



CAPÍTULO 5

APLICACIONES EN TELERRADIOLOGÍA

**Julián Dorado, Juan R. Rabuñal,
Juan J. Romero, Sergio Santos**

*Laboratorio de Redes de Neuronas Artificiales y Sistemas Adaptativos
Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Universidad de A Coruña*

La radiología es una de las especialidades de la medicina susceptible de integrarse en el concepto de telemedicina.

En este artículo se analizan las características comunes de estas especialidades, entre las que destaca la distancia física considerable entre médico y paciente o entre médicos, lo que se traduce, en el plano tecnológico, como la necesidad de transferir datos clínicos e imágenes médicas de alta calidad.

La telerradiología, que consiste en la transmisión de imágenes médicas para su interpretación remota por un radiólogo, es la parte más exigente en cuanto a recursos computacionales de las necesarias en cualquier técnica de telemedicina, ya que no es posible reducir la calidad de las imágenes transmitidas sin perder precisión en el diagnóstico.

Se analizan aquí las características de las imágenes habituales en medicina, y los requerimientos deseables para su transmisión y almacenamiento, y se presenta un ejemplo de sistema que aplica a la traumatología los avances que se han realizado en el campo de la telerradiología. Se hace también un repaso de las tendencias que se desarrollarán próximamente, hasta conseguir su aplicación en la práctica diaria.

Palabras clave: telerradiología, biomedicina.

Keywords: tele-radiology, biomedicine.

5.1 INTRODUCCIÓN

En esta última década del siglo, la tecnología necesaria para la utilización de redes de datos de un ancho de banda considerable se ha desarrollado rápidamente de forma que, en este momento, está disponible a un precio realmente asequible. A partir de esta realidad, y a la vista de ejemplos cotidianos como Internet, las redes de vídeo, televisión y telefonía fija y móvil, las comunicaciones se han tratado de implantar de forma progresiva en ámbitos que necesitan de un ancho de banda muy elevado y, por tanto, marginadas hasta ahora por la gran cantidad de recursos que demandaban.

Esta es la situación en la que se encuentra la transmisión de información médica que, en su nivel más básico, en cuanto a volumen de información, necesita transmitir imágenes digitalizadas de radiografías con una gran calidad y, por tanto, con un alto consumo de ancho de banda. Al plantear la transmisión de este tipo de información surge el concepto de telemedicina.

5.2 TELEMEDICINA

La telemedicina se podría definir como el uso interactivo de información médica, transferida de un lugar a otro mediante comunicaciones electrónicas, con el objetivo de mejorar la salud del paciente o ampliar la formación del personal médico y, con el propósito general de mejorar la práctica médica.

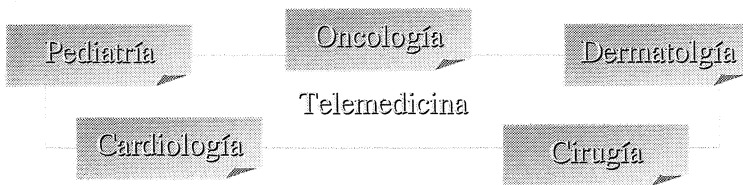


Figura 1.: Especialidades que componen la Telemedicina.

Como se puede ver en la Figura 1, la mayoría de las especialidades médicas son susceptibles de integrarse en el concepto telemedicina. En este sentido, existiría una telepediatría, una telecardiología, etc. Especialidades como la telecirugía exigen de un nivel de recursos y de desarrollo tecnológico que provocan que con el nivel actual se estén desarrollando simples pruebas o lo que se denomina “demostradores de tecnología”, es decir, sistemas pioneros que, aunque con un coste astronómico, permiten demostrar que en un futuro cercano sería posible el desarrollo de sistemas comerciales totalmente operativos.

Salvo estos casos tremendamente especiales, el concepto de telemedicina se puede aplicar de forma fácil, utilizando tecnologías de transmisión de datos muy probadas y a un precio muy asequible, utilizando computadoras, cámaras y sistemas de audio de la informática doméstica.

5.3 CARACTERÍSTICAS COMUNES

En cualquiera de las especialidades de telemedicina que se acaban de comentar se mantienen una serie de características comunes que derivan de su propia definición.

En primer lugar existe siempre una distancia entre médico y pacientes o entre médicos. Comúnmente, esta distancia se refiere a que el paciente puede estar en su domicilio y la consulta la realiza un médico desde un hospital de referencia. En la casa del paciente puede haber un equipo preinstalado, como un controlador de tensión arterial o un sistema mucho más complejo, o se puede haber desplazado un equipo médico con una unidad móvil que realice un diagnóstico previo o las pruebas que necesite el especialista remoto. La distancia también puede tener otras connotaciones. Se puede referir a la interacción de distintos médicos o equipos médicos que desarrollan su actividad en distintos centros médicos. Estas interacciones pueden tener distintas finalidades, por un lado, se pueden realizar consultas a un especialista de un hospital de referencia desde cualquier otro centro médico periférico o, por otro lado, distintos especialistas pueden intercambiar opiniones sobre casos conflictivos o interesantes mediante video-conferencia, visualizando la misma información tanto textual como de imágenes médicas.

En segundo lugar, la telemedicina busca siempre evitar el traslado tanto de pacientes como de médicos, facilitando, en cambio, el traslado de la información. Como consecuencia de este traslado de información, siempre que un médico reclame un diagnóstico de un experto remoto, el médico local adquiere nueva experiencia en un área en la que no es experto. Se produce entonces un flujo de conocimientos o de experiencia entre los médicos, de forma que se puede decir que, la aplicación de la telemedicina conlleva, implícitamente, la realización de tele-enseñanza entre personal médico de distinto nivel de conocimientos.

Por último, en el plano tecnológico, la realización de cualquier especialidad de telemedicina siempre necesita de la comunicación entre los participantes, ya sean médicos o pacientes. Hace falta entonces la utilización de una vídeo-conferencia de calidad suficiente para una comunicación fluida o, en el peor de los casos, si no se dispone de ancho de banda suficiente, al menos se necesita de una audio-conferencia que permita la comunicación hablada entre los participantes. Otro punto fundamental es la disponibilidad de los historiales clínicos de los casos que se estudian. También, en ciertos tipos de telemedicina, es crítico el tener acceso, en tiempo real o diferido, a datos de aparatos médicos a los que está conectado el paciente. Por último, sí es muy común la transmisión de imágenes para el diagnóstico. Las imágenes médicas, como las radiografías, son fundamentales en la práctica médica y se utilizan en multitud de campos de la medicina para la realización de diagnósticos. En este punto es donde entra en escena la telerradiología.

5.4 TELERRADIOLOGÍA

La telerradiología se podría definir como la transmisión de imágenes médicas para su interpretación remota por un radiólogo.

La telerradiología es la parte más exigente en cuanto a recursos computacionales de las necesarias en cualquier técnica de telemedicina. Es incluso más exigente que la parte de video-conferencia, ya que en ésta es posible reducir la resolución o número de frames por segundo que se transmiten, siendo la consecuencia más directa la reducción de la ventana de video-conferencia o la aparición de saltos en la imagen de vídeo.

Sin embargo, en la transmisión de imágenes médicas, la calidad de la imagen es un factor fundamental. No es posible plantear que se pueda perder calidad en la transmisión de las imágenes ya que esto podría afectar al diagnóstico que realice el médico a partir de ella. Existen, además, estándares de calidad de imagen que aseguran que una determinada imagen puede ser usada para la realización de un diagnóstico fiable. Es, por tanto, imposible rebajar los parámetros de calidad definidos en estos estándares sin que ello repercuta en el diagnóstico. Esto implica que la transmisión de las imágenes médicas necesita de un ancho de banda fijo y que la reducción de este ancho de banda sólo se puede conseguir mediante métodos de compresión sin pérdida que, normalmente, sólo reducen el tamaño de las imágenes en, aproximadamente, un 50%.

Para comprender el volumen de información del que se está hablando se puede ilustrar con un ejemplo el espacio que ocupa una imagen habitual de las utilizadas en cualquier práctica médica. Cuando se digitaliza una radiografía de tamaño intermedio, debido a la resolución necesaria para garantizar un diagnóstico, se pueden utilizar alrededor de 4000 x 2000 pixels utilizando una profundidad de color real que necesita de 3 bytes por pixel.

$$24 \text{ bits} \times 4096 \text{ pixels} \times 2048 \text{ pixels} = 24\text{Mb}$$

Hay que resaltar que este es el tamaño mínimo de una imagen radiográfica típica. También hay que pensar que cada médico atiende a un cierto número de pacientes disponiendo de varias radiografías por paciente. Suponiendo el

tamaño medio de 24Mb por radiografía, un disco duro común a finales de 1999, de alrededor de 6Gb sólo permitiría el almacenamiento de entre 50 y 100 pacientes suponiendo que sólo se almacenan entre 2 y 4 radiografías por paciente.

Como se puede suponer, este número de pacientes y radiografías parecen insuficientes, incluso para una modesta consulta privada. Esto lleva a pensar en la ingente cantidad de espacio de almacenamiento que necesitaría un gran hospital que tuviera totalmente informatizado el servicio de radiología.

Por todo esto, las computadoras utilizadas en telemedicina necesitan, en primer lugar, una gran cantidad de espacio de almacenamiento en disco y, una vez solucionado el problema del almacenamiento, para conseguir una visualización eficiente y el procesado de las imágenes también es necesaria una buena tarjeta de vídeo y, por último, aunque menos crítico, se necesita un procesador potente que realice el resto de procesos necesarios para ejecución del sistema de telemedicina.

5.5 TIPOS DE IMAGEN

Un punto fundamental es entender el tipo de imágenes con las que se trabaja actualmente en medicina. El tipo más básico de imagen es la que procede de radiografías convencionales que habitualmente se obtienen por digitalización de radiografías en placa. Sin embargo, ya empiezan a ser comunes los aparatos de radiología digital que generan las imágenes directamente en formato digital evitando las pérdidas de calidad asociadas

al paso de escaneado de la placa. En el punto anterior se han comentado las necesidades de espacio para el almacenamiento de este tipo de imágenes.

Sin embargo, actualmente la labor diagnóstica no sólo trabaja con radiografías sino que dispone de otras herramientas basadas en la imagen. Algunas de ellas se basan en imágenes continuas en el tiempo, lo que podríamos denominar vídeos. Un ejemplo de este tipo de imagen es la ecografía o cualquier vídeo de endoscopias. Para almacenar estos vídeos en formato digital la opción más directa y de mejor calidad consiste en almacenar cada una de las frames con una calidad similar a la comentada para las radiografías. Teniendo en cuenta que normalmente se almacenan entre 24 y 30 frames por segundo para que las animaciones sean fluidas, las necesidades de espacio se incrementan enormemente.

Existen también otro tipo de imágenes médicas, desarrolladas recientemente, que trabajan con volúmenes de datos en lugar de con imágenes en dos dimensiones. En este tipo se encuadran la Resonancia Magnética Nuclear (RMN), la Tomografía Axial Computerizada (TAC) o la Tomografía de Emisión de Positrones (TEP). Fácilmente se puede pensar que, al disponer de imágenes en tres dimensiones, la ocupación de cada volumen de datos se ha de multiplicar. Estos volúmenes se generan normalmente por acumulación de varias imágenes en dos dimensiones obtenidas desde distintas posiciones de un paciente inmóvil. Por tanto, el problema de su almacenamiento se puede ver como si se tuviera que almacenar distintas imágenes de un mismo paciente. Cada volumen de datos puede ocupar un mínimo de 100 veces más que una imagen del mismo tamaño y resolución.

Por último, alguna de las técnicas que generan volúmenes de datos son capaces de obtener estos datos en el tiempo pudiendo reproducirse animaciones de estos volúmenes de datos. De nuevo, el ratio ya comentado para conseguir una animación fluida es de 24 o 30 volúmenes por segundo con lo que se vuelven a incrementar de forma drástica las necesidades de almacenamiento.

5.6 UN EJEMPLO DE APLICACIÓN EN TELERRADIOLOGÍA

Dentro de las técnicas de telemedicina que se han comentado en puntos anteriores, se hacía una distinción entre aquellas que pueden ser aplicadas ya, sin necesidad de disponer de una gran financiación ni de realizar una investigación y aquellas otras que se denominaban “demostradores de tecnología” porque estaban en una fase temprana de su desarrollo. La telerradiología, en este momento, se sitúa en un punto intermedio. Para imágenes radiográficas, se puede decir que es una tecnología probada, lista para utilizar, mientras que, el trabajo con animaciones o volúmenes de imágenes exige un ancho de banda que no está disponible, a un precio asequible, con las tecnologías actuales de telecomunicaciones.

En este punto se va a comentar una aplicación que emplea los avances que se han realizado en el campo de la telerradiología y los aplica al campo de la traumatología.

El desarrollo de este proyecto se está llevando a cabo en el ámbito del grupo de investigación, el laboratorio de Redes de Neuronas Artificiales y Sistemas Adaptativos (RNASA) y un grupo del Dep. de medicina, el laboratorio de Imagen Médica y Diagnóstica Digital (IMEDIR), ambos de la Universidade da Coruña. El título del proyecto es “Sistema Integrado para el Telediagnóstico y Seguimiento a Distancia de Pacientes con Prótesis de Cadera” y está financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia.

En él se intenta estudiar la posibilidad de realizar diagnóstico remoto de aflojamiento en prótesis de cadera. Las radiografías se transmiten desde donde reside el paciente hasta donde está el especialista de forma que las revisiones se puedan realizar sin que el paciente se traslade.

Toda la información del paciente reside en una BD centralizada accesible a través de Internet que almacena, tanto datos demográficos, como imágenes radiográficas.

Este proyecto de investigación surge de la necesidad de realizar un seguimiento de los pacientes durante un largo período de tiempo desde la realización de la operación de implante de la prótesis.

Teniendo en cuenta el tipo de pacientes, normalmente personas mayores, y la orografía de Galicia, la posibilidad de realizar teleconsultas desde su propio domicilio o un centro de salud cercano haría ganar mucha calidad de vida a este tipo de pacientes.

El tipo de comunicaciones utilizadas es la AGI (Autopista Galega da Información) que enlaza las universidades, centros de investigación y hospitales en la comunidad gallega. Esta red es de alto ancho de banda y

puede proporcionar la capacidad de transferir de forma rápida las imágenes médicas.

5.6.1. Pantallas del sistema.

El sistema se basa en una serie de pantallas demográficas en las que se introduce la información sobre el paciente. También se dispone de pantallas para incorporar la información del historial clínico. En esta parte se pueden asociar las digitalizaciones de las distintas radiografías de las revisiones que se realiza al paciente, con la información que se obtiene de esa revisión.

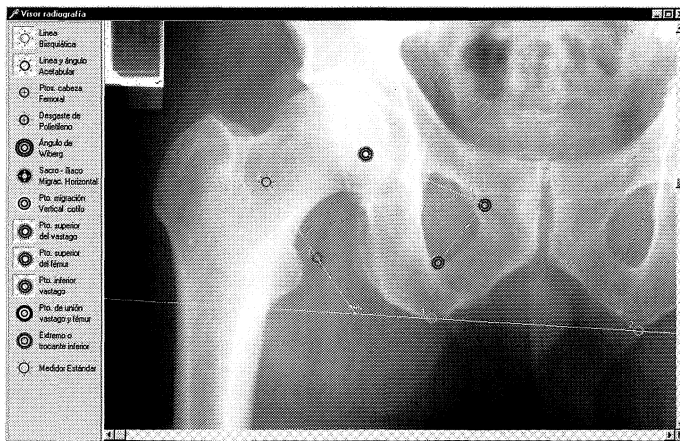


Figura 2.: Ejemplo de una de las pantallas del sistema.

Para cada radiografía se marcan una serie de puntos para poder calcular ángulos y distancias de una serie de medidas predefinidas. En la Figura 2 se puede ver la ventana del sistema que permite marcar los puntos sobre una radiografía.

Una vez realizado este trabajo para todas las radiografías de un paciente, se puede estudiar la evolución de estas medidas para poder concretar si existe o no movimiento de las prótesis instaladas.

5.6.2. Trabajo colaborativo

Este tipo de programa aporta, como hecho diferencial, la posibilidad de que dos médicos que no tengan la oportunidad de encontrarse para comentar el caso de un paciente, tengan las facilidades necesarias a través de una red de computadoras para poder realizar ese tipo de diagnóstico en común. El programa también facilita el trabajo de un médico individual en el sentido de que se automatiza la gestión de historias clínicas y de radiografías pero no más que cualquier programa que tenga como labor fundamental la gestión de información.

En el modo colaborativo, uno de los médicos tiene la información sobre un paciente. Entonces abre una sesión en el servidor, lo que significa que crea una especie de canal (de forma semejante a un servidor IRC) y recupera de la BD toda la información de este paciente, demográfica y radiografías disponibles de sus revisiones.

Los médicos que van a participar en la revisión se conectan al servidor y comprueban qué sesiones están abiertas. Localizan el nombre del médico que abre la sesión y se conectan a ella. Se abre entonces una videoconferencia y la información del paciente se carga en las computadoras de cada médico que se conecte a la sesión.

Una vez conectados, cada uno de los médicos puede modificar valores de la historia o las posiciones de puntos de medidas y ángulos mientras comentan distintos aspectos del paciente, pudiéndose ver mediante la conexión de videoconferencia.

5.6.3. Situación actual

En este momento, el proyecto está terminando su primera fase de desarrollo y, el personal médico va a comenzar a realizar las primeras pruebas entre la Facultad de Informática, el Laboratorio IMEDIR en el campus de Oza, el Hospital Juan Canalejo y el Hospital de Cee. Una vez realizadas estas primeras pruebas y ajustado el programa se espera comenzar la utilización del programa manejando casos reales en los centros ya referenciados.

5.6.4. Direcciones futuras

El programa actual se está desarrollando en lenguaje Delphi, sin embargo, la propia naturaleza del sistema de telerradiología y su funcionamiento sobre Internet parecen plantear la pregunta ¿Por qué no realizar el proyecto en Java?.

Al desarrollar un programa orientado a internet, el lenguaje Java es una opción muy razonable y con ventajas aparentes pero, en el momento de comenzar a desarrollar el proyecto, hace más de un año, el lenguaje Java presentaba distintos problemas.

Así, la principal ventaja que aporta Java, la portabilidad, no se conseguía completamente ya que, dependiendo del compilador utilizado, el código sólo funciona correctamente en ciertos navegadores. Además, para utilizar los últimos avances de la versión Java 1.2.2 se necesita un plug-in para actualizar las funcionalidades de los navegadores. Este punto elimina la ventaja de no tener que instalar programas que se consigue al utilizar applets. En este caso, el usuario sólo tiene que conectarse a una dirección web y esperar a que se baje el applet y empiece a funcionar. Sin embargo si el navegador no está listo para ejecutar el applet y se necesita un plug-in, hay que bajar este plug-in e instalarlo sobre el navegador, suponiendo esto un problema para usuarios de computadoras que tengan un nivel básico. Esto supone un trabajo más o menos similar a instalar un programa compilado en Delphi, con lo que desaparecerían las ventajas de la utilización de este otro lenguaje.

En estos momentos, se están realizando nuevas pruebas para estudiar la posibilidad de migrar la aplicación. La parte de BD no cambiaría y el modo de trabajar tampoco. Sólo se necesitaría un equipo más potente que pudiera dar soporte a la ejecución fluida de programas Java complejos. La ventaja fundamental del sistema implementado de esta forma es que no habría que instalar ningún programa. Como ya se ha comentado, el usuario se conecta a

una página web, baja la aplicación, y ya puede comenzar a trabajar independientemente de la computadora y del lugar donde se encuentre.

5.7 TENDENCIAS

Dentro del campo de la Telerradiología existen distintas tendencias muy claras que se desarrollarán en los próximos años, hasta conseguir su aplicación en la práctica diaria.

Una de estas tendencias es la expansión de la radiología móvil, que consiste en la utilización de equipos móviles de obtención de radiografías mediante su instalación en furgonetas o camiones ligeros. En estos sistemas es necesario disponer de equipos de comunicaciones autónomos que permitan la transmisión de las imágenes y la comunicación con el centro hospitalario de referencia por medio de transmisores de telefonía móvil o de satélite. Existen ya experiencias en este sentido realizadas, sobre todo, por ejércitos de distintos países con resultados satisfactorios. En el ámbito civil, el procedimiento de funcionamiento consistiría en que un médico con una formación más general viajara con el sistema para realizar las radiografías, junto a algún personal técnico. Una vez conseguidas las radiografías en la casa del paciente, se puede establecer una conexión de alta capacidad con el especialista del centro de referencia, de forma que se realice un diagnóstico definitivo.

Otro punto de interés es la realización de bibliotecas de imágenes médicas de distintos tipos y con distintas patologías. Estas bibliotecas pueden usarse

posteriormente como base para realizar teleenseñanza o como estándar a la hora de probar distintos algoritmos de procesado de imagen. También se pueden estudiar protocolos de diagnóstico basándose en diagnósticos ya verificados. Como ejemplo más conocido de este tipo de bibliotecas es el Visible Human Project. En este proyecto del NIH (National Institute of Health – EEUU) se consiguieron distintos tipos de imágenes (TAC, RMN y cortes criogénicos) de dos cadáveres (un hombre y una mujer) que habían donado su cuerpo a la ciencia. Este proyecto, pionero en este campo, es ya un estándar y una referencia obligada en cuanto a la investigación en procesado de imágenes médicas.

Como consecuencia del desarrollo de estas bibliotecas y la generalización de los equipos médicos de captación de imágenes que funcionan de forma digital, también se está produciendo una utilización más extensa de técnicas de procesado digital de imagen que consigan una mejora en la visualización y, por tanto, en los diagnósticos que se produzcan a partir de ellas. Dentro de estas técnicas, ya en el campo del 3D se trabaja actualmente en la segmentación y reconstrucción de órganos y estructuras como métodos de preparación de operaciones quirúrgicas o como método de enseñanza avanzado.

5.8 FUTURO INMEDIATO

En breve, el campo de la telerradiología se verá potenciado por la mejora de las comunicaciones y por el incremento de potencia de las computadoras. Esta situación de mejora provocará la extensión de su utilización al poder

incrementar la calidad de las comunicaciones y el trabajo entre médicos, utilizando, tanto equipos como conexiones de bajo coste.

En cuanto a las comunicaciones, en muy poco tiempo se mejorarán las conexiones telefónicas desde los domicilios y desde terminales móviles con nuevas tecnologías como ADSL y UMTS. ADSL permite disponer de una sola línea telefónica para acceder simultáneamente a las llamadas de voz y a las conexiones de datos. Estas conexiones se realizan de forma asimétrica permitiendo un ancho de banda reducido de emisión (128/300 Kbit/s) y más amplio de recepción (de 256 Kbit/s a 2 Mbit/s). La tecnología UMTS para teléfonos móviles, cuyo concurso de licencias está resuelto en España en este momento y probablemente esté funcionando en el 2002, permite que los móviles tengan capacidad multimedia para emitir y recibir, voz, datos, imágenes y vídeo.

Por otro lado, la potencia de las computadoras siempre aumenta de forma exponencial. Esto implica que en no mucho tiempo se podrán visualizar volúmenes de datos con equipos asequibles con lo que se podrá añadir este tipo de imágenes médicas a los equipos que utilicen los médicos desde sus casas y consultas. Además, a medio plazo será posible incluir equipamiento de Realidad Virtual, como cascos, gafas o guantes a estos equipos de forma que la visualización de los volúmenes de datos y las reconstrucciones se realice de una forma más intuitiva.

5.9 BIBLIOGRAFÍA

- www.telemedicine.org The Internet Dermatology Society. Junio 2000.
- Porto, A. Pazos, A. Puente-Penas, J. Pereira, M. Linares, J. Teijeiro, A. Santos, J. Dorado. “*Sistema de teleseguimiento de pacientes con prótesis de cadera a través de internet*”, presentado en la modalidad de comunicación en la Sesión Científica 2: Imágenes Médicas, dentro de las II Jornadas Nacionales sobre Internet y Salud. Madrid, Abril 2000.
- Pernas, J. Teijeiro, J. Pereira, A. Santos, J. Dorado, A. Pazos: “*Sistema de validación de un método para seguimiento de las migraciones en prótesis de cadera*”. Capítulo del libro: “Radiología Digital”. Servicio de publicaciones Universidad de Málaga. Málaga, 1999. Pag. 225 a 236. ISBN: 84-7496-754-6.
- Pernas, J. Teijeiro, J. Pereira, A. Santos, J. Dorado, A. Pazos: “*SSAPRO – Sistema de seguimiento a distancia de pacientes con prótesis de cadera*”. Capítulo del libro “Aplicaciones Avanzadas en Internet”. Editorial Alfredo Brañas. Santiago de Compostela, 1998. Pag 67 a 78.

- Grupos de News

alt.image.medical

alt.med.equipment

comp.graphics.visualization

comp.protocols.dicom

sci.engr.biomed

sci.image.processing

sci.med.cardiology

sci.med.informatics

sci.med.physics

sci.med.radiology.interventional

sci.med.radiology

sci.med.telemedicine