

JUAN RAMÓN ZARAGOZA RUBIRA

LA IMAGEN MÉDICA DEL CUERPO HUMANO

*Lección Inaugural leída en la Solemne Apertura
del Curso Académico 2000-2001
en la Universidad de Sevilla*

EDITORIAL UNIVERSIDAD DE SEVILLA



ÍNDICE

COLECCIÓN

JUAN RAMÓN ZARAGOZA RUBIRA
*Catedrático de Radiología y Medicina Física
de la Universidad de Sevilla*

LA IMAGEN MÉDICA DEL CUERPO HUMANO

Lección Inaugural leída en la Solemne Apertura
del Curso Académico 2000-2001 en la Universidad de Sevilla

PORTADA

ÍNDICE

COLECCIÓN



Sevilla 2015

Colección de Textos Institucionales (Serie: Medicina)
Núm.: 70

COMITÉ EDITORIAL:

Antonio Caballos Rufino (Director de la
Editorial Universidad de Sevilla)
Eduardo Ferrer Albelda (Subdirector)

Manuel Espejo y Lerdo de Tejada
Juan José Iglesias Rodríguez
Juan Jiménez-Castellanos Ballesteros
Isabel López Calderón
Juan Montero Delgado
Lourdes Munduate Jaca
Jaime Navarro Casas
M^a del Pópulo Pablo-Romero Gil-Delgado
Adoración Rueda Rueda
Rosario Villegas Sánchez

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de la Editorial Universidad de Sevilla.

Edición digital de la primera edición impresa de 2000

© EDITORIAL UNIVERSIDAD DE SEVILLA 2015

C/ Porvenir, 27 - 41013 Sevilla

Tfnos.: 954 487 447; 954 487 451; Fax: 954 487 443

Correo electrónico: eus4@us.es

Web: <<http://www.editorial.us.es>>

© JUAN RAMÓN ZARAGOZA 2015

ISBNe: 978-84-472-1690-1

Edición digital: Dosgraphic, s. l. <www.dosgraphic.es>

ÍNDICE

1. La imagen clásica: Pintura. Dibujo. Fotografía. Las escopias clásicas .	10
2. El descubrimiento de Roentgen. Inicio del Radiodiagnóstico	14
<i>El descubrimiento</i>	14
<i>Las primeras reacciones</i>	18
3. Radiodiagnóstico. El tubo de Coolidge. Tomografía. Angiografía	22
4. La Segunda Guerra Mundial. Imagen: Sonar, Termografía, Medicina Nuclear	25
5. La Radiología desde la II Guerra Mundial hasta la informatización ..	26
6. Medicina Nuclear. El gammógrafo. EL I-131	29
<i>Radiactividad natural y artificial</i>	29
<i>La medicina nuclear</i>	31
7. La Ecografía. La Termografía	33
<i>Ecografía</i>	33
<i>Termografía</i>	35
8. La Revolución Informática. La imagen digital	35
9. La Tomografía Axial Computarizada. Alta resolución. Helicoidal. Tratamiento de imágenes. Mesa de trabajo. Endoscopia virtual	36
10. Radiografía clásica informatizada. Radiología digital	43
<i>Digitalización. Radiografía intervencionista</i>	43
11. La Medicina Nuclear después de la informática. SPECT y PET	45
12. Resonancia Magnética Nuclear (RM)	47
13. Ecografía. Informatización. El efecto Doppler	53
14. Tratamiento de la imagen. Transmisión de la imagen. Sistema PACS..	54
15. Imagen médica del futuro. Otros tipos de energías. La “prueba única”. El diagnóstico automatizado	55
16. Conclusión	57

PORTADA

COLECCIÓN

Para ir a página pulsar en la línea 

Excmo. Sr. Rector Magnífico
Claustro de la Universidad
Miembros de la Comunidad Universitaria
Excmas. e Ilmas. Autoridades,
Señoras y Señores

PORTADA

ÍNDICE

AL corresponder a la Facultad de Medicina de Sevilla la Lección Inaugural del Curso Académico 2000-2001, y haberme concedido la Facultad el honor de ser su ponente en este Acto, he elegido como tema la evolución de las técnicas de imagen médica, ya que une tanto un abordaje científico y técnico, como el hecho de ser, en sus aplicaciones, muy difundido en todos los estratos sociales, pues se habla, con conocimiento de causa, de la realización de radiografías, ecografías, gammagrafías, estudios TAC o de resonancia magnética.

Para ello precisaremos nuestro objetivo, y examinaremos la evolución de las técnicas de imagen durante este siglo xx que, como muchas otras técnicas médicas, viene sesgada por dos acontecimientos: la Segunda Guerra mundial, de 1939 a 1945, y al revolución informática, a partir de la década de los 60.

1. LA IMAGEN CLÁSICA: PINTURA. DIBUJO. FOTOGRAFÍA.

LAS ESCOPIAS CLÁSICAS

Entendemos por **imagen médica** el estudio de imagen realizado a una persona concreta con un fin diagnóstico. No entrarán, por tanto, en nuestro repaso, los atlas anatómicos, ni los patológicos en general (dermatología, necropsias), ni tampoco los manuales quirúrgicos que muestran los sucesivos planos operatorios.

Con estas limitaciones indicaremos que, hasta la introducción de los rayos X, la imagen médica sólo consiste en la representación de las lesiones visibles en piel y mucosas, así como la realización de escopias.

Podemos representar las lesiones superficiales mediante la **pintura** o el **dibujo** o, más tarde, la **fotografía**. La **pintura** y el **dibujo** nos han mostrado personajes, conocidos o anónimos, con rasgos patológicos, que nos permiten diagnosticar de modo preciso su afección. Es cierto que en muchos casos la intención primordial no fue el diagnóstico médico, pero la representación del rostro o del cuerpo mostraba, bien a las claras, la enfermedad sufrida por el retratado. En el “Retrato de un viejo con un niño”, de Ghirlandaio (**Fig. 1**), se diagnostica claramente un enorme rinofima. El “Retrato de Tomaso Inghirami”, de Rafael, muestra la técnica del pintor para reducir el estrabismo del retratado. Y el dibujo del Duque Guillermo IV, en su lecho



Figura 1. “Retrato de un viejo con un niño”, de Ghirlandaio. El retratado presenta un enorme rinofima.

PORTADA

ÍNDICE

mortuorio, de Mielich (**Fig. 2**), muestra claramente la hemiplejía que padecía. Los enanismos retratados por Velázquez, y las obesidades y celulitis típicas de los modelos de Rubens y Ticiano sirven para apreciar otros defectos patológicos o estéticos. En alguna ocasión, el dibujo concreta síntomas relatados por escrito, como en la conocida ilustración de Durero señalando la localización exacta de sus molestias en el hipocondrio izquierdo.

Denominamos **escopias** o **endoscopias** a la observación del interior del organismo humano mediante tubos o sondas adaptados a sus diferentes cavidades. Aunque hay precedentes históricos, el desarrollo de la endoscopia clásica corresponde al siglo XIX. Durante él se desarrollan, repasando de cabeza a pies, la inspección visual del fondo de ojo (oftalmoscopia), del oído (otoscopia), de la nariz (rinoscopia), de la laringe (laringoscopia), de tráquea y bronquios (traqueoscopia, broncoscopia), de esófago y estómago (esofagoscopia, gastroscopia), de recto (rectoscopia), de vejiga urinaria (cistoscopias); más tarde la exploración articular (artroscopia) y la exploración abdominal, mediante una pequeña incisión superficial (laparoscopia). En ginecología, desde principio de siglo se aplicaba el espéculo vaginal, instrumento que sufrió muchas modificaciones técnicas hasta las unidades actuales.

Una gran ayuda para fijar los resultados de la exploración externa fue la introducción de la **fotografía médica**. En 1839, Joseph Nicéphore Niepce y Jacques Daguerre crean la primera técnica fotográfica, que se denominó **daguerrotipo**. Pronto se aplicó en medicina, tanto para realizar fotografías microscópicas (destaquemos a este respecto la labor extraordinaria de Ramón y Cajal en la microfotografía), como para fotografiar enfermos con intención diagnóstica. La introducción de técnicas de heliogravado permitió imprimir estas imágenes, y así, en 1894,

PORTADA

ÍNDICE



Figura 2. Dibujo titulado “El Duque Guillermo IV en su lecho mortuario”, de Miélich. Expresión gráfica de una hemiplejía.

PORTADA

ÍNDICE

aparece el libro de fotografías médicas editado por **Heinrich Curschmann**, donde se presentan, entre muchas otras, imágenes demostrativas de unos hermanos afectados por atrofia muscular progresiva, y de una mujer de 44 años afecta de atetosis.

Todos estos métodos de estudio y representación de imágenes del organismo humano quedaron sobrepasados por lo que constituyó uno de los más grandes descubrimientos de la física de finales del XIX: la introducción de los rayos X en la ciencia, y, en concreto, en el diagnóstico médico.

2. EL DESCUBRIMIENTO DE ROENTGEN. INICIO DEL RADIODIAGNÓSTICO

El descubrimiento

Wilhelm Conrad Röntgen, (1845-1923) (**Fig. 3**), Profesor de Física en la Universidad de Würzburg, se había licenciado en Zurich, y posteriormente realizó su Tesis Doctoral titulada “Estudio sobre los gases”, tema sobre el que continuó investigando en Würzburg.

En 1895 comenzó a trabajar sobre los efectos del paso de la corriente continua a través de tubos de vacío. La noche entre el 7 y el 8 de noviembre del mismo año realizó su descubrimiento básico.

Röntgen había repasado las experiencias hasta entonces conocidas, comprobando que si en un tubo de cristal con dos electrodos se produce un vacío elevado y se hace pasar corriente continua de alto voltaje, se producen en su interior diversos fenómenos luminosos. Pero cuando el vacío alcanza 0.01 mm Hg, el interior del tubo queda oscuro y sólo aparece iluminada la pared del tubo situada frente al cátodo. Se sabía que esta luminosidad ya no se debía a los gases, sino a fenómenos de fluorescencia generados en el cristal de la pared del

PORTADA

ÍNDICE

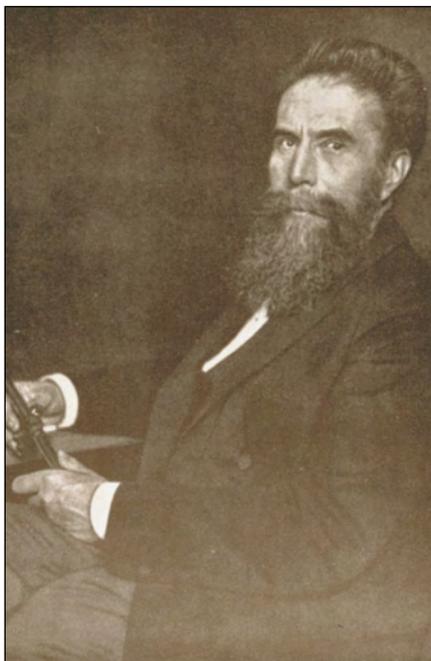


Figura 3. Retrato de W.C. Röntgen, descubridor de los rayos X.

PORTADA

ÍNDICE

tubo. A la radiación emergente del cátodo y productora de esta fluorescencia se la había denominado “rayos catódicos”.

A finales del siglo XIX, Lenard modificó los tubos de vacío, sustituyendo la parte opuesta al cátodo, donde se producía la fluorescencia, por una fina lámina de aluminio que, a la vez que mantenía el vacío, podía ser atravesada por los rayos catódicos, que así se propagaban en el aire algunos centímetros (“tubo de Lenard”). De esta forma se pudieron estudiar sus propiedades, en especial su carga negativa (electrones), su capacidad de producir fluorescencia al incidir sobre determinadas sustancias, y su detención por cualquier lámina de sustancia sólida.

Röntgen trabajaba con este tipo de tubo, y disponía de unas láminas recubiertas por platino-cianuro de bario para estudiar la fluorescencia de los rayos catódicos. Como el tubo de Lenard producía algo de luz durante su funcionamiento, lo que entorpecía la observación de la débil fluorescencia, Röntgen lo recubrió totalmente con una caja de cartón negra para, en completa oscuridad, poder observar los menores indicios de luminosidad en las placas.

Sin embargo, conectado el aparato, Röntgen se sorprendió al observar la aparición de fluorescencia en las placas que aún tenía en la mesa cercana, es decir, a una distancia superior al alcance comprobado de los electrones emitidos por el tubo. Por ello dedujo que, en su funcionamiento, junto a la emisión de electrones, el tubo de Lenard debía emitir otro tipo de radiación, que alcanzaba una distancia superior a los electrones, y que también producía fluorescencia. Desconocedor de la naturaleza de esta radiación, la denominó radiación X o rayos X.

Al estudiar sus propiedades, Röntgen comprobó que no se detectaba que tuviera masa ni carga eléctrica, que producían fluorescencia sobre determinadas sustancias, que descargaban espectroscopios cargados y que impresionaban las placas fotográficas. Cuando colocó entre el haz de la radiación y la pantalla fluorescente una caja de cigarros que contenía una llave, observó la imagen de la misma en la pantalla. Pudo ver que los naipes y los libros eran atravesados por las radiaciones; sólo los volúmenes muy gruesos presentaban una débil silueta.

Röntgen continuó comprobando el comportamiento de diversos objetos frente a la radiación. La caja de pesas del laboratorio mostraba las pesas, pero no la madera que constituía su soporte. Estudió el comportamiento de diversos metales frente a la radiación, y vio que ésta atravesaba fácilmente láminas de

algunos de ellos, como el aluminio, pero no otros, como el plomo.

Al experimentar con los diversos objetos frente a la pantalla, observó su propia mano, visualizando claramente el esqueleto, y débilmente las partes blandas. Dejó recuerdo del asombro que le produjo esta primera visión: “si se interpone la mano entre el tubo de descarga y la pantalla, se ve la sombra oscura de los huesos de la mano, menos pronunciada”

Röntgen comprobó la capacidad de los rayos X para impresionar placas fotográficas, obteniendo las primeras radiografías: la caja de pesas de su laboratorio y la culata de su escopeta de caza, entre otras (Fig. 4). Durante el mes de diciembre de 1895 perfeccionó la técnica, y el día 22 realizó la primera radiografía humana, la mano de su mujer (Fig. 5), con un tiempo de exposición de 20 minutos. En ella se distingue claramente el esqueleto óseo, con el anillo en el dedo anular, sobre el fondo tenue constituido por las partes blandas.

Röntgen resumió su descubrimiento y experiencias en un informe que presentó el **28 de diciembre** en la Sociedad de

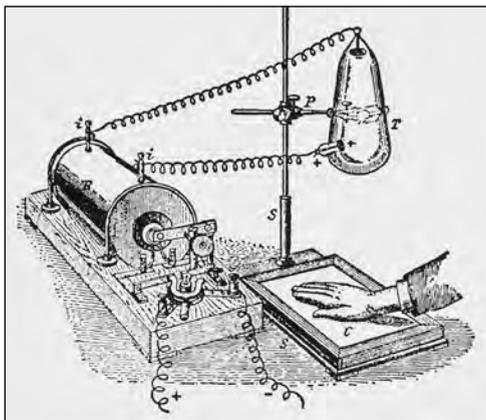
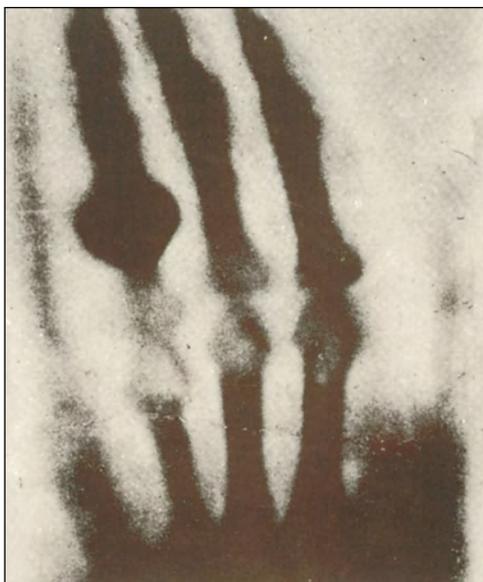


Figura 4. *Instalación con la que Röntgen obtuvo sus primeras radiografías.*

Figura 5. *La primera radiografía humana fue la realizada por Röntgen a la mano de su mujer.*



Física y Medicina de Würzburg, titulado *Über eine neue Art von Strahlen* (Sobre un nuevo tipo de radiación), y que se publicó inmediatamente. Con la rapidez que proporcionaban las comunicaciones, todo el mundo científico conoció el descubrimiento y, lo que es más, lo pudo repetir, ya que el instrumental requerido, fundamentalmente el tubo de Lenard, se encontraba en los principales laboratorios de física.

Las primeras reacciones

El 1 de enero de 1896, a los cuatro días de la comunicación en Würzburg, un periódico de Praga publicó la noticia del descubrimiento de unos rayos que atravesaban objetos opacos, y que permitían ver las estructuras internas del cuerpo humano sin necesidad de abrirlo. En Alemania la trascendencia del descubrimiento fue tal, que el 13 de enero de 1896, Roentgen

PORTADA

ÍNDICE

fue invitado por el **Kaiser Guillermo II**, y pronunció en Berlín una conferencia sobre su descubrimiento, con una demostración experimental, tras la cual el Kaiser le expresó su asombro y gratitud y le condecoró.

Pero la conferencia considerada fundamental para la divulgación de los rayos X fue la pronunciada el **23 de enero de 1896** ante la Sociedad de Física y Medicina de Würzburg, a la que había presentado su informe previo. Durante la misma realizó al anatomista Albert von Kölliker una radiografía de su mano. Como escribe Nicolle: “el cliché fue inmediatamente revelado y presentado a los asistentes. En este momento, invadido por la emoción, Kölliker exclamó que en los cuarenta y ocho años que era miembro de la Sociedad Físico-Médica de Würzburg, esta era la sesión más extraordinaria a la que le había sido dado asistir, y pidió que en el futuro los nuevos rayos fueran designados con el nombre de Röntgen”.

La noticia del descubrimiento de los rayos X se transmitió rápidamente a todo el mundo, tanto desde el punto de vista científico como desde el sensacionalista. En el estado de New Jersey se presentó una proposición de ley prohibiendo que se aplicaran aparatos de rayos X a los gemelos de teatro. Desde el punto de vista opuesto, un comerciante americano puso a la venta ropa interior femenina opaca a los rayos X. La sensación general ante el nuevo descubrimiento fue tal, que pronto aparecieron unidades de rayos X de bajo precio, lo que supuso su utilización descontrolada. Se emplean en zapaterías para ver si el pie se ajusta al calzado, en aduanas, en exámenes realizados por la policía, hasta en barracas de feria, donde constituyen una extraordinaria atracción. A los pocos años se observó que las personas que utilizaron intensa e indiscriminadamente los rayos X comenzaron a presentar enfermedades y lesiones de difícil curación, sobre todo en la piel.

PORTADA

ÍNDICE

Pero desde el punto de vista estrictamente científico, la utilización de los rayos X fue espectacular. Sólo durante 1896 aparecieron más de **mil publicaciones** sobre los rayos X. En la revista vienesa **Neue Freie Presse** de 23 de enero de 1896 aparece el primer anuncio de venta de aparatos de rayos X.

En España los rayos X se introdujeron rápidamente. El 30 de enero de 1896 (a sólo siete días de la Conferencia de Röntgen en Würzburg, el 23 de enero) el Dr. Ricardo Becerro de Bengoa, catedrático de Física en Madrid, dio en *La Ilustración Española y Americana*, la primera referencia del descubrimiento, titulada “La luz del Dr. Röntgen”. Una semana después, el 8 de febrero de 1896, del Dr. **Antonio Espina y Capo** publicó en la misma revista un trabajo titulado “La Radiografía o estudio de los R.X. del Dr. Röntgen”. En Madrid y Barcelona se realizan diversas conferencias, en las que se presentaron y realizaron radiografías, tanto de diversos objetos como humanas. A pesar de algunas críticas (Letamendi definió la radioscopía como “el arte de ejecutar sombras chinescas sin candil”) la radiografía se implantó en España, quizá con más rapidez que en otros países. Estamos en plena Guerra de Cuba, y son muchos los soldados que precisan localización correcta de los proyectiles para su extracción quirúrgica.

A **comienzos del siglo xx** hay en todo el mundo cientos de Institutos médicos dedicados al Radiodiagnóstico, aparecen las primeras revistas de radiología y se fundan Sociedades radiológicas. De momento sólo se estudian correctamente el esqueleto y las masas densas naturales o artificiales (calcificaciones, objetos metálicos), así como los órganos de baja absorción de la radiación (pulmones) (**Fig. 6, 7**). Pronto aparecerán los contrastes artificiales, y se podrán representar numerosas estructuras del organismo humano.

PORTADA

ÍNDICE



Figura 6. Radioscopia tórax realizada en los inicios de la era radiológica.

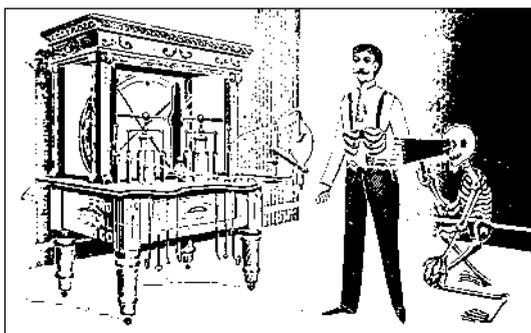


Figura 7. Uno de los muchos dibujos humorísticos dedicados a la naciente radiología.

PORTADA

ÍNDICE

3. RADIODIAGNÓSTICO. EL TUBO DE COOLIDGE. TOMOGRAFÍA. ANGIOGRAFÍA

Los aparatos usados inicialmente para el radiodiagnóstico sólo podían representar los órganos con una absorción de rayos X muy superior o muy inferior a la de las partes blandas, es decir, los huesos y otras masas densas (calcificaciones, cálculos, cuerpos extraños metálicos), o, por el contrario, los pulmones, o el gas contenido en el aparato digestivo. Pronto los radiólogos estudiaron la posibilidad de utilizar contrastes, sustancias de mayor o menor absorción de rayos X que las partes blandas (contrastes positivos o negativos) para introducirlos en vísceras, vasos, conductos, e incluso órganos. Podemos seguir la evolución de la introducción de los estudios con contraste en la tabla siguiente:

Evolución de los estudios con contraste en la Radiología Clásica

- 1895: Roentgen descubre los rayos X.
 - 1895: Primeras radiografías, por Röntgen.
 - 1896: Aplicación de los primeros medios de contraste: bismuto y bario en aparato digestivo y vejiga.
 - 1910: Introducción de catéteres metálicos y sales de yodo. Histerosalpingografía.
 - 1918. Dandy inyecta aire en los ventrículos cerebrales (ventriculografía); Chevalier y Jackson inician la broncografía.
 - 1923: Introducción de Lipiodol en el canal raquídeo (Sicard)
 - 1924: Primeras colecistografías (Graham-Cole)
 - 1927: Primeras arteriografías (Egas Moniz)
 - 1930: Primeras urografías (Roseno-Binz). Primera tomografía (Des Planes y Vallebona)
 - 1937: Castellanos inicia la angiocardiografía.
-

PORTADA

ÍNDICE

En un recorrido apresurado de estos avances técnicos, podemos ver que ya en 1896, al año del descubrimiento de los rayos X, se comienzan a obtener imágenes de **cavidades** mediante la **introducción de contrastes** positivos en el tubo digestivo (primero, sales de bismuto, que por su toxicidad se sustituyen pronto por sales de bario). También se introducen sales de yodo para visualizar la vejiga y aparato urinario.

En 1910 se realizan, mediante contrastes positivos, las primeras radiografías del útero y las trompas (histerosalpingografía). En 1918, Walter Edward Dandy, neurocirujano de Baltimore, introduce aire (contraste negativo) en los ventrículos cerebrales (ventriculografía);

En 1918, Chevalier y Jackson inician la broncografía, sistematizada en 1922 por Sicard y Forestier.

En 1923, Sicard y Forestier, consiguen visualizar el conducto raquídeo mediante introducción de Lipiodol (mielografía)

En 1924, Graham y Cole consiguen las primeras imágenes de las vías biliares (colecistografías) mediante administración de fenoltaleína yodada.

En 1927, la escuela portuguesa del neurocirujano Egas Moniz utiliza compuestos yodados para visualizar las arterias cerebrales (angiografía cerebral), consiguiendo las primeras arteriografías, que pronto se aplicarán a otros órganos.

Durante 1929-30 se practican las primeras urografías de eliminación (Roseno-Binz), con introducción del contraste por vía intravenosa.

En 1930, y mediante una unidad especial de rayos X, Ziedsen des Plantes y Vallebona consiguen las primeras tomografías, que permiten representar una serie de secciones corporales de un espesor determinado.

PORTADA

ÍNDICE

En 1937, Castellanos desarrolla la angiografía y la angiocardiógrafa.

Desde el punto de vista técnico, el mayor avance fue la sustitución del **tubo de gas**, empleado desde Röntgen con más o menos modificaciones, por el **tubo de Coolidge (Fig. 8)**, que presenta un enfoque original, al producir el calentamiento del filamento por un circuito independiente del correspondiente al tubo, con lo cual se puede regular la intensidad de la emisión de electrones (y por tanto, la intensidad de la radiación producida) con independencia del voltaje aplicado. El tubo de Coolidge ha sido la base de la radiología moderna, y ha permitido, al acortar notablemente los tiempos de exposición, un enorme avance en el diagnóstico radiológico.

También desde el punto de vista técnico hay que mencionar el gran avance de otros aspectos de las unidades de rayos X: transformadores, rectificadores, chasis, hojas de refuerzo, películas radiográficas, etc., cuya relación es imposible de enumerar.

PORTADA

ÍNDICE

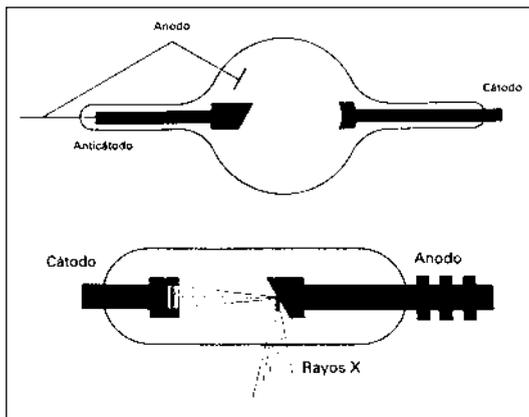


Figura 8. *Uno de los grandes avances del radiodiagnóstico fue la sustitución del tubo de gas (superior) por el tubo de Coolidge (inferior), de alto vacío.*

4. LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL. IMAGEN: SONAR, TERMOGRAFÍA, MEDICINA NUCLEAR

Hasta finalizar la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) el radiodiagnóstico fue prácticamente la única técnica de imagen empleada. Este conflicto supuso, por parte de todos los contendientes, un extraordinario esfuerzo de investigación, realizado, ciertamente, con fines bélicos, pero que al terminar la contienda se aplicará para el desarrollo de muy diversas técnicas, entre ellas el diagnóstico y el tratamiento médico. Recordemos, como ejemplos significativos en este aspecto, la introducción del DDT como insecticida, el inicio de los antibióticos con la penicilina, la aplicación del radar, que será de utilidad para aparatos médicos de termoterapia por alta frecuencia, y la fabricación de la bomba atómica, que en la paz supondrá la aplicación de la energía nuclear a la radioterapia, en concreto con la introducción de la telecobaltoterapia en el tratamiento del cáncer.

En relación con la imagen médica, interesa recordar, en especial,

- la introducción del **sonar** (Sound Navigation and Ranging) por parte de los aliados para la detección de submarinos alemanes; esta utilización de la emisión de un haz de ultrasonidos en el agua para captar su reflexión cuando chocan con algún objeto metálico se traducirá, terminada la guerra, en la técnica de la **ecografía**.
- la introducción de la **termografía** para visualizar y fotografiar imágenes producidas por el calor (radiación infrarroja) que desprenden los objetos, se aplicará igualmente en medicina para la obtención de imágenes termográficas útiles en diversas enfermedades.

PORTADA

ÍNDICE

- finalmente, la fabricación de la bomba atómica, ejemplo de utilización bélica de la **energía atómica**, cuya utilidad terapéutica hemos indicado, iniciará en la postguerra su utilización pacífica mediante el programa “átomos para la paz”, preconizado por el Presidente Eisenhower, constituyendo el origen de una especialidad médica fundamentalmente diagnóstica: la **medicina nuclear**.

Podemos considerar ahora un nuevo período histórico: el que transcurre desde la finalización de la II Guerra Mundial (1945) hasta la implantación de una revolución, esta vez científica y técnica: la informática. Este período intermedio supone el desarrollo de la radiología convencional, la medicina nuclear, le ecografía y la termografía.

5. LA RADIOLOGÍA DESDE LA II GUERRA MUNDIAL HASTA LA INFORMATIZACIÓN

Podemos seguir distintas aproximaciones para considerar la evolución de la radiología convencional desde 1945 hasta la introducción de la informática. Por un lado, el desarrollo de unidades radiológicas específicas para estudios concretos. Por otra, el desarrollo del intensificador de imagen y de otras técnicas de utilización general, como la xerorradiografía. Finalmente, la introducción de nuevas técnicas y nuevas sustancias de contraste.

La generalización de los estudios radiológicos en prácticamente todas las especialidades médicas (**Fig. 9, 10**), permite a la industria presentar una enorme variedad de **unidades radiológicas de utilización general**, con mecanismos y accesorios que facilitan la movilidad de las mesas radiológicas y la obtención de las placas (antidifusores, seriadores, etc.). Pero, por otra parte, se desarrollan **unidades radiológicas** especializadas para

PORTADA

ÍNDICE



Figura 9. *La radiografía permitió la representación de las zonas de mayor absorción a los rayos X (huesos, calcificaciones, cuerpos metálicos).*



Figura 10. *Mediante la administración de contrastes se visualizaron los órganos huecos (aparato digestivo).*

PORTADA

ÍNDICE

radiografía mamaria (mamógrafos o senógrafos) (Fig. 11), dental, angiografía, neurorradiología, tomografía, etcétera.

En 1950 se desarrolla lo que constituye uno de los mayores avances de la radiología convencional: el **intensificador de imagen** (en realidad es un intensificador de la luminosidad de la imagen, no de su tamaño). Esta unidad permite obtener una imagen de tal luminosidad que puede ser percibida en detalle a simple vista, a pesar de su menor tamaño, pero también permite que se pueda tratar electrónicamente y observarse en monitor, grabarse en magnetoscopio, o fotografiar la imagen permitiendo realizar rápidos estudios de grupos (fotoseriación).

Con el intensificador de imagen aparecen las unidades de **telemando**, donde el explorador puede estar separado del en-



Figura 11.
Uno de los diagnósticos especializados más espectaculares ha sido la mamografía, gracias a la introducción del senógrafo.

fermo explorado, con lo que se reduce considerablemente la dosis de radiación absorbida por el explorador y por el paciente.

La introducción de las técnicas de copia de documentos por métodos secos (xerocopias) permite su aplicación a la obtención de imágenes radiográficas, constituyendo la llamada **xerorradiografía**, que permite ahorrar el consumo de placas con sales de plata, y presentar imágenes que muestran conjuntamente densidades óseas y partes blandas. A pesar de sus ventajas, esta técnica tuvo una vigencia limitada.

Durante el período indicado se introducen nuevos contrastes radiológicos: en 1953, el Biligrafín (yodipamina sódica), que se utilizará ampliamente en el estudio de las vías biliares. Entre las nuevas técnicas, hay dos de gran importancia diagnóstica: la técnica de Saldinger para la aortografía abdominal, introducida en 1953, y la colangiopancreatografía retrógrada endoscópica (CPRE), introducida en 1968 por McCune y cols., que permite el estudio de las vías biliares y del conducto pancreático, y que sigue en plena vigencia.

PORTADA

ÍNDICE

6. MEDICINA NUCLEAR. EL GAMMÁGRAFO. EL I-131

Radiactividad natural y artificial

Los últimos años del siglo XIX permitieron abordar el estudio de la estructura última de la materia. El físico francés **Henry Becquerel** descubrió en 1896 que las sales de uranio eran emisoras de una radiación desconocida, a la que denominó “rayos uránicos”. **Maria Sklodowska Curie** (Fig. 12) descubrió (1898), a partir de la pechtblenda, dos nuevos elementos, el polonio y el radio, con emisión de una energía específica, propiedad a la que denominó **radiactividad**. En 1903, **Ernest Rutherford** iden-

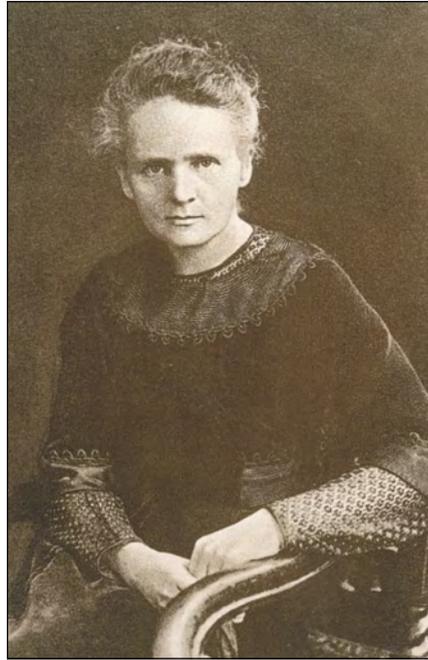


Figura 12. *Marie Curie, descubridora del radio, debe considerarse como la precursora de la medicina nuclear.*

PORTADA

ÍNDICE

tificó en esta emisión radiactiva tres tipos de radiaciones a las que denominó alfa, beta y gamma.

Progresivamente se descubren las partículas elementales a nivel subatómico. En 1897, Thompson identificó el *electrón*. En 1911, Rutherford descubrió el *protón*, y en 1932, Chadwick demuestra la existencia del *neutrón*, cuya existencia había previsto teóricamente Rutherford 17 años antes. Estas tres partículas permiten construir los primeros modelos atómicos, sucesivamente el de **Rutherford** y el de **Bohr**.

Según este modelo atómico, los distintos elementos tienen un núcleo formado por protones y neutrones; el número de protones corresponde al número atómico, y la suma del nú-

mero de protones y neutrones, al peso atómico. Para un determinado elemento pueden encontrarse átomos con distinto número de neutrones, esto es, con distinto peso atómico. A estas variantes de cada elemento, que contienen el mismo número de protones y distinto de neutrones, **Soddy** propuso llamarles *isótopos*. El exceso o el defecto de neutrones en el núcleo hace que muchos de estos isótopos, sean inestables, por lo que se producen reacciones nucleares, con emisión de partículas y/o de radiación, para alcanzar una estructura estable. A este tipo de isótopos se les denominó **radioisótopos** o **radio-núclidos**.

Irene Curie y su marido **Frederic Joliot**, descubrieron, en 1934, la radiactividad artificial. La experiencia consistió en bombardear aluminio y boro con radiación alfa procedente del radio, observando su conversión en fósforo y nitrógeno radiactivos. En su comunicado a la Academia Francesa, el 15 de enero de 1934, indicaron “por primera vez ha sido posible crear la radiactividad en núcleos atómicos estables mediante una causa exterior”. Semanas después, **Enrico Fermi** modificó la experiencia realizando el bombardeo atómico con neutrones, partícula que se convirtió en el proyectil ideal al no ser rechazado por la carga positiva del núcleo.

Durante el Segunda Guerra Mundial los americanos desarrollaron el **Proyecto Manhattan** que culminó en la producción de las primeras bombas atómicas, de uranio y de plutonio. Al final de la Guerra, la aplicación de los conocimientos de física nuclear a la medicina permitieron el inicio de una nueva especialidad médica, la **medicina nuclear**.

La medicina nuclear

Las primeras aplicaciones de la medicina nuclear consistieron en la administración de radioisótopos para realizar medidas

directas de actividad en el tiempo y así hacer registros de función (en especial del metabolismo tiroideo), así como en la elaboración de mapas manuales de la distribución zonal de la actividad del radionúclido administrado.

El verdadero avance de la medicina nuclear consistió en la introducción de una unidad de exploración de gran versatilidad, el **gammógrafo** (Fig. 13), y diversos radioisótopos fabricados y distribuidos a escala comercial, de los que el más usado fue el I-131, que dio origen a numerosos radiofármacos. Con esta técnica bien establecida se popularizó la técnica de la **gamma-grafía**, o imagen de naturaleza funcional de los órganos estudiados.

Los principales estudios gammagráficos de la medicina nuclear (dejamos aparte los estudios funcionales) correspondieron a tiroides, hígado, páncreas, bazo, riñón, placenta, pulmón, diagnóstico tumoral, etc. La extensión de su aplicación diagnóstica crea la Medicina Nuclear como especialidad médica, y establece en los hospitales servicios de Medicina Nuclear, que experi-

PORTADA

ÍNDICE

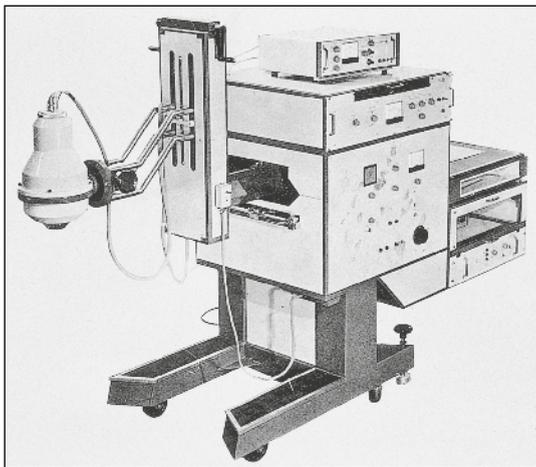


Figura 13.
El gammógrafo ha sido la unidad clave de la primera etapa de la medicina nuclear.

mentarán una nueva ampliación y mayores posibilidades con la introducción de la informática.

7. LA ECOGRAFÍA. LA TERMOGRAFÍA

Otras dos técnicas derivadas de descubrimientos de la Segunda Guerra Mundial van a tener gran importancia en medicina. La primera, y a partir del **sonar**, la utilización de los ultrasonidos en medicina, que se denominará **ecografía**. La segunda, la representación de la emisión de calor por parte del organismo, denominada **termografía**.

Ecografía

En 1880 los hermanos **Pierre y Jacques Curie** descubrieron la posibilidad de producir electricidad en ciertos cristales mediante presiones sucesivas, propiedad a la que denominaron piezoelectricidad. Poco después **Langevin** descubrió el fenómeno inverso; eso es, que con corrientes de alta frecuencia se podían producir, sobre ciertas sustancias, vibraciones mecánicas de alta frecuencia, permitiendo así la producción de ultrasonidos.

Como hemos dicho, durante la Segunda Guerra Mundial los aliados introdujeron el SONAR (Sound Navigation and Ranging) para detectar los submarinos alemanes. Finalizada la contienda, **K.T.Dussik** desarrolló en 1947 una técnica de diagnóstico mediante ultrasonidos: colocaba dos detectores a los lados de la cabeza y medía los perfiles de transmisión, Con ello aseguraba poder detectar tumores, hidrocefalias y otras alteraciones intracraneales.

Diversos grupos comenzaron estudios sistemáticos para una utilización diagnóstica más amplia de la ecografía. Tiene especial importancia el **grupo de Denver**, Colorado, dirigido por

PORTADA

ÍNDICE

Douglas Howry, quien, en 1949 constituyó un equipo para detectar ecos generados en las interfases de los tejidos, obteniendo las primeras imágenes ultrasónicas.

Este mismo grupo completó, en 1954, otro sistema de exploración ultrasónica, donde el sujeto a estudiar se introducía en un baño de agua, obteniendo ya imágenes muy correctas de secciones transversales del organismo. Pronto se mejoró el sistema evitando la sumersión de los enfermos mediante la utilización de un aplicador plástico con el transductor, lo que hizo posible su posterior utilización clínica.

Durante los años siguientes la **ecografía bidimensional** se desarrolló en aplicaciones concretas, especialmente en obstetricia, en oftalmología y en algunas indicaciones de medicina interna, como la detección de cálculos biliares.

En **Europa**, Ian Donald, de Glasgow, inició las aplicaciones de contacto directo, desarrollando en 1957, junto con el médico John Mac Vicar y el ingeniero Tom Brown, el primer aparato de contacto para la exploración abdominal, descrito en la revista Lancet en 1958.

También en **Japón** se estudió la aplicación diagnóstica del ultrasonido, en especial por el grupo de Y. Kikuchi, R. Uchida, K. Yanaka y T. Wagai, que realizaron exámenes abdominales con un aparato con baño de agua, publicando en 1957 un artículo sobre el diagnóstico precoz del cáncer mediante los ultrasonidos.

Un avance importante fue la introducción de la **escala de grises** por Koskoff y Robinson, en 1972, que permitió el diseño y construcción de los ecógrafos modernos. La introducción de la informática revolucionó, como indicaremos, el diagnóstico ecográfico, al permitir nuevas posibilidades, como los estudios Doppler.

PORTADA

ÍNDICE

La progresiva accesibilidad de las unidades, su facilidad de manejo y el hecho de no emplear radiaciones ionizantes, comprobándose, por otra parte, la nula peligrosidad de los ultrasonidos a las dosis utilizadas, promovieron su utilización diagnóstica desde los niveles más elementales de la exploración clínica (se ha dicho que viene a sustituir a “la mano que palpa”) hasta las más sofisticadas técnicas de diagnóstico por imagen.

Termografía

Durante la Segunda Guerra Mundial se desarrolló la posibilidad de visualizar objetos (personas, vehículos, armas) por el calor emitido, en forma de radiación infrarroja, por lo que la técnica se denominó **termografía**.

La construcción de unidades especiales para estudios médicos por diferentes empresas inició su aplicación médica, en especial en estudios de mama, de circulación periférica y de afecciones de la piel (melanoma). Sin embargo, la técnica no tuvo gran expansión, quizá por lo costoso de las unidades en relación a los resultados obtenidos. La introducción de unidades que funcionan mediante placas de cristales líquidos, mucho más económicas, tampoco han potenciado su utilización, que sólo tiene indicaciones muy concretas.

PORTADA

ÍNDICE

8. LA REVOLUCIÓN INFORMÁTICA. LA IMAGEN DIGITAL

La introducción de la informática ha supuesto una transformación total de nuestra sociedad. No es objeto de esta conferencia repasar la historia y bases de la informática; base indicar que su aplicación al diagnóstico ha supuesto un cambio total en las técnicas de estudio, de archivo de la información, de transmisión y de análisis de la misma. Se trata de una revolu-

ción que aun está en sus comienzos, y de la que, cada día, vemos más ilimitadas posibilidades.

Para informatizar el diagnóstico por imagen se requiere la digitalización de los datos obtenidos en los distintos tipos de estudio. La primera técnica de imagen en la que se utilizó este enfoque fue la tomografía axial computarizada (TAC); por eso iniciaremos con ella nuestro examen de las técnicas de imagen tras la revolución informática, para exponer luego la modificación experimentada por las técnicas clásicas (radiología convencional, ecografía, medicina nuclear) y la introducción de nuevas técnicas de imagen (resonancia magnética, PET).

9. LA TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA. ALTA RESOLUCIÓN.
HELICOIDAL. TRATAMIENTO DE IMÁGENES. MESA DE TRABAJO.
ENDOSCOPIA VIRTUAL

La primera aplicación importante de la informática en medicina fue la Tomografía Axial Computarizada, abreviadamente TAC, (o CT, computed tomography), debida al físico americano **Alan M. Cormak**, y al ingeniero inglés **Godsfrey M. Hounsfield**. Ambos recibieron el Premio Nobel de Medicina en 1979.

En 1963, **Cormak** demostró que podía determinar los coeficientes de absorción a los rayos X de una estructura plana midiendo, desde determinado número de direcciones, las variaciones de intensidad de los haces de rayos X transmitidos. Para demostrarlo construyó un emisor experimental, consistente en una fuente de rayos gamma con emisión en haz estrecho, midiendo la intensidad del haz transmitido mediante un contador de Geiger-Müller situado a la salida de la radiación tras atravesar el objeto. Al presentar su trabajo ya sugirió que esta técnica era aplicable a los estudios médicos de imagen.

PORTADA

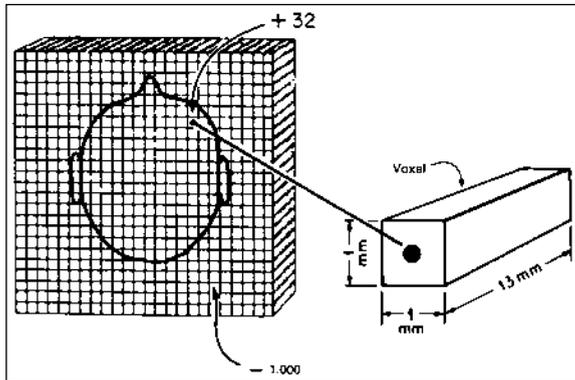
ÍNDICE

Por otra parte, **Hounsfield** era ingeniero de la casa EMI (que hasta entonces sólo había desarrollado actividades discográficas, entre ellas la edición de discos de los *Beatles*). En 1967 inició una investigación sobre reconocimiento de imágenes y técnica de almacenamiento de datos en ordenador. Hounsfield partió de la base de que a partir de las medidas de transmisión de los rayos X a través de un objeto, realizadas en todas las direcciones posibles, se puede obtener una información completa sobre sus constituyentes.

Para ello, y con ayuda de la empresa EMI, Hounsfield construyó, durante los primeros años sesenta, una unidad experimental con una pequeña fuente que permitía emitir un haz de radiación muy fino, cuya intensidad, tras atravesar el objeto de estudio, medía numéricamente mediante un detector de fotoluminiscencia. La unidad permitía girar el conjunto emisor-detector según todos los ángulos, aportando directamente al ordenador los datos de las mediciones. Los ordenadores utilizados inicialmente fueron los de la propia compañía. Hounsfield realizó sus primeros estudios de imagen sobre cerebros de vaca, que compraba en una carnicería cercana.

Para realizar estos cálculos, Hounsfield planteó previamente los fundamentos del método. La zona a estudiar (un corte, o mejor, una “rebanada” del organismo), se considera como una matriz integrada por un conjunto de volúmenes elementales, denominados **voxel** (de volume X-ray element) (**Fig. 14**). La proyección superficial de cada uno de estos volúmenes en el corte se denomina **pixel** (de picture X-ray element). El objetivo era determinar, mediante cálculo, y a partir de los valores de absorción obtenidos externamente para cada una de las diversas angulaciones tubo-detector, el valor de absorción correspondiente a cada uno de los voxels de la matriz. Conocido este valor numérico, se refiere al **pixel** correspondiente, y, mediante

Figura 14.
Los conceptos de Voxel y Pixel son esenciales para la TAC, la Resonancia Magnética y, en general, para la radiología digitalizada.



la aplicación de una escala de grises, se representa el valor obtenido en diversos grados de intensidad blanco-negro, mostrando, en conjunto, la imagen de absorción a los rayos X correspondiente a la zona estudiada.

La revolución de la exploración mediante TAC consistió en que, hasta entonces, las imágenes radiológicas eran todas analógicas (mayor o menor intensidad, en un espectro continuo, del ennegrecimiento de la película radiográfica), mientras que en los estudios TAC ya eran digitales. La primera escala de absorción utilizada, la escala EMI, oscilaba entre valores de -500 a $+500$, la posterior escala Hounsfield, entre -1000 y $+1000$, y en las unidades actuales hay una gama de densidades mucho más amplia.

Demostrada la posibilidad de los estudios de imagen mediante TAC, Hounsfield, ahora director de la sección médica del Laboratorio Central de Investigación de la Compañía EMI, concretó la utilización diagnóstica de la unidad. En 1970 el Dr. **Ambrose** realizó la primera TAC craneal en el Hospital de Wimbledon, Gran Bretaña. La técnica progresó rápidamente, y, en principio, el nombre de la empresa se une al de la técnica: es

el Emi-Scanner (Fig. 15). A partir de 1971, se venden numerosas unidades de TAC craneal en Europa y en Estados Unidos (Fig. 16).

Los estudios se centraron en obtener estudios TAC corporales; de hecho, en 1975, **Ledley y Schellinger** consiguieron realizar la primera TAC de cuerpo entero.

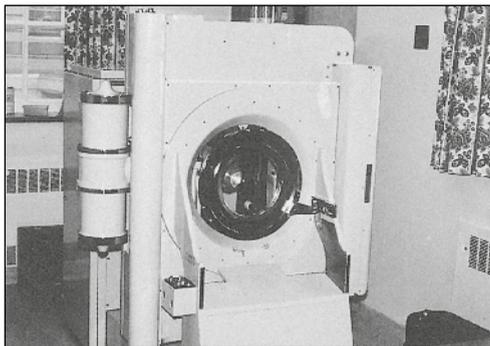


Figura 15.
*Unidad TAC
de la primera generación, apta para
estudios
craneales.*

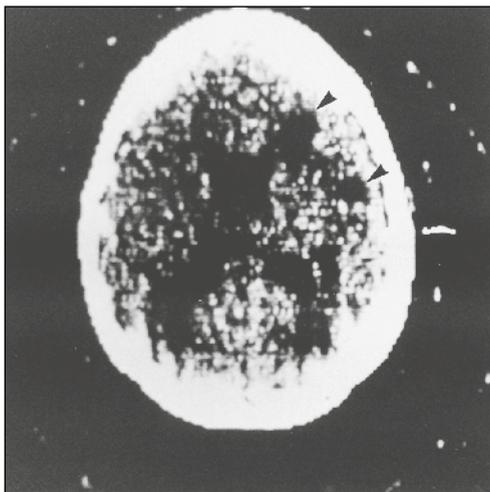


Figura 16. *Imagen craneal inicial mediante TAC.*

PORTADA

ÍNDICE

Evolución de la TAC

- 1963: A.M. Cormak establece las bases del diagnóstico por imagen mediante TAC.
 - 1967-70: G.M. Hounsfield desarrolla la unidad TAC y obtiene las primeras imágenes experimentales.
 - 1970: Primera imagen de TAC craneal por el Dr. Ambrose, en el Hospital Wimbledon.
 - 1975: Ledley y Schellinger realizan la primera TAC de cuerpo entero.
 - Década de los 90: se introduce en la práctica el TAC helicoidal.
-

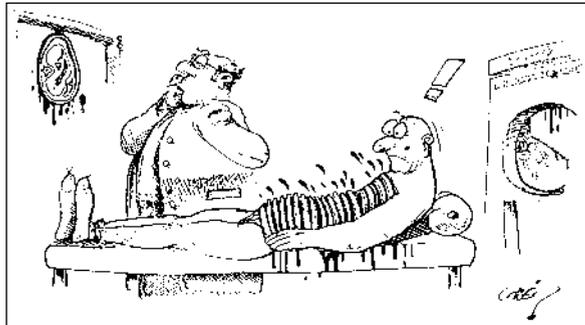
Los estudios TAC pronto dejaron de ser una exploración sofisticada y se han convertido en una técnica radiológica de empleo habitual, instalada en Hospitales y Centros de Salud (Fig. 17). Los avances más importantes se han referido, tanto al perfeccionamiento de las unidades, como a las enormes posibilidades que ofrece el tratamiento informático de los datos (Fig. 18).

Las unidades TAC **han evolucionado** según sucesivas generaciones, que cada vez han suprimido más los iniciales movimientos mecánicos laterales del conjunto tubo-detectores para centrarlos en un movimiento de giro en torno al enfermo de un anillo que integra el tubo y el bloque de detectores. Un úl-

PORTADA

ÍNDICE

Figura 17. *La idea de obtener "cortes" del organismo ha estimulado el humorismo de los dibujantes gráficos.*



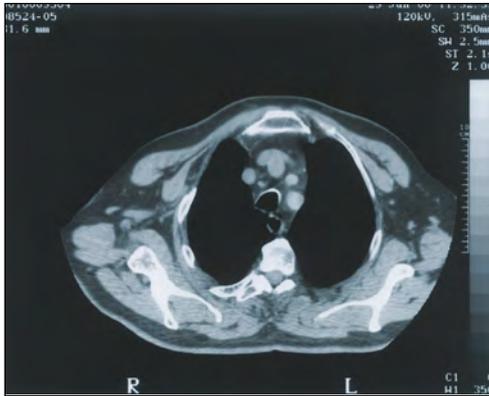


Figura 18. Estudio de tórax mediante TAC. Según la ventana elegida para la representación se puede representar el pulmón o las partes blandas (pared torácica y mediastino).

timo avance ha sido la **TAC helicoidal**, en la que este conjunto tubo-detectores gira de modo continuo en torno al enfermo, situado en la mesa de exploración, que avanza lentamente dentro del anillo de exploración; de esta forma los rayos incidentes describen sobre la superficie de la zona explorada una helicoides. La mayor rapidez de la adquisición de datos con esta técnica permite realizar exploraciones que requieren tiempos cortos de adquisición, como los estudios vasculares, pulmonares, abdominales, pediátricos, etc, en los que han supuesto un enorme avance. Los **contrastes yodados**, al igual que en la radiología convencional, son de gran utilidad en numerosos estudios.

Todos estos avances técnicos han permitido obtener matrices de número cada vez más elevado de pixels; de las iniciales, de 256×256 , se pasó pronto a las de 512×512 , de empleo habitual, consiguiéndose en la actualidad hasta de 1.024×1.024 , lo que permite realizar estudios de **alta resolución**, mostrando adecuadamente finas estructuras anatómicas, como el pulmón, el oído medio e interno, las mastoides o los arcos maxilar y mandibular.

PORTADA

ÍNDICE

Los datos adquiridos en la exploración pueden manejarse en la propia unidad o, más adecuadamente, en las llamadas **work station** o mesas de trabajo. Pueden graduarse los contrastes, establecer densidades (**Fig. 19**) (entre ellas puede realizarse con TAC la densitometría ósea), realizar sustracciones, medir distancias o superficies, visualizar la imagen en planos coroneales a partir de cortes sagitales, mostrar las estructuras en tres dimensiones (imagen 3-D) (**Fig. 20**), etcétera.

Uno de los avances más sorprendentes de la utilización del ordenador en los estudios TAC es la llamada **endoscopia virtual**. La endoscopia consiste en la introducción de una fibra óptica por un conducto, en especial por el aparato respiratorio (traquoscopia, broncoscopia) y por el digestivo, bien por boca (esofagoscopia, broncoscopia), bien por recto (rectoscopia, colonoscopia). Interesa tanto la visualización de las imágenes como la obtención de biopsias, e incluso la realización de ciertas intervenciones. Con la TAC, tras la obtención de una serie de cortes abdominales, podemos representar el tubo digestivo, “navegando” dentro de él y visualizando el tramo a estudiar: estómago, duodeno, resto de intestino delgado, colon, etc. En esta “navegación” podemos incluso observar, a través

PORTADA

ÍNDICE

Figura 19. *La TAC permite, junto a la representación de la zona estudiada, la obtención de estudios densitométricos en áreas concretas.*



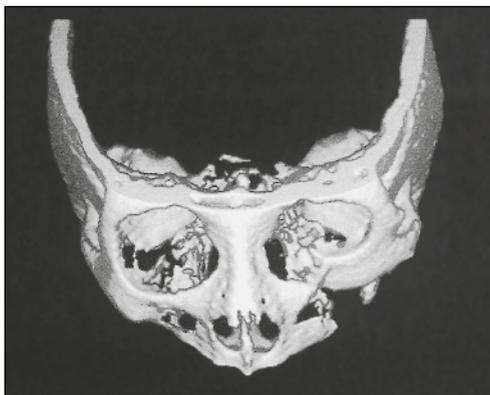


Figura 20. *El tratamiento informático de los datos obtenidos en cortes axiales sucesivos, permite su reconstrucción en 3D.*

de la pared, los órganos contiguos, estudiando así ante una lesión concreta su penetración, la afectación de órganos vecinos, etcétera.

Esta endoscopia virtual puede realizarse, no sólo donde se realiza la endoscopia habitual (respiratorio, digestivo), sino en otras localizaciones donde la endoscopia real no es posible por no existir visibilidad en la zona, por ejemplo, en el sistema circulatorio. Mediante las técnicas de imagen podemos “navegar” dentro de la aorta, comprobando su normalidad o detectando sus posibles estenosis, aneurismas, ateromas, etc., en una zona donde, por la opacidad de la sangre, sería inviable una endoscopia real con fibra óptica.

10. RADIOGRAFÍA CLÁSICA INFORMATIZADA. RADIOLOGÍA DIGITAL

Digitalización. Radiografía intervencionista

El inicio de los estudios mediante TAC supusieron la introducción del concepto y las técnicas de digitalización de la imagen médica. Se considera la **imagen médica digitalizada** como una matriz formada por un conjunto de elementos de volumen

(voxels) que en la imagen se expresan como un conjunto de unidades de superficie (pixels). Este concepto, siempre que cumpla estas condiciones, puede aplicarse a cualquier estudio de imagen, sea la radiología convencional, la TAC, la medicina nuclear o, posteriormente, la resonancia magnética.

La imagen radiológica convencional puede, o convertirse en imagen digitalizada, u obtenerse directamente de esta forma (**radiología digitalizada**) con métodos especiales, por ejemplo empleando, en vez de placas radiográficas habituales, láminas de fósforos reutilizables. La imagen así obtenida puede observarse directamente en monitor, puede almacenarse en soportes magnéticos u ópticos, puede transmitirse por redes locales, por ejemplo, dentro del hospital al Servicio solicitante de la exploración, y puede transmitirse a distancia.

Además, la imagen digital puede tratarse informáticamente, con muchas de las posibilidades indicadas para la “mesa de trabajo” de la TAC, y, en especial, puede **adicionarse a otras imágenes** componiendo estudios de extraordinaria capacidad diagnóstica.

Ventajas de la imagen radiológica digitalizada.

- la imagen se puede tratar mediante técnicas informáticas
 - se puede almacenar en soportes magnéticos u ópticos
 - se puede transmitir por redes locales o a distancia
 - se puede acumular a otras imágenes, o a imágenes obtenidas por otras técnicas.
-

La imagen digital se aplicó muy pronto a los estudios vasculares en forma de **angiografía digital**, porque permite la aplicación de las técnicas de sustracción, de gran importancia para el diagnóstico de las lesiones de los vasos. Precisamente el enorme desarrollo de la exploración vascular ha permitido

integrar el acto exploratorio con técnicas intervencionistas locales (**radiología intervencionista**), que constituye una auténtica especialidad radiológica que tiene otras muchas indicaciones.

Una derivación especial de la introducción de la informática en la radiología clásica ha sido la **densitometría ósea**, técnica que mediante una emisión de rayos X de doble fotón permite determinar el contenido en calcio de huesos representativos (vértebras lumbares, cuello de fémur), convirtiéndose ya en una exploración de rutina cara al control de la osteoporosis.

11. LA MEDICINA NUCLEAR DESPUÉS DE LA INFORMÁTICA. SPECT Y PET

Indicamos que la imagen gammagráfica comenzó con la introducción de una unidad de exploración, el gammagrafo, y, sobre todo, un radionúclido, el I-131. De la misma forma podemos decir que esta segunda fase de la medicina nuclear hay una unidad de exploración básica, la **gammacámara** o Cámara Anger, y un radionúclido, el **Tc-89m**, base de numerosos radiofármacos.

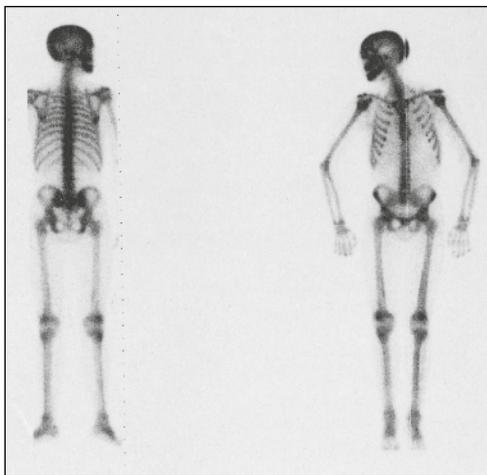
Con este instrumental la medicina nuclear permite realizar estudios morfológicos y funcionales. Los primeros, siguen siendo de base funcional. Los estudios funcionales pueden ser, fundamentalmente, de movimiento, de función excretora, metabólicos compartamentales y no compartamentales, y de base inmunológica.

En cuanto a los estudios morfológicos (siempre de base funcional), cubren todo el ámbito de la patología: gammagrafía ósea (**Fig. 21**) (en especial para la detección precoz de metástasis), corazón (determinación de la viabilidad miocárdica), estudios de SNC, aparato digestivo, endocrino, estudios oncológicos, etcétera.

PORTADA

ÍNDICE

Figura 21.
*Gammagrafía ósea
de cuerpo completo,
en proyecciones posterior
y anterior,
con hipercaptación
por osteomalacia,
que muestra claramente todo el es-
queleto
(Dr. Carreras).*



Dos tipos de estudios tienen importancia especial dentro de la actual medicina nuclear: la **SPECT** (Single photon emission computed tomography) y la **PET** (Positron Emission Tomography).

La **SPECT** es una técnica de tomografía mediante medicina nuclear. La disposición de una o varias cámaras Anger en forma giratoria en torno a la zona explorada, permite obtener imágenes por cortes de la misma, mostrando claramente las zonas de interés.

Por otra parte, la técnica **PET** se basa en la introducción en el organismo de radioisótopos emisores de positrones, que inmediatamente a su salida del átomo emisor se aniquilan con un electrón del medio y emiten dos radiaciones gamma en un ángulo de 180° (**Fig. 22**). La técnica **PET** es de gran interés en estudios cerebrales, cardiacos y, sobre todo, para el diagnóstico oncológico, en el que se utiliza en especial el radiofármaco fluoro-18-desoxiglucosa (FDG), muy selectivo para la determinación de masas tumorales.

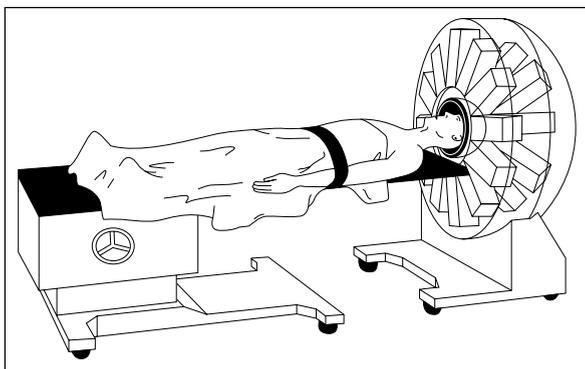


Figura 22.
*Esquema
del funcionamiento de la
PET
(tomografía
por emisión
de positrones).*

12. RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR (RM)

La Resonancia Magnética Nuclear (RNM, o RM) es un método de diagnóstico por imagen no radiológico, que desde su introducción en 1976 ha resultado ser de extraordinaria utilidad, inicialmente en estudios de sistema nervioso central y de aparato locomotor, donde ya constituye la primera elección en estudios de imagen, pero también en otras numerosas indicaciones.

Felix Bloch, de la Universidad de Stanford, y **Edward M. Purcell**, de la Universidad de Harvard, establecieron, en 1946, las bases experimentales de la espectroscopia mediante resonancia magnética, por lo que recibieron el Premio Nobel en 1952.

Utilizando esta técnica, **R. Damadian** demostró, en 1972, que los tejidos cancerosos de ratas y de humanos tenían diferencias significativas en los tiempos de relajación T1 y T2 respecto a los tejidos sanos. Por ello sugirió la posibilidad de utilizar la Resonancia Magnética Nuclear para el estudio por imagen no radiológico del organismo humano.

Fue fundamental la aportación de **Lautebur**, en 1973, al proponer para la Resonancia Magnética el método de reconstruc-

ción de imagen mediante computador aplicado en los estudios TAC, a partir de los valores obtenidos en las diversas proyecciones.

Diversos grupos de investigadores intentaron obtener imágenes de algunas zonas del organismo mediante Resonancia Magnética. La primera fue obtenida por Mansfield y Maudsey, en 1976; se trataba de un dedo de un sujeto vivo. En 1977 se obtuvieron las primeras imágenes de tórax (Fig. 23, 24) y craneal (Fig. 25), y en 1978, la primera de abdomen.

El **fundamento** de la resonancia magnética nuclear es el hecho de que ciertos núcleos atómicos, (en medicina trabajamos fundamentalmente con el protón, núcleo del átomo de hidrógeno), colocados dentro de un fuerte campo magnético, pueden ser excitados por una emisión de radiofrecuencia,

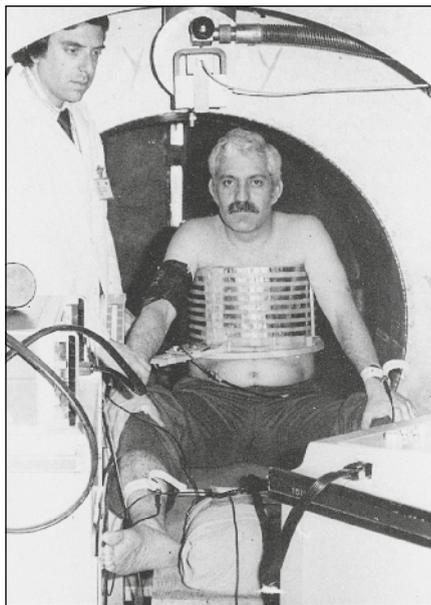


Figura 23.
*Realización de la primera
Resonancia Magnética,
el 11 de mayo de 1977,
sobre el Dr. Damadian.*

PORTADA

ÍNDICE

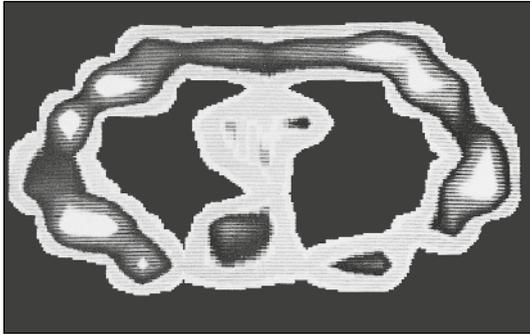


Figura 24. *Primera imagen de Resonancia Magnética, torácica, obtenida en 1977. El tiempo de realización fue de 4,5 horas.*



Figura 25. *Una de las primeras imágenes cerebrales obtenidas mediante Resonancia Magnética con una unidad FONAR de imán fijo.*

PORTADA

ÍNDICE

cuya energía absorben (**resonancia**), emitiéndola posteriormente (**relajación**), también en forma de una onda de radiofrecuencia, que puede ser captada desde el exterior mediante una antena. Se puede determinar la emisión de cada uno de los voxels de la zona estudiada, y considerar la intensidad de emisión según diversos parámetros (por ejemplo T1, T2, densidad protónica, etc), para representar finalmente estos valores en una escala de grises, según la técnica informática indicada

para la TAC, obteniendo finalmente una imagen de la zona estudiada.

La resonancia magnética, pues, no es un método radiográfico, sino una información de la resonancia-relajación de los diversos tejidos orgánicos (Fig. 26). Desde el principio de su utilización se comprobó su extraordinaria capacidad de representar las partes blandas, destacando en positivo (mayor intensidad de señal) las de gran contenido en átomos de hidrógeno; especialmente el agua, la grasa, y por tanto todos los tejidos orgánicos que las contienen en mayor o menor medida, y al contrario, destacando en negativo (poca intensidad de señal) el hueso y las calcificaciones, los tendones, los meniscos, los músculos, etc. Estas propiedades han hecho de la resonancia magnética el método ideal de estudio de las partes blandas, siendo indispensable para sistema nervioso central (Fig. 27, 28), aparato locomotor [en especial columna (Fig. 29) y articulaciones], imponiéndose cada vez más para otras localizaciones: abdomen, pelvis (Fig. 30), mama, etcétera.

Las imágenes de resonancia magnética en T1 pueden potenciarse con una sustancia de contraste derivada del gadolinio.

PORTADA

ÍNDICE



Figura 26.
*Unidad
de RM de tipo
superconductor.*

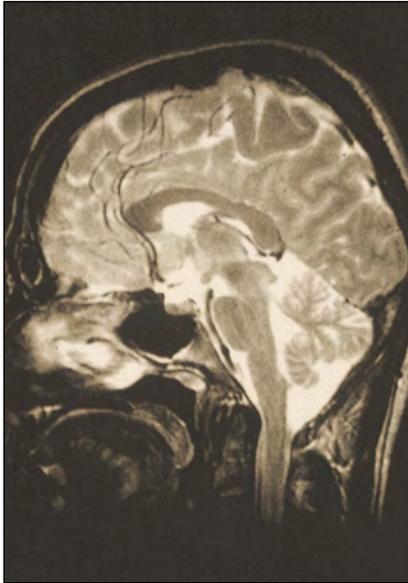


Figura 27. *Imagen cerebral sagital mediante RM. La calidad de la imagen la asemeja a una lámina anatómica.*

PORTADA

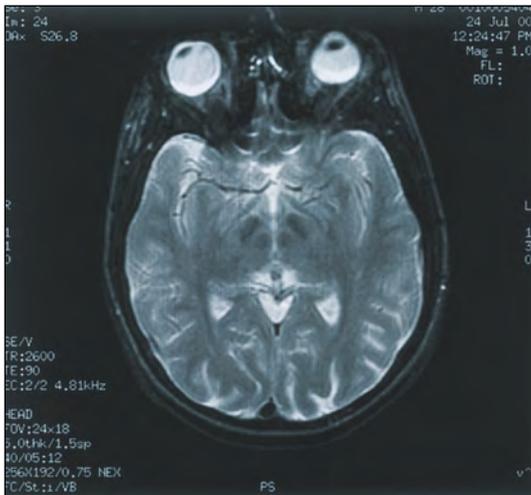


Figura 28. *Imagen cerebral axial mediante RM.*

ÍNDICE

Figura 29. Imagen de columna mediante RM. Se visualiza tanto la estructura de la columna (vértebras, discos intervertebrales, ligamentos) como la médula espinal y líquido cefalorraquídeo.



PORTADA

Figura 30. Resonancia Magnética de la pelvis.



ÍNDICE

Por otra parte, la posibilidad de representación de la sangre circulante, bien en negativo, por no emitir señal al haber salido de la zona excitada en el momento de captar la señal correspondiente al corte estudiado, bien con mínimas cantidades del contraste indicado, ha dado un enorme impulso a los **estudios cardiovasculares-RM**, mediante los que se tiene una representación de corazón y vasos sin ningún tipo de intervención y, por tanto, exenta de los riesgos de la angiografía convencional.

13. ECOGRAFÍA. INFORMATIZACIÓN. EL EFECTO DOPPLER

Los avances técnicos en la llamada era informática permitieron disponer, primero, de ecógrafos que representaran la imagen en “**tiempo real**”, y, posteriormente, aplicar el **efecto Doppler** al estudio del flujo vascular.

El efecto Doppler, descubierto por el físico austríaco J.C. Doppler en relación a las ondas sonoras, e igualmente aplicable a los ultrasonidos, indica que si una onda incide sobre un objeto en movimiento, se refleja con una variación de frecuencia que es directamente proporcional a la velocidad del movimiento, aumentando si el objeto se mueve hacia el emisor, y disminuyendo si el objeto se aleja del emisor. En la aplicación clínica del Doppler, la medición de la velocidad de la sangre en los vasos, la emisión ultrasónica al vaso es reflejada por los hematíes.

Las primeras unidades tipo Doppler se construyeron para valorar el flujo hemático de las cavidades cardiacas y de los vasos carotídeos. Posteriormente, al ampliarse la sensibilidad de los equipos, ya se puede estudiarse el flujo en la práctica totalidad de los vasos del organismo. La técnica se denomina Doppler pulsado, y con ella valoramos, mediante representación en color, el flujo hemático de los vasos visibles en eco-

PORTADA

ÍNDICE

grafía. Las unidades que permiten realizar esta técnica se denominan unidades **Duplex** (Fig. 31).

Otro aspecto a considerar es el de la **popularización** de las exploraciones ecográficas, de absoluta necesidad para el control del embarazo (Fig. 32), y de extensas indicaciones en cardiología (ecocardiografía), aparato digestivo, urología, tiroides, mama, etcétera.

14. TRATAMIENTO DE LA IMAGEN. TRANSMISIÓN DE LA IMAGEN. SISTEMA PACS.

Desde la introducción de la digitalización de las imágenes se vio la posibilidad de sustituir el archivo de películas radiográficas por un archivo informático, lo cual permitiría la búsqueda y estudio de las imágenes mediante ordenadores personales, y estaciones de trabajo con monitores de calidad adecuada. Este sistema se denomina **PACS**, o Picture Archive and Communication System (Sistema de Archivo y comunicación de imágenes). Consecuencia directa del sistema PACS es la transmisión de imágenes a distancia, lo que se denomina **telerradiografía**.

PORTADA

ÍNDICE

Figura 31.
*Ecografía Doppler:
se muestra a color
el movimiento
de la sangre
en los vasos*
(Dr. F. Martínez).





Figura 32.
Ecografía obstétrica: perfil fetal a las 19 semanas. Se aprecia la cabeza, con buena visualización de cara fetal-frente, nariz y boca; el tórax y abdomen (Dr. J. Sabaté).

La implantación definitiva de este sistema permitirá solicitar, transmitir, recibir y estudiar las imágenes de cualquier estudio de cualquier enfermo desde cualquier parte del mundo unida a la red, tanto para su atención clínica directa, como para la realización de estudios e investigaciones médicas. La dificultad del sistema PACS, en la actualidad, consiste en el costo inicial de las instalaciones, aunque este costo se amortiza rápidamente por la sustitución de la película radiográfica, a base de sales de plata, por la imagen virtual almacenada en ordenador. La creciente rapidez de las comunicaciones informáticas, especialmente vía Internet, contribuirá, sin duda, a la rápida difusión de estas técnicas.

PORTADA

ÍNDICE

15. IMAGEN MÉDICA DEL FUTURO. OTROS TIPOS DE ENERGÍAS.

LA "PRUEBA ÚNICA". EL DIAGNÓSTICO AUTOMATIZADO

Una última reflexión al tratar de la imagen médica debe referirse a cuales serán los próximos avances técnicos previsibles. Esta previsión debe realizarse desde distintos puntos de vista.

En primer lugar, la comprobación del valor real de estas técnicas en el diagnóstico médico obliga, cada vez más, a la **extensión de su aplicación práctica**. Técnicas como la ecografía, la TAC y la Medicina Nuclear son, hoy día, exploraciones rutinarias. La Resonancia Magnética lleva camino de serlo en breve tiempo. Otras técnicas, como los estudios mediante PET, han confirmado su valor en indicaciones concretas, y aun son exploraciones selectivas, pero su uso irá en aumento en un futuro próximo.

Por otra parte, el hecho de que frente a la exploración única de principio de siglo, la radiografía, dispongamos ahora de múltiples posibilidades de estudios de imagen, obliga a establecer, para cada indicación, una serie de aplicaciones sucesivas de técnicas de estudio ordenadas según los resultados que se vayan obteniendo. Los llamados **algoritmos de imagen** son, en la actualidad, completamente necesarios, y se encuentran totalmente establecidos según la información diagnóstica solicitada.

Otro punto de vista es considerar el **perfeccionamiento de las técnicas actuales**. Por supuesto, muchos son los avances en estudio para aplicar en un futuro próximo. Podríamos ofrecer una relación de las técnicas en estudio o en perfeccionamiento de cada una de las modalidades citadas. Por poner un ejemplo concreto, la resonancia magnética cardiovascular alcanzará en breve lo que los cardiólogos y cirujanos cardiovasculares entienden por “prueba única”, consistente en una sola exploración que proporcione todos los datos necesarios para el tratamiento o la intervención del enfermo, obviando así la multiplicidad de estudios actuales necesarios (ecocardio, medicina nuclear, angiografía, etc). También dispondremos de programas que, con las actuales unidades de Resonancia Magnética específicas para el diagnóstico cardiovascular, proporcionaran desde una visualización completa de las coronarias, hasta los datos funcionales

PORTADA

ÍNDICE

necesarios para el planteamiento operatorio. Los avances en ecografía, en TAC, en medicina nuclear, etc., continuarán siendo espectaculares.

Podríamos preguntarnos, por otra parte, **si se prevén otras técnicas** de representación de la imagen del organismo humano. La respuesta es negativa. Hay intentos parciales, unas veces anecdóticos, otras muy limitados, de conseguir nuevas formas de imagen del organismo humano. La fotografía Kirlian, la holografía, la magnetografía, en especial cerebral o cardíaca, incluso la radiación láser empleada en el diagnóstico mamario, son sólo técnicas de muy escaso interés que hoy por hoy no suponen ningún camino especial en el terreno de la imagen médica, ni se prevén como fuente de descubrimientos importantes.

El camino que se sigue en los estudios de imagen es el perfeccionamiento en el **tratamiento de los datos** obtenidos por las distintas exploraciones. Veremos, por supuesto, el avance de las actuales aplicaciones de archivo, tratamiento, comunicabilidad por redes internas y externas, fusión de imágenes de distintos estudios (**Fig. 33**), etc. Esperamos mucho del **diagnóstico automático** a partir de las imágenes, mediante el cual, por el análisis informatizado de los patrones patológicos identificados en la imagen por el ordenador, podrán obtenerse en orden de frecuencia las probabilidades diagnósticas a considerar. Esta forma de diagnóstico ya está muy avanzada en algunas localizaciones, como en la mama, y no cabe duda que facilitará extraordinariamente el quehacer médico habitual.

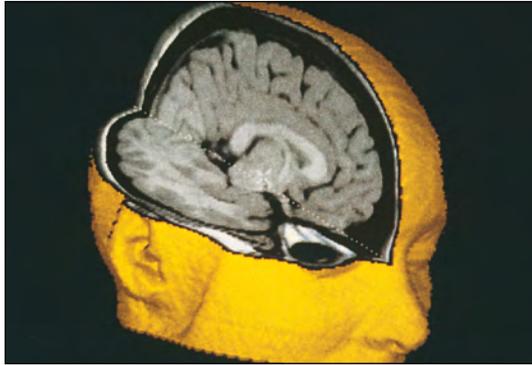
16. CONCLUSIÓN

Durante el siglo xx, la imagen médica ha experimentado un cambio radical. La radiología que llamamos convencional fue

PORTADA

ÍNDICE

Figura 33.
La “work station”
proporciona
la posibilidad
de combinar datos
de distintos medios
de exploración
por la imagen,
o de destacar las zonas estudia-
das
según distintos
abordajes.



prácticamente la única técnica de diagnóstico por imagen hasta el final de la Primera Guerra Mundial. A partir de 1945 se desarrollan nuevas técnicas de imagen, introduciéndose fundamental la ecografía y la medicina nuclear. La segunda revolución de este siglo, la informática, a partir de la década de los sesenta, nos aportará la TAC, la Radiología Digitalizada, la Resonancia Magnética, la Medicina Nuclear de la gammacámara y el PET, y la Ecografía en tiempo real y con estudios Doppler. La informática, por último, nos proporciona la posibilidad del sistema PACS, de archivo y comunicación de las imágenes, y, dentro de poco, el diagnóstico automatizado en algunos tipos de estudios.

Se dice que una imagen vale más que mil palabras. Puede ser cierto, pero la imagen médica, con todo lo que técnicamente supone, es algo mudo, cerrado, inexpresivo. Hace falta interpretarla, valorar cuidadosamente los límites de la normalidad, y estudiar detenidamente los hallazgos patológicos que muestre, comparándolos con los datos obtenidos de la historia clínica.

Por eso esta lección inaugural debe finalizar con un doble homenaje. Primero, a los clínicos y especialistas que saben qué exploraciones solicitar y cual es el valor de los datos obtenidos

PORTADA

ÍNDICE

a partir de las técnicas de imagen. Segundo, a los especialistas de la imagen y a los que utilizan habitualmente alguna de sus técnicas, porque aportan lo más importante para un correcto diagnóstico: su inteligencia, que, basada en la formación y en la experiencia, valora los datos patológicos para llegar a conclusiones válidas cara al diagnóstico clínico del enfermo concreto. Esta conjunción entre técnica y profesionalidad es la garantía de que los recursos diagnósticos alcanzan el fin que se pretende: colocarlos al servicio de la curación del enfermo, que es, siempre, el objetivo básico de la ciencia médica.

PORTADA

ÍNDICE

LECCIONES INAUGURALES DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA

La autonomía universitaria

Curso Académico 2013-2014

ÁNGEL M. LÓPEZ Y LÓPEZ

Ideales y actitudes para la Universidad de Hoy

Curso Académico 2012-2013

PILAR LEÓN-CASTRO ALONSO

Paradojas del desarrollo humano

Curso Académico 2011-2012

JESÚS PALACIOS GONZALEZ

Viaje a los confines de la tabla periódica.

Átomos ligeros, átomos pesados y energía nuclear

Curso Académico 2010-2011

ERNESTO CARMONA GUZMÁN

La universidad del siglo XXI en la sociedad de la comunicación y del conocimiento

Curso Académico 2009-2010

MANUEL ÁNGEL VÁZQUEZ MEDEL

Concepto de Botánica.

Consideraciones sobre los reinos

Curso Académico 2008-2009

BENITO VALDÉS CASTRILLÓN

Las motivaciones de la investigación científica

Curso Académico 2007-2008

MANUEL ZAMORA CARRANZA

Palabras y silencios

Curso Académico 2006-2007

FRANCISCO GARCÍA TORTOSA

Ruptura vanguardista, desintegración y nostalgia del Arte

Curso Académico 2005-2006

EMILIO GÓMEZ PIÑOL

Globalización y orden internacional

Curso Académico 2004-2005

JUAN ANTONIO CARRILLO SALCEDO

El proceso de integración de España en la Unión Europea y en la Unión Económica y Monetaria Europea (UEME)

Curso Académico 2003-2004

CAMILO LEBÓN FERNÁNDEZ

La ingeniería aeronáutica en la Universidad de Sevilla

Curso Académico 2002-2003

ANTONIO BARRERO RIPOLL

Cambios y conocimiento

Curso Académico 2001-2002

RAFAEL LÓPEZ POLANCO

La imagen médica del cuerpo humano

Curso Académico 2000-2001

JUAN RAMÓN ZARAGOZA RUIBIA

De nuevo, la lección primera.

Sobre el concepto de la asignatura

Curso académico 1999-2000

MANUEL OLIVENCIA RUIZ

La ruptura educativa. De la mundialización a la localización en la acción educativa

Curso académico 1998-1999

LUIS NÚÑEZ CUBERO

Elogio de la radicalidad

Curso académico 1997-1998

JOSÉ VILLALOBOS

Las emociones cotidianas: De la biología a la psicología social

Curso académico 1996-1997

SILVERIO BARRIGA JIMÉNEZ

La insulina: De la biología a la patología molecular

Curso académico 1995-1996

RAIMUNDO GOBERNA ORTIZ

Un problema clásico. El número Π

Curso académico 1994-1995

JOSÉ CORTÉS GALLEGO

La litografía, ayer y hoy

Curso académico 1993-1994

MIGUEL GUTIÉRREZ FERNÁNDEZ

Catálogo completo de nuestras publicaciones en la página web

<<http://www.editorial.us.es>>

PORTADA

ÍNDICE