

El Cine como Instrumento de Investigación y Docencia en Cardiología

Dr. Ysmael Alvarez- Rodríguez

**Laboratorio de Investigación Biomédica, Servicio de Medicina Interna III,
Hospital General Universitario "Gregorio Marañón" Cantoblanco, Madrid, España**

A) DESDE LOS COMIENZOS DEL CINE CIENTIFICO HASTA EL SEPTIMO ARTE

Desde el principio de la historia del hombre la transmisión oral y la representación de imágenes preceden al lenguaje escrito. Son muy numerosas las representaciones anatómicas y de patología traumática que se pueden observar en el arte rupestre de culturas muy diferentes.

Tan pronto como se empieza a desarrollar el lenguaje escrito se producen también textos sobre la enfermedad y los procedimientos para poder remediarla. Una preocupación constante por la vida, la muerte y la enfermedad se aprecia en las inscripciones, pinturas y jeroglíficos que se han podido conservar de Mesopotamia, Egipto, Grecia, Roma, el Lejano Oriente y las civilizaciones precolombinas de América. En muchas de ellas es clara la intención docente, pero casi siempre se trata de información privilegiada, reservada a los círculos de poder, en la que se solapan conocimientos secretos, arte y magia.

Habrían de transcurrir muchos siglos para que apareciesen los primeros incunables, se perfeccionase la imprenta y se produjese el desarrollo científico y la industria artesanal adecuada capaces de posibilitar instrumentos y procedimientos que pudiesen servir de auténticos apoyos docentes a la medicina y otros conocimientos en sus respectivas épocas.

El libro es la primera memoria externa del hombre, con capacidad suficiente para acumular y transmitir conocimientos en texto y en imagen estática. Desde la Edad Media hasta la época de la Ilustración sufre importantes modificaciones: deja de ser un privilegio restringido para reyes, monjes y cortesanos eruditos, se constituye como soporte enciclopédico de todo el conocimiento y empieza, finalmente, a ser accesible a un sector cada vez más amplio de población, transformándose además en un vehículo de entretenimiento.

Palabra, pizarra, cuadernos y libros seguirán siendo hasta el siglo XIX los útiles exclusivos del profesor. Este siglo habría de traer nuevas posibilidades para la comunicación y la docencia.

Los antecedentes más remotos de equipamientos que habrían de ser importantes complementos para la docencia son, quizá, el de la cámara oscura de Leonardo Da Vinci, en el siglo XV y el de la Linterna Mágica del jesuita Atanasius Kircher en el siglo XVI.

Durante los siglos XVI, XVII y XVIII se habrían de perfeccionar los instrumentos ópticos, que permitiesen desarrollos auténticamente relacionados con el mundo del audiovisual que hoy conocemos y en esta historia la medicina y los médicos tuvieron un especial protagonismo.

Fueron físicos y médicos los que descubrieron el fenómeno de persistencia de las imágenes en la retina. Las primeras observaciones documentadas, a este respecto, fueron las presentadas por el caballero D'Arcy en 1765, en la Academia de Ciencias de París. Estudió el tiempo necesario para que una brasa ardiendo fijada en una rueda girando dejase de percibirse aislada para pasar a verse como un círculo. Muchos años después, un médico inglés, Peter Mark Roget (1779-1869) presentó, en 1824, en la Royal Society sus observaciones sobre la ilusión óptica que se produce al mirar el movimiento de los ejes de una rueda de carro a través de una valla. Analizó el fenómeno, lo reprodujo experimentalmente con un disco de cartón perforado y una tira de papel móvil y utilizó esta ilusión para calcular la duración de las impresiones de las

imágenes en la retina. Otros dos médicos ingleses, William Harvey Fitton (1780 -1861) y John Ayrton Parish (1785-1856) se disputaron en aquella época la invención del Taumatropo. Juguete muy popular que consiste en un disco con un dibujo en el anverso y otro en el reverso que al hacerlo girar perpendicularmente al plano del papel permite observar cómo se superponen las dos imágenes.

Fisiólogos y ópticos fueron los que demostraron la posibilidad de generar la ilusión de movimiento. Esto fue descubierto de forma independiente y simultánea, por un fisiólogo belga, Josef Antoine Ferdinand Plateau (1801 -1883), y un matemático austríaco, Simon R. Von Stampfer (1792-1864). En el mismo año ,1833, Plateau dio a conocer su "Fenaquistiscopio" y Stampfer su "Estroboscopio". Con estos inventos nacía el cine de dibujos animados. ([Figura 1](#))

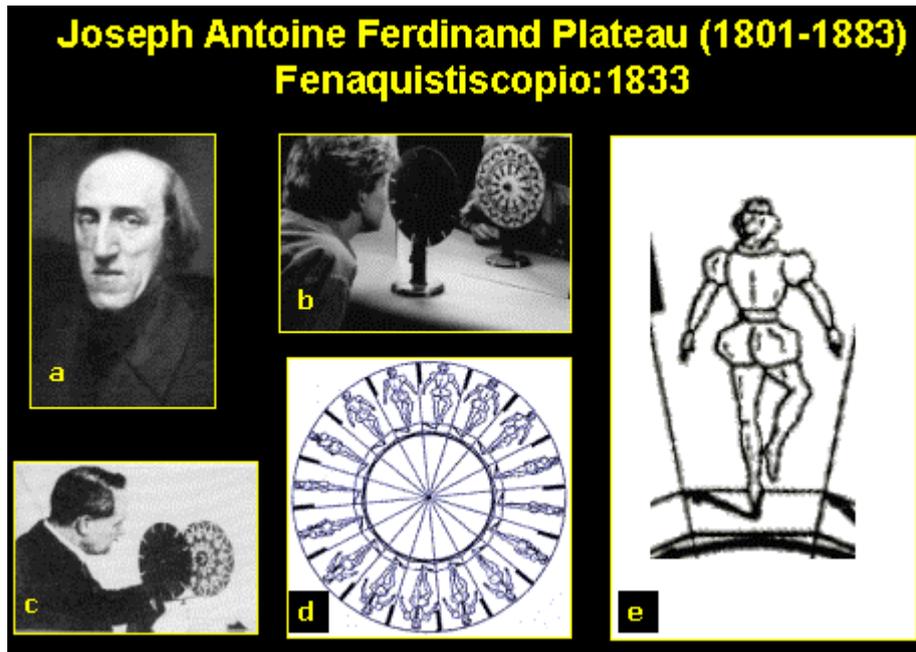


Figura 1: Plateau en Bruselas y Stampfer en Viena descubrieron simultánea e independientemente la posibilidad de generar la ilusión de movimiento e inventaron los primeros dispositivos para observarlo: el fenaquistiscopio y el estroboscopio. a) Plateau. b) y c) Fenaquistiscopio de espejo y de doble disco. d) y e) Disco del bailarín. Iconografía tomada de:
a y b. http://www.filmfestival.be/pages/Bio_Plateau.htm
c. Tosi V. El cine antes de Lumière. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1993. d y e. <http://www.precinemahistory.net/1830.htm>

El primero que aplicó estos inventos en la docencia de la medicina fue el fisiólogo checo Jan Evangelista Purkinje (1787-1869), perfeccionó un estroboscopio al que llamó "Forolit" y dibujó distintos discos para mostrar a sus alumnos diversos movimientos, como el de los latidos del corazón. ([Figura 2](#), [Video 1](#))

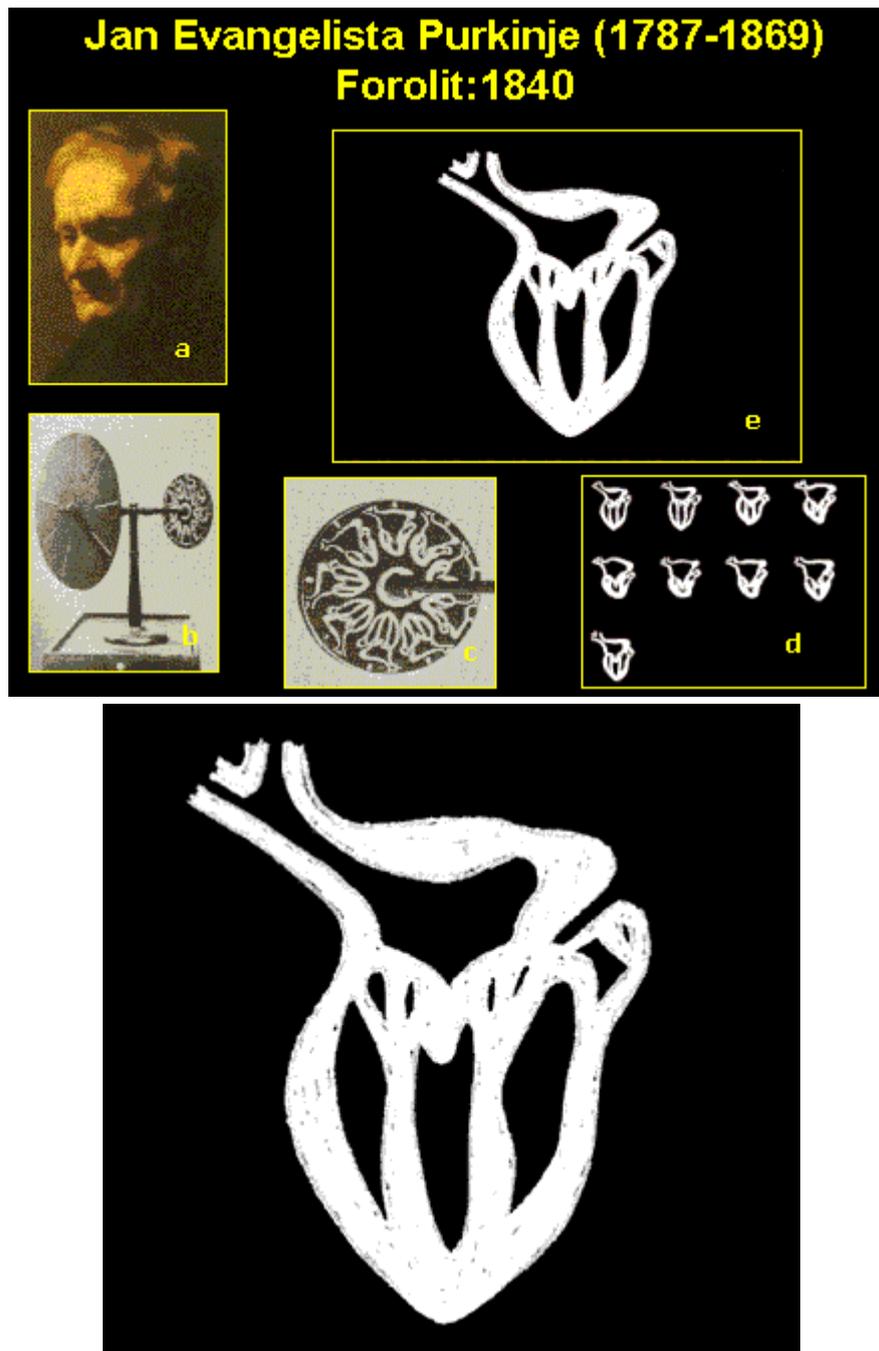


Figura 2 y Video 1: Purkinje (a) fue el primer profesor que desde su cátedra de Bohemia hizo cine de animación para la docencia. Perfecciono el estroboscopio de Stampfer construyendo, primero (b) el forolit y después el kinesiscopio combinando con una linterna mágica para proyectar en gran pantalla a sus alumnos los movimientos de los organismos vivos. Recreamos a partir de los dibujos de su disco del corazón (c y d) una de las secuencias de cine animado que pudieron contemplar sus discípulos muchos lustros antes de que naciera el cine (e). Iconografía tomada de: (a). <http://www.sobiografias.hpg.com.br/JohbEvan.html> (b). Tosi V. Cinematography and scientific research. Paris: UNESCO, 1977. (c), (d) y (e). Animación realizada por Y. Alvarez-Rodríguez a partir de los dibujos de la fotografía del disco original de Purkinje.

Todo ello sucedía en una época próxima, pero anterior al desarrollo de la fotografía por Joseph Nicéphore Niepce (1765-1833) y Louis Jacques M. J. M. Daguerre (1789-1851) y en la que, con la revolución industrial se estaban produciendo, casi al mismo tiempo, el descubrimiento del telégrafo por Samuel Finley Breese Morse (1791-1872), la luz eléctrica y el fonógrafo, por Thomas Alva Edison (1847-1931) y con todo ello la posibilidad de grabar y reproducir imágenes y sonidos y de transmitir sonidos.

Los descubrimientos e inventos fueron aprovechados pronto como divertimento, pero sus primeras aplicaciones tuvieron siempre intención científica y docente y en buena parte de los casos directamente

relacionadas con la medicina. El mejor ejemplo al respecto es el de las extraordinarias aportaciones de Étienne Jules Marey (1830-1904). Marey fue un médico que dedicó toda su vida al estudio del movimiento (Figura 3). Diseñó y construyó numerosos equipos para analizar los movimientos humanos y animales: sistemas gráficos neumáticos (1870), fusil fotográfico (1882), cronofotógrafo de placa fija (1884), cronofotógrafo de papel (1888). Aplicó sus inventos al estudio de los movimientos del hombre, el vuelo de las aves, el movimiento de los peces y de los seres microscópicos. Marey inventó el cine y muchas de sus técnicas especiales, como la cámara de espejos, que más adelante sería la base de los procedimientos de filmación en alta velocidad, y la intervalometría para el estudio de los fenómenos lentos. Todo ello muchos años antes de que los hermanos Auguste y Louis Lumière pusieran a punto y dieran a conocer su Cinematógrafo en la sesión que tuvo lugar en el gran café de París el 28 de diciembre de 1895. Marey nunca comercializó sus descubrimientos, tampoco mostró interés por filmar escenas de la vida cotidiana y no le dio importancia a la posibilidad de proyectar hacia un gran público sus inventos. Sólo le interesaban las aplicaciones científicas. En su instituto de fisiología se formaron numerosos profesionales, como Lucien Bull, que inventó la cámara rápida, Carvallo, que inventó la roentgen-cinematografía o Comandon, que perfeccionó y aplicó la cinefotomicrografía al estudio de microbios, parásitos y procesos fisiológicos en numerosos campos de la medicina.

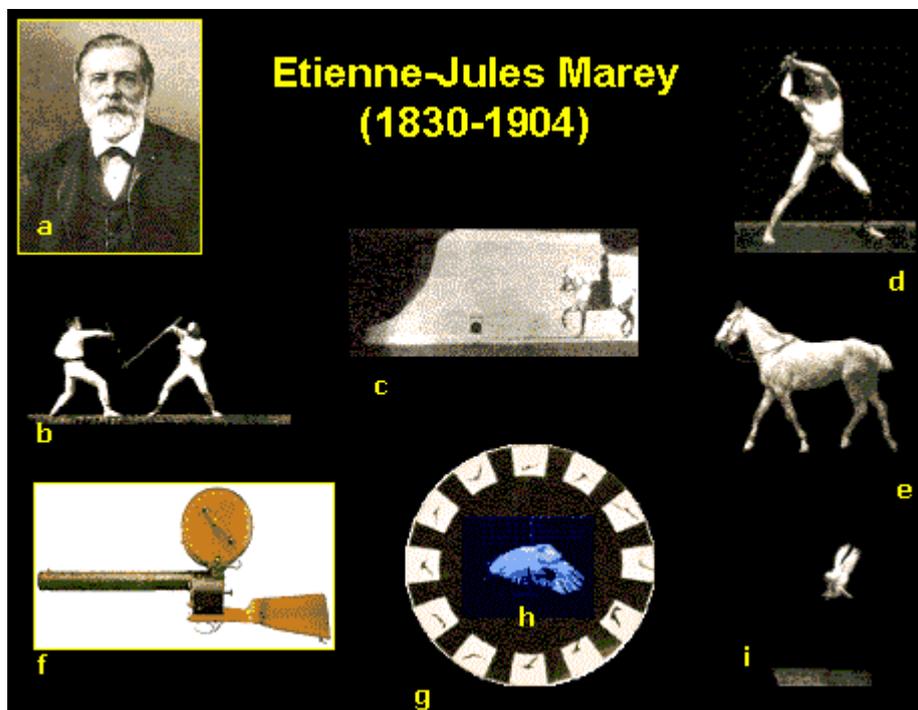


Figura 3: Marey (a) fue un médico que dedicó su vida al estudio del movimiento, de sus descubrimientos e inventos nació de la ciencia y para la ciencia el CINE que después se convertiría en espectáculo y arte. Secuencias obtenidas con su cronofotógrafo: b) esgrima, c) equitación, d) atleta, e) caballo. Fusil fotográfico (f) disco y secuencias del vuelo de las aves (gaviota, loro y paloma) (g-i). Iconografía tomada de: <http://web.inter.nl.net/users/anima/chronoph/marey/index.htm>

El cinematógrafo se popularizó vertiginosamente y a principios de nuestro siglo, junto al cine espectáculo, se multiplicaron sus aplicaciones en todos los campos de la ciencia: biología, botánica, etnografía, antropología.

En medicina comenzó el auge del cine quirúrgico El primer cirujano que filma sus intervenciones es Eugène Louis Doyen (1859-1916). Dada la escasa sensibilidad de las películas tiene que operar con luz solar y ha de hacerlo muy rápido porque las mejores cámaras de su época sólo aceptan película para pocos minutos. En el congreso internacional de cirugía que se celebra en Madrid en 1903, Doyen destaca el gran interés que tiene el cine *"porque permite la comunicación precisa a otros profesionales de las técnicas empleadas, es un instrumento muy valioso para que el cirujano mejore sus propias intervenciones y es el mejor procedimiento para la enseñanza de las técnicas quirúrgicas."* Se ha perdido gran parte del

material quirúrgico filmado por los pioneros, pero entre las películas que se han podido conservar figuran las intervenciones de un quiste hidatídico pulmonar y la de una hernia realizadas por el Dr. Alejandro Posadas, prestigioso cirujano argentino que rodó en 1900 a plena luz del día en el patio de su hospital, con la colaboración de Eugenio Py, quién fue el primer operador cinematográfico de su país. Posadas, al igual que Doyen, estaba convencido de la importancia que tendría el cine para la comunicación profesional y la docencia de la cirugía.

La popularidad del cine espectáculo dejó relegado a un segundo plano el interés científico y docente de los procedimientos que se habían desarrollado con los descubrimientos de Marey y, en determinados ambientes académicos, los registros audiovisuales y las proyecciones de cine se aceptaban con reticencia porque la imagen y el sonido se identificaban con la diversión. No parecía serio en las aulas. Ese sentimiento existió durante muchas décadas, de manera que hasta hace muy pocos años gran parte de nuestras academias de medicina no admitían en los discursos de sus socios la utilización de imágenes y, sin embargo, en otros países los personajes más famosos de las ciencias, la medicina, el arte y las humanidades, estaban suscritos a las publicaciones científicas de imágenes en movimiento, a las que prestaban especial atención las publicaciones más prestigiosas de fines del siglo pasado y de principios del actual.

B) IMAGENES Y MEDICINA

En este siglo uno de los fenómenos que más han marcado el que hacer cotidiano del médico es la demanda de imagen diagnóstica: la fotografía, la radiografía, la termografía, la ecografía, la tomografía computarizada, la resonancia magnética, la fibroscopia y los numerosos estudios dinámicos (endoscópicos, radiológicos, gamagráficos) son una necesidad absoluta en la práctica hospitalaria.

La auscultación, la determinación de la tensión arterial, la electrocardiografía o la radiología convencional siguen siendo procedimientos insustituibles, que se han perfeccionado con las nuevas tecnologías posibilitando, por ejemplo, las monitorizaciones sostenidas y la telecomunicación de los registros.

Sin minimizar la importancia que estos recursos tienen, es indudable que en la segunda mitad del siglo pasado se produjo un desarrollo exponencial en el perfeccionamiento y utilización de las técnicas de imagen en la mayor parte de las especialidades médicas y de modo particular en el ámbito de la cardiología.

En el fondo no puede sorprendernos el desarrollo exponencial de los procedimientos de imagen dinámica para el diagnóstico y la investigación médica en general y cardiológica en particular, porque en la medicina hay una estrecha correlación entre forma y función a todos los niveles: orgánico, tisular, celular o molecular.

En la patología traumática es evidente la relación entre pérdida de forma (discontinuidad de un vaso, un nervio, un músculo o un tejido) y la pérdida de función correspondiente. La anatomía patológica ha puesto de manifiesto las relaciones entre forma y función alteradas a nivel tisular y celular en la mayor parte de los procesos con escasa expresión macroscópica y hoy sabemos que en los procesos patológicos metabólicos y bioquímicos también existe una expresión morfológica molecular cuando se modifica la función de un efector, un receptor, un anticuerpo o una enzima alostérica.

Por todo ello cabe esperar que la demanda de imagen en medicina siga creciendo y ocupe un espacio y un tiempo más amplios en la docencia.

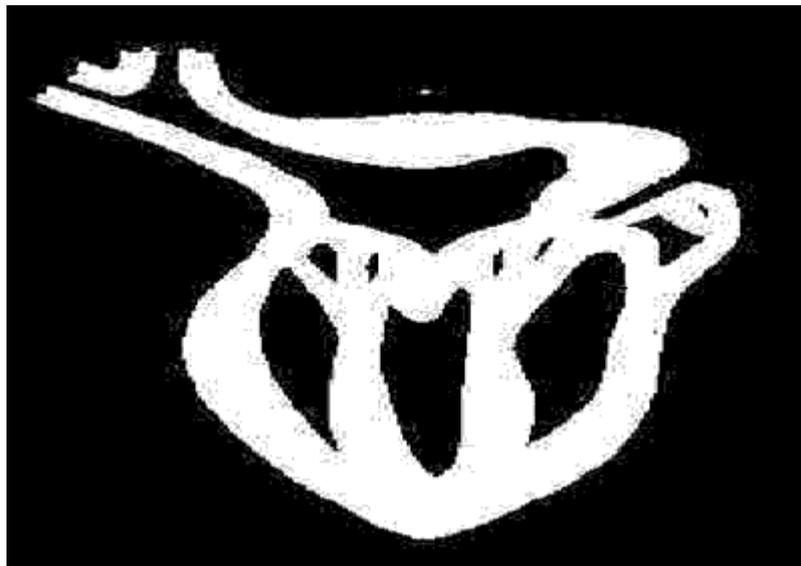
C) EL ESPECTACULAR DESARROLLO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE IMAGEN EN CARDIOLOGIA.

Basta con repasar los nombres de los procedimientos de imagen que forman parte del arsenal que actualmente utiliza el cardiólogo:

Radiología: Radiografía. Radioscopia. Arteriografía. Arteriografía coronaria. Arteriografía coronaria cuantitativa. Arteriografía coronaria de sustracción digital. Cineangiografía. Angiografía de sustracción digital. Angiocardiografía. Tomografía computarizada (CT). Ecocardiografía: Ecocardiografía de modo M. Ecocardiografía bidimensional. Ecocardiografía Doppler. Cardiología nuclear: Gammagrafía. Angiografía con radionucleidos. Cámara de centelleo. Tomografía computarizada de emisión de fotones únicos (SPECT, por "Single-photon emission computed tomography"). Tomografía de emisión de positrones (PET). Resonancia magnética (MR).

Desde la Física en simbiosis con las matemáticas y la informática, surgieron los procedimientos de reconstrucción y tratamiento de imagen que darían lugar a los actuales métodos de vanguardia.

Pero no podemos olvidar que la mayor parte de estas técnicas precisa combinarse con procedimientos de registro cinematográfico, (óptico, magnético o digital), para proporcionar las imágenes dinámicas de los procesos que quieren estudiarse ([Figura 4](#), [Video 2](#) - [Video 3 116KB](#) - [Video 4 97KB](#) - [Video 5 549KB](#) [se necesita Windows Media o Quick Time])



[Video 3 116KB](#) - [Video 4 97KB](#) - [Video 5 549KB](#)
(se necesita Internet Explorer)

Figura 4 y Videos 2-5: El cine combinado a las nuevas tecnologías sigue siendo un

valioso instrumento para la investigación, documentación, docencia y comunicación de la medicina y la cardiología. Iconografía tomada de: 1. Diseño personal. 2 y 3.
<http://noodle.med.yale.edu/demos/demos.html>

Revisaremos a continuación sucintamente los fundamentos y los hitos históricos de algunos de los métodos anteriormente relacionados.

Radiología

Estudiando la capacidad de penetración de los rayos catódicos, el físico alemán Wilhelm Konrad Roentgen (1845-1923) descubrió una nueva clase de radiación que podía atravesar una gran variedad de objetos, impresionar placas fotográficas y formar sombras en una pantalla fluorescente.

El descubrimiento en 1895 de los rayos X por Roentgen posibilitó el desarrollo de la radiología y aportó el primer procedimiento de imagen que permitía a la medicina explorar el interior del cuerpo humano. La radiografía proporcionó imágenes estáticas, instantáneas de procesos dinámicos. Los principales desafíos técnicos en sus comienzos fueron, primero mejorar los contrastes y más tarde, tras conocer los efectos iatrogénicos de la radiación, disminuir la exposición de los pacientes. Rápidos logros sucesivos fueron la mejora de las fuentes de emisión, el desarrollo de emulsiones con mayor sensibilidad, las películas con rejilla para eliminar la radiación difusa y nuevos procedimientos para mejorar la resolución en el estudio de partes blandas, como la xerografía. Antes de que se hubiesen resuelto esos problemas ya se estaban desarrollando procedimientos para poder hacer estudios dinámicos.

La roentgencinematografía experimental se inició en 1897 en Escocia con J. Macintire y se perfeccionó en la primera década de 1900 con los trabajos de Carvallo, J. Comandon y A. Lomon en Francia, P.H. Eijkman en Holanda, F.M. Groedel en Alemania y L.G. Cole en EEUU. El registro cinematográfico enriquecía desde el comienzo de la radiología las posibilidades de investigación y diagnóstico. Los procedimientos utilizados por los pioneros exponían a grandes dosis de radiación y tendrían que pasar varias décadas para que, combinando los conocimientos de la electrónica, televisión y registro magnético de imagen, se desarrollasen las técnicas de intensificación y ampliación electrónica de imagen que posibilitarían la realización de todas las exploraciones dinámicas con contrastes que hoy pueden hacerse en tiempos cortos de exposición y con dosis muy bajas de radiación.

La exploración del aparato vascular con contrastes radiopacos constituye uno de los capítulos más importantes para el diagnóstico de numerosos procesos patológicos. En 1939, un médico cubano, el Dr. Castellanos, propuso "la angiografía cuantificada", que se hizo realidad como angiografía digital con Mitrette y Saudelman en 1980.

D) LAS APORTACIONES DE LA CIRUGIA

Los procedimientos convencionales se enriquecieron con las posibilidades de abordajes quirúrgicos como el cateterismo para la administración selectiva de los contrastes. En 1929, el cirujano alemán Werner Forssmann realizó, en su propia persona, el primer cateterismo. Con lo que logró primero que le despidieran de su hospital y más tarde que reconocieran sus méritos y le concediesen el premio Nobel de medicina de 1956, compartido con A.F. Cornaud y D.W. Richards. Su preocupación no era diagnóstica sino terapéutica, puesto que pretendía facilitar con su procedimiento una vía eficaz para administrar la medicación en las situaciones de parada cardiaca. Abrió el camino de numerosos procedimientos que habrían de desarrollar otros médicos. Un lugar destacado en ese quehacer ocuparon también, entre otros, A. Blalock, R. Bing, H. Taussig, L. Dexter, J. Warren y E. Stead en E.E.U.U.; P. Maurice y L. Lenègre en Francia; y J. Mc Michael y E. Sharpey-Schaefer en el Reino Unido. Los avances surgen siempre del trabajo, pero el azar puede jugar a su favor, como pasó en el caso de la angiografía coronaria selectiva cuando Mason Jones Jr observó la nitidez de las imágenes obtenidas al explorar una paciente en la que el catéter se había desplazado accidentalmente hacia la arteria coronaria derecha. Los avances que en este campo se iniciaron con las inquietudes terapéuticas de Forssmann vendrían muchos años después con otros desarrollos, como el de la angioplastia coronaria transluminal percutánea que realizó en 1977 el cardiólogo alemán Andreas Grüntzig.

La arteriografía coronaria y la angiocardiografía se perfeccionaron con las técnicas de registro magnético e informatización de imágenes, que darían lugar a los procedimientos de sustracción digital. En esta rápida sucesión de logros, el concepto del cine científico (registro y visualización de las variaciones de las formas), ha estado indisolublemente unido al progreso científico-técnico de la cardiología.

E) DE LA PLANIGRAFIA O TOMOGRAFIA OPTICO-MECANICA A LA TOMOGRAFIA COMPUTARIZADA (CT)

Los técnicas radiológicas habían conseguido explorar el interior del organismo y valorar alteraciones morfológicas estáticas o dinámicas, pero proporcionando imágenes de proyección en un plano del área explorada. La posibilidad de realizar secciones para realizar reconstrucciones espaciales dio lugar a distintos equipos óptico-mecánicos de tomógrafos como los que se construyeron en 1938 por Franck en Alemania o por Bocage en Francia. Conseguir la reconstrucción espacial nítida de las estructuras anatómicas estudiadas llegaría muchos años después con la tomografía computarizada, que se comenzó a utilizar en 1973 y fue desarrollada por A. McLeod Cormack y G. Newbold Hounsfield, quienes recibieron el premio Nobel de Medicina de 1979.

F) LA ECOGRAFIA

Los fundamentos físicos de la transmisión del sonido nacen con los estudios que realizó el físico suizo Daniel Colladen en los lagos de su país en 1822, las bases teóricas se establecen desde Inglaterra con "la teoría del sonido" de Lord Raleigh en 1877 y con el descubrimiento en Francia del efecto piezoeléctrico por los hermanos Pierre y Paul-Jackes Curie en 1880.

Los sonidos se propagan a través de muchos materiales, incluyendo los que componen el cuerpo humano. Cuando se encuentran con modificaciones de la densidad del medio o interfases, se reflejan hacia el lugar de origen, constituyendo el eco. Los ultrasonidos generados por un cuarzo piezoeléctrico son sonidos de pequeña longitud de onda, de 2 a 5 MHz o mayores, que no son percibidos por el oído pero penetran en los tejidos y van reflejando múltiples ecos conforme van encontrando interfases.

Numerosos estudios y desarrollos técnicos suceden a estos principios hasta llegar a las primeras aplicaciones con intención diagnóstica para la medicina, que se inician en 1945 por un médico inglés afincado en USA, John Julian Wild, que fue también quien por primera vez utilizó el término de *ecografía* y quien, con J.M. Reid, obtuvo en 1952 las primeras imágenes de secciones transversales. La ecografía nace para la obstetricia y la ginecología pero pronto se aplica en muchas otras especialidades.

La ecografía permite obtener imágenes que combinan tiempo real y análisis bidimensional, medir la velocidad del flujo sanguíneo asociar otros recursos: electrocardiografía, endoscopia o Doppler y utilización de sustancias de contraste vascular.

La ecocardiografía tuvo su origen en el trabajo de los investigadores suecos Inge Edler y Helmut Herz en 1954. Demostraron la relación que había entre los ecos ultrasónicos y la estructura y función del corazón. En pocos años la técnica se fue perfeccionando: ecocardiografía del modo M, rastreo bidimensional en tiempo real, ecografía Doppler, ecografía duplex y, finalmente, imágenes de Doppler en color.

Excede a los propósitos de esta ponencia detallar todos los procedimientos mencionados, pero no quisiera pasar por alto la importancia que en el desarrollo de las técnicas de exploración vascular y en la ecografía ha tenido la investigación aplicada del efecto Doppler. Cuando el físico austriaco Christian Doppler describió en 1839 el efecto que recibe su nombre, no podía prever el impacto que tendrían sus observaciones en campos de la ciencia tan distintos como la Astrofísica y la Medicina. Cuando los ultrasonidos se reflejan en las interfases reflejan sus ecos con la misma *amplitud* que la que tienen los ultrasonidos utilizados, pero la *frecuencia* de las ondas ultrasónicas que se reflejan es igual que la frecuencia de las ondas incidentes solamente en materiales reflectores estacionarios. Si el reflector se mueve hacia la fuente, la longitud de onda se acorta y su frecuencia aumenta, y si el reflector se aleja de la fuente, la longitud de onda se ensancha y la longitud de onda disminuye. El fenómeno es independiente

de la amplitud. Al cambio de frecuencia entre el ultrasonido emitido y el ultrasonido reflejado se le llama *efecto Doppler*.

Ecocardiografía Doppler: El efecto Doppler permite conocer el movimiento, la trayectoria y la velocidad de las interfases y, a la vez que se ve la imagen, escuchar las variación de los sonidos que se producen.

La primera utilización del efecto Doppler en ecocardiografía fue hecha por los japoneses Satomura, Matsubara y Yoshioka en 1956.

G) LA CARDIOLOGIA NUCLEAR

Los descubrimientos de la radiactividad natural por Henri Becquerel y Maria Curie en 1898 y de la radiactividad artificial por Federico Joliot e Irene Curie-Joliot en 1935 marcaron los principios de la medicina nuclear.

Se puede considerar que la gammagrafía se inicia cuando Hevesy demuestra en 1913 que las radiaciones emitidas por una sustancia radiactiva incorporada a un organismo se podían detectar desde el exterior. Se habrían de diseñar detectores sensibles, primero se utilizaron placas fotográficas, después, desde 1910, detectores como el de Geyger-Muller y más adelante la gamma-cámara de Hal Angeran, desarrollada en 1958 y precursora de los equipos actuales de información digital procesada por ordenador. Se ha recorrido un largo camino que exigió paralelamente la obtención de los radioisótopos adecuados para que estas técnicas fuesen posibles en la práctica médica habitual.

En 1974, R. W. Parkey, F. J. Bonte, S. L. Meyer y colaboradores publicaron un nuevo método de imágenes con radionucleidos basada en el rastreo de la mancha caliente ("hot spot scan") empleando sustancias marcadas con tecnecio-99m (Tc-99m).

En cardiología se usan radioisótopos de energía relativamente baja y período de semidesintegración o vida media corta, como el Tc-99m, con período de semidesintegración de 6 horas, que se consideran de escaso riesgo para la salud. Se inyectan en el organismo y se registra su paso por las cavidades del corazón y el pulmón por la emisión de radiación γ mediante un contador de cristales de centelleo. Los cristales pueden ser de yoduro de potasio activado con talio, que al ser excitados por la radiación γ emiten radiación luminosa (fotones). Los fotones son amplificados un millón de veces por un fotomultiplicador y se recogen como pulsos eléctricos.

Tomografía Computarizada de Emisión de Fotones Unicos (SPECT, por "Single-photon emission computed tomography")

Puede decirse que de la misma manera que el escáner de TC derivó de la radiología, las tomografías de emisión (fotón único o positrones) proceden de la gammagrafía.

La SPECT proporciona una imagen tridimensional del corazón. Utiliza gamma-cámaras rotatorias. Los radionucleidos utilizados son pirofosfato marcado con tecnecio-99m y talio-201.

Sin embargo, aunque no se dejó de usar, resultó de poca utilidad en cardiología porque la exposición superior a un segundo produce imágenes borrosas con el movimiento de los latidos del corazón.

El primer rastreador ("scanner") para tomografía computarizada ultrarápida se desarrolló por los investigadores de la Clínica Mayo E. L. Ritman, R. A. Robb, S. A. Johnson y colaboradores, en 1978. Le llamaron "reconstructor espacial dinámico", que utilizaron en investigación. Posteriormente se desarrollaron equipos de CT Ultrarápida comerciales, como el "Imatron scanner C-100" hecho por Douglas Boyd. Permite rastreos de 100 milisegundos.

Tomografía De Emisión De Positrones (PET)

Los positrones son electrones con carga positiva. Son emitidos por radioisótopos (radionucleidos) de vida muy corta. Tanto, que muchos necesitan ser preparados en el mismo lugar en que se emplean, para utilizarlos de inmediato, porque su vida media es de segundos o pocos minutos. Solamente algunos con vida media relativamente larga, como el ^{18}F , pueden ser producidos por ciclotrones centrales que lo distribuyen rápidamente a los hospitales que lo necesitan. Son producidos casi todos en ciclotrones, aunque el rubidio y algún otro se pueden producir también en generadores más sencillos.

El positrón de 1022 keV es inestable y decae en una reacción de aniquilamiento, que produce dos emisiones γ de 511 keV cada una, que salen a 180° una de otra y se recogen por detectores convenientemente colocados en lados opuestos del cuerpo, teniendo validez únicamente los pares que se reciben simultáneamente.

Los radionucleidos más utilizados en la PET son ^{11}C , ^{15}O , ^{13}N , ^{18}F , ^{82}Rb y ^{81}Rb .

Las primeras imágenes con positrones se obtuvieron en los Estados Unidos, en Boston y en San Luis, en 1953. La avanzada tecnología que requieren estos costosos equipos, la necesidad de disponer de un ciclotrón y su complicado mantenimiento, limitaron la difusión de estos equipos, que inicialmente se realizó dependiendo de grandes empresas implicadas en investigación tecnológica avanzada en muy pocos hospitales y en algunos laboratorios, como el Donner de Berkeley en California.

El procedimiento permite el estudio de procesos fisiológicos y patológicos proporcionándonos *películas* de los procesos metabólicos que se producen en el organismo estudiado.

Después de algunas investigaciones en animales, la tomografía de emisión de positrones fue ensayada en enfermos con alteraciones de las arterias coronarias por P. Camici, L. I. Araujo, T. Spink y colaboradores en 1986 utilizando [^{18}F]-fluorodesoxiglucosa (FDG) y ^{82}Rb .

La PET permite el estudio tridimensional de la perfusión del corazón y del metabolismo del miocardio. Comparando la distribución regional de H_2^{15}O perfundida con las zonas del miocardio que captan ^{81}Rb , que corresponden a miocardio sano, y las que no captan, que corresponden a las zonas de isquemia.

En España, el primer Centro de Tomografía por Emisión de Positrones se inauguró en Madrid en 1995, situado en la Universidad Complutense de Madrid.

H) LA RESONANCIA MAGNÉTICA (MR)

El fenómeno de la resonancia magnética nuclear fue descubierto en 1946 por los norteamericanos Felix Bloch, de la Universidad de Stanford, y Edward Purcell, de la Universidad de Harvard, que recibieron el premio Nobel en 1952. El fenómeno consiste en que algunos núcleos atómicos expuestos a campos magnéticos intensos, absorben energía de radiofrecuencia que los hace a su vez emitir señales de radiofrecuencia que son captadas por una antena. La frecuencia a la cual se absorbía la energía fue llamada *resonancia magnética*, y por proceder de los núcleos de los átomos se llamó *resonancia magnética nuclear*.

La resonancia magnética nuclear fue utilizada en el análisis químico durante muchos años.

El hecho de que las señales de resonancia magnética nuclear sean diferentes según la composición atómica, el número del tipo de átomos investigado y el ambiente que los rodea, hizo pensar que se podría utilizar para estudiar los órganos del cuerpo. Y en 1971, R. V. Damadian, analizando la resonancia magnética nuclear de los núcleos de hidrógeno, encontró diferencias entre los tejidos normales y cancerosos en la rata.

Varios estudios precedieron a la aplicación clínica. En 1973, el norteamericano Paul Lauterbur observó que las señales de resonancia magnética nuclear podían producir imágenes. Utilizando métodos diferentes,

consiguieron imágenes de resonancia magnética nuclear el suizo Richar Ernst y los ingleses Hinshaw y Moore.

En 1976, el inglés Peter Mansfield consiguió la primera imagen humana por resonancia magnética nuclear. Y Hounsfield, Young y colaboradores, de "EMI Medical", construyeron el primer aparato de registro de todo el cuerpo, que durante varios años se utilizó en el Hospital Hammersmith, de Londres. El superconductor del aparato fue construido por "Oxford Instruments".

R. C. Hawkes consiguió en 1979 hacer tomografías de la cabeza humana. Y en 1981, R. Steiner y G. Bydder construyeron un tomógrafo de resonancia magnética nuclear que se utilizó en el Hospital Hammersmith

El uso clínico amplio comenzó en 1983, cuando el *American College of Radiology* dio a la Resonancia Magnética Nuclear el reconocimiento oficial de técnica de imagen estándar para el diagnóstico médico.

En España, el uso de la resonancia magnética nuclear se inició en diciembre de 1983 en el Centro Médico de Resonancia Magnética Nuclear de Barcelona.

El vertiginoso desarrollo tecnológico de los procedimientos de imagen que se utilizan en cardiología comparte en el quehacer cotidiano del docente numerosos desafíos que son comunes a los de otras especialidades.

I) LA PRODUCCION PROFESIONAL DE AUDIOVISUALES MEDICOS

En muchos países, los audiovisuales científicos en general y los médicos en particular se han realizado a título individual, no ha existido apoyo institucional ni estructuras oficiales que facilitasen técnicas sofisticadas, información o condiciones asequibles fuera de los circuitos comerciales. En esta situación se han producido muchos audiovisuales en los que el médico juega a ser a la vez: productor, asesor científico, guionista, director, cámara, técnico en imagen y sonido, locutor y comunicador. En muchas ocasiones, el contenido científico es elevado, pero como en la mayor parte de los casos se rueda en formatos domésticos no es posible siquiera la postproducción profesional para poder aprovechar la imagen. Por otra parte, el realizador autodidacta no está familiarizado con las normas del audiovisual científico, desconoce el lenguaje de imagen y sonido y aplica mal la música, los recursos técnicos y los efectos. Frecuentemente intercala sus imágenes y sonidos con otras que graba de un programa de televisión, sin darse cuenta de que está conculcando unos derechos de autor.

La importancia de los medios audiovisuales hizo que en los países avanzados se desarrollasen muy pronto centros que facilitaron la realización de audiovisuales científicos de investigación, enseñanza y divulgación. En Alemania, el "Institut für den Wissenschaftlichen Film" (IWF) cuenta con 150 personas que disponen de los equipos más sofisticados y se dedican a producir audiovisuales de investigación y de enseñanza superior, en todos los campos de la ciencia. Sus producciones se realizan en estrecha colaboración con los científicos especializados en el tema, los técnicos expertos en audiovisuales y los pedagogos y comunicadores. Producen alrededor de 100 películas anuales, siempre en formatos profesionales. La mayor parte de los títulos pasan a formar parte de la Enciclopedia Cinematográfica, que pone copias a disposición de todas las Universidades Alemanas y colabora con las Universidades e instituciones científicas de todo el mundo. En Francia el Centre National de la Recherche Scientifique Audiovisuel (CNRS Audiovisuel) realiza para Francia una labor muy similar a la del IWF en Alemania y dedica especial atención a la difusión internacional de los descubrimientos y aportaciones médicas y científicas hechas por los franceses. El Reino Unido cuenta también con numerosos centros de producción de audiovisuales para la enseñanza superior y con instituciones como el British University Council, que coordina el intercambio y difusión de las producciones de todo el país. En los Países Bajos existe una especial tradición en la atención al aprovechamiento e intercambio de los audiovisuales médicos, de forma que todas las universidades disponen en un fondo común de las producciones que realizan, existe un grupo de trabajo que colabora con la Asociación Internacional de Medios para la Ciencia (IAMS), dedicado

a promover la utilización docente de audiovisuales de experimentación animal y cuentan en la mayor parte de los grandes hospitales con instalaciones y equipos como los del "Audiovisual Centrum" del Hospital Universitario de Ámsterdam, que son un modelo de producción y organización de recursos.

Por el cine científico en general y por el audiovisual médico en particular han hecho mucho las asociaciones científicas profesionales y los festivales y certámenes de audiovisuales científicos: International Scientific Film Association ISFA (1947-1992) que paso a ser la International Association for Media in Science IAMS (1992); Asociación Española de Cine Científico ASECCIC (1967), Semana Internacional de Cine Científico de Ronda SICIC (1978), hoy denominada Festival Unicaja; Bienal de Cine Científico Español de Zaragoza (1983); VIDEOMED-Badajoz (1985) que actualmente se celebra en distintas ciudades de muchos países como Argentina, Cuba, Ecuador, México o Uruguay. La mayor parte de los festivales que se celebran en el ámbito de la medicina y las ciencias de la salud se congregan en la World Association of Medical and Health Films WHAMF (1990).

El aprovechamiento adecuado de los profesionales y recursos es especialmente importante en una época en la que se ha producido una auténtica revolución médica audiovisual.

J) EN LA ERA DE LA COMUNICACION Y LA IMAGEN

En las tres últimas décadas, el desarrollo de la informática, los avances en telecomunicación, la organización de bases de datos, la posibilidad de digitalización de imagen y sonido y de transmisión entre los lugares más remotos del mundo a través de autopistas de telecomunicación y la creación de redes de usuarios, han dado nuevas posibilidades a la transmisión de conocimientos a todos los niveles.

En la también vertiginosa historia de la informática los precedentes más remotos son la llamada máquina analítica de Charles Babbage (1791-1871) y las tabuladoras de Herman Hollerith (1860-1929). Desde entonces se han sucedido en poco tiempo varias generaciones de ordenadores: la primera basada en las válvulas de vacío, que nace en 1946, la segunda basada en el transistor, que comienza en 1954, la tercera, que se basa en las propiedades de los semiconductores y posibilita la miniaturización progresiva de los equipos, desde 1959 hasta 1970, la cuarta se inicia en 1971 y supone la integración en gran escala de los módulos semiconductores. Estamos ante una quinta generación que permite alcanzar velocidades superiores a los 100 millones de instrucciones por segundo, supone una nueva concepción del software, en la que la transmisión de la señal pasará a ser óptica en lugar de electrónica.

El avance de la informática ha caminado de la mano de las investigaciones con propósitos de aplicación militar y espacial, pero se ha proyectado rápidamente a la población, de manera que si en 1953 había en el mundo poco más de veinte auténticos ordenadores, hoy existen decenas de millones.

Paralelo al desarrollo anterior ha sido el de la televisión y el de los sistemas de comunicación telefónica. Hemos pasado, en pocos años, del cable submarino a la transmisión por satélite y a las autopistas de información, que hoy permiten la comunicación en tiempo real de imagen y sonido, haciendo posible el desarrollo de redes de usuarios de bases de datos en todo el mundo. Cuando en 1960 la agencia de proyectos de investigación avanzada del Departamento de Defensa estadounidense promovió un proyecto que garantizase las comunicaciones en una situación de guerra nuclear, no podía imaginar que había abierto el camino de Internet. En 1980 la red contaba con 200 computadoras centrales y su uso estaba rigurosamente limitado al Departamento de Defensa de los EEUU, en 1985 se abrió a los centros de investigación de todo el país, en 1990 se ofreció la posibilidad de conexión a otros países, y ya contaba con 300.000 ordenadores centrales, en 1996 hay más de 3 millones de ordenadores conectados y la red de usuarios sigue creciendo exponencialmente.

En medicina, la informática y la comunicación han supuesto un avance sin precedentes para nuevas posibilidades diagnósticas, terapéuticas y docentes.

Hace sólo algunos años era impensable hablar de tele-conferencias, tele-exploración, tele-diagnóstico,

tele-asistencia, tele-cirugía, tele-operaciones, tele-robótica, tele-presencia o realidad virtual. Hoy son una realidad que se perfecciona también a ritmo vertiginoso. La "Advanced Research Projects Agency" mantiene desde EEUU, el liderazgo en estos temas. En el campo de las aplicaciones a la cirugía, la mayor parte de las investigaciones se están realizando en hospitales militares, como el de Monterrey (California). En este centro se ha puesto a punto la "tele-presencia", que está llamada a mejorar aún más los procedimientos quirúrgicos de mínima invasión; combina visión estereoscópica, sonido estereofónico, sensores táctiles, robótica y equipo e instrumental de laparoscopia, permitiendo al cirujano operar en condiciones muy similares a las de la cirugía convencional.

En el extremo opuesto, la realidad virtual abre nuevas posibilidades a la docencia, simulando situaciones que posibilitan prácticas interactivas en modelos tridimensionales imaginarios que cada día son más perfectos.

Estamos en la era de la comunicación interactiva. Este fenómeno se ha producido porque realmente ha habido una proyección a la población de los recursos informáticos y audiovisuales en términos rentables de economía de consumo. Al existir un mercado se han generado intereses que ha promovido la producción de elementos verdaderamente interesantes para la transmisión de conocimientos, pero estamos frente a una situación que plantea nuevos y numerosos problemas. Por ejemplo, la oferta de equipamiento para la docencia es enorme actualmente y es muy difícil discriminar lo importante de lo accesorio, el cambio en los equipos se producen tan rápidamente que pronto quedan anticuados los equipos que ayer eran punta. Esto sucede a nivel de pizarras autocopiadoras, proyectores de diapositivas estáticas, retroproyectores de transparencias, equipos para diaforamas, proyectores de cine, vídeo, láser-vídeo o recursos informáticos multimedia con CD ROM, DVD....

Para el docente es muy difícil decidir qué equipamiento conviene más a sus propias necesidades y el que intenta actualizarse en estos temas se encuentra con ofertas abrumadoras en muchos casos incompatibles. Los equipamientos y las estructuras de diferentes universidades de una misma comunidad son muy dispares.

Es importante aprovechar los recursos disponibles y estimular en nuestro ambiente próximo la producción de recursos propios y, para ello, una buena fórmula es: promover la creación de unidades de coordinación, producción y post-producción profesional. Estas unidades permiten aprovechar los recursos del hospital, la facultad o la sociedad de medicina. Facilitan la colaboración con los médicos en la organización de archivos de sonido e imagen, la elaboración de audiovisuales monoconceptuales y temáticos, básicos, clínicos y quirúrgicos, facilitan la información técnica necesaria para la selección de equipos y sistemas normalizados. Permiten, a través de ellas mismas, establecer relaciones e intercambios con las instituciones que ya disponen de videocinematecas de temas médicos.

Hace ya muchos años que en la docencia de la medicina se cambiaron las pautas, pasando de intentar enseñar todo a tratar de enseñar a buscar. Hoy el docente debe proporcionar al alumno no sólo referencias de libros y trabajos sino también de audiovisuales y direcciones de bases de datos.

En este como en otros muchos campos de la ciencia y la técnica tenemos el privilegio de contemplar unos avances que continuamente nos desbordan. No podemos desaprovechar unos recursos que hacen más fácil y grato el aprendizaje, pero tampoco debemos olvidar que todos estos medios seguirán siendo tan sólo un complemento de la labor que debe promover y coordinar el profesor.

REFERENCIAS

1. Álvarez Rodríguez, Ysmael. "Cine y medicina: más de 150 años de comunicación e investigación". Vall D'Hebron, 1996; 17:8-10.
2. Álvarez Rodríguez, Ysmael. Cap. 14. Cine científico. En: Historia del cortometraje español. Festival de cine de Alcalá de Henares. Comunidad de Madrid. Ayuntamiento de Alcalá de Henares. Fundación Colegio del Rey. Madrid. 1996

3. Abraham B. A search for literature on teaching tools for health professionals. *Medical teacher*, 1994; 16 (2/3):237-252
4. Cinémathèque Scientifique Internationale. Les pionniers du cinéma scientifique: JEAN COMANDON. Bruxelles: hayez, 1967.
5. Loo S.K. Fabric of life: the design of a system for computer-assisted instruction in histology. *Medical teacher*, 1995; 17(3): 269-276.
6. McArtur J.R. A survey of videodisc and interactive videodisc project in North America. *Journ. Audiov. Med. In Med.*1992; 15:61-72.
7. Manso Martínez J, Redondo Valdeolmillos M.: Catálogo de videos didácticos. Medicina, enfermería y educación sanitaria. Valladolid: Junta de Castilla y León / Instituto de Ciencias de la Educación. Facultad de Medicina, 1992
8. Mundo Científico, eds. La revolución de las imágenes. Barcelona: Editorial Fontalba, 1983; 27:700-826.
9. Salinas J, Cabero J, Cebrián M, Loscertales F, Martínez F, Sureda J, eds. Redes de comunicación, redes de aprendizaje. Palma: Universidad de las Islas Baleares, 1996.
10. Sánchez Navarro J.D.El camino fácil a Internet. Madrid: Mc Graw-Hill, 1996.
11. Steinert Y. Twelve tips for using videotape reviews for feedback on clinical performance. *Medical teacher*, 1993; 15,(2/3): 131-139.
12. Tosi V. Cinematography and scientific research. Paris: UNESCO,1977.
13. Tosi V. Manual de cine científico. México: UNAM-UNESCO, 1987.
14. Tosi V. El cine antes de Lumière. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1993.
15. Vaughan T. Todo el poder del multimedia. Madrid: McGraw Hill, 1996.
16. Wong K.T. The use of liquid crystal display panel as a teaching aid in medical lectures. *Medical teacher*,1992;1: 33-36.
17. Ytterbergs R. Use of interactive computer technology with an innovative testing format: the tailored response test. *Medical teacher*, 1994; 16:4323-4333.

Direcciones de instituciones relacionadas con audiovisuales médicos

p.j@abdos1.chu.ulg.ac.be World Association of Medical and Health Films (WAMHF)
videomed@dip-badajoz.es VIDEOMED-Badajoz
ismaalv@mi.madridtel.es Asociación Española de Cine Científico (ASECIC) servicio.cultural@cai.es
 Bienal de Cine Científico en Español
jmorenop@unicaja.es Festival de Cine Científico Unicaja
<http://www.avd.kuleuven.ac.be/iams/Pages/what.html> International Association for Media in Science (IAMS)
<http://www.mif-sciences.net/> Películas científicas y certámenes médicos
http://www.iwf.de/index_e.html Institut für den Wissenschaftlichen Film (IWF)
<http://www.osf.uk.com/index.html> Oxford Scientific Films
<http://www.precinemahistory.net/index.html> Historia del Cine
<http://web.inter.nl.net/users/anima/chronoph/marey/index.htm> Cine científico: Marey

Recursos para la formación. Audiovisuales médicos en Internet

<http://micf.mic.ki.se/West.html> Historia de la medicina
<http://www.nlm.nih.gov/hmd/hmd.html> Historia de la medicina
<http://www.medfindnow.com/history.htm> Historia de la medicina
http://www.almaz.com/nobel/ads/ad_rates.html Historia de la medicina
<http://www.ptca.org/history.html> Historia de la angioplastia y videos
<http://webster.aip.org/history/exhibit.htm> Historia de la Física
<http://www.ob-ultrasound.net/history.html> History of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology
<http://home.earthlink.net/~terrass/radiography/imgproc.html> Recursos de imagen médica en internet
<http://sig.biostr.washington.edu/projects/da/> Anatomía digital, atlas interactivo
<http://noodle.med.yale.edu/intro.html> Cardiovascular 3D
<http://noodle.med.yale.edu/demos/demos.html> Corazón interactivo animaciones
<http://www.vh.org/Providers/Lectures/BrandserLectures/Cardiovascular/CardioTOC.html> Imagen cardiovascular del Hospital Virtual de la Universidad de Iowa
<http://www.med.uiuc.edu/PathAtlasf/titlePage.html#vol2contents> Patología cardiovascular
<http://www.med.harvard.edu/AANLIB/vana.html> Anatomía vascular
http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html The visible human project
<http://www-kismet.iai.fzk.de/> Simulador 3D
<http://www.elmedico.net/Images/index.html> Imágenes médicas

<http://members.nbci.com/sano/index.html> Banco de imágenes médicas

<http://www.uchsc.edu/sm/pmb/medrounds/HTMLrounds/patienttest.html> Sesiones y casos clínicos

Universidad de Colorado

<http://path.upmc.edu/cases/dxindex.html> Casos clínicos.

<http://www.journalclub.org/index.html> Revisiones y artículos

<http://www.diariomedico.com/home.html> Noticias médicas, buscadores y enlaces en español.

http://formacion.recol.es/formacion_online/default.asp Formación "on line" en español

<http://www.secardiologia.es/> Sociedad Española de Cardiología

<http://www.sem-n.es/> Sociedad Española de Medicina Nuclear

<http://www.searteriosclerosis.org/> Sociedad Española de Arteriosclerosis

<http://www.isciii.es/> Cursos, convocatorias y enlaces de medicina y sanidad en España