

# INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS PACS (ALMACENAMIENTO Y COMUNICACIÓN DE IMÁGENES): CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES.

AZPIROZ LEEHAN, J.  
MARTÍNEZ MARTÍNEZ, M.

Área de Procesamiento Digital de Señales e Imágenes  
Biomédicas. Dept. Ing. Eléctrica.  
UAM-Iztapalapa, Av. Michoacán y Purísima s/n, 09340,  
México, D.F.

## RESUMEN:

*El análisis visual y la imagenología en medicina son herramientas fundamentales para el diagnóstico clínico. En la actualidad el 80% de las imágenes se imprime en película radiográfica sin importar el origen de éstas, aún en los casos cuando la imagen es digital originalmente y se introduzcan degradaciones en el proceso de impresión.*

*El desarrollo de la tomografía digital y otras modalidades numéricas ha producido distintos tipos de formato de datos y de sistemas de almacenamiento de información. A partir de los años 80's se ha desarrollado la idea de constituir un departamento de radiología o imagenología prácticamente digital al 100%. Este departamento emplearía una red de estaciones de visualización junto con los sistemas de almacenamiento y adquisición de imágenes. Un sistema completo de este tipo se conoce bajo el nombre de un sistema PACS (Picture Archiving and Communications System). Se presenta una revisión de las características principales de estos sistemas y su estandarización.*

## ABSTRACT:

*Visual analysis of medical images is a fundamental tool of clinical diagnosis. Today, 80% of medical images are printed on radiographic film without regard to their origin, even when the original image is digital and the printing process degrades the image quality.*

*The development of digital tomography and other numerical methodologies have produced different types of data formats and digital storage systems. In the 80's emerged the idea of creating a 100% digital radiology and imaging department. Such a department would rely on a network of image workstations, digital storage systems, and the image acquisition devices. This complete system has been named PACS (Picture Archiving and Communications System). This article presents a review of the fundamental characteristics of such systems and the applicable standards.*

## PALABRAS CLAVE:

PACS; Imagenología médica; Radiología digital.

## KEYWORDS:

PACS, Medical imaging, Digital radiography

## INTRODUCCIÓN

Las necesidades de almacenamiento y manipulación de imágenes médicas surgen a partir de los años 70's como consecuencia del nacimiento de la tomografía axial computada como método de diagnóstico en base a imágenes digitales. Desde entonces se han desarrollado diferentes técnicas, como la medicina nuclear y la resonancia magnética, que contribuyeron a la generación de varias modalidades de imágenes médicas digitales para diagnóstico, produciéndose en

los últimos años grandes cantidades de ellas (1), que ha hecho complicado su manejo principalmente cuando deben imprimirse y almacenarse posteriormente. Esto ha producido una gran demanda de medios de almacenamiento más apropiados que no sean impresiones en papel o en placas radiográficas y a su vez métodos de transferencia entre dispositivos manufacturados por diferentes compañías (2). Para el caso de las imágenes médicas, además de los atributos de la imagen y de la imagen misma, normal o comprimida, se agregan datos demográficos y de identificación del paciente, información acerca de las condiciones de adquisición y en algunos casos información del examen, de la serie a la que pertenece la imagen y orden que guarda en un estudio.

Las imágenes radiográficas se emplean muy frecuentemente en muchos de los campos de la

Recepción del artículo en su primera versión: junio /98  
Aprobación del artículo en su versión final: noviembre /98  
Responsable:

Joaquín Azpiroz Leehan  
Área de Procesamiento Digital de Señales e Imágenes Biomédicas.  
Dept. Ing. Eléctrica, UAM-Iztapalapa. Av.  
Michoacán y Purísima s/n, 09340, México, D.F.  
jazp@xanum.uam.mx

medicina. Casi el 80% de las imágenes se imprime en placas y se visualiza de la manera convencional actualmente. Otras modalidades de generación de imágenes tienen soporte básico distinto al de las placas radiográficas, pero por costumbre o conveniencia se pasan a ese formato antes de analizarlas. Algunos ejemplos de esta situación son la manera en la que comúnmente se despliegan las imágenes de medicina nuclear, ultrasonido, resonancia magnética y tomografía axial computada. La tabla 1 muestra los tipos más comunes de imágenes médicas y el tipo de soporte empleado comúnmente. Aún cuando varios de los tipos de imágenes son digitales originalmente, se procede a imprimir las mismas sobre una placa en detrimento de la calidad de éstas.

Imágenes	Tipos de soporte
RADIOGRAFIAS	PLACA
OSTEODENSITOMETRÍA	DIGITAL
FLUOROSCOPIA	VIDEO-PLACA
TOMODENSITOMETRÍA	DIGITAL-PLACA
PET-SPECT	DIGITAL
ULTRASONIDO	VIDEO-POLAROID PLACA
MEDICINA NUCLEAR	DIGITAL-PAPEL
RMN	DIGITAL-PLACA
MICROSCOPIA	PAPEL

Tabla 1. Tipos de soporte para distintas modalidades de imagenología.

A partir de los años 80, la proliferación de sistemas digitales ha conducido al desarrollo de la idea de constituir un departamento de radiología o imagenología prácticamente digital al 100%. Este departamento emplearía una red de estaciones de visualización junto con los sistemas de almacenamiento y adquisición de imágenes. Un sistema completo de este tipo se conoce bajo el nombre de un sistema PACS (Picture Archiving and Communications System). El empleo de este tipo de sistemas en nuestro país traería un cambio fundamental en el esquema de funcionamiento de los departamentos de radiología o imagenología, mejorando significativamente la eficiencia de los mismos, conjuntamente con una mejoría importante de la calidad de la atención médica que se le brinda a los pacientes. En este caso no solo se trataría de reproducir el paradigma de visualización en medios electrónicos, sino que al incorporar otro tipo de información antes no disponible, como el despliegue de imágenes multimodalidad, el realce de imágenes y el diagnóstico asistido por computadora.

#### MANEJO DE LA IMAGENOLÓGIA EN MÉXICO

Actualmente la mayoría de los hospitales de la Ciudad de México, de regular tamaño, trabajan ma-

nualmente las imágenes médicas de diagnóstico. Por lo regular, cuando el paciente abandona el hospital, las imágenes impresas se almacenan en el área de archivo clínico, en donde es difícil mantener un orden apropiado, debido a la gran cantidad de placas a archivar. Por otro lado, cuando un médico requiere consultar alguna imagen, en el archivo, para realizar comparaciones con patologías similares, la probabilidad de éxito es muy baja.

Existen dos tipos radicalmente opuestos de manejo de los archivos radiológicos: aquel empleado por los hospitales públicos y el que se utiliza en los hospitales privados. En el primer caso, el manejo y almacenamiento de las imágenes se hace bajo un esquema centralizado y manual, donde se tiene una sola copia del expediente del paciente y donde las imágenes se guardan en un archivo radiológico central en los hospitales de especialización (o de tercer nivel). En el segundo tipo se tiene un sistema de almacenamiento distribuido, donde no existe propiamente un expediente completo del paciente y donde las imágenes procedentes del departamento de imagenología están bajo la custodia ya sea del paciente o del médico tratante. Bajo los dos tipos de almacenamiento de información se tiene un manejo ineficiente de la misma.

Para ambos casos, en algunas modalidades como R-X, Tomografía Computada y Resonancia Magnética, las imágenes son impresas y en otros casos, como el ultrasonido, se graban en cinta de video. Esta información debe ser distribuida para su interpretación, diagnóstico y consulta posterior. Durante su análisis, el médico especialista utiliza, comúnmente, un medio de grabación de voz para registrar su diagnóstico que después es transcrito, por otra persona, en un procesador de texto o máquina de escribir. Posteriormente los resultados de ese diagnóstico son utilizados en varios servicios, dentro del hospital, para ofrecer un tratamiento "apropiado" a la patología del paciente. Como se puede inferir, existen posibilidades de error en el diagnóstico; por ejemplo, si se maltrata la imagen o si la transcripción no se realiza apropiadamente y aún más grave, se puede extraviar la información.

En varios estudios se menciona la cantidad de información en imágenes médicas generada cada año en distintos tipos de hospital. En general se puede decir que en un hospital de 600 camas se generan entre 100,000 y un millón de imágenes cada año. Adicionalmente, existe en el mejor de los casos una pérdida del 20% de las imágenes, además de que siempre existe una serie de problemas con el manejo de éstas. En nuestro país podemos constatar que algunos de los más graves son:

- Pérdida de archivos
- Inexistencia de bases de datos
- Lentitud en la consulta de expedientes
- Repetición de exámenes
- Altos costos en placas radiográficas

A continuación se describen con más detalle estos problemas:

#### PÉRDIDA DE ARCHIVOS

El problema de la recuperación completa del archivo clínico es importante en ambos tipos de administración de información. En el caso del archivo único, existe el riesgo importante de perder el expediente completo, especialmente en los casos cuando éste debe transportarse junto con el paciente de un centro de atención a la salud a otro (por ejemplo, en consultas de especialidad o traslado a hospitales de mayor nivel). En el caso de la información distribuida, es difícil reconstruir la historia clínica de un paciente que ha sido atendido por distintos especialistas a lo largo del tiempo.

Con las imágenes médicas el problema se complica aún más. En el archivo radiológico se deben encontrar todas las imágenes de los pacientes. Sin embargo, es común encontrar que un número importante de placas no se encuentran debido a que o están mal clasificadas (los responsables de este archivo en general no tienen nociones de biblioteconomía) o están en manos de médicos que no las han reintegrado al archivo. Aunado a estos hechos está la política de vender las placas radiográficas "viejas" para recuperar el espacio físico ocupado por éstas. Por supuesto que en el caso de muchos hospitales privados es imposible conformar un archivo, ya que no existe una política de almacenamiento de imágenes a nivel hospitalario.

#### INEXISTENCIA DE BASES DE DATOS

En la actualidad es importante el poder llevar a cabo un seguimiento a largo plazo de los pacientes para llevar un registro de la evolución de padecimientos crónicos y para evaluar las consecuencias de ciertos tratamientos a largo plazo. Una manera obvia de hacer el seguimiento de pacientes artríticos o con osteoporosis es el estudiar los cambios en las imágenes radiográficas a lo largo del tiempo. Igualmente interesante es el hacer estudios comparativos entre imágenes de pacientes normales e imágenes de pacientes con algún padecimiento particular. En este caso, solamente los médicos que poseen registros completos de pacientes a lo largo del tiempo pueden establecer este tipo de comparaciones, cosa que sería relativamente fácil de implantar si se contara con una base de datos o de imágenes médicas. Actualmente los médicos que desean establecer comparaciones o hacer seguimiento deben o quedarse con las placas que resulten de su interés o deben llevar un registro de las placas y los pacientes que son de su interés y confiar que éstas se encuentren en el archivo radiológico bien clasificadas. El empleo de una base de datos e imágenes tendría entre otras, las siguientes ventajas:

- Permitir un acceso rápido a la información solicitada
- Establecer búsquedas bajo varios criterios

- Presentar imágenes de un mismo paciente a distintos tiempos para hacer seguimiento a largo plazo
- Presentar imágenes de padecimientos típicos o imágenes normales para establecer comparaciones con la imagen bajo estudio.

#### LENTITUD EN LA CONSULTA DE EXPEDIENTES

Las consultas en casi todos los casos se hacen en forma manual y en muchas ocasiones dependen de la eficiencia de empleados poco capacitados para efectuarlas. La búsqueda de otros datos relevantes o asociados al expediente pero no integrados a éste es muy difícil.

#### REPETICIÓN DE EXÁMENES

La mala administración del archivo radiográfico o la poca disponibilidad de las imágenes induce a repetir los exámenes. En muchos casos es más fácil solicitar la repetición de un examen que encontrar la imagen necesaria. En otros, la mala calidad en las placas hace necesaria una toma adicional. En pocas palabras una pérdida de las imágenes o la mala calidad de las mismas traen como consecuencia una exposición innecesaria a la radiación ionizante por un lado, y un incremento en costos por el otro.

#### ALTOS COSTOS EN PLACAS RADIOGRÁFICAS

Las placas son consumibles caros. En general existe una tendencia al alza del costo de los mismos, que incluyen a las placas mismas y a los productos de revelado, a los gastos en los cassettes reutilizables y en la papelería asociada (sobres y folders). Asociado a estos costos se deben considerar los costos debidos al personal dedicado al manejo y revelado de las placas y que incluyen a un técnico en el cuarto del revelado, a un técnico en la sala de visualización, a un responsable del archivo y al mensajero del mismo. El espacio ocupado en estos servicios es considerable y esto introduce costos adicionales (es común que se construya un "cuartito" adicional en el techo o en el sótano del hospital para poder contener al archivo radiográfico siempre creciente). Finalmente hay que considerar el tiempo perdido por el personal altamente calificado (radiólogos expertos) mientras se busca una placa extraviada o se vuelve a hacer un estudio, además del tiempo de espera de otros clínicos que no tienen acceso inmediato a las mismas o al reporte del radiólogo (3).

#### RESUMEN DEL PROBLEMA

El problema del almacenamiento y manejo de las imágenes médicas en nuestro país se puede resumir de la siguiente manera:

- Existe un almacenamiento de la información deficiente, por lo que el acceso a la misma se hace difícil.
- Existe un desperdicio de los recursos disponibles.
- Hay una disminución en la calidad de la atención al paciente.

Asociado a esto, se tiene un manejo de la radiología que sigue las tradiciones impuestas hace un siglo y que se adapta mal a las condiciones actuales y a la tecnología de fin de siglo. Por lo tanto se tiene un aprovechamiento mínimo de la información radiológica disponible.

#### SOLUCIONES POSIBLES

Todas las soluciones que se pueden plantear a los problemas anteriormente expuestos se basan en la aplicación de la tecnología digital para implantar sistemas de manejo y comunicación de las imágenes. Las soluciones pueden incluir desde el diseño y construcción de un sistema simple pero funcional, hasta la adquisición de un sistema PACS comercial completo.

#### LOS SISTEMAS PACS

Los sistemas PACS (1,4,5, y 6) ofrecen una alternativa en el manejo de imágenes digitales en forma eficiente, a través de dispositivos conectados en red (ver fig. 1), que en conjunto ofrecen una serie de servicios que dan soporte a la operatividad de un área (radiología en este caso). Sin embargo, para obtener una buena aceptación en el medio clínico, se deben considerar la facilidad, rapidez, seguridad en el acceso de imágenes y la calidad en su presentación. Además se pueden aprovechar las facilidades de la tecnología para ofrecer funciones adicionales como mostrar varias imágenes en una misma pantalla, procesamiento de imágenes para corregirlas o mejorarlas, grabación de voz correspondiente al diagnóstico y diagnóstico asistido por computadora, entre otras. (figura 1)

Cabe señalar que el uso de los sistemas PACS no es exclusivo para el área médica; existen otras áreas que requieren de la manipulación de grandes cantidades de imágenes, como en la Geología, Geografía o el Estudio de Fenómenos Atmosféricos,

en donde básicamente se utilizan imágenes de percepción remota.

#### VENTAJAS

Las ventajas que un sistema PACS ofrece, sobre un manejo manual de imágenes son (1):

El paso a un sistema de almacenamiento digital tiene las siguientes ventajas:

- **Accesibilidad:** La información está disponible al personal médico que la requiera. No es necesario contar con procesos intermedios de solicitud ni tiempos de espera largos.
- **Seguridad:** El acceso a la información está predefinido y controlado por medios electrónicos (claves de acceso, tarjetas de control, etc.).
- **Facilidad de almacenamiento:** Los procesos de almacenamiento de información se automatizan y la intervención del personal administrativo se minimiza. Con la capacidad de almacenamiento apropiada y con un buen esquema de almacenamiento, se pueden mantener en el sistema imágenes con mucho tiempo de antigüedad (5).
- **Economía:** Se elimina la necesidad de procesamiento de placas impresas y los costos asociados (en material y personal) y se ahorra tiempo en los procesos de recuperación de imágenes. Los costos de la implantación y operación de este tipo de sistemas no son superiores a los costos de manejo de la radiografía convencional, mientras que los beneficios al paciente debidos a incrementos en eficiencia son importantes.
- **Empleo de bases de datos:** La calidad de la atención al paciente se incrementa significativamente al permitirse búsquedas y comparaciones entre imágenes y padecimiento, considerando además que es factible integrar la información de diagnóstico con imágenes. También se pueden realizar seguimiento a largo plazo de los pacientes y el despliegue rápido de información complementaria. Además la probabilidad de pérdida es prácticamente cero, debido a que no existe manipulación humana en las imágenes digitales. Por otro lado, se le puede dar apoyo a la enseñanza, al poder consultar bancos de imágenes para ejemplificar patologías.
- **Visualización múltiple:** Una imagen puede desplegarse en distintos lugares simultáneamente, de tal manera que el especialista puede hacer su diagnóstico en el servicio de imagenología, mientras que al mismo tiempo se puede desplegar en los quirófanos, los consultorios de los médicos o los servicios de urgencias.
- **Ahorro de espacio físico.** El espacio físico ocupado por imágenes impresas, es prácticamente eliminado, debido al almacenamiento electrónico usado en PACS. Esto permite una orga-

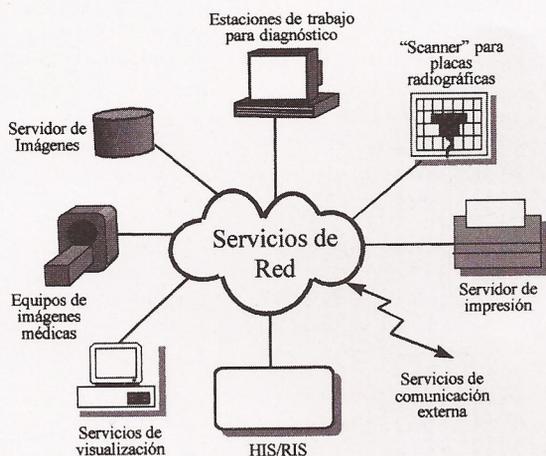


Figura 1. Sistemas PACS

nización eficiente en estudios que requieren varias imágenes (almacenándolas en un solo archivo, por ejemplo).

- Comunicación a través de redes de computadoras: Se tiene la posibilidad de transmitir imágenes a lugares remotos del hospital, vía una red de telecomunicación, además de integrar el sistema PACS con otros sistemas de información del hospital.
- Procesamiento de imágenes: Los datos de una imagen pueden ser mejorados realizando algún tipo de procesamiento, lo cual facilita el trabajo de diagnóstico.

Algunas de las desventajas del empleo de este método son:

- Calidad inferior de las imágenes desplegadas en pantalla con respecto a la calidad de la imagen en placa radiográfica.
- Impresión de lentitud en el despliegue.
- Falta de costumbre de ver imágenes en pantalla.

Algunas de estas desventajas están relacionadas principalmente a la falta de familiaridad de los médicos al empleo y visualización de formatos e información digitales, aunque es cierto que en el caso de radiografías convencionales, las placas ofrecen mayor resolución que los monitores de video.

Podría pensarse que la instalación de un sistema PACS, es inalcanzable por la gran cantidad de recursos que requiere. Sin embargo el costo/beneficio del sistema es rentable a largo plazo, por el ahorro que podría obtenerse en otros rubros.

#### REQUERIMIENTOS

Los sistemas PACS están integrados por un conjunto de dispositivos, cuyas responsabilidades son el ofrecer todos los elementos operacionales demandados por el área de radiología y áreas dependientes, dentro de un hospital. Estas demandas incluyen:

**Adquisición de imágenes.** Varias modalidades son de naturaleza digital (CT, CR, RMI, NMI, DSA, entre otras), sin embargo existen modalidades cuya información analógica requiere de digitalizadores especiales (Ultrasonido y R-X, entre otros).

**Almacenamiento de Información.** Una vez teniendo la información digital, se requiere almacenarla, utilizando manejadores de bases de datos adaptados al manejo de imágenes. Debe contemplarse además, el almacenamiento de datos asociados, como por ejemplo provenientes del paciente o de los estudios realizados. Este trabajo se puede realizar en ambientes centralizados o distribuidos.

**Distribución de Imágenes.** Desde el lugar donde se producen las imágenes, se requiere distribuirlas a diferentes áreas en el hospital, con la finalidad de realizar consultas, interpretación, diagnóstico o almacenamiento. Para ello se requieren medios de comu-

nicación en red, que integran a los diferentes dispositivos involucrados.

**Visualización de Imágenes.** Las imágenes necesitan visualizarse con propósitos de consulta, interpretación y diagnóstico. En cada situación se deben utilizar dispositivos apropiados. El caso más delicado es la interpretación y diagnóstico, que requieren de estaciones de trabajo con posibilidades gráficas importantes que mantengan los detalles que se observan en una impresión normal en placa. También se debe contemplar la posibilidad de resaltar algunos aspectos de las imágenes, utilizando procesamientos específicos, que el radiólogo o especialista requieran para facilitar su trabajo. Para el caso de consulta, debe existir la posibilidad de mostrar también los resultados del diagnóstico e interpretación para cada imagen y si es el caso, sincronizar la voz con el despliegue secuencial de las imágenes.

**Registro de Resultados.** El resultado de la interpretación y diagnóstico debe integrarse al sistema, ya sea a través de voz o texto.

**Interfase con Otros Sistemas.** Los sistemas más antiguos en los hospitales son los sistemas de información hospitalaria (HIS) y en ocasiones los sistemas de información radiológica (RIS). Estos sistemas tienen definida cierto tipo de información que también es utilizada por los PACS. Para evitar redundancia en la información, se debe contemplar una interfase entre ellos. Con esta integración se puede optimizar la utilización de recursos, mejorar la calidad de servicios al paciente, minimizar la dependencia en la impresión de imágenes y dar facilidades a la investigación y soporte a la educación médica.

**Comunicación Remota.** Otro aspecto a contemplar en el desarrollo de un sistema PACS, es la posibilidad de intercambiar información con sistemas similares, remotos, lo cual requiere de la utilización de un mecanismo de conexión entre redes.

**Seguridad del Sistema.** El sistema debe ser lo suficientemente seguro para proporcionar servicio las 24 horas del día, durante los 365 días del año. Para cumplir con este requerimiento, se debe redundar en canales de comunicación, utilizar de preferencia bases de datos distribuidas y algún esquema de protección de información en cinta. El sistema debe ser lo suficientemente flexible para aceptar modificaciones y adiciones en su arquitectura, sin afectar el servicio. Las operaciones de mantenimiento deben ser minimizadas y automatizadas, y se debe tener alguna capacidad de monitoreo del sistema.

#### COMPONENTES DE LOS SISTEMAS PACS

Como puede inferirse de los requerimientos, los sistemas PACS, utilizan varios componentes (hardware y software) con funciones específicas. Como se observa en la figura 1, estos componentes se integran en un esquema Cliente/Servidor, para ofrecer los diferentes servicios demandados por el área de radiología de un hospital.

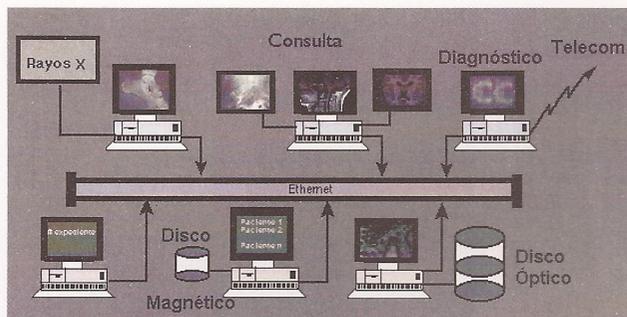


Figura 2. Red MicroPACS, Université de Technologie de Compiègne

La figura 2 muestra una realización pequeña de un sistema PACS. Se trata de la implantación de una red de estaciones de consulta, diagnóstico y visualización basada en computadoras personales que se desarrolló entre la Université de Technologie de Compiègne y el Centro Hospitalario de Amiens, en el norte de Francia a finales de la década de los ochentas.

Los componentes básicos de un sistema PACS son:

- Sistemas de adquisición.
- Red de comunicación.
- Bases de datos.
- Estaciones de Diagnóstico y Visualización.
- Sistemas de Almacenamiento.

#### SISTEMAS DE ADQUISICIÓN

La adquisición de las imágenes tiene dos modalidades principales. En el caso de una cantidad importante de tipos de imagen, debido a su naturaleza, se tiene que éstas ya se encuentran en un formato numérico. Las imágenes de tomografía axial computada, resonancia magnética nuclear, medicina nuclear, entre otras son digitales y se imprimen en placa por comodidad únicamente. En estos casos, el reto es encontrar la manera de obtener la información numérica directamente de la máquina y transmitirla a través de la red al archivo de imágenes. Es común encontrar que las imágenes se proporcionan bajo un formato no estándar, que depende del fabricante. En otros casos, se presentan los datos numéricos, siguiendo el estándar DICOM, en cuyo caso es posible leer los datos y almacenarlos siguiendo esta norma.

En el caso que se tengan las imágenes disponibles únicamente en placa, se tendrán que digitalizar manualmente, por medio de un digitalizador de placas. Lo mismo sucede con las imágenes que tienen salida en formatos de video, como es el caso de las imágenes de ultrasonido. En sistemas de este tipo es necesario contar con una tarjeta digitalizadora de video, que entregue las imágenes en formato numérico.

#### DISPOSITIVOS PARA REDES DE COMUNICACIÓN

La red de comunicación es un elemento fundamental de los sistemas PACS. Esta puede ser una red simple

tipo Ethernet en un sistema mínimo, pero comúnmente se cuenta con una serie de elementos con distintas velocidades de acceso, que dependen de las necesidades de velocidad de transferencia de información. Comúnmente se cuenta con una red de alta velocidad dentro del departamento de imagenología, que puede ser FDDI o Gigabit Ethernet, una red de menor capacidad dentro del hospital, como Ethernet convencional y un sistema de acceso exterior que puede ser tan lento como el acceso telefónico, el empleo de la red digital de servicios integrados, o canales de mayor velocidad. Estos esquemas se basan en el hecho de que la mayor parte del tráfico de información se encontrará dentro de la misma unidad de imagenología, donde se hará la mayor parte del diagnóstico radiológico y donde se generarán los informes por parte de los especialistas. Esta demanda de ancho de banda justifica la instalación de una red de alta velocidad.

En el caso de la conexión al resto del hospital, la velocidad de transferencia no tiene que ser tan alta, ya que la demanda es menor. Es común que se tengan enlaces entre los sistemas generales de información hospitalaria, donde se encuentran los expedientes de los pacientes, y sistema de información radiológica. En algunos casos, todo el hospital está cableado con la misma tecnología (frecuentemente se trata de fibra óptica), por lo que la intercomunicación en sistemas de información se facilita. Para las comunicaciones con el exterior se debe hacer un estudio cuidadoso del ancho de banda que se requiere, ya que los costos de renta para RDSI y otras opciones pueden ser altos.

#### MANEJADORES DE BASES DE DATOS

El diseño de un sistema de bases de datos y su implantación son fundamentales para el buen funcionamiento de un sistema PACS. Se deben almacenar tanto imágenes como voz (el informe oral del radiólogo) y texto. El diseño de la base de datos debe ser orientado a objetos para que su manejo sea más intuitivo.

Se debe tener una estrategia para el almacenamiento de información: En las horas siguientes a la adquisición de una imagen, ésta se consulta con más frecuencia. A lo largo del tiempo la probabilidad de que esta imagen sea consultada disminuye significativamente. Debido a esto, el almacenamiento a corto plazo (plazos de horas) debe hacerse en los sistemas locales (memoria y disco). A mediano plazo (días), el almacenamiento debe hacerse en servidores locales, mientras que el almacenamiento permanente y a largo plazo puede hacerse ya sea en unidades de disco óptico o en cinta magnética. Unido a esto, debe existir un módulo que se encargue de efectuar una recuperación inteligente de las imágenes que probablemente se solicitarán (prefetch), junto con un sistema de compresión y descompresión en línea. Un ejemplo de esta aplicación es el precargado de las imágenes de un determinado paciente, el día de su consulta. Así, los médicos podrían hacer un

seguimiento a largo plazo de sus padecimientos y podrían solicitar cualquiera de sus imágenes, si así lo desean. El programa estaría encargado de revisar la agenda de visitas programadas y de precargar las imágenes que ordinariamente se encuentran en almacenamiento a largo plazo.

#### ESTACIONES DE TRABAJO

Las estaciones de diagnóstico y visualización también son elementos importantes en un sistema PACS. Estos son los elementos que presentan la información visual a los médicos y deben cumplir con las normas de calidad adecuadas. Como reproducen de alguna manera el paradigma de los negatoscopios, su aceptación depende sobre todo de la calidad visual que presentan, junto con la facilidad de uso.

Para el caso de las estaciones de diagnóstico, que se encuentran dentro del departamento de imagenología, éstas deben tener una muy alta resolución y se deben poder presentar imágenes en monitores múltiples de 2048 x 2048 píxeles y un tamaño de no menos de 19". Para las estaciones de visualización que se encontrarán en todas partes dentro de un hospital, y que recibirán las imágenes ya analizadas por los especialistas, éstas deberán tener una resolución de alrededor de 1024 x 1024 píxeles y 17" de diámetro (4). En ambas situaciones es deseable incorporar funciones básicas de procesamiento de imágenes para poder hacer operaciones de cambio de contraste y de intensidad por lo menos. Es deseable además que se incorporen otras funciones tales como audio (informes orales, traducción automática de audio a reporte escrito) y despliegue de otros tipos de información en tiempo real (Ayuda en línea, marcado de áreas de interés), todo bajo una interfase para el usuario amigable.

Las estaciones de diagnóstico y visualización deben contar con algunas funciones de procesamiento de imágenes. Estas son las funciones de base, que consisten en:

- Contraste
- Zoom
- Mediciones Cuantitativas
- Anotación sobre la imagen
- Ecuilibración de histogramas
- Análisis de texturas
- Despliegue en 3D
- Filtrado
- Registro

Las funciones básicas deben estar disponibles en ambos tipos de estaciones, mientras que las funciones avanzadas de procesamiento deben incluirse en las estaciones de diagnóstico. La diferencia en la disponibilidad de estas funciones obedece al hecho de que el primer tipo no altera las características fundamentales de las imágenes y sirven para mejorar el despliegue de las mismas, mientras que el segundo tipo en las estaciones de diagnóstico será manejado por expertos que podrán generar nuevas imágenes con realce, que estarán disponibles en los archivos

radiológicos y que servirán para complementar la información previamente existente. La implantación de estas funciones implica el proporcionar un cierto grado de capacidades de cálculo a ambos tipos de estaciones.

#### SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Los sistemas de almacenamiento de imágenes deben seguir una estructura jerárquica que dependerá de la probabilidad de demanda de la imagen. En general las imágenes recientemente adquiridas se consultan con mucha frecuencia en los minutos siguientes a su adquisición y su frecuencia de consulta disminuye rápidamente con el tiempo. La figura 3 muestra el comportamiento de las solicitudes de despliegue de imágenes.

La estructura jerárquica propuesta toma en cuenta estas características para reducir los costos, mientras que se aumenta el rendimiento y consiste de:

- Discos magnéticos locales
- Discos magnéticos remotos
- Discos ópticos
- Cinta

El almacenamiento a corto plazo (local) tiene las siguientes características:

- Decenas de GB
- Transferencia de alrededor de 50 imágenes por minuto.
- 1-15 días de almacenamiento.

El almacenamiento a largo plazo debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Capacidad de varios Terabytes.
- Empleo de robots o "jukeboxes" de discos ópticos.
- Capacidad de almacenamiento de dos años de información.
- Empleo de cinta e imágenes comprimidas para almacenamiento a plazos mayores.

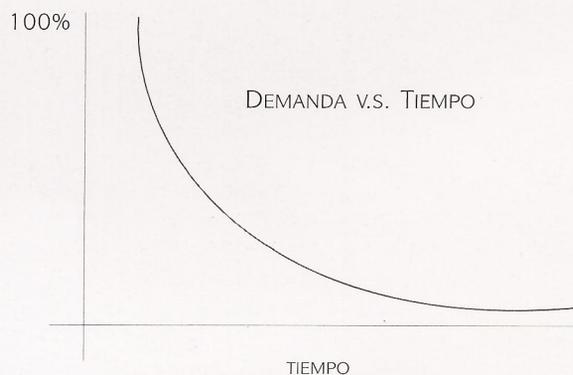


Figura 3. Gráfica de la demanda de visualización de una imagen a lo largo del tiempo.

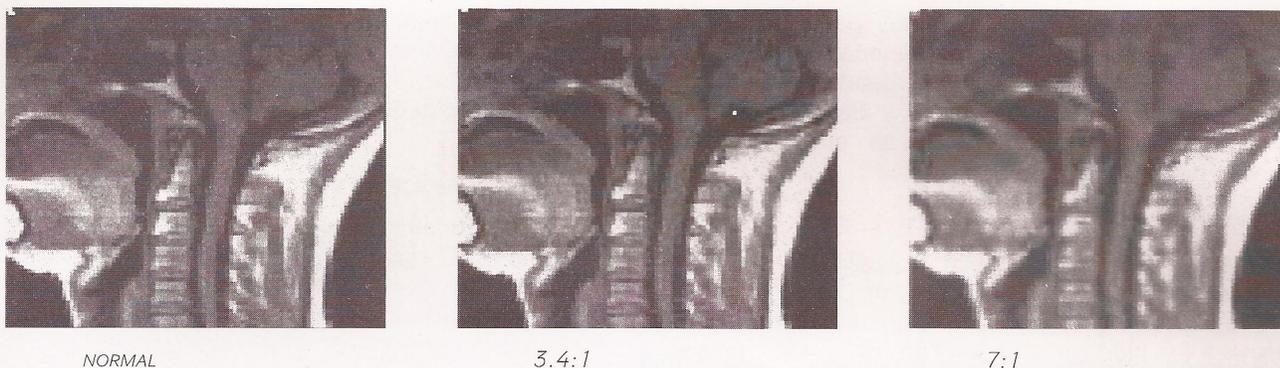


Figura 4. Acercamiento de un segmento de imagen de resonancia magnética nuclear tomada en modo normal, y con compresión de 3.4:1 y 7:1. Después de una cierta tasa de compresión irreversible, los errores en la cuantificación son muy visibles.

28

La compresión de imágenes se puede emplear para multiplicar el espacio en disco, y para reducir el tiempo de transferencia. Se pueden emplear varios criterios:

- Compresión reversible con tasas de 3:1 para imágenes de referencia o para almacenamiento a corto plazo.
- Compresión irreversible con tasas de 10-20:1 para almacenamiento a largo plazo.

En la actualidad el problema del tipo de compresión adecuado para un determinado tipo de imágenes no está resuelto y sigue siendo un tema de investigación actual. Las imágenes siguientes (figura 4) ilustran la problemática de la calidad de la compresión de imágenes en los formatos actuales JPEG. Esta estructura asegura que los tiempos de acceso a las imágenes más solicitadas sean bajos, (del orden de segundos), mientras que para acceder una imagen más antigua, se necesitarán algunos minutos de espera. Adicionalmente, para asegurar que las imágenes están en un sistema de almacenamiento seguro, se puede pensar en el empleo de un arreglo redundante de discos (RAID) para que la unidad de almacenamiento sea a prueba de fallas.

#### ESTANDARIZACIÓN EN EL MANEJO DE IMÁGENES MÉDICAS

##### EVOLUCIÓN

Los primeros resultados en los trabajos de estandarización fueron publicados en 1985 (7,8), ACR-NEMA Versión 1.0, teniendo como base ideas obtenidas de formatos ya existentes. Por ejemplo, la definición de elementos de datos de longitud variable identificados con etiquetas (2), fue adoptada de un estándar para grabar imágenes en cinta magnética, desarrollado por la Asociación Americana de Físicos en Medicina (AAPM). Sin embargo, como todas las primeras versiones, se detectaron varios errores y el comité encargado (ACR/NEMA) autorizó a los grupos

de trabajo involucrados, la realización de dos revisiones en Octubre de 1986 y en Enero de 1988, que produjeron la versión ACR-NEMA Versión 2.0 en 1988.

En esta nueva versión se conservaron prácticamente las mismas especificaciones de interfase con hardware definidas en la versión 1.0, pero se agregaron nuevos elementos de datos y se corrigieron varios errores e inconsistencias. En esta versión se especificó la comunicación punto a punto entre dispositivos, un grupo de comandos por software y varios formatos de datos correspondientes a los nuevos elementos.

En el tiempo que se dio a conocer la segunda versión, surgió la demanda de interfase entre dispositivos involucrados en la generación y manejo de imágenes y redes de cómputo, sin embargo, el estándar no ofrecía ningún soporte de comunicación en red. La respuesta a estas demandas implicaba grandes cambios a lo ya establecido, considerando como restricción principal el mantener la compatibilidad con las versiones anteriores, lo cual fue un gran reto para los grupos de trabajo. De esta forma, a partir de 1988 se comenzó a trabajar en una tercera versión, en donde el proceso de diseño sufrió un cambio radical adoptando modelos para simular el mundo real, modelos de capas o pila para comunicación entre sistemas heterogéneos utilizando protocolos de red y el modelo Cliente/Servidor para establecer asociaciones entre dispositivos compatibles, a través de envío de mensajes.

Después de tres años de esfuerzo, se dio a conocer la versión ACR/NEMA DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) llamada también DICOM 3.0 (9), en la que participaron también varias instituciones de la comunidad internacional como JIRA (Japanese Industry Radiology Apparatus) y CEN (Comité Europeo de Normalisation). Esta versión es considerada como un estándar completo, compatible con las versiones anteriores.

EL ESTÁNDAR DICOM  
(DIGITAL IMAGING AND COMMUNICATIONS IN MEDICINE)

**Mejoras**

Las principales diferencias que tiene DICOM con respecto a las versiones anteriores son:

- Intercambiabilidad de objetos en redes de comunicación y en medios de almacenamiento a través de protocolos y servicios, manteniendo sin embargo, independencia de la red y del almacenamiento físico. Todo esto a través de comandos definidos por una sintaxis y una semántica, a los que se les asocian datos. Las versiones anteriores sólo ofrecían comunicación punto a punto.
- Especificación de diferentes niveles de compatibilidad. Explícitamente se describe como definir un determinado nivel de compatibilidad, para escoger sólo opciones específicas de DICOM. En las versiones anteriores se especifica un nivel mínimo únicamente.
- Información explícita de Objetos a través de estructuras de datos, que facilitan su manipulación como entidades autocontenidas. Los Objetos no son únicamente imágenes digitales y gráficas, sino también estudios, reportes, etc.
- Identidad de objetos en forma única, como instancias con operaciones permitidas definidas a través de clases.
- Flexibilidad al definir nuevos servicios.
- Interoperabilidad entre servicios y aplicaciones a través de una configuración definida por el estándar, manteniendo una comunicación eficiente entre el usuario de servicios y el proveedor de los mismos.
- Representación de aspectos del mundo real, utilizando objetos compuestos que describen un contexto completo, y objetos normalizados como entidades del mundo real.
- Sigue las directivas de ISO en la estructura de su documentación multi-partes. De esta forma facilita su evolución, simplificando la adición de nuevas partes.

Los beneficios obtenidos de estos servicios son: el poder interfazar Sistemas de Información para el Manejo y Comunicación de Imágenes (PACS), sistemas de información del servicio de radiología (Radiology Information System, RIS) y sistemas de información administrativos (Hospital Information System, HIS), en un hospital.

CONCLUSIONES

Es claro que de seguirse las tendencias actuales de costos en el almacenamiento magnético, éstos se convertirán en una solución de bajo costo a los problemas de almacenamiento de imágenes médicas. Las ventajas adicionales que proporciona un sistema PACS permite ver que en un futuro próximo todos los fabricantes internacionales de equipos de ima-

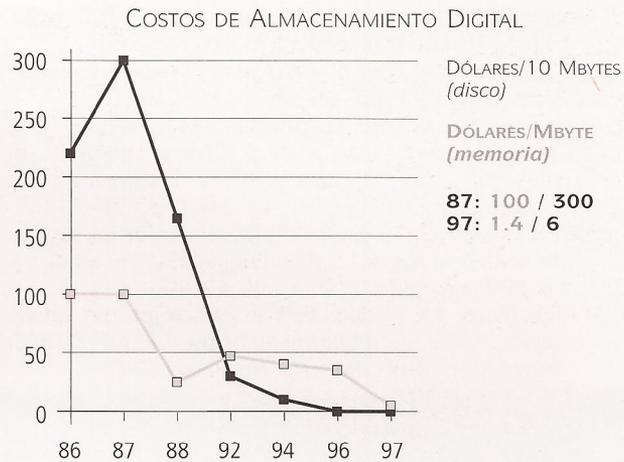


Figura 5. Diagrama del comportamiento de precios por megabyte de almacenamiento tanto magnético (discos duros) como en memoria "RAM" a lo largo de la última década. Los datos están tomados de los anuncios de proveedores de estos insumos aparecidos en la revista "BYTE" en los últimos 11 años.

genología propondrán cada vez más insistentemente soluciones 100% digitales. La racionalización y optimización de recursos en una unidad de imagenología llevan a su empleo.

Desde el punto de vista de costos, la implantación de un sistema PACS es una opción lógica. La figura 5 muestra el comportamiento de los costos de almacenamiento en medios digitales, tanto en disco magnético como en memoria "RAM" dentro de una computadora o estación de trabajo. Se puede observar que el costo se reduce importantemente a lo largo del tiempo. Esto se debe a que la tecnología en esta rama ha seguido un crecimiento exponencial en la última década, donde cada 18 meses se duplica la capacidad de almacenamiento y a que los volúmenes manejados en el mercado global de la informática generan una oferta de productos con costos decrecientes en términos de dólares por megabyte.

El cambio que se debe dar para aceptar la implantación de un sistema como el presentado, permitirá el contar con una visión integral del manejo de las imágenes y los datos clínicos, al cual todavía no se acostumbran los médicos especialistas. Sin embargo, en distintas instituciones hospitalarias se comienza a contar con la infraestructura de comunicaciones necesaria para implantar este servicio. Distintos hospitales han instalado o planean instalar sistemas de red de comunicación en base a fibra óptica, lo que asegurará una transmisión óptima de la información digital. La interconexión del sistema básico de redes digitales con un sistema de imagenología médica proporcionará un salto cualitativo en la calidad de la atención médica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Leotta, D.F. & Kim, Y; "Requirements for picture archiving and communications"; IEEE Engineering in Medicine and Biology, Vol. 12, No.1, pp 62-69.

2. Clunie D; Medical Image Format FAQ; <http://www.rahul.net/pub/dclunie/medical-image-faq/html>.
3. Ellin, E; "The real cost of x-ray film"; Medical Imaging, Vol. 12, No. 8., pp. 56-59.
4. Stewart, B.K., Aberle, D, Boechat, M.I., Barbaric, Z, Taira, R, Sayre, J.W., et al.; "Clinical Utilization of grayscale workstations"; IEEE Engineering in medicine and biology, Vol. 12, No.1, pp 86-102.
5. Allen L. & Frieder O; "Exploiting Database Technology in the Medical Arena"; IEEE Engineering in Medicine and Biology, March 1992, pg. 42-49.
6. D'Alessandro, M; "Computers in radiology, the totally digital radiology department of the future"; SIGBIO Newsletter, 1988, Vol. 10, No. 4, pg. 2-6.
7. Mun, S.K, Freedman M, Kapur R; "Image management and communications for radiology"; IEEE Engineering in medicine and biology, Vol. 12, No.1, pp 70-80.
8. Horiil S, Prior W, Bidgood W, Parisot C, Claeys G; DICOM: An Introduction to the Standard; <http://xray.hmc.psu.edu>.
9. Hintel R; Implementation of the DICOM 3.0 Standard, A Pragmatic Hanbook; RSNA, 1994. "Digital Imaging and Communications in Medicine"; NEMA Standards Publications PS 3.1 to PS 3.9, 1993.
10. Orozco-Barbosa, L; Karnouch, A; Georganas. N.E; "A multimedia interhospital communications system for medical consultations"; IEEE Jour. Selected areas in Comm. Vol. 10, No. 7, sept. 1992.

