos. La construcción de estos ciclotrones condujo en 1940 a avanzar en las aplicaciones de fósforo radiactivo para el tratamiento de la poliglobulia, en 1942 a las del yodo radiactivo en el cáncer de tiroides, o en 1950 del oro radiactivo. Pero será el Cobalto-60 el que tuvo una mayor repercusión con las aplicaciones terapéuticas desarrolladas en 1946.

Son muchos los acontecimientos de la Medicina y que con el paso del tiempo estarán de un modo u otro relacionados con el quehacer de los físicos dentro de los hospitales. Es el caso de la electroencefalografía con Berger o la ecografía de Donald. También hay avances en campos como la Cardiología (desfibriladores, válvulas, catéteres, vasculógrafos) y la electrofisiología o de materiales y técnicas especiales como la fibra óptica o el láser [BRUVILLASECA, 1978]. La entrada de esta tecnología compleja en los hospitales hizo necesaria la atención de los físicos ya que el médico se veía abocado a afrontar dificultades científicas y técnicas que no podía resolver con sus propias herramientas [ROBERTS, 1999]. Los grandes hospitales universitarios crearon incluso departamentos específicos. Sin embargo, el mayor impacto fue el de la popularización del empleo clínico del Cobalto, que estaba bien caracterizado y estudiado en sus propiedades físicas a nivel industrial. El traspaso de poderes entre Medicina y Física se efectuó de manera progresiva. Hubo un tiempo en que algunos radioterapeutas realizaban estudios de Física y algunos físicos realizaban a su vez estudios de Medicina.

La adquisición e interpretación de señales suponía un apoyo tecnológico y científico dentro del hospital en ese borde difícil de limitar entre la ciencia, la técnica y la propia medicina. Los físicos fueron pioneros en la adquisición de señales biomédicas y transducción a un ordenador, algo que requería conocimientos de informática, programación y electrónica y para la que no se disponía de personal cualificado [RICHARDS, 2004].

III. Toma de conciencia de la Física Médica

La Física Médica a nivel mundial tiene un precedente importante en el Reino Unido por su precocidad en la introducción de los estudios de física en las facultades de Medicina y las publicaciones específicas de Física Médica. La literatura

inglesa cita a Neil Arnott [LENIHAN, 1994] como el primer físico médico por su libro «Elementos de Física», publicado en 1827 y que llegó a traducirse al español y tuvo un gran impacto en la enseñanza de la física y en el desarrollo de la Física Médica. Introduce la Física en los estudios de Medicina en 1861 en la Universidad de Londres. Esta tradición ayudó a que se creara la primera Cátedra de Física aplicada a la Medicina en la Universidad de Londres en 1913 [LAUGHLIN *et al*, 1998].

Por otra parte el auge de las sociedades científicas tienen su origen en el descubrimiento de los rayos X. Adquieren entidad propia primero en los países más avanzados, desde donde se promueven sociedades internacionales que permitan crear vínculos entre diferentes países. En el siglo XIX algunas asociaciones científicas, formadas por físicos y médicos, estaban enraizadas en las universidades, como la *Medizinische und Physikalische Gesellschaft zu Würzburg* que fue fundada en 1849 y en la que Röntgen presentó sus descubrimientos.

En Londres, en 1897, un grupo de médicos fundó la *Roentgen Society*, abierta también a otros profesionales, con el objetivo inicial de fomentar los conocimientos de los rayos X, aunque éste ha crecido hasta abarcar el estudio y la práctica del arte y la ciencia de la radiología, radiobiología y las aplicaciones médicas de las ciencias nucleares en todos sus aspectos y la difusión de este conocimiento. En la primera reunión, en la que sólo uno de cada diez asistentes era médico, fue elegido presidente Sylvanus Thompson. Esta Sociedad fue evolucionando hasta crear el *British Institute of Radiology* en cuya presidencia se alternan físicos y médicos y desde 1928 publica el *British Journal of Radiology*.

Sydney Russ organizó en 1943 un encuentro de físicos de hospital en *British Institute of Radiology* con el fin de aunar esfuerzos en torno a los intereses de la Física Hospitalaria. De ahí surgiría en ese año la primera asociación de físicos de hospital, la *Hospital Physicists Association* (HPA), con 53 miembros. Al ser entonces la única, se le asociaron físicos de otros países como Estados Unidos, Canadá o Suecia. El *National Health Service* estableció una relación especial con esta HPA. En 1956 se publica la revista *Physics in Medicine and Biology*, la primera con dedicación exclusiva a la Física Médica. En 1983 la HPA decidió separar las tareas profesionales y las científicas. La Sociedad mantuvo la responsabilidad en los aspectos de carácter profesional mientras que el *Institute of Physical Sciences in Medicine* (IPSM) asumió la gestión de eventos científicos, publicaciones, etc.

Desde la HPA se impulsó la creación en 1963 de la *Internacional Organization for Medical Physics* (IOMP) [WALSTAM, 1982], que tuvo su origen en los Congresos Internacionales de Radiología [SAENGER *et al*, 1999], en los que se incluían apartados especiales de Física Médica como Física de la radioterapia, Protección ra-

diológica y radioisótopos. En el que se celebró en Munich en 1959 se evidenció la dificultad para definir la Física Médica de manera que se distinguiera de las sociedades ya constituidas de Electromedicina y de la *Health Physics Society* [JENNINGS *et al*, 2002]. Entre los objetivos de la IOMP están: facilitar la cooperación internacional en Física Médica, contribuir al avance de la Física Médica, especialmente en los países en desarrollo, y fomentar la implementación de organizaciones nacionales de Física Médica en los países que aún no dispongan de ellas.

La IOMP ha impulsado la *Conferencia Internacional en Física Médica* (ICMP). La primera de estas conferencias se celebró en Israel, en 1979, junto con la *Conferencia Internacional en Biología e Ingeniería Biomédica* patrocinada por la International Federation of Medical and Biological Engineering (IFMBE), dentro del Congreso Mundial de Física Médica e Ingeniería Biomédica. La unión de la ICMP y la IFMBE ha originado la *International Union on Physical and Engineering Sciences in Medicine*, que fue aceptada en 1982 como miembro asociado del *International Council of Scientific Unions*.

En el congreso de la Sociedad Norteamericana de Radiología (RSNA) de 1958, en Chicago, se fundó con sus 50 primeros miembros la *American Association of Physics Medicine* (AAPM) [LAUGHLIN *et al*, 1998]. La presentación de la Sociedad se llevó a cabo en el congreso internacional organizado por la HPA en Munich en 1959 [LAUGHLIN, 1983]. La influencia de la HPA en esta Sociedad se aprecia en que, hasta que editó en 1973 la prestigiosa revista *Medical Physics* [ADAMS, 1978], adoptó como instrumento de comunicación propio la revista *Physics in Medicine and Biology*. Su formación surgió de las reuniones auspiciadas por el *National Cancer Institute* para la realización de ensayos clínicos en radioterapia, en el que se evidenciaba la necesidad de un marco en que poder comparar la instrumentación y las medidas de la radiación. La Sociedad mostraba un perfil diferente pero, en cierta medida, complementario a otras ya fundadas como la *Radiological Society of North America* (RSNA) o la *Society of Nuclear Medicine*.

En Alemania se fundó en 1969 la *Deutsche Gesellschaft für Medizinische Physik*, que publica la revista *Zeitschrift für Medizinische Physik*. Desde la HPA se propició la creación de la *European Federation of Medical Physics* (EFOMP), la voz de la Física Médica en Europa, que servía como instrumento para armonizar las competencias y la formación. Tras una reunión inicial en Londres, en 1979, la Federación se constituyó en 1980 organizada con un sistema que regulaba la representatividad de las diferentes organizaciones nacionales. Los Congresos Europeos de Física Médica se celebran desde 1987 organizados por la Sociedad Nacional de Física Médica del país en que se celebre y auspiciados por la EFOMP.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, G.D. (1978) «Formation and early years of the AAPM». *Med Phys*, 5(2), 290-296.
- BRENNER, DJ. (2000) «Rutherford, the Curies, and Radon». *Med Phys*, 27(2), 618-619.
- BRUCER, M. (1993) «William Duane and the radium cow: an American contribution to an emerging atomic age». *Med Phys*, 20(6), 1601-1605.
- BRU VILLASECA, L. (1978) «Nuevas Presencias de la Física en la Medicina». *Anales de la Real Academia Nacional de Medicina*, 95(3), 313-319.
- CICARELLI, A. (2000) «Looking Back on the Millennium in Medicine». *N Engl J Med*, 342(1), 42-49.
- COHEN, M. & TOTT, N.G. (1995) «Radiology, physical science, and the emergence of medical physics». *Med Phys*, 22(11), 1889-1897.
- CORMACK, D. & MUNRO, M. (1999) «Cobalt 60. A Canadian Perspective Part III». *Canadian Medical Physics Newsletter*, 45(3), 54-59.
- COURSEY, BM. & COLL, R. & COURSEY, J.S. (2002) «Standards of radium-226: from Marie Curie to the International Committee for Radionuclide Metrology». *Applied Radiation and Isotopes*, 56(1), 5-13.
- DUTREIX, J. & DUTREIX, A. (1995) «Henri Becquerel (1852-1908)». *Med Phys*, 22(11), 1869-1875.
- DUTREIX, J. & TUBIANA, M. & PIERQUIN, B. (1998) «The hazy dawn of brachytherapy». *Radiotherapy and Oncology*, 49(7), 223-232.
- FRÖMAN, N. (1996) «Marie and Pierre Curie and the Discovery of Polonium and Radium» Lecture by Nanny Fröman at the Royal Swedish Academy of Sciences in Stockholm, Sweden, on February 28, 1996, en www.nobel.se/physics/articles/curie (acceso en Noviembre de 2006).
- GRAY, J.E. & ORTON, C.G. (2000) «Medical Physics: some recollections in diagnostic X-ray imaging and therapeutic». *Radiology*, 217(3), 619-625.
- HARDING, S. (1997) «Radiation Protection Lesson from the Past». *Br J Radiol*, 70, S10-S16.
- HENDEE, W.R. (1993) «History, current status, and trends of radiation protection standards». *Med Phys*, 20(5), 1303-1314.
- JENNINGS, W. & ALAN, A. (2002) «The origins of recognizable specialties in Medical Physics». *Med Phys World*, 18(8), 82.
- KEREIAKES, J.G. (1987) «The history and development of medical physics instrumentation: nuclear medicine». *Med Phys*, 14(1), 146-155.
- LAUGHLIN, J.S. (1995) «Origins of the science of radiation physics and of the field of radiology». *Med Phys*, 22(1), A7-9.

- LAUGHLIN, J.S. & GOODWIN P.N. (1998) «History of the AAPM: 1958-1998». *Med Phys*, 25 (7), 1235-1383.
- LAUGHLIN, S. (1983) «AAPM and RAMPS, antecedents and perspectives». *Med Phys*, 10(2), 387-394.
- LAUGHLIN, J.S. & GOODWIN, P.N. (1998) «Early Organizations of Medical Physicists». *Med Phys*, 25(5), 1235-1383.
- LENIHAN, J. (1994) «Neil Arnott the first medical physicist». *Med Phys*, 21(7), 1837-1838.
- MALLARD, J. (1994) «History of IOMP». *Scope*, 3(2), 25-31.
- MOULD, R.F. (1998) «The discovery of radium in 1898 by Maria Sklodowska-Curie (1867-1934) and Pierre Curie (1859-1906) with commentary on their on their life and times». *The British Journal of Radiology*, 71(9), 1229-1258.
- PARADINAS JIMENEZ, C. (1978) «Concepto De Fisica Medica». *Radiologia*, 20(2), 179-181.
- QUIMBY, S. (1945) «The history of dosimetry in roentgen therapy». *Am J Roentg Rad Ther*, 54(3), 668-703.
- RICHARDS, B. (2004) «History of computing in U.K. The early days of Health computing in UK». *Medinfo*.
- ROBINSON, R.F. (2000) «American radium engenders telecurie therapy during World War I». *Med Phys*, 27(7), 1212-1216.
- ROBERTS, J.E. (1999) *Meandering Medical Physics. A Personal Account of Hospital Physics*. «Medical Physics» Collection. Institute of Physics Publishing Ltd. London.
- ROSENOW, U.F. (1995), «Notes on the legacy of the Rontgen rays». *Med Phys.*, 22(11), 1855-1867.
- SAENGER, E.L. & ADAMEK, G.D. (1999) «Marie Curie and nuclear medicine: closure of a circle». *Med Phys*, 26(9), 1761-1765.
- SCHULTZ, M. (1975) «The superelectricity story». *Am. J. Roentgenol*, 124(3), 541-59.
- STOVAL, M. & SHALEK, R.J. (1995) «Physics contribution to radiology in brachytherapy». *Med Phys*, 22(11), 1907-1909.
- WALSTAM, R. (1982) «IOMP: A Brief History». *Medical Physics World*, 1, 4-8.
- WEBSTER, E.W. (1993) «The origins of medical physics in the USA: William Duane, Ph.D. 1913-1920». *Med Phys*, 20(6), 1607-1610.
- WELLS, P.N. (2001) «Physics and engineering: milestones in medicine». *Medical Engineering & Physics*, 23(1), 147-53.

