

PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE LA RADIOLOGÍA 1895-2023

Javier Vargas Romero

Medico Radiólogo
Exjefe de Servicio y Director de la UGC de Radiodiagnóstico
Hospital Universitario Jerez Fra.

Pasado: Historia de la radiología

Quisiera iniciar este texto retrocediendo en el tiempo a finales del siglo XIX, cuando se producen en menos de un año dos descubrimientos que serían de gran relevancia en la ciencia médica.



Wilhelm Roentgen

A finales de 1895, el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen descubrió los rayos X, que supusieron un hito en la historia del diagnóstico por la imagen, ya que por primera vez se podían obtener imágenes del interior del cuerpo humano después de que fuera atravesado por una radiación. Röntgen descubriría de forma accidental cuando realizaba unos experimentos con la radiación de los rayos catódicos unos rayos misteriosos, invisibles, que atravesaban los tejidos e incluso metales poco densos y emulsionaban una placa fotográfica que tenía en su laboratorio: los rayos incógnita o rayos X. Se les denominó así por tratarse de una radiación entonces desconocida.

Proporcionó la primera imagen radiológica de la historia, la mano izquierda con su icónico anillo de su esposa Bertha, pero además empieza el desarrollo de una nueva ciencia, la ciencia de la radiología.

Por tanto, el hito tecnológico del pasado de la radiología es el descubrimiento de los rayos X en 1895.



Por su descubrimiento Röntgen fue galardonado con el primer Premio Nobel de Física en 1901.

Unos meses después, ya en 1896, el científico francés Henri Becquerel descubrió una radiación misteriosa emitida por una sal de uranio mientras trabajaba con materiales fosforescentes, fenómeno que dos años después fue bautizado con el nombre de radiactividad por Marie Curie, científica francesa de origen polaco. Por lo tanto, el descubrimiento casi simultáneo de dos radiaciones desconocidas supondría, años después, el inicio de dos especialidades médicas de gran relevancia en la actualidad: el Radiodiagnóstico y la Medicina Nuclear.

Podemos considerar la radiología como el descubrimiento de mayor impacto social de los últimos años del siglo XIX.

Algunos avances de la Radiología en su primera época fueron:

- 1896 F.H. Williams: Radioscopia en enfermedad cardíaca
- 1898 J.Poland: Edad ósea
- 1898 Bronchard: Derrames pleurales
- 1899 Beck: Primer diagnóstico preoperatorio de litiasis biliar
- 1904 Schule: Primer enema
- 1910 Gunter Krause: Primeros estudios con sulfato de bario
- 1912 Schuller: Inventor del término neuro-roentgenología
- 1913 A. Solomon: Primera radiografía de la mama.

La radiología es un paradigma de especialidad médica, ligada al desarrollo de las innovaciones tecnológicas. El introducido de los rayos X en España fue el Dr. César Comas Llabería, uno de esos radiólogos pioneros españoles, desconocidos y poco reconocidos, gracias a los cuales la medicina ha avanzado, aún a costa de su salud y de su propia vida: “Ocho médicos han pagado con su vida, la humanitaria misión a que se entregaron en el corto espacio que hace que se descubrieron los Rayos Röntgen; algunos acuden a los congresos en un carrito porque les fueron amputados brazos y piernas.” (Diario ABC del lunes 3 de agosto de 1914). Se acepta como “etapa heroica” de la radiología española los años comprendidos entre 1896 y 1909 por el número de víctimas conocidas por lesiones producidas por los rayos X. Otros muchos fueron víctimas de amputaciones por radiodermatitis. Esta meritoria labor de estos pioneros culminó con la celebración en Barcelona del V

Congreso Internacional de Electrología y Radiología Médicas en septiembre de 1910.

Las primeras radiografías se aplicaron para detectar cuerpos extraños y fracturas. En aquellos tiempos la única información que se podía obtener de un politraumatismo era con una radiología simple, bien placa de tórax, columna cervical, radiografía de pelvis, etc. Los radiólogos se dedicaban a realizar buenas proyecciones para obtener imágenes que fueran valorables y de gran calidad, pero más adelante otra radiología empezaría, se iba a producir un cambio radical ya que esos primeros radiólogos dejaron paso a una nueva generación de profesionales que se empezaron a transformar en médicos

Los radiólogos dejaron de ser técnicos para reformarse en médicos en diagnóstico y en la valoración de las imágenes.

Fueron estos radiólogos que regresaron tras varios años estudiando y formándose fuera de nuestro país, los que dieron el primer gran paso en la radiología en España.

Estos radiólogos han sido referentes para todos los radiólogos que vinieron posteriormente, una radiología basada en la honestidad y el arte, y sobre todo en la capacidad de extraer información de esas radiografías simples que era la base sobre las que pretendíamos influir en el manejo y bienestar de los pacientes.

Era impresionante asistir los sábados por la mañana, en Madrid y ver lo que se denominaba "Las lecturas de casos". La sala se llenaba para escuchar y aprender de estos maestros de la radiología recién llegados a España, encabezados por el Dr.

Cesar Pedrosa. Era increíble ver el juego diagnóstico que le podían sacar a una placa de tórax o de abdomen y ver a los adjuntos y residentes de aquel momento como se las ingeniaban con las nuevas tecnologías tan básicas para aproximarse al diagnóstico.

Era una maravilla ver la sabiduría que tenían estos pioneros de la radiología de este país. Gracias a ellos la radiología evolucionó de forma imparable, se convirtió en una especialidad imprescindible revolucionando el diagnóstico. Nos parecía imposible como estos "maestros" detectaban patologías con una radiología simple, por ejemplo, el íleo biliar, como eran capaces de dar con un diagnóstico preciso que explicaba la situación clínica de los pacientes.

Posteriormente tal fue el éxito de las "Lecturas de casos" de los sábados en Madrid, que se extendió a la mayoría de los hospitales, con la denominación de "sábados radiológicos", donde se invitaba a alguno de ellos. La descripción de los estudios, la posibilidad de compartir experiencias y aprender constantemente de estos colegas fue un hecho muy importante en el desarrollo profesional y expansión de la radiología.

Además, poco después se empezó a abrir incluso un periodo de mayor ilusión con el inicio de la ecografía, TAC (ahora su denominación es TC) resonancia magnética, etc.

La radiología estaba dedicada básicamente a trabajar y progresar con los modelos de tecnologías que en ese momento eran auténticamente innovadoras.

El ultrasonido o sonografía, conocido popularmente como ecografía corresponde a la obtención de imágenes diagnósticas a partir de ecos obtenidos por la emisión de ondas de ultrasonido. Ya desde 1881 se publicaron resultados de su aplicación y en posteriores años se va desarrollando en sus diferentes aplicaciones. Al principio en la industria naval en la Segunda Guerra Mundial y posteriormente mejorando la calidad con la técnica de escala de grises en sus aplicaciones médicas.

Los primeros ecógrafos eran estáticos que producían una imagen fija, eran muy voluminosos y difíciles de mover, requiriendo incluso ayudantes para su manejo. A diferencia de los rayos X utiliza ondas mecánicas y no electromagnéticas y por tanto no son ondas ionizantes, careciendo de los riesgos de estas últimas.

Como en muchos otros ámbitos de la radiología su desarrollo ha sido en gran parte debido a la informática, con mejoras en los equipos y técnicas como es la ecografía en color, tridimensional, etc., equipos fáciles de manejar, con múltiples funciones y con sondas de todos los calibres, electrónicos y multifrecuencia.

Este progreso ha convertido a la ecografía en una extensión del médico y prácticamente ha reemplazado al viejo y confiable estetoscopio.

El inventor de la TC fue el ingeniero inglés Godfrey Hounsfield. El primer equipo de TC del mundo empezó a funcionar en 1971 en Reino Unido y se desarrolló a partir de 1972 de la mano de la mejora de los ultrasonidos que procedían como dijimos del sonar, con la evolución

de la aplicación de la escala de grises y sobre todo con la incorporación de los ordenadores, Esta técnica permitió ver cortes axiales del cuerpo humano a partir de muchas determinaciones de absorción de los fotones de los rayos X.



Ecógrafo

En 1979 Hounsfield y Cormack (físico sudafricano que también contribuyó a su descubrimiento), recibieron el Premio Nobel de Medicina.

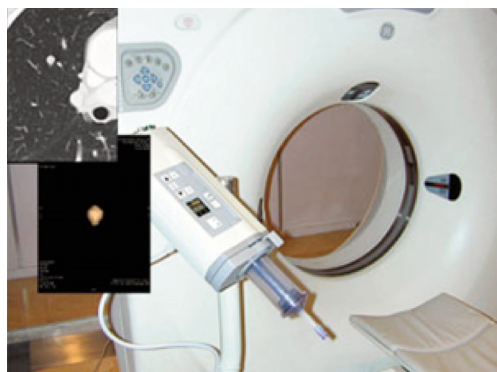
Los primeros TACs fueron solo para realizar estudios de la cabeza y tardaban 30 minutos en hacer la exploración y 2 horas en la reconstrucción de las imágenes o sea en su visualización.

La tomografía computarizada una vez algo más desarrollada estaba únicamente

indicada para determinadas lesiones cerebrales o abdominales con ecografía positiva y se requería de pacientes estables porque al TAC se le llamaba entonces el "donuts de la muerte" al ser exploraciones secuenciales que entre corte y corte podía demorarse incluso hasta minutos.

En el caso de pacientes obesos, por ejemplo, las máquinas de tomografía no acomodaban a todos los pacientes. Era muy incómodo o a veces imposible realizar los procedimientos.

Desde entonces se desarrollaron con rapidez diferentes generaciones que mejoraron la calidad y rapidez de la imagen.



Equipo de TC

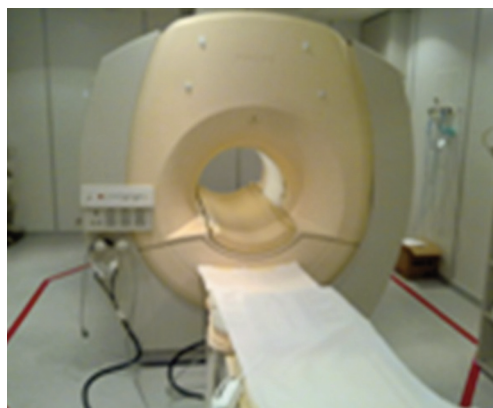
Pocos años después de los primeros equipos de TC, apareció un nuevo avance tecnológico, la resonancia magnética (RM). La historia de la resonancia magnética empieza en 1882, cuando Nicola Tesla descubre un campo magnético rotatorio que es generado a partir de una corriente eléctrica alterna.

El principio físico de la resonancia magnética se publicó en 1946. Bloch y

Purcell demostraron que algunos núcleos bajo la acción de un campo magnético intenso podían absorber energía de ondas de radiofrecuencia y a su vez emitir señales de radiofrecuencia que podían ser captadas por una antena. No utiliza por tanto, al igual que la ecografía, radiaciones ionizantes. Fueron premiados con el premio Nobel de física en 1952.

Pero no fue hasta 1975 cuando Mansfield obtuvo la primera imagen basada en esta técnica y correspondió a un dedo. Se le concedió el premio Nobel en 2003.

En España el primer equipo de RM se instaló en 1983 en Barcelona, donde se obtuvieron las primeras imágenes.



Equipo de RM de 1,5 Teslas

En esta etapa la radiología estaba muy compartimentalizada, no nos relacionábamos a gran escala con otras especialidades, trabajábamos en sitios relativamente aislados del flujo de pacientes y de los procesos hospitalarios y esa analogía y esa compartimentalización fueron los que marcaron ese periodo.

Llegada la mitad y sobre todo el final de los 90 se empezó a desarrollar el post-proceso digital, una herramienta que nos hacía prescindir de exploraciones complejas, por ejemplo, en una hemorragia subaracnoidea nos veíamos obligados a hacer una arteriografía cerebral, los problemas aórticos los teníamos que diagnosticar con una aortografía, a veces con punción directa subcostal, etc. En los tiempos actuales no deja de sorprendernos el tiempo y las técnicas que teníamos que utilizar, porque hoy en día somos capaces de hacer un diagnóstico de un aneurisma cerebral en pocos minutos o una patología aórtica con TAC o resonancia magnética en escasos minutos.

De esta manera desde los años 70 hasta los 2000 hemos asistido a toda una eclosión y desarrollo de la especialidad que nos ha llevado a tener la radiología actual que disfrutamos en estos días, donde el diagnóstico por la imagen se encuentra a la cabeza de los diagnósticos de las patologías que sufren los pacientes hoy en día.

De hecho, incluso se cambió primero el nombre de la especialidad, de radiología a radiodiagnóstico y posteriormente al de diagnóstico por la imagen ya que no solo existen exploraciones que utilizan los rayos X, sino que tenemos un amplio abanico de técnicas actuales que no las utilizan.

Volviendo a la primera época de su utilización, los rayos X tuvieron rápidamente numerosas aplicaciones clínicas y su uso se extendió internacionalmente. Con la fluoroscopia o la “visión de rayos X” el público pudo observar el poder de los rayos X. En nuestro país, en 1912 se

editó la Revista Española de Electrología y Radiología Médicas, y en 1917 se constituyó la Sociedad Española de Electrología y Radiología Médicas. Las aplicaciones clínicas de la radiactividad tardaron más en incorporarse, ya que fue necesario que primero se descubriera la radiactividad artificial, hecho que se produjo en 1934 gracias a los trabajos de Frederic Joliot e Irene Curie. Por ello, el inicio de la Medicina Nuclear clínica debemos situarlo a finales de la década de 1930.

Sin embargo, en aquellos tiempos no existían las especialidades médicas y había profesionales que utilizaban los diferentes agentes físicos, tanto ionizantes (como los rayos X o los rayos gamma) como no ionizantes, en el diagnóstico y terapéutica de diferentes patologías. Por lo tanto, las futuras especialidades de Radiodiagnóstico, Medicina Nuclear y Oncología Radioterápica hicieron un primer recorrido de forma conjunta. Hasta 1955 no se establece en España el título de especialista, mediante la Ley sobre “Enseñanza, título y ejercicio de las Especialidades Médicas”, en la cual se establece que para la práctica profesional se consideran especialidades médicas un listado de 31, entre las que se encuentra la Electrorradiología. Dos décadas más tarde, en 1978, después de haber andado este largo camino conjuntamente, se publica un Real Decreto que regula la obtención de títulos de especialidades médicas en el que se reconocen 51 especialidades, entre las que se encuentran Electrorradiología, Medicina Nuclear, Radiodiagnóstico y Radioterapia. Unos años más tarde, en 1984, en el

Real Decreto que regula la formación médica especializada, la especialidad de Electrorradiología desaparece y los profesionales que disponían de este título debieron sustituirlo por el de especialista en Medicina Nuclear, Radiodiagnóstico u Oncología Radioterápica.

A partir de aquí, el Radiodiagnóstico y la Medicina Nuclear emprenden caminos más diferenciados. Desde el punto de vista de las sociedades científicas, como he comentado anteriormente, en 1917 se había constituido la Sociedad Española de Electrología y Radiología Médicas, que en 1946 se reconstituyó pasando a ser la Sociedad Española de Radiología y Electrología Médica (SEREM). La SEREM era una especie de sociedad madre en donde se hermanaban el Radiodiagnóstico con la asociación de Radioterapia y la de Medicina Nuclear, y en la cual la Electrorradiología cada vez tenía menos peso. Con el transcurso de los años, la Radioterapia y la Medicina Nuclear crearon sus propias sociedades y la Electrología pasó a manos de otros especialistas. En lo concerniente a Medicina Nuclear, la Asociación Española de Medicina Nuclear (AEMN), filial de la SEREM, nació en 1969. En 1977 se independizó, creando la Sociedad Española de Medicina Nuclear (SEMNU), que pasó a denominarse Sociedad Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular (SEMNUIM) en 2009. También la SEREM cambió de denominación pasando a SERAM (Sociedad Española de Radiología Médica) en 1986, nomenclatura que persiste en la actualidad.

La SEMNU y la SERAM siguieron caminos paralelos con más desencuentros que afinidades hasta que, tal como ponía de manifiesto un artículo publicado en abril de 2009 en *Diario Médico* con el titular “Radiología y Medicina Nuclear juntas tras 17 años en solitario”, volvieron a encontrarse. Los entonces presidentes de la SERAM, Luis Martí Bonmatí, y de la SEMNU, José Luis Carreras, firmaron un convenio de colaboración para potenciar el desarrollo profesional de ambas especialidades, compartir sistemas de información y optimizar los criterios de pruebas diagnósticas.

En paralelo con lo que ocurrió con las respectivas sociedades científicas, también cada disciplina progresó con su respectiva revista científica. Después de haber compartido conocimientos en la *Revista Española de Electrología y Radiología Médicas*, creada en 1912, que pasó a denominarse *Radiología* para ser el “Boletín de la Sociedad Española de Radiología y Electrología Médica y de Medicina Nuclear”, en la actualidad la revista *Radiología* es el órgano de expresión científica oficial de la SERAM y la *Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular* (creada en 1982), de la SEMNUIM. Ambas son editadas por Elsevier.

Menos idas y venidas han tenido la Radiología y la Medicina Nuclear en el ámbito docente universitario. Una Orden Ministerial de 1979 incorporaba la Radiología y Medicina Física como área de conocimiento universitaria (en sustitución de la denominada hasta entonces *Terapéutica Física*), que persiste en la actualidad,

y en la cual se imparten las materias relacionadas con el Radiodiagnóstico, la Medicina Nuclear, la Oncología Radioterápica y la Rehabilitación (al estar relacionada con la Medicina Física).

Hace pocos años parecía que, de manera más o menor forzada, el Radiodiagnóstico y la Medicina Nuclear volverían a andar de la mano. La publicación del denominado popularmente Real Decreto de Troncalidad en 2014 establecía una organización de la formación sanitaria especializada basada en 5 troncos. Uno de ellos, denominado Tronco de Imagen Clínica, integraba dos especialidades: Radiodiagnóstico y Medicina Nuclear. A pesar de que el sistema de formación MIR actual ha sido valorado de manera muy positiva tanto en nuestro país como en el exterior, se proponía un nuevo modelo de formación para nuestros residentes, que implicaba que las especialidades de un mismo tronco debían seguir un periodo de formación común (troncal). Para las dos especialidades que nos conciernen, se creó la Comisión Delegada del Tronco de Imagen Clínica, integrada por dos radiólogos y dos especialistas en medicina nuclear. Después de un trabajo intenso, en el que no fue difícil alcanzar el consenso, se acabaron definiendo las competencias que deberían adquirir de forma conjunta los futuros residentes de Radiodiagnóstico y Medicina Nuclear durante el periodo troncal común que se iba a implementar. Sin embargo, este proyecto no prosperó, puesto que el Real Decreto de Troncalidad fue anulado después de un recurso al Tribunal Supremo.

La troncalidad no prosperó, pero la realidad en el diagnóstico por la imagen ha hecho que los especialistas en radiodiagnóstico y medicina nuclear tengamos cada vez más puntos en común. La creciente multidisciplinariedad de las ciencias médicas y la aparición de técnicas multimodalidad, como la SPECT/TC, la PET/TC o la PET/RM, con componentes que históricamente pertenecen a especialidades diferentes, han hecho que la relación entre ambas especialidades sea cada vez más estrecha y que sea necesario establecer escenarios comunes de colaboración.

Esperemos que nuestro sentido común prevalezca sobre cualquier Real Decreto u Orden Ministerial y que seamos capaces de establecer puentes de diálogo y colaboración entre las dos especialidades, para que nuestros caminos se vuelvan a encontrar por el bien de un mejor diagnóstico de nuestros pacientes y por el progreso de nuestras especialidades.

Presente

La radiología es una de las especialidades médicas más solicitadas en todo el mundo. Las tasas de utilización de la radiología en nuestro entorno oscilan entre 800 a 1.000 exámenes/1.000 habitantes/año.

La imperiosa necesidad de profesionales ha colocado a los médicos radiólogos como los profesionales sanitarios más solicitados en los últimos años según la consultora Adecco. Por otra parte, es la especialidad más demandada por los médicos que buscan una nueva especialidad tras no estar satisfechos con la que eligieron inicialmente.

La incesante sucesión de innovaciones tecnológicas que se están produciendo en el ámbito de la especialidad está provocando múltiples aplicaciones clínicas, pero también un gran aumento en el número de exploraciones.

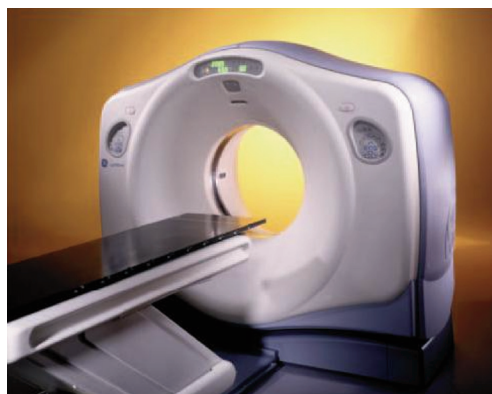
Con un desarrollo vertiginoso tecnológico en los últimos 25 años (ecografía, TC, resonancia magnética, radiología vascular, intervencionismo, etc.), la radiología se ha reinventado a sí mismo repetidas veces. No solo el radiólogo actual es un técnico que interpreta imágenes, sino un clínico más, un consultor que realiza una aproximación diagnóstica integrada en la historia clínica, así como un tratamiento mediante intervencionismo mínimamente invasivo guiado por la imagen.

En la medicina moderna actual, los médicos dependen del radiólogo en más del 80% de las decisiones que toman. La existencia de radiólogos bien capacitados es absolutamente imprescindible para que cualquier organización sanitaria pueda ofrecer una atención adecuada a sus pacientes.

Para mí hay un momento al inicio de los años 2000 absolutamente clave en la evolución de la especialidad, en su actual presente, que es la digitalización y el postproceso que conlleva, lo que produce la desaparición de la placa radiográfica. La aparición de los PACS (Sistema de Comunicación y Archivado de Imágenes) tiene como consecuencia que la propiedad de la imagen ya no reside en los servicios de radiología, sino que el resto de los servicios clínicos del hospital tienen acceso a las imágenes, trabajan con ellas. El alma-

namiento digital de la imagen en los sistemas de PACS toman la imagen directamente de las máquinas. Además, el postproceso ya no es un postproceso offline o fuera de línea, sino que la misma estación de almacenamiento y visualización de la imagen tiene incluidas herramientas de postproceso que realizan múltiples funciones como reconstrucciones multiplanares de las imágenes, estudios vasculares y virtuales, etc.)

Este cambio a lo digital desde lo analógico también ha favorecido el desarrollo de la fusión de técnicas, como el PET-TAC que conocemos hoy.



Equipo híbrido PET-TAC

Se está avanzando muy rápido en los conocimientos científicos y en su velocidad porque la industria insiste con razón en hacer las adquisiciones más rápidas, más veloces por comodidad de los pacientes. Uno de los ejemplos es el TAC coronario que se adquiere en un solo latido cardíaco y que ya está ampliamente disponible hoy en día, es ya una realidad, o la resonancia magnética que gracias a los

algoritmos de rápida adquisición de reconstrucción es capaz de realizar estudios rutinarios en menos de 7 minutos.

Como se ha comentado, en el pasado consumíamos bastante tiempo en solucionar problemas diagnósticos vasculares, problemas torácicos, problemas cerebrales, etc. con exploraciones lentas y muy laboriosas y hoy gracias a la tecnología en escasos minutos somos capaces de detectar hemorragias, tumores o una patología vascular.

Todo ello ha producido un salto espectacular en el diagnóstico por la imagen.

En la actualidad, la radiología de urgencias también se ha consolidado como el soporte fundamental en el proceso de diagnóstico de la patología urgente y este rol lo reconocen muchos procesos clínicos como el ictus agudo o el paciente con trauma grave que han experimentado una mejora en su pronóstico debido a la disponibilidad de estos equipos.

Ahora la capacidad que tenemos de distribuir esa información con el resto de clínicos nos permite participar en los distintos comités, donde podemos en las pantallas y en los monitores compartir los hallazgos clínicos y radiológicos, así como evaluar el efecto de los tratamientos, lo que ha permitido que el uso de la radiología sea mucho mayor en hospitales y que la información que generamos se considere como uno de los elementos básicos en el manejo del paciente.

Es importante no solo el liderazgo en la especialidad, sino estar en la mesa donde se toman las decisiones, porque es más importante estar allí, que ser solo simples

invitados de situaciones donde otros puedan decidir.

Esta accesibilidad a la imagen conlleva que ya no seamos propietarios de la misma y ya no controlamos tanto cuál es el producto final de nuestro trabajo, de manera que pueden aparecer y están apareciendo momentos de intrusismo por parte de especialidades clínicas.

Otro verdadero cambio que ocurre en la radiología actual, es cuando empezamos a trabajar con la modalidad de órganos y sistemas, donde el grupo de profesionales disponen de toda la tecnología aplicada a los mismos, por ejemplo, ultrasonidos, resonancia, etc., lo que supone diferenciar la especialidad por órganos.

Por tanto, actualmente es muy necesaria la subespecialización del radiólogo para poder conocer a fondo el órgano a estudiar. Debemos saber las dificultades diagnósticas y las técnicas terapéuticas de las distintas especialidades que se aplican, poder responder a las preguntas que nos hagan sobre el órgano en cuestión e intervenir en la toma de decisiones, como por ejemplo ayudarles en la preparación de los actos quirúrgicos, adelantándonos a posibles complicaciones y simplificando la cirugía.

Esta subespecialización nos debería permitir ser muy estrictos con los médicos clínicos del hospital y de asistencia primaria, ser cada vez más exigentes, no solamente en la indicación correcta de las pruebas que se nos piden a diario, sino también en cuanto a lo que es la calidad y el compromiso con el paciente.

Vivimos un aumento cada vez mayor del número de demanda de exploraciones

radiológicas que no podemos detener, un aumento del número de imágenes por exploración y afortunadamente una disminución de los tiempos de adquisición y una aceleración de los tiempos de procesamiento, si bien en estos momentos todavía el gasto en los tratamientos es la mayor fuente de gasto sanitario. Pero también los servicios de radiología con el gasto de personal, junto con las inversiones tan costosas en tecnología nos hacen estar siempre muy visibles, restringiendo muchas veces las Direcciones Hospitalarias el número de inversiones. Todo esto condiciona un gran problema en los servicios de radiología que va a causar un tsunami que, si no somos capaces de gestionarlo, puede dañarnos.

Ahora mismo el radiólogo tiene un papel importante en el diagnóstico, pero al mismo tiempo estamos sobresaturados de pruebas que presentan cada vez un mayor crecimiento. Actualmente nos dedicamos fundamentalmente a informar, pero esto va a cambiar radicalmente en los próximos años. Pero hasta que esto no suceda, la teleradiología es actualmente una solución y un importante avance jugando un papel fundamental, pero también debe ser una herramienta integrada en todo el proceso radiológico.

Un gran problema asociado al gran número de exploraciones radiológicas realizadas es el sobrediagnóstico, que más que un fallo en el diagnóstico, es un fallo en el pronóstico. Ignoramos qué consecuencias tendría para la vida del paciente algunas de las lesiones que diagnosticamos por imagen y que no recibiesen tratamiento.

Mientras no sea posible diferenciar por imagen qué lesiones tendrán un curso indolente y cuáles van a tener un comportamiento agresivo, existirá el sobrediagnóstico. Las técnicas de imagen médica avanzadas, la radiómica y la radiogenómica en alianza con la inteligencia artificial prometen avances en este sentido. Mientras tanto, es prioritario que los radiólogos vigilemos que solo se realicen las pruebas de imagen estrictamente necesarias. Además, debemos participar en la toma multidisciplinaria de decisiones diagnósticas y clínicas, compartida con el paciente. Y por supuesto, hemos de seguir contribuyendo al avance tecnológico y científico de nuestra profesión, para continuar mejorando el diagnóstico y la detección precoz, en particular de las alteraciones que precisen tratamiento.

El sobrediagnóstico es la detección de una enfermedad que no va a tener significación clínica, por lo que los riesgos derivados de su diagnóstico superan a los beneficios. El sobrediagnóstico no es, pues, un falso positivo, que sería considerar un proceso como una enfermedad, cuando en realidad no lo es. Más bien, el sobrediagnóstico es un verdadero positivo, es decir, diagnosticar correctamente y con buena intención una enfermedad, la cual no va a perturbar significativamente al paciente a lo largo de su vida. En ese sentido, el sobrediagnóstico no es un fallo en el diagnóstico, sino un fracaso en el pronóstico.

El sobrediagnóstico tiene sus raíces en la definición de enfermedad, que con frecuencia se establece basándose en umbrales numéricos. Al intentar no dejar nada

patológico sin diagnosticar, se tiende a disminuir el umbral a partir del cual se define la enfermedad.

Dos asimetrías acentúan el sobrediagnóstico. La primera, el sesgo hacia el diagnóstico y el tratamiento: un sesgo de intervención que lleva a los médicos a actuar, con buena intención, cuando la mejor opción sería no hacer nada. La segunda, una asimetría legal: es más probable que un médico sea demandado por no diagnosticar que por sobrediagnosticar.

El sobrediagnóstico afecta a los individuos física, psicológica y económicamente, y también a los sistemas de salud, al ocasionar una asignación inadecuada de los recursos.

Aunque el sobrediagnóstico afecta a todos los campos de la medicina, con frecuencia comienza con los estudios de imagen. El diagnóstico por imagen, descubriendo un reservorio subclínico de la enfermedad, conduce al sobrediagnóstico. Lo hace de dos maneras: primero, a través del cribado, que detecta cánceres clínicamente importantes, pero también algunos otros irrelevantes. En segundo lugar, cuando las técnicas de imagen diagnóstica se utilizan en situaciones de escasa indicación médica, pueden detectar alteraciones que no guardan relación con la situación clínica del paciente y que no tendrán repercusión significativa en su salud.

Se ha sugerido por tanto que la principal causa del sobrediagnóstico es el aumento del uso, así como el sobreuso de las técnicas de imagen. Otro factor podría ser el avance tecnológico, al aumentar la

sensibilidad para detectar lesiones cada vez de menor tamaño.

La principal consecuencia del sobrediagnóstico es el sobretratamiento. Debemos asumir, pues, que el diagnóstico por imagen en ocasiones da lugar a sobretratamiento.

Estrategias para reducir el sobrediagnóstico en diagnóstico por imagen:

Por parte del radiólogo

- Evitar la realización de pruebas de imagen innecesarias.
- Realizar seguimiento activo por imagen de lesiones con escaso potencial de malignidad para evitar sobretratamiento
- No recomendar biopsia para las lesiones de bajo potencial maligno

Por parte de las Sociedades Científicas

- Evitar el cribado de cánceres cuya detección no ha demostrado beneficios.
- Restringir el cribado a segmentos de la población con mayor riesgo de la enfermedad a cribar.
- Aumentar el valor umbral para considerar un hallazgo de enfermedad.
- Fomentar la investigación sobre la historia natural de los tumores.
- Cambio de denominación de las lesiones indolentes: eliminar la palabra “cáncer”.

Medidas encaminadas a mejorar la toma de decisiones diagnósticas y de cribado compartida con el paciente:

- Formación a radiólogos y otros médicos sobre el sobrediagnóstico.
- Proporcionar información neutra a los ciudadanos sobre el sobrediagnóstico

Proyecto de futuro: medicina de precisión:

- Radiómica
- Radiogenómica
- Inteligencia artificial

Como un paso más hacia la “medicina personalizada”, las técnicas de imagen avanzada, junto con los perfiles moleculares y/o genéticos, pueden ayudar a evitar el sobret ratamiento, una vez detectada una lesión por imagen. Así, la radiómica puede obtener datos cuantitativos extraídos a partir de imágenes médicas que servirían como biomarcadores predictivos y pronósticos de la enfermedad, como por ejemplo la densidad mamaria en la toma de decisiones de cribado de mamografía. La radiogenómica puede, además, relacionar las características de imagen con las propiedades genómicas de los tumores. La inteligencia artificial, por medio del aprendizaje profundo (“deep learning” en inglés), tiene un papel prometed or para ayudar en estos aspectos. Se necesitaran más estudios antes de aplicar la radiómica, la radiogenómica y el aprendizaje profundo a la práctica clínica en la denominada “medicina de precisión”.

Necesitamos desarrollar nuevas habilidades, sin duda es nuestro gran reto. Debemos ser muy flexibles, tener capacidad de transformación, porque todo lo que viene tecnológicamente debemos asumirlo. Así como los saltos en tecnologías son muy rápidos y severos, debemos adaptarnos muy rápidamente, como camaleones, a todo lo que nos espera.

Pero quizás nos falta formación. Se avanza tan rápido que muchos radiólogos

no tenemos toda la formación de todos estos avances y también creo que la formación en protección radiológica pudiera ser hoy día todavía mejorable. Hay radiólogos que no tienen al 100% claro el concepto del DLP o el concepto de la dosis efectiva, o incluso no saben los valores promedios normales que dan sus equipos radiológicos. Afortunadamente tenemos nuevas normativas en el que Europa ha sido líder en el mundo en temas de protección radiológica al paciente. Tenemos que informarlo verbalmente y en algunas exploraciones recibir su consentimiento por escrito, aparte de explicarle los beneficios de una prueba radiológica y el valor que tiene, pero también sobre los posibles efectos secundarios y los pequeños riesgos de las radiaciones. Tenemos un protocolo español de control de calidad diagnóstica, los equipos se controlan correctamente y en la mayoría de los equipos actuales queda registrada la dosis de radiación recibida por el paciente. Pero, aun así, nos queda mucho por hacer todavía.

El concepto del radiólogo con su aspecto más clínico e integrador de información es un valor fundamental para la supervivencia de la especialidad, e incluso de los propios médicos en el sector de salud. A partir de aquí se va a producir un cambio de paradigma que es el futuro actual y venidero.

Existen también en la actualidad cambios en la visión de la radiología, cada vez más integrada, participativa e interrelacionada con las distintas especialidades. El papel del radiólogo en este contexto de unidades asistenciales es muy distinto al

clásico. Es un papel mucho más activo, con más responsabilidades, más clínico y con más proyección e implicación en el proceso asistencial, como sucede por ejemplo en las unidades de mama, en las unidades cardiovasculares o en los distintos comités de tumores, donde los radiólogos son piezas claves.

También nos hace reflexionar sobre la gran evolución de la especialidad el hecho de que el catálogo de exploraciones radiológicas de nuestra sociedad científica SERAM (www.seram.es) cuente con alrededor de 1.110 procedimientos radiológicos. En los Centros pequeños los profesionales del servicio suelen abarcar casi todo el espectro radiológico, usando la mayor parte de las técnicas de imagen. En los grandes Hospitales es imprescindible centrarse en un área específica y adquirir un alto nivel de experiencia, mediante la subespecialización por órganos y sistemas.

Futuro

El futuro de la radiología ya no es sólo el de la radiología, es el futuro de la imagen médica y eso incluye también a la medicina nuclear en este entorno integrado que empieza en el presente y se extiende hacia ese futuro. Es además el futuro de la "medicina de precisión", de la imagen computacional, extraer información de todas las imágenes que realizamos a los pacientes para predecir o estimar qué es lo que les va a suceder, cómo se va a comportar la enfermedad en un paciente individual y no en una población que comparte por ejemplo un cáncer o una esclerosis múltiple.

La interpretación de la imagen médica es una de las principales tareas que realiza el radiólogo. Conseguir que los ordenadores sean capaces de realizar este tipo de tareas cognitivas ha sido, durante años, un reto y a la vez un objetivo en el campo de la visión artificial. Gracias a los avances tecnológicos estamos ahora más cerca que nunca de conseguirlo y los radiólogos debemos involucrarnos en ello para garantizar que el paciente siga siendo el centro de la práctica médica.

Los pilares en los que se va a asentar el futuro de la radiología son:

- Desarrollo de la radiología intervencionista.
- La inteligencia artificial. Radiómica y Radiogenómica.
- Teleradiología.
- Imagen funcional, Técnicas Híbridas e Imagen Molecular y Genética.

Desarrollo de la radiología intervencionista (RI):



Radiología intervencionista

El desarrollo de la cateterización vascular hizo posible obtener imágenes de los vasos. Posteriormente se utilizaron las mismas herramientas para llevar a cabo

procedimientos no solo diagnósticos, sino también terapéuticos desde dentro de los vasos.

Así, se realizan técnicas como la angioplastia para dilatar vasos estenosados o la embolización que los bloquea mediante la inyección de partículas o espirales. Esto ha permitido por ejemplo el cambio en el manejo de las enfermedades neurovasculares por oclusión vascular, permitiendo la recanalización en casos de trombosis cerebral (trombectomía vascular) para intentar salvar la mayor cantidad de tejido cerebral.

Pero también la RI se aplica fuera del sistema vascular, mediante ecografía o TAC como técnica de guiado, para realizar procedimientos mínimamente invasivos como drenajes de absesos, colocación de prótesis, biopsias, inyección de agentes quimioterápicos o técnicas de eliminación de tejido tumoral por aplicación de energía térmica (radiofrecuencia, crioablación, etc)

Inteligencia artificial (IA):



Tecnología inteligencia artificial

La inteligencia artificial se define como la capacidad de las máquinas de realizar tareas intelectuales habitualmente realizadas por humanos. Este término se utiliza como concepto general que engloba tanto el aprendizaje automático (AA) como el aprendizaje profundo (AP). Ambos conceptos pertenecen a un subcampo de la IA que se caracteriza por crear sistemas que son capaces de aprender, es decir, capaces de generar sus propias reglas sirviéndose únicamente de los datos.

La inteligencia artificial permite el análisis de muchas imágenes de forma muy rápida y nos da información equivalente a la que nosotros somos capaces de dar con nuestros estudios estructurales o morfológicos y además dar una información cuantitativa de cómo ha sido posible y por qué ahora.

Vamos a ser capaces de diagnosticar entidades que ahora no nos las podemos ni imaginar porque el ojo humano todavía no sabe verlas y es lo que vamos a ganar con esta nueva tecnología. No sólo vamos a diagnosticar nuevas entidades, sino que probablemente vamos a ir más allá y a diagnosticar situaciones, vamos a ser capaces de decir si un tumor va a responder a una pauta concreta de inmunoterapia o incluso el pronóstico de ese determinado paciente.

La verdad es que no va a tener nada que ver con la radiología que conocemos ahora. La especialidad se va a transformar, se va a hacer claramente más visible, más clínica, transversal y multidisciplinar, vamos a tener que subir el nivel, no vamos a estar informando como autómatas, sino

que va a ser un trabajo mucho más noble, de un nivel más alto. Nos vamos a integrar en equipos multidisciplinarios para decidir sobre el conjunto de biomarcadores que hacemos a cada paciente o en cada situación, estableciendo unos protocolos.

La velocidad de progreso de la tecnología en radiología va a acelerarse todavía mucho más con la inteligencia artificial

Con todos los miedos que ha condicionado la inteligencia artificial por lo que nos va a quitar en la radiología, creemos que es premisa errónea ya que esta tecnología será una herramienta adicional para el radiólogo, con la que debemos establecer una alianza, y no una amenaza que nos desplazará en el trabajo.

Deberíamos ser capaces dentro de nuestra especialidad de liderar la generación de algoritmos. La validación de algoritmos con su puesta en producción y la utilización de esos algoritmos como ayuda al diagnóstico por parte de los clínicos es parte importante del futuro que nos espera, pero siempre liderado, controlado y validado desde el ámbito de la radiología.

Nunca nos vamos a poder convertir ni en físicos ni en informáticos, pero sí gracias al conocimiento que tenemos clínico y al conocimiento que tenemos de algunas de las herramientas y modalidades o incluso de secuencias que ya están maduras, nos va a permitir mirar y dirigir ese desarrollo tecnológico.

El futuro de la tecnología es un reto también no solo para nosotros como radiólogos, sino también para los físicos o radiofísicos porque tenemos que aprender de ellos, tenemos que entender y tenemos

también que integrar a los ingenieros de la industria ya que ellos conocen cosas de la nanotecnología que nosotros no conocemos y es necesario para que se lleguen a utilizar correctamente.

La figura del radiólogo como se entiende en la actualidad y en el pasado se va a extinguir y va a desaparecer como figura pasiva. Solo seguirán existiendo probablemente los radiólogos intervencionistas.

La inteligencia artificial se está desarrollando a una velocidad increíble y va a solucionar muchas de las tareas que clásicamente resolvíamos los radiólogos. Por tanto, los radiólogos vamos a tener que hacer un cambio de mentalidad y participar más en el proceso del paciente, en la valoración, seguimiento y participación en los tratamientos y esto es el cambio de paradigma que se va a producir en muy breve espacio de tiempo.

Por otra parte, la aparición del big data de la inteligencia artificial aplicada a los datos de imagen da lugar también a la combinación de estos desde la radiogenómica y la radiómica para intentar encontrar biomarcadores predictivos de lo que puede ser la respuesta a un tratamiento, enfocado todo ello a la medicina personalizada. Son nuevos paradigmas aplicados en el ámbito del diagnóstico por la imagen, que pasará de una interpretación subjetiva de la imagen a una cuantificable a partir de datos no perceptibles por el ojo humano.

Mediante esta iniciativa se ha ido generando una base de datos con la que se alimentará la máquina de aprendizaje (learning machine), para desarrollar plataformas

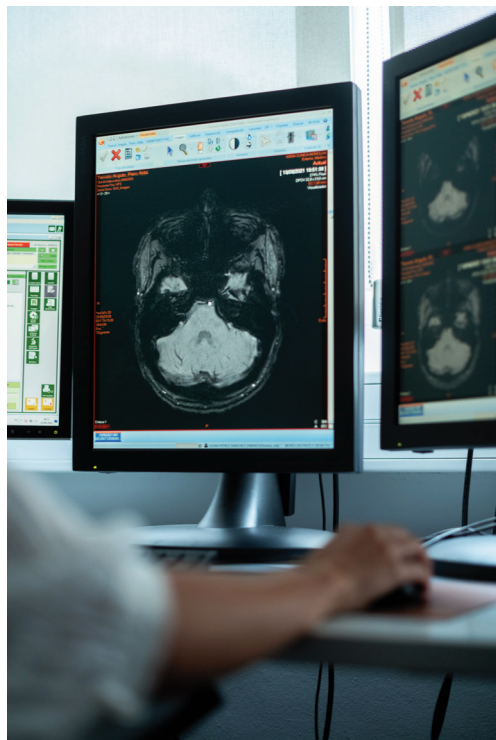
que se podrán utilizar en la creación de programas de inteligencia artificial. A medida que pase el tiempo y el futuro cercano nos alcance, veremos nuevos y mejores programas con los que podremos hacer nuestras labores diarias de una manera más segura y eficiente. Es por este motivo por el que la AI es y será una herramienta muy útil, pero no un sustituto.

Dentro de los próximos cinco años habrá una cantidad asombrosa de aplicaciones nuevas y útiles para imágenes de diagnóstico. Ya existen aplicaciones que ayudan a mejorar la calidad de las imágenes y programas que aceleran la generación y adquisición de los estudios de tomografía computarizada, con significativa reducción de la dosis de radiación. También en secuencias de resonancia magnética que aceleran la generación de imágenes, entre otras modalidades diagnósticas, que mejoran el flujo de trabajo, la comunicación médico-paciente y el seguimiento clínico.

Es obvio que las máquinas serán, dentro de poco tiempo, mejores que los radiólogos, más baratas, no se cansarán, trabajarán sin quejarse y lo que es más importante, serán más precisas que los radiólogos a la hora de llegar a un diagnóstico. Esta última opinión se basa en fascinantes datos publicados recientemente y que ilustran el potencial que tiene la inteligencia artificial a la hora de hacer diagnósticos en diferentes áreas. Por ejemplo, un reciente trabajo en el que se utilizaron más de 100.000 radiografías torácicas posteroanteriores previamente marcadas por radiólogos, vino

a confirmar que era capaz de detectar las neumonías mejor que los radiólogos.

Teleradiología (TL):



Teleradiología

El mundo actual está en un continuo cambio y eso también va a hacer que aspectos como las migraciones, la densidad poblacional o el envejecimiento de la ciudadanía cambien las condiciones de nuestro modelo de trabajo por lo que también tendremos que desarrollar aún más la teleradiología, parte de la telemedicina, en la que se obtienen imágenes radiológicas en un lugar y se transmiten a otro para visualizarlas con el objetivo de consultarlas y/o realizar un diagnóstico.

Pero, aunque la TL tenga unas innegables ventajas como son la mejora de comunicación entre distintos centros y hospitales, la posibilidad de interconsulta entre especialistas, la realización de informes de estudios urgentes y programados a distancia o consultar estudios previos, también ofrece problemas y amenazas para el futuro. Por esto la TL deberá ser regulada legalmente en los distintos países con normas claras sobre la acreditación de los radiólogos informantes, el consentimiento informado de algunas pruebas, la jurisdicción, la confidencialidad y la responsabilidad médico-legal, para que no se convierta en un mero negocio de externalización de la radiología en el que se pierda la valoración global del proceso diagnóstico.

Imagen funcional, Técnicas híbridas e Imagen molecular y genética.

Las técnicas funcionales consisten en aplicaciones avanzadas de TC y PET-TC, aunque sobre todo de la resonancia magnética (RM), que no solo ofrece información morfológica, sino que obtienen imágenes que dan información del funcionamiento fisiológico de un órgano, en lugar de su aspecto anatómico, con la ventaja adicional en el caso de la RM que no utiliza radiaciones ionizantes. Ejemplos de ello son las secuencias de difusión, tractografía, espectroscopia, etc.

Técnicas híbridas: PET-TC y en el futuro PET-RM y SPECT-TC

La imagen molecular puede definirse en sentido amplio como cualquier técnica

de imagen que permita detectar y recoger la distribución témporo-espacial de procesos moleculares o celulares con la intención de aplicarlos para el diagnóstico o de forma terapéutica.

Este diagnóstico celular y molecular posibilita la realización de tratamientos individualizados con monitorización de su eficacia.

Las técnicas híbridas de diagnóstico por imagen molecular van a identificar la existencia, localización y extensión de la enfermedad,

La utilización de biomarcadores de imagen junto al equipamiento que permita visualizarlo hará que numerosos complejos moleculares y estructuras celulares sean accesibles al informe radiológico.

El radiólogo tendrá un papel más principal en los tratamientos como por ejemplo con los tratamientos de imagen molecular guiados por la imagen donde probablemente el radiólogo va a guiar el procedimiento y también el control.

Por todo esto la Radiología y la Medicina Nuclear estarán obligadas a trabajar conjuntamente para liderar el desarrollo, la implantación y la evaluación tecnológica de la imagen molecular.

La genómica y proteómica como herramientas venideras, se van a orientar sobre todo a prevenir la enfermedad antes que tratarla.

Conclusión

Como cualquier disciplina en constante evolución, nuestra profesión también se enfrenta a retos e incertidumbres que habrá que seguir afrontando, y estar atentos

a su evolución trabajando con el objetivo de velar, no sólo por facilitar la formación continuada, sino por el mantenimiento y la mejora de la calidad de la práctica de la profesión en todas sus facetas.

En este momento somos conscientes de los retos a los que nos enfrentamos en los aspectos formativos, facilitando la incorporación de nuevos conocimientos y competencias en las nuevas áreas emergentes de nuestra profesión, así como promoviendo la investigación bien propia o con otros profesionales de otras especialidades.

Debemos preocuparnos por la seguridad del paciente en todo el proceso asistencial y muy especialmente en lo que concierne a la necesidad de minimizar las dosis impartidas de

radiación ionizante. La selección de la técnica adecuada es responsabilidad del radiólogo y el criterio ALARA de exposición a la radiación (tan bajo como sea razonablemente posible) correspondiente a las siglas inglesas de “as low as reasonably achievable” siempre debe estar presente en nuestra actuación.

También debemos influir en mejorar la formación de nuestros técnicos y TSDI, dotándoles de unas competencias reales acordes con las actuales necesidades de su desarrollo profesional en nuestros servicios y potenciar las buenas prácticas en todas las facetas de la práctica radiológica.

Es necesario promover la incorporación de procesos adecuados de gestión y calidad en los servicios de radiodiagnóstico de nuestro país, trabajar en la línea de consolidar los procesos de certifica-

ción de las competencias profesionales, aumentar la colaboración con otras sociedades científicas para generar guías clínicas y documentos multidisciplinarios de consenso que homogeneicen y mejoren la asistencia a nuestros pacientes.

Debemos consolidar a todos los niveles nuestro papel de consultores clínicos, producir documentos de recomendaciones e influir en las instituciones en aspectos como la obsolescencia tecnológica o cualquier otro que pueda afectar a la mejora de nuestra profesión.

Debemos potenciar nuestras relaciones con el ciudadano en general y con las asociaciones de pacientes, en particular, con el objetivo de aumentar nuestra visibilidad y mejorar el conocimiento que la población tiene de la figura del radiólogo.

Pero éstos no son más que algunos de los retos que sin duda debemos abordar y somos conscientes de que surgirán otros nuevos que ahora no podemos ni imaginar, que serán fruto de los cambios que se produzcan en nuestra profesión, pero también de los que se produzcan en profesiones afines y en la sociedad en general.

Por último, quisiera hacer una mención para conmemorar aquellos momentos históricos de la radiología y sobre todo, para recordar y agradecer el esfuerzo a todos aquellos profesionales que nos precedieron. Quisiera expresar todo mi agradecimiento a los pioneros de la radiología y a todos los que han contribuido a que lleguemos hasta aquí con una especialidad en auge y con un futuro brillante.

Bibliografía

- Portolés Brasó F. César Comas, introductor de los rayos X en España. *Imagen Diagn.* 2010;01:28-35.
- Prió Llabería A. Caso de Röentgencarcinoma. Autoobservación clínica. *Anales del hospital de la Santa Cruz y San Pablo.* 1929;16:230-238.
- Martínez-Noguera A, Monserrat E, García T, Larrosa R y Clotet M. César Comas and Agus Prió: Pioneers and Martyrs of Spanish Radiology. *RadioGraphics* 1996;16:1215- 1220.
- Portolés Brasó F. Fotografía y radiología en la obra del Dr. César Comas Llabería. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. Disponible en: <http://www.tesisenred.net/TDX-1110104-111254>.
- Pedrosa C., Pedrosa Moral I. Diagnóstico por imagen: evolución histórica. En: Sánchez-Alvarez Pedrosa, Casanova R (eds.). *Diagnóstico por imagen*, Madrid, Mcgraw-Hill/ Interamericana de España S.A, vol.1, Cap.1,1997:1:1-20.
- Nombela Cano L. La neuroradiología en España. *Radiología.*2010; 52 (Supl.2): 17-22.
- Ros LH. Formación en Radiología. ¿Cómo formamos a nuestros residentes? *Radiología.*2004;46:383.
- Del Campo Del Val L, Gómez León N. Comisión Nacional de la especialidad de Radiodiagnóstico. ¿Qué es y para qué sirve? *Radiología* 2010;52:241-246.
- Perseiconsulting Encuesta SIRENA. Disponible en: www.perseiconsulting.com; www.senr.org.
- Morales Santos A, Artigas Martín J.M. Organización y gestión de la radiología urgente. *Radiología.*2011; 53 (supl.): 7-15.
- Alvárez Benito M., García Ortega M.J., Cara García M., Raya Povedano A.L., Santos Romero A.L. Organización de una Unidad de Radiología de Mama. *Radiología* 2010; 52 (Supl.1). 36-40.
- Tharll JH. Teleradiology. Part I. History and Clinical Applications. *Radio-logy.*2007 Jun;243(39): 613-617.
- Tharll JH. Teleradiology. Part II. Limitations, Risks, and Oportunitates. *Radiology.*2007;244:325
- Bradley WJ Jr.Off . Teleradiology. *Radio-logy.*2008;Aug;248(2):337-341.
- European Society of Radiology. Teleradiology. Disponible en: <http://www.myesr.org>.
- Soffi P. Difusión por Resonancia Magnética: Bases y aplicaciones oncológicas en órganos extracraneanos. *Rev Chil Radiol.* 2009; 15Supl (1):17-24.
- Smits M, Vernooij MW, Wielopolski PA, Vincent AJ, Houston GC, van der Lugt A. Incorporation funcional MR imaging into diffusion tensor tractography in the preoperative assessment of the corticospinal tract in patients with brain tumors. *Am J Neuroradiol.* 2007; 28:1354-61
- Vilanova JC, Comet J, García-Fuigueiras R, Boada M. Utilidad de la resonancia magnética en el cáncer de próstata. *Radiologia.*2010; 52 :513-24.
- Guzmán JA, Fernández P, Mateos JM, Desco M. Estudio de la perfusión cere-

- bral mediante técnicas de susceptibilidad magnética: técnica y aplicaciones. *Radiología* 2012; 54(3):208-220.
- Lehéricy S, Cohen L, Bazin B, Samson S, Giacomini E, Rougetet R, et-al. Functional MR evaluation of temporal and frontal language dominance compared with the Wada test. *Neurology*. 2000; 54:1625-33.
- Pichler BJ, Judenhofer MS, Wherl HF. PET/RM hibryd imaging: devices and initial results. *Eur Radiol*.2008;18: 1077-8.
- Cabrero Fraile FJ. *Imagen Radiológica. Principios físicos e instrumentación*. Barcelona: Masson, SA, 2004.
- Eisenberg RL. *Radiology: an illustrated history*. Mosby-Year Book, T. Louis, 1992.
- Gálvez Galán, F. *la mano de Berta: otra historia de la Radiología*. I.M&C, 1995.