

Arquitectura de software basada en la internet para la simulación virtual de cirugía endoscópica otorrinolaringológica

Andrés A. Navarro

*Pontificia Universidad Javeriana
anavarro@puj.edu.co*

Jorge A. Vélez

*Servicios de Salud Ecopetrol
jovelez@ecopetrol.com.co*

Luis E. Múnera

*Universidad Icesi
lemunera@icesi.edu.co*

Gregorio Bernabé

*Universidad de Murcia
gbernabe@dittec.um.es*

RESUMEN

En este trabajo el término arquitectura se refiere principalmente a la estructura lógica de sus componentes de software. Sin embargo, cuando se requiera, otros aspectos tales como el hardware y el sistema operativo se tienen en cuenta. El objeto del sistema resultante es brindar dos servicios de telemedicina otorrinolaringológica a practicantes en medicina o a doctores en locaciones remotas. En general, el difícil acceso a la práctica y la dificultad de acceder a servicios médicos en locaciones geográficamente remotas son situaciones comunes en América Latina. De acuerdo con esto, un sistema de soporte sería de gran ayuda. Los servicios sugeridos,

entrenamiento remoto utilizando simulación virtual y soporte remoto a la toma de decisiones, deben estar soportados por una arquitectura apropiada a la internet. Este documento presenta primero una introducción al proyecto. Seguidamente se describe la novedad del trabajo. A continuación se detallan los servicios y la arquitectura propuestos. Finalmente, se presentan los resultados y una serie de conclusiones y pasos a seguir.

PALABRAS CLAVES

Telemedicina, medicina virtual, realidad virtual, otorrinolaringología.

Clasificación: A

ABSTRACT

In this work, the term architecture refers mainly to the overall structure of its logical software components. However, when required, other aspects, like the hardware and the operating system, are taken into account. The aim of the resulting system is to provide two telemedicine services in otolaryngology for doctors in remote locations or to practitioners. Difficult access to medical services in remote geographical location is a common situation in Latin America. According to this, a support system would be helpful. The suggested services, remote training using virtual simula-

tion and remote decision support, must be supported using a software architecture that is appropriate for the Internet. This document presents first an introduction to the project followed by a description of the problem and the novelty of the work. Next a preliminary description of the architecture is done before the results of the project are shown. Finally, conclusions and further work are presented.

KEYWORDS:

Telemedicine, virtual medicine, virtual reality, Otolaryngology

INTRODUCCIÓN

La cirugía endoscópica o cirugía de mínimo acceso (CMA) tiene como propósito minimizar el trauma y los costos de recuperación del paciente. Sin embargo, no sólo el procedimiento quirúrgico sino el entrenamiento de nuevos cirujanos puede ser un problema debido a las habilidades de orientación, triangulación y dexteridad que deben ser adquiridas [1].

Hay una larga curva de aprendizaje asociada con las CMA. No existe un sistema de entrenamiento estándar en cirugía endoscópica. En principio, el practicante puede operar dentro de una estructura de caja con el fin de obtener las habilidades básicas de orientación y dexteridad. Más adelante, los procedimientos operativos pueden ser simulados por medio de órganos artificiales que son inexactos y costosos. Una etapa posterior podría ser la utilización de órganos de cadáveres. Después de pasar las etapas descritas, el practicante puede participar en procedimientos endoscópicos supervisados en pacientes humanos. Básicamente, el proceso consiste en aprender el procedimiento observando a un cirujano experto realizar procedimientos supervisados y, enseñar a la siguiente generación de practicantes. Sin embargo, en un marco de trabajo como este los datos para una evaluación objetiva son difíciles de obtener, los sistemas de ayuda y guía para cirujanos no son posibles y las patologías extrañas no son accesibles [1].

Existen muchas investigaciones cuyo objeto es resolver los problemas enunciados en el campo de la realidad virtual. Varias han tenido resultados exitosos. De cualquier manera, todavía falta mucho por realizar [2] [3].

Por otra parte, los médicos o practicantes que se encuentran en locaciones geográficamente remotas no tienen la misma cantidad de pacientes, patologías y recursos que serían deseables para obtener un nivel de experiencia adecuado. Adicionalmente, estos no cuentan con ayuda de expertos en situaciones críticas. Existe, por tanto, un problema para la difusión del conocimiento médico. Una herramienta como la propuesta traería grandes beneficios. La telemedicina es la entrega de servicios de salud a través de la distancia, utilizando tecnología de telecomunicaciones. Esta información puede incluir información del paciente, imágenes, entrevistas y exámenes, consultas con especialistas médicos, actividades educacionales en el cuidado de la salud, etc. [4]. En resumen, las principales ventajas de la telemedicina están en la descentralización del cuidado del paciente, en la asistencia y el entrenamiento remoto y en el acceso a información médica de carácter educativo y clínico [5].

Existen en la actualidad algunas iniciativas interesantes que pretenden brindar servicios de telemedicina a una comunidad geográficamente grande y dispersa [6]. Esta propuesta, que inicia brindando dos servicios en otorrinolaringología, es una de ellas.

NOVEDAD DEL TRABAJO

Este proyecto está produciendo en primer término una arquitectura de software que es apropiada para la internet y que estará en capacidad de ejecutar una simulación quirúrgica otorrinolaringológica. Es cierto que cuando se pretende ejecutar una simulación de manera distribuida a través de la internet, el desempeño

del sistema se puede ver afectado por las consideraciones tecnológicas y de tiempo real. Sin embargo, la creación de una arquitectura eficiente y los desarrollos en nuevos protocolos de internet y la internet II [7] pueden contribuir a la solución. Es importante aclarar que la creación de nuevos protocolos de sistemas de red no está dentro del alcance de este trabajo. A cambio, el proyecto está orientado hacia la creación de un sistema eficiente que utilice los recursos disponibles. Este sistema, por supuesto, contribuirá a futuros desarrollos.

El proyecto propone además la creación de mecanismos de interacción humano-computadora novedosos que vayan más allá de la interfaz gráfica de usuario tradicional.

Se propone también un sistema experto de soporte a la decisión basado en la WEB (WEDS) y un sistema de transmisión de vídeo de manera eficiente.

Por otra parte, el sistema está siendo complementado con un instrumento de planeación quirúrgica.

Finalmente, el campo de aplicación médica sugerido para esta aplicación no ha sido muy tratado en el mundo; tampoco se ha pensado mucho en su aplicación en Latinoamérica.

SERVICIOS PROPUESTOS

Para la implantación inicial de la arquitectura se han propuesto los siguientes servicios:

A. Telesimulación virtual de la cirugía funcional endoscópica de senos paranasales (FESS).

En principio, es necesario entender y representar la anatomía involucrada en la simulación. En esta etapa se

puede presentar una visualización inicial interactiva y en tres dimensiones (3D) de los órganos involucrados en el procedimiento. Esto facilita a los practicantes la comprensión espacial y topológica de la anatomía antes de enfrentarse a cualquier procedimiento. Seguidamente, se puede implementar un prototipo al nivel de animación que permita visualizar los procedimientos a practicar con todas sus etapas. En esta etapa, el servicio de simulación puede permitir detectar el tipo de información que debe mostrarse y cómo debe ser mostrada. Finalmente se puede brindar una interacción completa a través de una simulación más realista que permita la práctica del procedimiento quirúrgico. El sistema puede ser complementado además por vídeos de cirugías FESS reales.

B. Sistema experto de soporte a la decisión (WEDS)

Este sistema es un prototipo de un sistema experto que está en capacidad de sugerir la necesidad de llevar a cabo o no una cirugía FESS otorrinolaringológica. Un sistema como el propuesto puede apoyar a un médico en la toma de una decisión, especialmente cuando no cuenta con expertos a quienes consultar.

DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA

La Figura 1 muestra la arquitectura. Actualmente se han detectado siete módulos que podrían funcionar de manera distribuida. Estos se explican a continuación:

1. *Dispositivos*. Este módulo tiene que ver con el hardware que utiliza el sistema para comunicarse directamente con el usuario.

2. *Interacción.* El propósito de este módulo es hacer al sistema independiente del hardware. Este comunica las entradas de los usuarios al módulo de servicios. También, presenta la interfaz gráfica de usuario (GUI) apropiada al servicio. Además, envía la salida del sistema al módulo de dispositivos.
3. *Servicios.* Este módulo administra los aspectos de comunicación de un servicio enviando los requerimientos al módulo de mediación y parámetros de interfaz gráfica al módulo de interacción.
4. *Mediación.* Es el módulo que procesa los requerimientos del módulo de servicios comunicándose con el módulo de objeto. También libera a los módulos de dispositivos, interacción y servicios de cálculos más complejos.
5. *Información.* Es el módulo responsable de entregar la información requerida de acuerdo con el servicio en un formato estándar.
6. *Objeto.* Este módulo tiene que ver con el modelamiento de los órganos y las herramientas quirúrgicas. Se subdivide a su vez en los sub-módulos de comportamiento y de geometría. El sub-módulo de comportamiento recrea el compor-

tamiento autónomo de los objetos a través de técnicas matemáticas, físicas, de ingeniería o de inteligencia artificial. El sub-módulo de geometría tiene que ver con el estado de un objeto y su representación geométrica virtual. El estado de un objeto se basa en sus atributos.

7. *Comunicación.* Es la plataforma distribuida en la que se ejecuta la aplicación. En este caso la internet y alguna tecnología de desarrollo distribuida como Corba [8], Enterprise Java Beans [9] o DCOM de Microsoft [10].

Al culminar la construcción de la arquitectura, cada módulo en la Figura 1 estará compuesto por uno o varios componentes de software. Esto, con el fin de poder reutilizar sus servicios en otras patologías y procedimientos en otorrinolaringología y facilitar la escalabilidad en términos de la adición de conocimiento, de usuarios y de servicios. En la Figura, las flechas hacen referencia a módulos que se comunican entre sí.

La idea es que los módulos sean independientes del hardware de comunicaciones y de los sistemas operativos elegidos a través de la utilización de una de las tecnologías de desarrollo distribuidas.

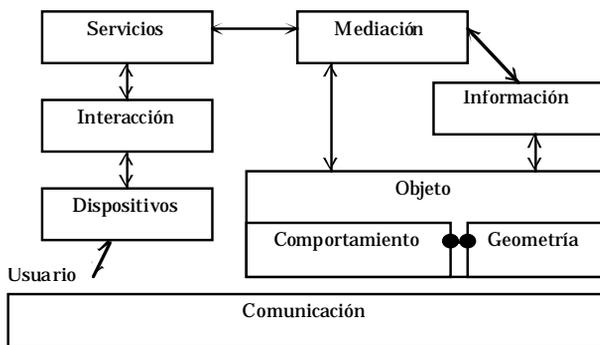


Figura 1. Arquitectura del sistema propuesto.

RESULTADOS

Hasta la fecha el proyecto ha arrojado una serie de resultados interesantes. Estos, son más que todo prototipos de los servicios que prestará la arquitectura. Los desarrollos realizados se enmarcan principalmente en los módulos de interacción y servicios de la misma, aunque se han comenzado también a visualizar aspectos a tener en cuenta en los demás módulos. Además, se está complementando el sistema con un instrumento de planeación quirúrgica. Los resultados son descritos a continuación.

A. Prototipo de un endoscopio virtual

Este componente del sistema ha mostrado el potencial educativo que puede tener la interacción con instrumentos quirúrgicos virtuales antes de utilizar los instrumentos reales. El prototipo muestra un endoscopio interactivo que puede ser manejado al interior de una sala de cirugía. Este es mostrado en la Figura 2 [11].



Figura 2. Prototipo de un endoscopio virtual.

B. Trabajos de grado

A través de la realización del proyecto se ha logrado crecer en la interacción con estudiantes de pregrado que han ido contribuyendo con sus aportes al crecimiento de la arquitectura. Un trabajo de grado reciente [12], realizado con anterioridad al inicio de la arquitectura ha evidenciado la posibilidad de hacer mejoras importantes sobre las interfaces gráficas de usuario tradicionales. En este caso se complementan las arquitecturas de interfaces tradicionales orientadas a ventanas con la introducción de controles transparentes y lentes mágicos [13]. El resultado obtenido por este estudiante y los trabajos enunciados en el Congreso Mundial de Medicina y Realidad Virtual [3] inspiran y demuestran que se puede ir mucho más allá en la interacción con los sistemas de software en general. Es así como en la actualidad se está iniciando la construcción de un modelo de lentes mágicos y un componente de visión estereoscópica que complementarán la arquitectura. Cabe destacar que además del módulo de interacción, existen estudiantes que están generando aportes en otros módulos de la arquitectura gracias a la orientación y coordinación de los directores del proyecto.

C. Prototipos de animación para la cirugía endoscópica FESS

En este desarrollo [14] se sugiere una forma de presentar el procedimiento quirúrgico de la FESS con sus diferentes pasos tal como se muestra en las Figuras 3a y 3b. Este es el punto de partida para un servicio de telesimulación más realista. Además, esta parte del sistema está complementada por imágenes reales de los pasos

quirúrgicos (ver Figura 3d) y un sistema de transmisión de vídeos médicos (ver Figura 3c).

D. Sistema de transmisión de vídeo

Se han logrado desarrollos para transmisión de vídeos médicos a través de la internet. Se propone un nuevo estándar que utiliza una transformada que además de eliminar las redundancias temporales y espaciales no divide la imagen en bloques, evitando la aparición de artefactos en la imagen reconstruida [15].

E. Sistema experto de soporte a la decisión

Este sistema [16] establece un mecanismo interactivo a través de la internet. Ha sido concebido para brindar ayuda en la toma de decisiones en el contexto quirúrgico de la FESS. La representación de las decisiones

tomadas está basada en el Compendio de Indicadores Clínicos de la Asociación Americana de Otorrinolaringología – Cirugía de Cabeza y Cuello [17], adoptado por la Sociedad Otorrinolaringológica Colombiana [18].

F. Interfaz gráfica de usuario

Hasta el momento se han considerado algunos elementos de interfaz gráfica de usuario como cruciales para el servicio de telesimulación quirúrgica de la FESS, a saber:

1. La Figura 3a muestra la ventana de simulación quirúrgica que permite utilizar directamente el simulador.
2. La Figura 3b presenta la vista anatómica que permite mostrar, especialmente a los nuevos cirujanos, con mayor claridad el paso quirúrgico correspondiente.

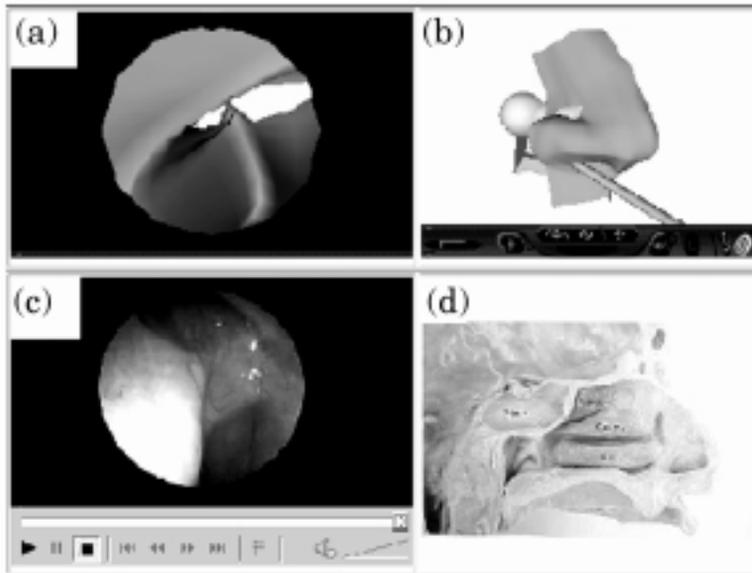


Figura 3. Interfaz gráfica de usuario. (a) Ventana de simulación. (b) Vista anatómica. (c) Vídeo. (d) Imagen del paso quirúrgico.

3. La Figura 3c muestra un vídeo del procedimiento a seguir.
4. La Figura 3d muestra una imagen del paso quirúrgico actual.

G. Instrumento de planeación quirúrgica

Se ha creado una herramienta para distribuir el conocimiento médico generado en el proceso de planeación quirúrgica y se está creando una base de datos de cirugías a las cuales se les ha aplicado el instrumento. Esto es importante ya que la carencia de instrumentos de planeación quirúrgica de uso rutinario conlleva al desconocimiento de situaciones vitales relacionadas con el proceso quirúrgico de pacientes.

La herramienta propuesta contribuye a una mejor utilización del modelo de cirugía virtual y del WEDS. Además, se constituye en un elemento importante para la auditoría mé-

dica y puede brindar apoyo en la planeación médica y en la educación.

El instrumento fue aplicado durante un periodo de seis meses en 32 ocasiones. En cada ocasión, éste fue llenado por la cabeza del equipo quirúrgico.

Para la validación del instrumento se utilizó una escala de 0 (no se cumple) a 5 (se cumple totalmente). Además, se utilizaron los siguientes criterios:

1. El instrumento es efectivo y contribuye a los propósitos con que fue creado. a) Representa el evento quirúrgico de manera adecuada. b) Es consistente. c) Contribuye a aumentar las habilidades quirúrgicas. d) Ayuda en la prevención de complicaciones quirúrgicas.
2. Satisfacción del usuario. a) Es fácil de utilizar. b) Toma poco tiempo aprender su utilización.

Los resultados de la aplicación del instrumento se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Aplicación del instrumento de planeación quirúrgica

	0	1	2	3	4	5
Efectividad del instrumento						
a)	0	0	0	0.25	0.594	0.156
b)	0	0	0.156	0.25	0.406	0.188
c)	0	0	0	0.282	0.5	0.218
d)	0	0.062	0.094	0.188	0.531	0.125
Satisfacción del usuario						
a)	0	0	0	0.344	0.218	0.438
b)	0	0	0	0.218	0.438	0.344

Escala de resultados entre 0 y 1

CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del proyecto se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Existe la necesidad de crear modelos y métodos que sean capaces de apoyar el entrenamiento de practicantes médicos y de cirujanos con poca experiencia. La realidad virtual y las nuevas tecnologías de telecomunicaciones pueden contribuir a la creación de los mismos.
2. La inteligencia artificial puede ser utilizada para soportar la toma de decisiones por parte de médicos y practicantes, sobre todo en aquellas situaciones de emergencia en que los expertos humanos no están disponibles.
3. Las interfaces gráficas de usuario y los mecanismos de comunicación humano-computadora tradicionales pueden ser mejorados con la utilización de conceptos innovadores que hasta ahora han sido poco empleados.
4. La falta de instrumentos de planeación quirúrgica puede conducir a una mayor probabilidad de fallo en dichos procedimientos.
5. La telemedicina, en general puede contribuir a resolver el problema de difusión del conocimiento médico.
6. El sistema presentado en este documento es un sistema en continua evolución y requiere un trabajo interdisciplinario para su mejoramiento y crecimiento.
7. La simulación quirúrgica previa a la realización de cirugías se ha constituido recientemente en una ayuda de entrenamiento y adqui-

sición de habilidades para el cirujano a cargo y para todo el equipo quirúrgico.

8. De otro lado, las ayudas de la tecnología de la información, como es el caso de la internet en el proyecto, puede generar un escenario en el que se compartan experiencias, percepciones y expectativas de las diferentes especialidades quirúrgicas.
9. Se puede pensar en modelar un sistema que ofrezca servicios de telemedicina otorrinolaringológica como una serie de módulos que puedan comunicarse entre sí y funcionar de manera distribuida.

TRABAJOS FUTUROS

Es por supuesto necesario continuar desarrollando la arquitectura en los siguientes aspectos:

1. El trabajo todavía muestra animaciones a manera de prototipo; es conveniente proseguir la investigación para lograr una simulación más realista.
2. Los elementos de interfaz gráfica de usuario detectados deben ser integrados de una mejor manera.
3. El proceso de validación médica debe seguir. Además, se debe elaborar y ejecutar un plan de pruebas de desempeño.
4. Es necesario continuar con el desarrollo y evolución de los componentes que constituyen la arquitectura. De esta manera se puede lograr pasar de prototipos, que si bien funcionan y muestran resultados interesantes, no brindan todavía la flexibilidad y modularidad de los componentes de software propuestos.

5. Se sugiere identificar nuevos servicios.
6. Se piensa seguir aplicando el instrumento de planeación quirúrgica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a las siguientes personas: Francisco J. Herrera, Luis E. Garreta, Antonio J. Reyes, Rodrigo De La Peña, Andrés F. Robledo, Andrés F. Prada, Carlos A. Gamboa.

REFERENCIAS

- [1] A. A. Navarro. *The Implementation of a Windows 95 based Virtual Environments Knee Arthroscopy Training System*. Hull: University of Hull, 1997.
- [2] R. S. Kalawsky. *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*, Wokingham: Addison-Wesley, 1994.
- [3] J. D. Westwood, H. M. Hoffman, R. A. Robb y D. Stredney. *Medicine Meets Virtual Reality 02/10*. Washington D.C: IOS Press, 2002.
- [4] J. Collins. *Telemedicine*. <http://hhd.csun.edu/sheila/pptproject/jenncl>, 2002.
- [5] *The Telemedicine Project*. <http://www.cce.hw.ac.uk/Databases/telemed.html>, 2002.
- [6] K. Boddy y D. Sotiriou. *Hermes Deriverable 9.3*. Edimburgh: Hermes Library. <http://www.hermes.ed.ac.uk>, 1999.
- [7] Internet2 Consortium, Internet2. <http://www.internet2.edu>, 2002.
- [8] *Object Management Group*. Corba. <http://www.corba.org>, 2002.
- [9] Sun Microsystems. Enterprise Java Beans. <http://java.sun.com/products/ejb/>, 2002.
- [10] Microsoft. DCOM. <http://www.microsoft.com/com/tech/dcom.asp>, 2002.
- [11] F. J. Herrera. *Análisis, diseño e implantación del prototipo de un endoscopio virtual*. Cali: Pontificia Universidad Javeriana, 2001.
- [12] L. Garreta. *Arquitectura orientada a objetos para el modelamiento de filtros de lentes mágicas como elementos de visualización dentro de las interfaces gráficas de usuario actuales*. Cali: Pontificia Universidad Javeriana, 2001.
- [13] J. Viega, M. Conway, G. Williams y R. Pausch. *3D Magic Lenses*. University of Virginia. 2000.
- [14] A. A. Navarro, J. A. Vélez y L. E. Múnera. *A software architecture for virtual simulation of endoscopic surgery in a WEB based scenario*. 10th Medicine Meets Virtual Reality Conference, Newport Beach, Jan. 23-26, 2002.
- [15] G. Bernabé, J. González y J. Duato. *Applying the 3D- wavelet transform to transmit medical video in telemedicine*. En Real Word Medical Applications: Mednet 2002. Bruselas: IOS Press.
- [16] J. A. Vélez y C. A. Gamboa. *A virtual surgery model: fundamentals on electronic endoscopic otolaryngology WEB based scenario*. 6th American Telemedicine Association Meeting, Fort Lauderdale, June 3-6, 2001.
- [17] American Academy of Otolaryngology - *Head and Neck Surgery. Clinical Indicators Compendium*. Bulletin, vol 18 no. 10, octubre 1999.
- [18] Sociedad Colombiana de Otorrinolaringología. Acta Sociedad Colombiana de Otorrinolaringología - SCORL. Indicadores Clínicos. 1999.

CURRÍCULOS

Andrés. A. Navarro. Realizó estudios de Ingeniería de Sistemas y Computación en la Pontificia Universidad Javeriana en Cali. Posteriormente hace una Maestría en Computación Gráfica y Ambientes Virtuales en la Universidad de Hull en Inglaterra. Además, tiene título de Especialista en Redes y Comunicaciones de la Universidad Icesi en Cali. Actualmente trabaja como docente investigador en la Pontificia Universidad Javeriana en Cali Colombia.

Jorge A. Vélez. Médico de la Universidad Libre de Cali y Especialista en

Gestión de la Salud de la Universidad Icesi de Cali. Es fundador de la Asociación Internet Salud y Medicina Colombia y se desempeña como administrador de los servicios de salud de Ecopetrol en Cali, Colombia.

Luis. E. Múnera. PhD en Inteligencia Artificial de la Universidad Politécnica de Madrid y Docente de la Universidad Icesi en Cali.

Gregorio Bernabé. Recibe una maestría en ciencias de la computación en la Universidad de Murcia donde actualmente es candidato a PhD. Allí, se desempeña como profesor asistente. ☀

