

Prototipo Computacional para la Alineación de Estructuras Óseas Rígidas y Plantillas Ortopédicas como apoyo a la Planeación Quirúrgica Ortopédica.

S.N. Velázquez¹, G.H. Ruiz¹, M.A. Nuñez², P. Castellanos¹, J. Gutierrez²

¹Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México D.F.

²Subdirección de Investigación Tecnológica, Instituto Nacional de Rehabilitación, México D.F.

Resumen— El presente trabajo es una implementación en lenguaje JAVA y Programación Orientada a Objetos (POO), de una herramienta digital de apoyo a la planeación prequirúrgica ortopédica donde plantillas de implantes se colocan sobre las imágenes médicas del paciente, necesidad que surge en el Instituto Nacional de Rehabilitación en la Ciudad de México como consecuencia de haber eliminado el uso de las placas radiográficas.

Se diseñan e implementan clases de ambiente gráfico como el recorte o selección de formas irregulares o polígonos, así como clases de traslado, rotación y transparencia. El prototipo computacional permite el manejo de la escena en 2D para reducir y alinear secciones de imagen o imágenes completas en formato DICOM, además de alinear las plantillas ortopédicas sobre la imagen del paciente.

Esta aplicación digital permite eliminar el calco manual del procedimiento tradicional de planeación prequirúrgica que utiliza placas radiográficas. Se desarrolla el prototipo con el fin de contar con una herramienta que se puede usar en diferentes plataformas, escalable, adaptada a recursos y necesidades propias, así como con la posibilidad de mejoras y actualizaciones continuas.

Palabras clave—DICOM, Imágenes Médicas, JAVA

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen pocas actividades que se pueden realizar sin la ayuda de algún tipo de software, el trabajo de los médicos para realizar planeaciones de cualquier tipo no está exento. En el mercado existen un número considerable de software especializados para realizar diferentes tipos de actividades a fin de facilitar el trabajo de los médicos cirujanos, sin embargo, todos estos programas están hechos de manera genérica. La mayoría de los sistemas existentes en el mercado tienen un alto costo y para obtenerlos es necesario comprarlos, contar con licencia, no son abiertos y cada renovación es también muy costosa.

La planeación quirúrgica preoperatoria ortopédica es un procedimiento indispensable que se realiza con ayuda de imágenes médicas particularmente con radiografía (RX).

La planeación pre-operatoria es una actividad de gran impacto debe sus progresos a la tecnología en la digitalización y procesamiento de imágenes [1]. Su objetivo principal es establecer la técnica más adecuada a utilizar durante la cirugía así como una guía para predecir el éxito o fracaso de la intervención quirúrgica [2]. Sin embargo, este procedimiento no siempre se realiza y debido a la complejidad puede ser impreciso y tardado.

La planeación prequirúrgica ortopédica consiste en un calco de segmentos de fractura de hueso, para así tener una guía correspondiente a la anatomía de la zona a tratar del paciente. De esta forma, el calco representa la herramienta de trabajo construida por el médico ortopedista para el proceso de fijación de la fractura (i.e. reconstrucción del hueso) por medio de imágenes como radiografías, plantillas de implantes.

La elección del procedimiento será determinada por características de la fractura del hueso, región, tipo de trazo, desviaciones angulares, rotaciones, acortamientos, número y tamaño de fragmentos y la plantilla ortopédica correspondiente. La selección del implante o dispositivo quirúrgico adecuado deberá cumplir con el principio biomecánico, el tipo de dispositivo, sus dimensiones de la plantilla y orden de colocación. Si es necesaria la implementación de alguna plantilla los factores que se deben de tomar para seleccionar la adecuada es la longitud de la placa, diámetro si es tornillo, número de tornillos y su función específica de cada uno. Una parte muy importante de esta planeación es obtener la guía para la intervención quirúrgica paso a paso. Para realizar el calco existen diferentes técnicas manuales como superposición directa, utilizando la imagen del lado sano y superposición utilizando los ejes fisiológicos.

Estos procedimientos se hacen de manera manual sin intervención tecnológica, por lo que está sujeta a errores, son poco satisfactorios y muy tardados. Los sistemas CAD (Computer Aided Diagnosis - Diseño Asistido por Computador) son excelentes herramientas para que médicos realicen diagnósticos más acertados en corto tiempo. Las investigaciones en el área del Diagnóstico Asistido por Computador se iniciaron en el año 1980 y han ido evolucionando gradualmente como una herramienta de apoyo clínico. Es muy importante que estructuras vitales del cuerpo humano no sean dañadas durante una operación, que puede lograrse con el uso de sistemas de este tipo [3].

Los sistemas CAD de planeación preoperatoria de cirugías del sistema muscoesquelético, son conocidos como CAOS (Computer Aided Orthopaedic Surgery). Una gran parte de estos sistemas están destinados a garantizar que el cirujano sea capaz de conseguir la posición del implante que ha sido planeado previamente con un sistema CAOS [4]. Esto implica que la planeación preoperatoria conseguida con éstas herramientas es más precisa y repetible que los métodos convencionales.

Entre las soluciones CAOS que se encuentran en el mercado están las siguientes:

TraumaCad™

Es una herramienta de la marca Voyant Health, para manipular imágenes médicas digitales (Rayos X, Tomografía Computarizada) en formato DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) y JPG para realizar varias planificaciones preoperatorias. Ofrece integración con el sistema PACS (Picture Archiving and Communications System) y contiene una extensa biblioteca (47000) actualizada de plantillas digitales de implantes de los principales fabricantes. Un aspecto principal es que cuenta con una herramienta para calibrar automáticamente una imagen al tamaño real de los huesos [4].

OrthoView™

Todo el proceso relacionado con la planificación y comprobación de plantillas digitales se lleva a cabo en cuatro pasos: escala, planificación, comprobación y elaboración de informes. Ofrece una biblioteca de plantillas digitales que contiene más de 30000 implantes de los principales fabricantes. A través del componente OrthoView Smart, el cual contiene herramientas inteligentes que permiten manipular las plantillas tal que se logra la autoalineación. Soporta imágenes JPEG y DICOM y se puede comunicar con sistemas PACS.

IMPAX™

Agfa ha desarrollado un producto con elevada precisión en la planificación preoperatoria y flexibilidad para acceder a la información y compartirla. IMPAX para traumatología y ortopedia automatiza una fase importante de la planificación digital: se calibran las imágenes tomando objetos de referencia estándar, tales como esferas metálicas de 30 mm para tener en cuenta la ampliación inherente a los Rayos X. Incorpora una extensa biblioteca de modelos de implantes: 12000 modelos de 42 fabricantes distintos. La biblioteca digital cubre numerosas partes del cuerpo (cadera, rodilla, pie, espalda, codo y mano) e incluye componentes de sostén (clavos, tornillos, placas). Se puede acceder a la biblioteca de forma sencilla y se puede actualizar a través de Internet [4]. A pesar de los productos sobre planeación prequirúrgica ortopédica que se encuentran en el Mercado, éstos no necesariamente cubren todas las necesidades de los cirujanos, además el alto costo por licenciamiento y la dependencia a una marca específica. El objetivo de este trabajo es mostrar el diseño e implementación de un prototipo que sirva de apoyo en la planeación prequirúrgica ortopédica. La aplicación se desarrolla en lenguaje independiente de plataforma y debe ser compatible con el visualizador de imágenes DICOM del PACS-INR. En [5,6,7] se especifica la metodología para el desarrollo de nuevos componentes que se deseen agregar a este visualizador.

II. METODOLOGÍA

Como el sistema de visualización de imágenes médicas DICOM-INR utiliza el lenguaje de programación orientado a objetos JAVA con Netbeans IDE 7.4, y este lenguaje es independiente de plataforma se cumplen los dos primeros requisitos de diseño mencionados arriba.

Se utilizan imágenes de Rayos X (AP y Lateral) en formato DICOM previamente seleccionadas por el especialista. Las plantillas de implantes (cadera y fémur) se digitalizaron en un escáner de placas radiográficas en tamaño original 1:1 en formato DICOM.

El diseño se basa en las siguientes cuatro etapas:

1. *Concepción*. Levantamiento de requerimientos y análisis de la propuesta del prototipo:

Interfaz Gráfica de usuario (GUI) sencilla e intuitiva que integre ventanas, menús e iconos, así como permita el manejo (visualización, carga, descarga, transparencias, manipulación- desplazamientos verticales, horizontales, superposición, y rotación) de las imágenes médicas tanto en formato DICOM como JPG. Todas las herramientas estarán contenidas en una sola ventana, como se muestra en la Figura 1 y se detalla a continuación:

1. Barra de título, botones de control para minimizar, maximizar y cerrar ventana.
2. Barra de menú, File y submenús, cargar imagen, cargar archivo, guardar y exportar a JPG.
3. El menú de las plantillas de implantes.
4. Botones de seleccionar que elige el polígono a manipular y otro de agregar con que se añade el implante escogido por el médico.
5. Barras de deslizamiento, una para girar el polígono y otra para cambiar la transparencia del polígono o la plantilla.
6. El lienzo donde se despliegan las imágenes.

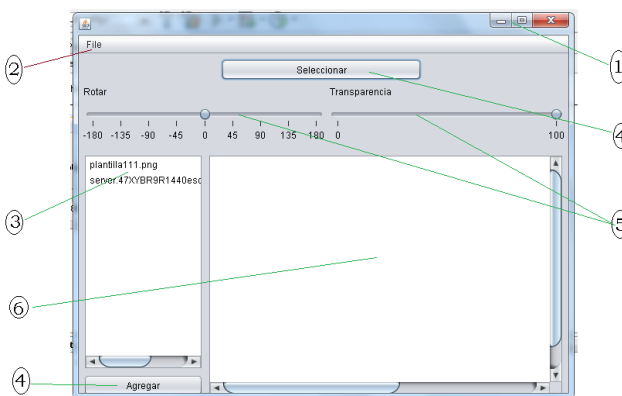


Figura 1. Diseño de la GUI y sus componentes.

Tanto las imágenes médicas como las plantillas de los implantes se ingresan a la aplicación en el mismo formato y con la misma escala. Esto se realiza basándose en los

parámetros que indican la relación espacial (pixel spacing) de la propia imagen DICOM.

2. *Elaboración.* Propuesta de solución y generación de configuración:

Las clases que integran el prototipo de software para alinear plantillas ortopédicas sobre las estructuras óseas rígidas de imágenes de RX se dividen en 3 paquetes, como se describen a continuación y se muestra en la Figura 2. El primero es el paquete radiografias.control, éste contiene las clases responsables de controlar los elementos (ROIS poligonales o plantillas protésicas) que se pueden superponer sobre una imagen DICOM, las operaciones básicas de estos elementos son: rotación, transparencia, selección, borrar así como un método abstracto de pintado para su especialización.

El segundo paquete o radiografia.GUI, solo contiene la clase lienzoImagen cuya responsabilidad es administrar una imagen DICOM y un conjunto de elementos gráficos agregados (polígonos o plantillas) por el usuario. El último paquete es radiografias, contiene la clase principal del prototipo, su responsabilidad es hacer una instancia a nivel de SO, permitir al usuario la apertura de imágenes DICOM y JPG para agregarlas al lienzo asociado.

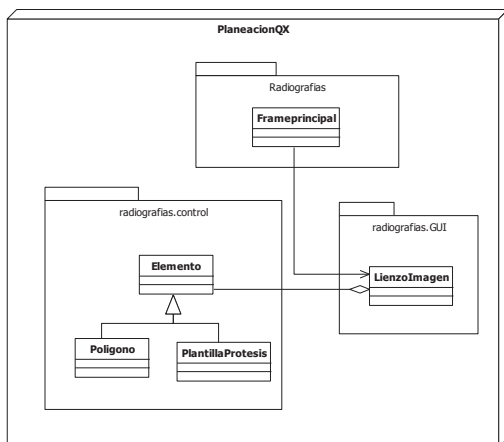


Figura 2. Categoría de las clases que integran el prototipo

3. *Construcción.* Crear y probar el producto

Se utiliza la biblioteca Java Swing para construir los objetos que interactúan entre sí, y que a través de la GUI el usuario aplica las herramientas disponibles [8].

4. *Transición.* Probar el prototipo.

III. RESULTADOS

El prototipo permite elegir la parte del hueso a alinear por medio de una selección de puntos alrededor de la parte del hueso, creando de esta manera un polígono. La alineación de la fractura del hueso se realiza por traslación y rotación, de los polígonos creados (Figura 3 y Figura 4).

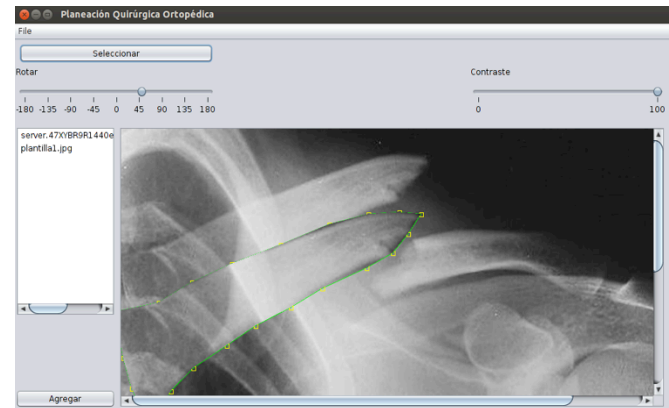


Figura 3. Traslación del polígono creado.

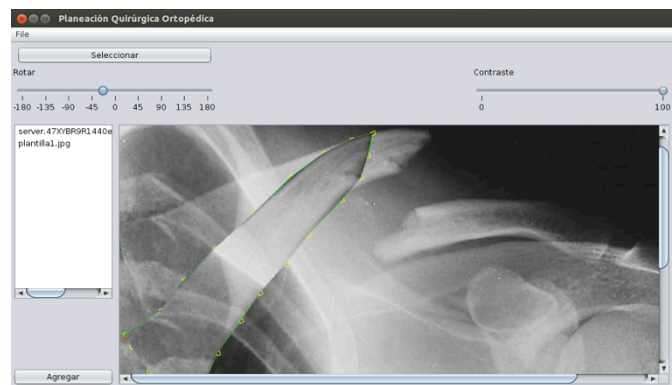


Figura 4. Rotación del polígono creado.

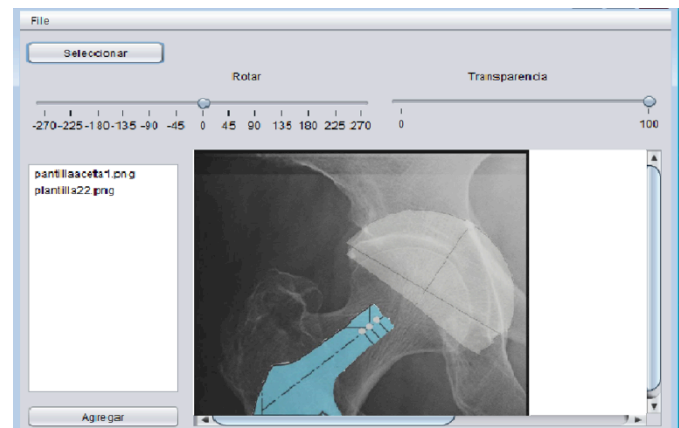


Figura 5. Imagen de RX sobrepuesta con una plantilla de implante, aplicando nivel de transparencia

Para corregir errores, también se cuenta con la opción de eliminación del polígono creado. Una vez alineados los

huesos rotos se procede a probar las distintas plantillas aplicando transparencia (Figura 5).

Tabla 1. Comparación con sistemas comerciales

Herramienta	# Plantillas	Especialidad	Vistas	Proceso
TraumaCad	47000	Cadera, Rodilla, Columna, Pie, Tobillo	4	Calibrar, Planear, Guardar
OrthoView	30000	Cadera, Rodilla, Columna	4	Escala, planificación (mediciones, Zoom, rotación), comprobación y elaboración de informes.
IMPAX 5	12000	Cadera, Rodilla, Pie, Mano	4	
Propuesta	100	Ortopedia (Cadera)	2	Alineación, Medición, Escalamiento, Rotación, Transparencia

IV. DISCUSIÓN

El prototipo permite a los ortopedistas llevar a cabo planeación preoperatoria en 2D sobreponiendo plantillas de implantes sobre las imágenes digitales de Rayos X en tiempo real (Figura 6). Esta aplicación digital permitió eliminar el calco manual del procedimiento tradicional de planeación prequirúrgica que utiliza placas radiográficas. El prototipo soporta el estándar DICOM. Permite importar imágenes médicas del PACS-INR. También se puede abrir imágenes JPG. Al desarrollarse en JAVA se logra que la aplicación se pueda usar en diferentes plataformas (MAC, LINUX, WINDOWS). Aunque aún el prototipo tiene algunas restricciones, como por ejemplo; cuando se generan varios polígonos para su manipulación, se deben seleccionar el polígono a mover, para determinar cual es el polígono a manipular. A pesar de esto y dentro de sus ventajas es que se pueden crear polígonos sin que haya un número determinado, es decir, a través de la clase lista circular es posible agregar varias plantillas de implantes sobre una misma imagen, sin restricción del número de manipulación.

En la tabla 1 se muestra una comparación con los sistemas comerciales.

V. CONCLUSIÓN

Una planificación digital preoperatoria favorece ahorros de tiempo significativos cuando se trata de operaciones

complejas que usan implantes costosos ayudando así a seleccionar el más apropiado para cada paciente con el fin de reducir las consecuencias de complicaciones médicas. Asimismo, se reducen los costos asociados a la impresión de placas radiográficas, que de lo contrario se requerirían producir solo para este procedimiento. Actualmente la biblioteca digital de plantillas de implante con la que cuenta el prototipo presentado, contiene un centenar, aunque solo contiene de cadera y fémur. La perspectiva es que el prototipo sea incorporado al PACS-INR, se amplie su biblioteca de plantillas de implantes, y se agreguen herramientas de reconstrucción volumétricas.

Como ventajas de la propuesta: El prototipo se puede utilizar para entrenar a los nuevos residentes y fomentar el uso de desarrollos tecnológicos propios que pueden robustecerse con la integración de nuevas herramientas. En este sentido también se da la pauta para la implementación de nuevos algoritmos en el procesamiento de imágenes médicas. Proponer herramientas para mediciones especializadas (Índice acetabular, Índice de Reimer, Distancia articulo-trocantérica, índice epifisial, etc.).

Como desventajas: Modo manual de alineación y calibración (Considerar técnicas de procesamiento automatizado para la alineación y calibración), conjunto reducido de plantillas, considerar reconstrucción volumétrica de estructuras y plantillas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Schatzker J. Tratamiento quirúrgico de las fracturas, Segunda edición. Buenos Aires Argentina. Panamericana, 1998: 97-115.
- [2] Yoel González Mesa, María de Jesús Cartelle Cruz, Yania Junco López. SLD085 Sistema para la planificación quirúrgica ortopédica en el área de pediatría. IX Congreso Internacional de Informática en Salud 2013.
- [3] Esmitt Ramírez. Planificación Preoperatoria Digital en Traumatología, Universidad Central de Venezuela Facultad de Ciencias, Escuela de Computación. RT 2009-07
- [4] AO Foundation. Disponible en: <http://www.aofoundation.org>. E. H.
- [5] Mario Valdivia Guzmán, Arturo Hernández Velasco, Proyecto terminal "Herramienta de reconstrucción de planos ortogonales y oblicuos para navegación de volúmenes DICOM en el visualizador PACS-INR" 2013.
- [6] Josefina Gutiérrez, Marco Antonio Núñez, Ruth Delgado. Design and Implementation of a Medical Image Viewing System Based on Software Engineering at Instituto Nacional de Rehabilitación. Abstract of Pan American Health Care Exchange Conference, 2009 pp. 15-19.
- [7] Josefina Gutiérrez, Marco Antonio Núñez, Ruth Delgado. Modelo Funcional del PACS-INR. Abstract of Pan American Health Care Exchange Conference, 2008 pp. 18-21.
- [8] David J. Barnes y Michael Kolling. Programación orientada a objetos con Java. Una introducción práctica usando BlueJ. Editorial PEARSON. Tercera edición. 2007; 1:3-17.