

Ejecución de un sistema piloto de tele-radiología en Medellín, Colombia

ALVIN GARCÍA, ZOOTEC.¹, JUAN FELIPE ISAZA, ING. MEC.¹,
URIEL ZAPATA, ING. CIV.¹, SAMUEL ROLDÁN, O.D.²

RESUMEN

Objetivo: Aplicar un sistema piloto de tele-radiología en la ciudad de Medellín con software de acceso remoto que permita la comunicación e interpretación a distancia de imágenes biomédicas.

Materiales y métodos: Se utilizaron imágenes de estudios de resonancia magnética y tomografía computadorizada almacenados en formato DICOM. Los datos se transmitieron en una red punto a punto mediante líneas de red digital de servicios integrados (RDSI) entre dos centros de diagnóstico radiológico. El sistema se llevó a cabo bajo arquitectura PC basada en Intel x86 con sistema operativo Windows® 2000.

Resultados: Para la lectura y visualización local de imágenes almacenadas en formato DICOM, se desarrolló una aplicación en Java con funciones que permiten su manipulación y la opción de exportar a otros formatos como JPEG, TIFF y BMP.

Conclusiones: El sistema permitió en modalidades como tomografía computadorizada (TC) e imagen por resonancia magnética (RM) un diagnóstico e interpretación remota clínicamente confiables, con tiempos de respuesta aceptables para las necesidades y modo de actuar reales de los centros radiológicos participantes.

Palabras clave: Consulta remota; Diagnóstico por imagen; DICOM; Imágenes biomédicas; RDSI; Tele-radiología.

Implementing a teleradiology pilot system in Medellín, Colombia

SUMMARY

Objective: To implement a teleradiology pilot system in Medellín city using software for remote access, this allows the communication and interpretation of biomedical images at distance.

Materials and methods: Images from different magnetic resonance and computed tomography studies stored in DICOM format were used. Data were transmitted in a point-to-point network using an integrated services digital network (ISDN) line between two radiological diagnostic centers. The system was developed under PC Intel's x86 architecture, with Windows® 2000 as the operating system.

Results: In order to read and visualize images stored in DICOM format, a Java application with functions that allow their manipulation and the option to export them to other formats such as JPEG, TIFF and BMP was developed.

Conclusion: The system allows a clinically reliable diagnostic and remote interpretation for modalities such as computed tomography (CT) and magnetic resonance (MR) images, with acceptable response times.

Key words: Remote consultation; Diagnostic imaging; DICOM; Biomedical images; ISDN; Teleradiology.

Los desarrollos tecnológicos recientes apoyados en la creciente difusión de la información han influido en forma tanto directa como indirecta las múltiples áreas de la ciencia y el conocimiento, de tal forma que su incidencia ha transformado de manera significativa la práctica de la medicina. El sector de la salud demanda una mejor prestación de servicios con diagnósticos confiables y respues-

tas ágiles y oportunas al paciente; para esto, con mayor frecuencia, se utilizan diversos tipos de ayudas diagnósticas, de las cuales, son cada vez más comunes las imágenes. Para dicho efecto, el avance tecnológico en las telecomunicaciones y nuevos desarrollos en informática representan una importante ayuda en el manejo de la información médica. Su práctica genera cambios, tanto en la gestión

1. Investigador, Grupo de Investigación en Bioingeniería (GIB), Escuela de Ingeniería, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. e-mail: algarcia@eafit.edu.co jisazasa@eafit.edu.co uzapata@eafit.edu.co

2. Director, Grupo de Investigación en Bioingeniería (GIB), Facultad de Odontología, Instituto de Ciencias de la Salud (CES), Medellín, Colombia. e-mail: sroldan@une.net.co

Recibido para publicación octubre 6, 2005 Aceptado para publicación junio 15, 2006

hospitalaria como en la introducción de nuevos esquemas de consulta y cuidado al paciente.

El diagnóstico por imágenes constituye uno de los elementos importantes en la práctica de la medicina moderna¹. Un alto porcentaje de la información médica se representa en imágenes digitales y análogas producidas en diversas modalidades como tomografía computadorizada (TC), resonancia magnética (RM), radiografía computadorizada (RC), exámenes de medicina nuclear (SPECT, PET) y ultrasonido (US), entre otras. Estas imágenes con frecuencia se almacenan en formatos estándares como *ACR-NEMA*, *PAPYRUS*, *INTERFILE v3.3*, *QSH*, *DEFF*, *DICOM* y otros formatos propietarios como *SPI*, *Analyze* y *Genesis*, o alguna combinación de ellos².

Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), es un estándar abierto adoptado universalmente para representar información médica, que se creó hacia 1993 a fin de promover la transmisión y almacenamiento de imágenes digitales médicas e información asociada entre equipos de distintos fabricantes^{2,3}. Este patrón se desarrolló con énfasis en el manejo de imágenes médicas diagnósticas que se usan en disciplinas relacionadas con radiología y cardiología; sin embargo, es también aplicable a un amplio rango de imágenes e información afines con diversas disciplinas médicas como oncología, odontología, neurología, radioterapia y veterinaria entre otras³.

Acceder y compartir información médica entre profesionales e instituciones del sector de la salud en tiempo real, sobre interpretación o consulta es importante para resolver con rapidez, situaciones que tienen impacto en la atención eficaz de los pacientes. Además, en la actualidad esto se considera como una ventaja competitiva y una inversión estratégica que permite mejorar la productividad y la imagen de la organización en el medio. En el contexto nacional y regional, Medellín tiene una de las mejores infraestructuras hospitalarias del país, con equipos y profesionales de alta calidad. Sin embargo, los altos costos en equipos especializados para diagnóstico médico y por tanto los exámenes que con ellos se obtienen, hacen que sean pocos los pacientes e instituciones que puedan tener acceso a esta tecnología, sobre todo en regiones apartadas de los centros urbanos de importancia.

Hoy se cuenta con una amplia infraestructura de telecomunicaciones y desarrollos en informática, así como la disponibilidad de formatos estándares de almacenamiento y comunicación en medicina, que permiten establecer plataformas propicias para el desarrollo de sistemas que

conecten en red equipos especializados en el diagnóstico de imágenes y la posibilidad de transmitir y compartir información entre las diferentes instituciones hospitalarias, centros de diagnóstico médico especializado, departamentos radiológicos y demás actores del sistema. Esto haría más efectiva la prestación de los servicios de salud, al disminuir los tiempos de respuesta, los posibles riesgos y los costos relativos al transporte de pacientes y profesionales y propiciaría la creación de ambientes de colaboración entre profesionales e instituciones.

El American College of Radiology (ACR) define la tele-radiología como la transmisión electrónica de imágenes radiológicas desde un lugar a otro para propósitos diagnósticos y/o de consulta. Gracias a la tele-radiología, los hospitales y los centros de urgencias médicas en lugares remotos sin un médico especialista en radiología, pueden transmitir imágenes a gran distancia para que las analicen e interpreten oportunamente. Además, la tele-radiología permite interconsultas para conseguir un segundo diagnóstico o la opinión de un experto e incluso atender varias clínicas o centros radiológicos desde un mismo puesto de trabajo⁴.

La tele-radiología y la tele-patología (es la práctica de la patología a distancia, para realizar consultas entre patólogos o entre patólogos y otros especialistas⁵) representan las especialidades clínicas más desarrolladas en telemedicina debido de manera principal al hecho que dependen en gran parte de imágenes más que del contacto directo con el paciente para un diagnóstico o identificar anomalías, además se han establecido estándares de amplia aceptación por parte de los profesionales que garantizan la calidad de las aplicaciones en esta área y por último existe suficiente documentación en la literatura científica que demuestra su eficacia clínica y su potencial rentabilidad⁶⁻⁸.

Un sistema de tele-radiología se configura para intercambiar información entre sitios transmisores y receptores. Su complejidad variará según las facilidades y necesidades de los usuarios, pero en todos los casos debe proporcionar la calidad y la disponibilidad de imágenes apropiadas para satisfacer las necesidades clínicas⁴. Cuando se utiliza un sistema de tele-radiología para una interpretación o diagnóstico oficiales, el personal médico tiene la obligación de aplicar todas las normas de seguridad establecidas para proteger la confidencialidad del paciente y garantizar la integridad de la información, es decir, no debe haber una pérdida de datos clínicamente significativa en la adquisición, transmisión y exhibición final de la

Cuadro 1
Características de imágenes por modalidad de acuerdo con los estándares de la ACR⁴

Modalidad	Resolución (píxel)	Imagen por estudio	Tamaño (MB)
Radiografía digital	4096 x 4096 x 10	4	80.0
Radiografía computadorizada	2048 x 2048 x 10	4	20.0
Mamografía	4096 x 4096 x 10	2	40.0
Resonancia magnética	512 x 512 x 8	50	12.5
Tomografía computadorizada	512 x 512 x 8	30	07.5
Medicina nuclear	512 x 512 x 8	20	15.0
Angiografía	512 x 512 x 8	20	05.0
Ultrasonido	512 x 512 x 8	36	09.0



Mapa 1. Ubicación geográfica de los centros radiológicos

imagen^{4,9,10}. El tamaño de las imágenes digitales es un factor crítico para garantizar la calidad diagnóstica del estudio y no deberá ser inferior a los límites de norma o estándar apropiados del tipo de examen que en cada modalidad específica la ACR^{4,11}. El Cuadro 1 resume los requisitos de resolución de algunas modalidades en términos del tamaño de la imagen en píxeles y nivel de intensidad en escala de grises.

Las aplicaciones de acceso remoto, permiten desde cualquier puesto de trabajo acceder y gestionar de manera remota a equipos que puedan estar geográficamente situados en lugares distantes y que se encuentren en una misma red local o con acceso a Internet e implica que permite trabajar con aplicaciones de un equipo remoto que por cualquier razón no se pueda ejecutar en el equipo local, transferir archivos entre estaciones de trabajo, monitorear actividades que se llevan a cabo en diferentes estaciones, tomar el control de una estación si se cree necesario, establecer ventanas de diálogo con los usuarios para consultas o soporte y demás actividades de gestión remota de equipos, sin moverse del sitio¹².

Este artículo describe la experiencia de un caso particular que inicialmente se plantea como un proyecto piloto, es decir, no pretende resolver desde el principio problemas asistenciales, sino evaluar una plataforma tecnológica,

definir aplicaciones y protocolos que buscan dar solución a un problema de comunicación e intercambio de información radiológica entre dos instituciones, pero sus resultados son fácilmente replicables a otras entidades y/o lugares con disponibilidad tecnológica similar.

MATERIALES Y MÉTODOS

La ejecución de este sistema se hizo en la ciudad de Medellín entre el Centro de Diagnóstico Radiológico CEDIMED y el Centro de Resonancia e Imágenes CER1, distantes alrededor de 2 km (Mapa 1). El sistema consistió de tres módulos que se describen a continuación:

Almacenamiento. Las imágenes médicas y la información adjunta son adquiridas en equipos de tomografía computadorizada (TC) y resonancia magnética (RM) instalados en los centros de diagnóstico radiológico participantes. Estos estudios son archivos digitales de formato DICOM y se almacenan manualmente en el servidor, que consistió de una estación de trabajo Intel® Pentium IV 1.4 Ghz, 1 GB RAM y 2 DD SCSI 40 GB con sistema operativo Windows® 2000 Server¹².

Transmisión de Datos. Para la conexión se estableció una red virtual privada (RVP) punto a punto, donde los dos nodos se comunican entre sí a través de Internet. La transmisión de datos se realizó sobre una línea bidireccional RDSI, que proporciona una velocidad de transmisión de 64 kb/s (kilobits por segundo) por canal (Figura 1). La comunicación entre los equipos se estableció por medio de un canal sincronizado con el software de acceso remoto *Terminal Service*®, integrado en Windows® 2000 Server (Microsoft, Redmond, WA, USA). Para garantizar la seguridad, integridad y confidencialidad de la comunicación, *Terminal Service*® provee medios de autenticación y autorización de usuarios y utiliza protocolos de cifrado y encriptación para transmitir los datos¹³.

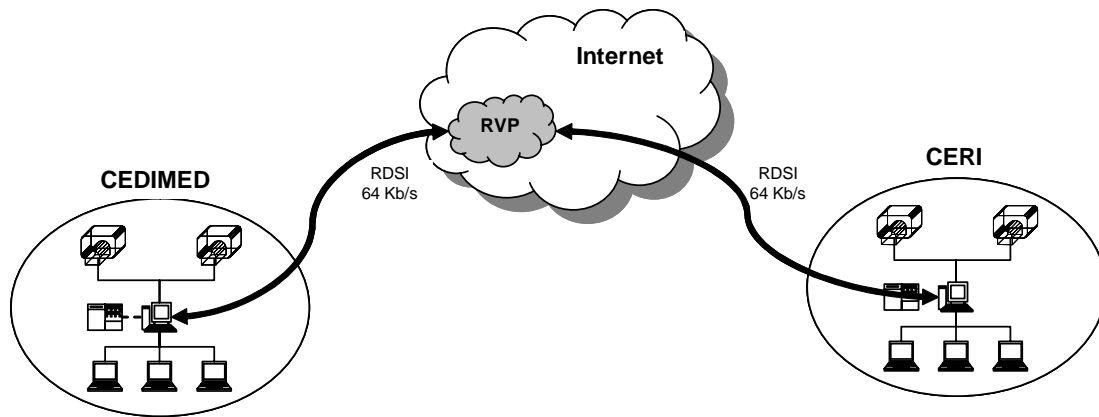


Figura 1. Arquitectura de la red

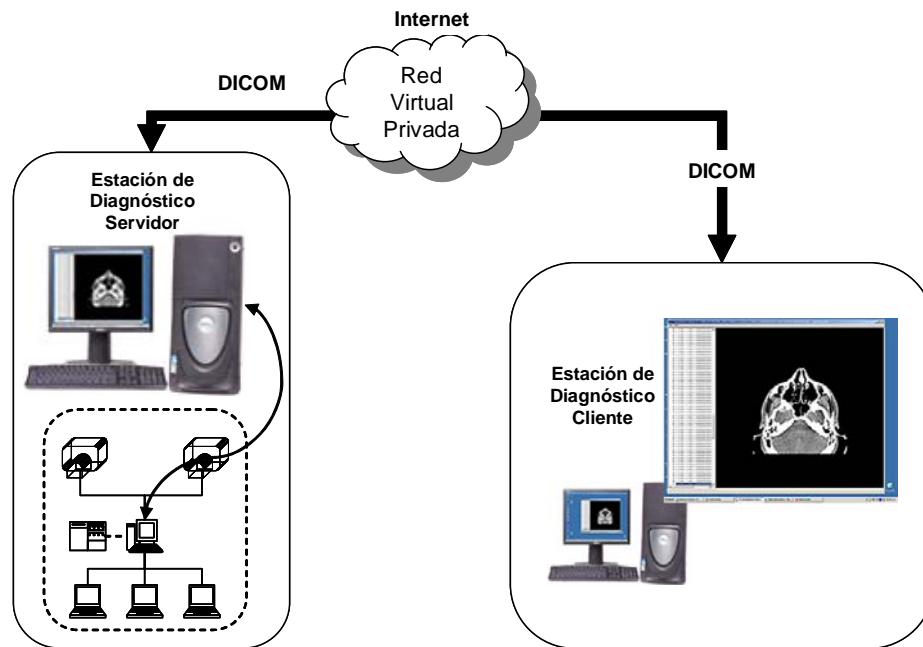


Figura 2. Modelo del sistema en funcionamiento

La estación de trabajo que actúa como cliente puede tener acceso al servidor para enviar, consultar y visualizar imágenes en tiempo real, así como también descargar archivos a nivel local en modo asíncrono para su posterior interpretación y manipulación detallada (Figura 2).

En el Cuadro 2, se describen los tiempos de transmisión para un estudio seleccionado, según el tamaño y ancho de banda que ofrecen las diferentes tecnologías de comunicación. Por ejemplo, en un estudio de radiografía digital, el tamaño de las imágenes son de 4,096 x 4,096 píxeles y 10

bits por píxel, tendrá cerca de 80 MB. Una línea de red telefónica conmutada (RTC) tiene un ancho de banda de 56 kb/s por lo que la transferencia de un estudio de este tipo tardaría $[(4,096 \times 4,096 \times 10 \times 4)/56,000] \approx 199.73$ min.

Existen otras alternativas tecnológicas como RDSI, que provee canales de comunicación más eficientes que RTC. En general, con un ancho de banda de 128 kb/s, un estudio de tomografía computarizada de 7.5 MB toma 8 ó 9 min para ser enviado por este medio.

Visualización. Tanto el servidor como el nodo cliente

Cuadro 2
Tiempos de transmisión de estudios radiológicos (minutos)^a

Estudio	Ancho de banda ^b (kb/s)								
	33.6	56	64	128	256	384	512	1,024	1,1000
Radiografía digital	332.88	199.73	174.76	87.38	43.69	29.13	21.85	10.92	1.02
Radiografía computarizada	83.22	49.93	43.69	21.85	10.92	7.28	5.46	2.73	0.25
Mamografía	166.44	99.86	87.38	43.69	21.85	14.56	10.92	5.46	0.51
Resonancia magnética	52.01	31.21	27.31	13.65	6.83	4.55	3.41	1.71	0.16
Tomografía computarizada	31.21	18.72	16.38	8.19	4.10	2.73	2.05	1.02	0.10
Medicina nuclear	20.81	12.48	10.92	5.46	2.73	1.82	1.37	0.68	0.06
Angiografía	20.81	12.48	10.92	5.46	2.73	1.82	1.37	0.68	0.06
Ultrasonido	37.45	22.47	19.66	9.83	4.92	3.28	2.46	1.23	0.11

- a. Las combinaciones con tiempos superiores a 20 minutos se encuentran sombreadas, pues se considera que resultan incómodas para un diagnóstico fluido en modo sincrónico.
 b. Los cálculos se basan en el supuesto de una comunicación libre de errores y ancho de banda totalmente disponible.

cuentan con una aplicación desarrollada en lenguaje Java (J2SE 1.4.1, Sun Microsystems, Santa Clara, CA, USA) que permite visualizar y manipular archivos DICOM y exportarlos a formato JPEG, TIFF o BMP (Figura 3). El hardware para visualización consta de una estación de trabajo Intel® Pentium IV 1.4 Ghz, 1 GB RAM, tarjeta de video DDR NVIDIA GeForce2 GTS 32 MB con sistema operativo Windows® 2000 Professional (Microsoft, Redmond, WA, USA) y un monitor de 21 pulgadas con una resolución de 1,600 x 1,200 píxeles y 32 bits de profundidad.

Los estudios desplegados en esta estación, los evalúan subjetivamente radiólogos expertos de estas instituciones para determinar la confiabilidad diagnóstica de la imagen.

RESULTADOS

Un sistema básico de tele-radiología en Medellín que al integrar la tecnología actual en informática y comunicaciones permite apoyar a los profesionales de la salud en los procesos de consulta y diagnóstico por imagen en forma oportuna y confiable sin tener en cuenta las distancias existentes.

De acuerdo con los resultados experimentales, el sistema permite en tomografía computarizada y resonancia magnética un diagnóstico e interpretación remota confiable clínicamente, con base en las evaluaciones hechas por los especialistas, que avalaron la calidad de la imagen en aspectos como tamaño, resolución e integridad o pérdida de los detalles en la imagen después de la transmisión, como se describe en los estándares y normas que regulan la tele-radiología^{4,9,10}.

Se desarrolló una aplicación en lenguaje de programa-



Figura 3. Vistas de la Interfaz Gráfica de Usuario de la aplicación

ción Java, para visualizar y leer imágenes, informes, señales biomédicas y datos adjuntos relacionados que se almacenan en formato DICOM, que permite su manipulación y la opción de exportar como archivos JPEG, TIFF y BMP. En la actualidad se han evaluado con éxito 1,525 de 2,023 imágenes correspondientes a las modalidades de tomografía computarizada, ultrasonido, resonancia magnética, angiografía, medicina nuclear y radiografía digital.

DISCUSIÓN

En las pruebas hechas se utilizaron líneas de comunicaciones RDSI como una opción tecnológica intermedia más aceptable para la ejecución inicial del proyecto, tanto en costos, como en velocidad de transmisión y disponibilidad del servicio en la ciudad. Es de esperar que en un

futuro se ofrezcan servicios de transmisión de datos con mayor ancho de banda a precios asequibles que permitan establecer un servicio en tiempo real más fluido. Sin embargo, es posible instalar este sistema en sitios donde el único canal de transmisión es RTC y aunque el tiempo de transmisión es alto, permite la práctica de un sistema donde los estudios se pueden enviar en forma asíncrona, es decir, las imágenes se remiten en tiempos diferidos a fin de ser vistas por el médico en el momento más oportuno para él; este sistema se adapta mejor a las necesidades y al modo de actuar reales de los centros radiológicos.

Se ha conseguido desarrollar un sistema dirigido hacia todos los profesionales del área de la salud que interactúen con imágenes biomédicas, el cual permite la transmisión a puntos locales o remotos sin considerar las distancias existentes, así como suministrar diagnósticos con gran agilidad y confiabilidad, que aumentan la eficiencia y productividad en la prestación de servicios radiológicos.

Los resultados que se informan en este artículo demuestran la viabilidad de la práctica de este tipo de sistemas, mediante recursos y tecnologías de bajos costos y fácil acceso. Esta prueba piloto se puede tomar en consideración para ejecutar otros sistemas de tele-radiología. Las características particulares como ubicación geográfica y disponibilidad de tecnologías en telecomunicaciones, harán necesario adaptarlas a cada situación y lugar; sin embargo, las medidas propuestas las pueden desarrollar entidades del sector de la salud con la suficiente seguridad de que los resultados que aquí se presentan, son repetibles.

REFERENCIAS

1. Lee JS, Tsai CT, Pen CH, Lu HC. A real time collaboration system for teleradiology consultation. *Int J Med Inform* 2003; 72: 73-79.
2. Clunie DA. Medical Image Format FAQ: General Information & Standard Formats. [fecha de acceso junio 5 de 2005]. URL disponible en: <http://www.dclunie.com>
3. National Electrical Manufacturers Association (NEMA). *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)*. NEMA, Rosslyn, VA, 2006. [fecha de acceso junio 2 de 2006]. URL disponible en <http://medical.nema.org/>
4. American Collage of Radiology. *ACR Technical Standard for Teleradiology*. ACR Technical Standard 2003; 645-653. [fecha de acceso junio 5 de 2005]. URL disponible en: <http://www.acr.org>
5. Canto R. *Telemedicina: informe de evaluación y aplicaciones en Andalucía*. Sevilla: Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía; 2000.
6. Kopec A, Salazar A. *Aplicaciones de telecomunicaciones en salud en la subregión andina: Telemedicina*. Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud, OPS/OMS; 2002.
7. Krupinski E, Nypaver M, Poropatich R, Ellis D, Safwat R, Sapci H. Clinical applications in telemedicine/ telehealth In: State-of-the-Art Telemedicine/Telehealth Symposium: An International Perspective. *Telemed J E Health* 2002; 8: 13-34.
8. Radiological Society of North America (RSNA). *Handbook of teleradiology applications*. Michigan: RSNA IPC Communication Services; 1997.
9. Ministerio de la Protección Social de Colombia. *Resolución 2182 de 2004* por la cual se definen las condiciones de habilitación para las instituciones que prestan servicios de salud bajo la modalidad de telemedicina. Bogotá: Ministerio de la Protección Social de Colombia; 2004.
10. Asociación Médica Mundial (AMM). *Políticas de la AMM* [fecha de acceso junio 5 de 2006]. URL disponible en: <http://www.wma.net/s/policy/a7.htm>
11. American Collage of Radiology. *ACR Technical Standard for Digital Image Data Management*. ACR Technical Standard 2003; 719-727. [fecha de acceso junio 5 de 2005]. URL disponible en <http://www.acr.org>
12. Cáceres J. Control remoto de equipos. *PC World* 2000; 164: 238-256.
13. Microsoft Corporation. [fecha de acceso junio 2 de 2005]. URL disponible en <http://www.microsoft.com>