

---

# MODELO PARA TELEMEDICINA, EDUCACIÓN VIRTUAL Y ADMINISTRACIÓN DE IMÁGENES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

*MODEL FOR TELEMEDICINE, VIRTUAL EDUCATION AND IMAGE  
ADMINISTRATION, BY NATIONAL UNIVERSITY OF COLOMBIA*

---

Eduardo Romero MD, MSc, Ph.D\*

## RESUMEN

El proyecto de telemedicina desarrollado en la Universidad ha permitido la conectividad de más de cincuenta hospitales, adaptándose a las limitaciones en conectividad e infraestructura que existen en Colombia. El sistema permite la atención de consultas médicas especializadas bajo la modalidad de telemedicina, y tele-monitoreo, en tiempo real de pacientes en cuidado intermedio. El sistema está además provisto con herramientas que permiten la administración de entidades y usuarios, mecanismos de seguridad tales como cifrado de datos y firma digital para el diagnóstico, con lo cual se asegura la integridad de la información. El diseño del sistema se soporta sobre una arquitectura basada en servicios que asegura de manera natural su escalabilidad y modularidad. Luego de 3 años de servicio, el sistema ha procesado más de 25.000 casos reales de telemedicina, provenientes de 48 hospitales en 14 departamentos del país, cuyas

poblaciones varían entre 200.000 y un millón de habitantes, logrando con esto un acceso equitativo a la salud para una población aproximada de 10 millones de personas.

**Palabras clave:** Telemedicina, conectividad hospitalaria, consulta externa de especialistas, telemonitoreo, administration, cobertura de pacientes.

## ABSTRACT

A TeleMedicine project developed by National University of Colombia improves connectivity of more than fifty hospitals, but it has had to adapt to a limited connectivity and infra structure available in Colombia. This system allows specialized outpatient service in telemedicine modality, and real-time telemonitoring for intermediate care patients. This system have tools to allow administration of institutions and customers, safety measures such as data encryption and digital signature for diagnosis,

---

\* Director del Centro de Telemedicina, Universidad Nacional de Colombia. Grupo de investigación Biolngenum.

assuring information integrity. System design is supported by service-based architecture, giving scalability and modularity in a natural way.

After three years of service, this system has processed over twenty-five thousand real telemedicine cases, coming from 48 hospitals located in 14 country departments, with a population varying between two-hundred thousand and one million people, giving to about ten million persons an equal health access .

**Key words:** Telemedicine, hospital connectivity, outpatient specialist service, telemonitoring, administration, patients coverage.

## INTRODUCCIÓN

El impresionante avance tecnológico del último siglo ha contribuido notablemente a mejorar nuestro conocimiento sobre la enfermedad. Múltiples actividades interdisciplinarias han nacido en los últimos años como resultado de esta avalancha de descubrimientos y desarrollos, tales como la ingeniería de tejidos, la biomecánica o la telemedicina. Estas actividades se agrupan actualmente bajo el nombre genérico de Ingeniería Biomédica, y cada vez se encuentran más integradas con las consideradas ciencias básicas [1]. Un gran número de aplicaciones, desde las placas convencionales de rayos X hasta las nuevas técnicas de imagenología funcional, han abierto nuevas líneas de pensamiento y han permitido examinar más objetivamente el organismo humano. En particular, las tecnologías de la información y las comunicaciones han producido un manejo más oportuno y eficiente de la información médica y un cuidado más adecuado del paciente. La telemedicina se ha convertido en una herramienta de salud que permite a regiones apartadas y de escasos recursos acceder a servicios médicos especializados. Dermatología, radiología e Infectología son algunas de las especialidades que están disponibles actualmente gracias a las nuevas

redes de comunicaciones y a algoritmos robustos capaces de soportar gran tráfico de información. Los retos con esta nueva actividad comprenden la oferta eficiente de servicios a través de sistemas de información, el acceso oportuno a la Historia Clínica, la implementación de nuevas funcionalidades, el mantenimiento de la integridad y confidencialidad de los datos y la fácil escalabilidad del sistema [2].

Una red de telemedicina convencional se compone de varias estaciones remotas y un centro de referencia. En la estación remota un paciente consulta a un médico general, quién utiliza una aplicación para registrar información clínica relevante. Estos datos son enviados al centro de referencia usando algún canal de comunicación, en donde un especialista lee el caso, emite un diagnóstico y en algunos casos sugiere un tratamiento.

Las especialidades cubiertas por el sistema brindan muchas ventajas a las instituciones prestadoras de servicios de salud, principalmente la calidad y la oportunidad en el diagnóstico, el ahorro en costos, la disponibilidad y la confidencialidad de la información del paciente [3] “El servicio de telemedicina es uno de los más recientes servicios médicos que proveen diagnóstico, consulta, tratamiento médico, transmisión de la información médica y educación en salud utilizando redes de área local, Internet, y redes inalámbricas” [4]. El sistema permite administrar digitalmente las historias clínicas, acceder a un módulo de videoconferencia, a herramientas usadas por médicos generales, especialistas y estudiantes de especialidades para el soporte de las decisiones médicas y la comunicación entre médicos. Adicionalmente, la plataforma cuenta con herramientas para generar reportes estadísticos, administración de usuarios, manejo de contratos y almacenamiento de imágenes, que también son accesibles a través de un canal convencional de Internet. El sistema es escalable, es decir, puede crecer para cubrir más estaciones y

más usuarios sin necesidad de hacer cambios en el código y sin que se deteriore el rendimiento del sistema. Sus componentes fueron desarrollados utilizando herramientas de software libre, por lo cual esta plataforma es una opción viable desde el punto de vista económico [5].

## MATERIAL Y MÉTODOS

El modelo de base de datos de los sistemas que conforman la plataforma fue adaptado del modelo de información de referencia (MIR) propuesto por la organización de estándares en salud HL7. Este modelo se implementó en un servidor PostgreSQL, junto con las funcionalidades necesarias para búsqueda, integridad y operación de los datos. El sistema fue desarrollado en Java, bajo la arquitectura J2EE usando un servidor de aplicaciones JBoss.

## Requerimientos

La plataforma está obligada a garantizar la calidad de la información médica, siguiendo los

criterios de integralidad, secuencialidad, racionalidad científica y disponibilidad de la historia clínica, como se describe a continuación:

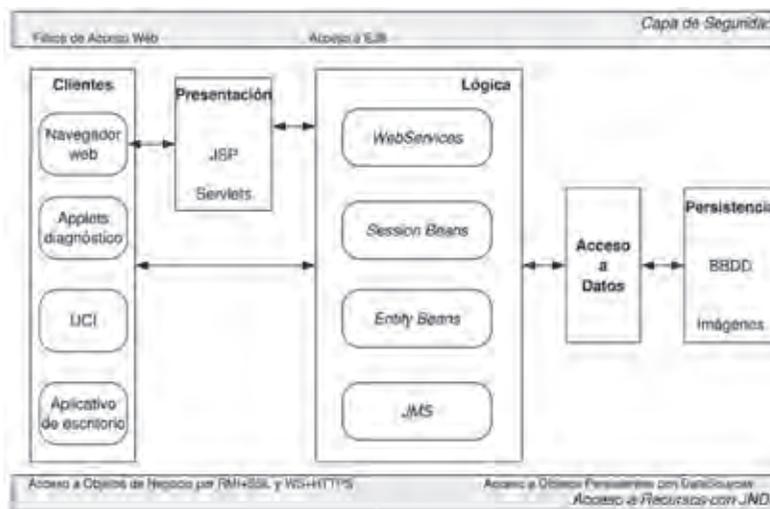
## Arquitectura Multicapa

Una arquitectura basada en servicios permitió de manera natural asegurar escalabilidad y flexibilidad del sistema, con lo cual se garantizaba un bajo acoplamiento entre los componentes. La arquitectura del sistema se compone de cuatro capas:

- La de clientes,
- La capa de presentación.
- La capa de Lógica del Negocio, en donde están definidas las reglas del negocio.
- La capa de acceso a datos,
- La capa de almacenamiento, compuesta básicamente por la base de datos.

La Figura 1 muestra las capas del sistema, la capa de lógica del negocio muestra una arquitectura basada en servicios (SOA, por sus siglas en inglés) [6,7], en la cual los componentes granulares proveen un bajo acoplamiento.

**Figura 1.** Arquitectura por Capas de la plataforma.  
La figura ilustra las cuatro capas con sus componentes nucleares



En este diseño, el cliente accede a servicios a través de interfaces de tal manera que la implementación de los servicios es independiente de la definición de los mismos.

### Modelo de Datos

HL7 (*Health Level 7*) [8] es una organización responsable de desarrollar estándares en el área de la salud, acreditada por la ANSI (*American National Standards Institute*). Una iniciativa importante propuesta por esta organización es llamada el Modelo de Información de Referencia (MIR), cuyos elementos nucleares comprenden:

- Acto: Todas las acciones realizadas en el contexto médico.

- Entidad: Representa cosas y seres de poca variabilidad.
- Rol: Establece los papeles que las entidades.
- Participación: Representa el contexto de un acto.
- Relación entre Actos: Representa enlaces entre actos.
- Enlace entre Roles.

### Adaptación del MIR al sistema de telemedicina

El MIR propone un marco de trabajo para las aplicaciones médicas. La Figura 2 muestra el formulario para registrar el acto de telemedicina junto con la información básica de una teleconsulta desde la estación de remisión.

**Figura 2.** Información de un caso de Telemedicina. La Historia Clínica permite ver la información del paciente, las observaciones y mediciones de signos vitales y de síntomas asociados, la entidad remitora y los archivos e imágenes de soporte

The screenshot displays a web-based form for recording a telemedicine consultation. It is organized into several sections:

- Datos Personales del Paciente:**
  - Identificación: CC 790087645
  - Nombre: eled
  - Fecha de nacimiento: 1947-02-28
  - Edad: 60
  - Género: Femenino
  - Estado civil: Divorciado
  - Tipo de afiliación: Subsidiado
  - Lugar de residencia: bogota
  - Rit: AB+
- Información de la Solicitud:**
  - Entidad solicitante: HOSPITAL NUESTRA SEÑORA DE LOS REMEDIOS
  - Médico Solicitante: Gladys
  - Fecha en que se atendió al paciente: 2007-05-01 06:00:00.0
  - Fecha de Envío: 2007-05-14 18:38:37.009
  - Especialidad: DERMATOLOGIA
- Datos de la Consulta:**
  - Signos Vitales:
    - Temperatura: 35 °C
    - Frecuencia Cardiaca: 65 pulsos/min
  - Características Dermatológicas:
    - Tipo de piel: I
    - Tipo de Lesión: grano
    - Localización: cara
    - Dimensiones: 1cm x 2cm
    - Forma: redondo
    - Color: rosado
    - Bordes: amarillos
    - Superficie: pústulosa
    - Sensibilidad: dolor
    - Días de Evolución: 20
    - Síntomas: Ardor, dolor, hinchazón.
  - Anamnesis:
    - Aquí va la anamnesis.
    - Caso de prueba en sistema de prueba.
  - Impresión diagnóstica: Acné.
- Imágenes:**
  - Descripción: foto cara
  - Abrir imagen

**Figura 3.** Módulo de estadísticas del sistema de telemedicina. En la imagen se presenta la cantidad de casos de radiología atendidos en los ocho primeros meses del año 2007

Entidad Solicitante	Fecha		
	+2007	+2008	+2009
-Todas	3.643	4.888	7.640
CENTRO DE SALUD DE PUERTO NARIÑO		7	9
Centro de Salud de San José de la Fragua			2
Centro de Salud de Solita		40	1
CENTRO DE SALUD SANTA ROSALIA		27	32
ESE Hospital Local San Juan de Nepomuceno			26
E.S.E. Red de Servicios de Salud de Primer Nivel - Centro de Salud Calamar		27	9
HOSPITAL LOCAL SAN ROQUE		18	4
HOSPITAL SAN JOSE DEL GUAVIARE E.S.E. II NIVEL	1.834	2.643	1.871
Hospital San Rafael - Sabanalarga		1.545	4.811

En el momento de generar y enviar el documento con el diagnóstico, es necesario utilizar un mecanismo estándar de firma digital para garantizar la identidad del especialista. La aplicación genera un documento tipo PDF con toda la información del caso. Este documento es firmado digitalmente utilizando un certificado de seguridad, el cual se encuentra almacenado en un dispositivo USB (ver sección ZKP) que el especialista debe introducir en el computador en el acto mismo de envío de la respuesta.

En este sistema, la relación médico-paciente, se soporta a través de un módulo de videoconferencia. Una vez el médico en la estación remota ha enviado todos los casos, el especialista, el paciente y él se encuentran para discutir el caso por medio de este módulo, el cual es también accesible a través de un navegador de Internet convencional.

Las herramientas para estadísticas de datos permiten al personal administrativo consultar estadísticas del sistema (ver Figura 4) Para este propósito, una base de datos complementaria es usada como base de datos OLAP.

El conjunto de datos usado en esta herramienta es actualizado diariamente de manera automática.

### Unidad de Cuidado Intermedio

Para la unidad de cuidado intermedio se desarrolló el hardware necesario para capturar los signos vitales, y transmitirlos al computador. Los signos medidos contemplan las señales de pletismografía, electrocardiografía y presión arterial. Estas señales son transmitidas al centro de referencia a través de a través de un protocolo de comunicación propietario.

**Figura 4.** Monitor de signos vitales con pantalla sensible al tacto



Adicionalmente para el manejo de la historia clínica de cuidado intermedio se modelaron en el RIM de HL7 los diversos Actos requeridos para actualizar el estado del paciente.

### Aplicación de escritorio

En las estaciones remisoras donde la conectividad es de mala calidad, se usa una aplicación de escritorio que sirve para almacenar las historias clínicas locales de la institución y el caso se envía en cuanto la conexión a Internet esté disponible.

## MECANISMOS DE SEGURIDAD TRANSMISIÓN DE DATOS SOBRE SSL

Los clientes se pueden conectar al servidor a través de un navegador web independiente de su plataforma, usando el protocolo HTTPS. En el caso particular del sistema de telemedicina, la aplicación usada por los especialistas para contestar cada caso, usa una conexión diferente: se realiza un llamado a un procedimiento remoto (*RMI - Remote Method Invocation*) a través de una capa de conexión segura SSL (*Secure Sockets Layer*).

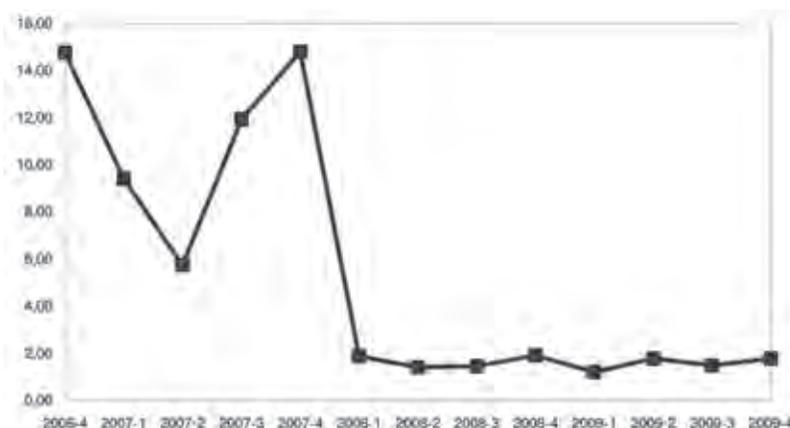
## ZKP

El acceso a recursos privados generalmente demanda la identificación por medio de un nombre de usuario y una contraseña, sin embargo, este mecanismo está lejos de ser seguro debido a que estos datos tienen que ser transmitidos por un canal de comunicación. En nuestro caso el sistema requiere un dispositivo que usa una variación de un método criptográfico llamado prueba de conocimiento cero o ZKP (por sus siglas en inglés Zero Knowledge Proof), con una secuencia indeterminada de preguntas y respuestas de tipo matemático, las cuales permiten al dispositivo confirmar al sistema que el usuario tiene en su posesión una contraseña válida pero sin transmitir ni revelar esta.

## RESULTADOS

Actualmente, 48 hospitales de primer y segundo nivel de complejidad utilizan este sistema para la remisión de casos, y 40 especialistas, trabajando en diferentes instituciones de tercer nivel de complejidad, usan la aplicación para contestar los casos. Luego de 3 años en producción, el sistema

Figura 5. Tiempo de respuesta en horas hábiles por trimestres



ha recibido más de 25.500 casos reales de telemedicina básica y 286 de cuidado intermedio. El acceso a Internet para cada estación remota es proveído por cualquiera de las redes de los hospitales, de manera que los anchos de banda usados son diferentes en cada enlace. Cada uno de estos hospitales son centros médicos que sirven a sus respectivas regiones y su radio de acción cubre poblaciones que varían entre 200.000 y un millón de habitantes.

Los municipios cubiertos están localizados en 14 departamentos del país: Amazonas, Antioquia, Arauca, Atlántico, Bolívar, Caquetá, Cauca, Cesar, Cundinamarca, Guajira, Guaviare, Magdalena, Sucre y Vichada.

Desde Diciembre de 2006 hasta Diciembre de 2009, el tiempo promedio de respuesta ha sido de 3.2 horas hábiles, solo en el último año el tiempo de respuesta promedio ha sido de 1.5 horas hábiles.

## DISCUSIÓN

El sistema de telemedicina accesible por Web que implementa el modelo de información del HL7, representa una opción económica y al alcance de las instituciones de salud ubicadas en regiones remotas del país. Este proyecto de telesalud es muy flexible y escalable gracias a la adaptación hecha del MIR, y a la arquitectura de software utilizada. Cabe resaltar que cualquier especialidad puede ser añadida sin afectar el modelo de datos, que el número de estaciones puede aumentar sin afectar el rendimiento de la plataforma y que el sistema de telesalud corre sobre un cliente liviano (un navegador de Internet) sin bases de datos ni programas

locales complejos, disminuyendo así la labor de soporte requerida en los equipos cliente y facilitando el mantenimiento y las actualizaciones.

Un aspecto clave para el desarrollo exitoso de este proyecto fue el modelo de datos usado que cumple con la especificación del HL7, brindando flexibilidad y escalabilidad al sistema. Desde la puesta en producción se han agregado incrementalmente nuevas funcionalidades con un esfuerzo mínimo en la adaptación de los mismos [9, 10].

## REFERENCIAS

1. Leder, R.: The importance of biomedical engineering history. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* 23 (Nov 2004) 18.
2. Miller, E.A.: Solving the disjuncture between research and practice: Telehealth trends in the 21st century. *Health Policy* 82, Issue 2, July 2007, (2007) 133–141.
3. Alaouia, A., Collmanna, J., Nguyenb, D., Lindischa, D., Subbiaha, R.N., Greena, A., Jeffrey Johnsona, S.K.M.: Implementing a secure teleradiology system using the internet. *International Congress Series* 1256 (2003) 803–808.
4. Lee, S.J., Kim, M.H.: Komips: A web-based medical image processing system for telemedicine app.
5. Beck, K.: *Extreme Programming Explained*. (2000).
6. Mark, C.: Service-oriented architecture expands the vision of web services. <http://www.ibm.com/developerworks/library/ws-soaintro.html> (IBM, 2004).
7. Brett, M.: Speed up your RMI transactions with value objects. <http://www.ibm.com/developerworks/java/library/j-ejb0910.html> (IBM 2002).
8. Health level 7. <http://www.hl7.org/>
9. O'Connor, C.V.: Zero-knowledge proof, prueba de conocimiento cero. <http://www.dattatec.com/descargas/zero-knowledge-proof.pdf> (NEX IT Specialist online magazine).
10. P. Caballero, C.H.: Protocolos criptográficos. <http://webpages.ull.es/users/cryptull/English/Protocols.pdf> (Universidad de Laguna, España).