

## Sistema para la planificación quirúrgica ortopédica en extremidades

### A system for planning orthopedic surgery in limbs

Ing. María de Jesús Cartelle Cruz,<sup>I</sup> Ing. Yicel Rivera Suárez,<sup>II</sup> Ing. Luis Mariano Reyna Soler,<sup>III</sup>

<sup>I</sup>Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), La Habana, Cuba. E-mail: [mjcartelle@uci.cu](mailto:mjcartelle@uci.cu)

<sup>II</sup>Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), La Habana, Cuba. E-mail: [yriveras@uci.cu](mailto:yriveras@uci.cu)

<sup>III</sup>Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), La Habana, Cuba. E-mail: [lreyna@uci.cu](mailto:lreyna@uci.cu)

---

#### RESUMEN

Los distintos procedimientos quirúrgicos en ortopedia presentan un elevado nivel de complejidad y requieren de una adecuada planificación que incremente las probabilidades de éxito de los mismos. Desde una perspectiva general, la planificación preoperatoria en extremidades, en los hospitales cubanos, se realiza de forma tradicional, por lo que está propensa a errores humanos y de magnificación, entre otros y necesita una considerable inversión de tiempo así como de material adicional. El problema científico de esta investigación consiste en cómo incorporar la asistencia por computadora al proceso de planificación quirúrgica ortopédica para las extremidades en los hospitales ortopédicos cubanos. Se utilizó como metodología de desarrollo el Proceso Unificado del Rational y como lenguaje de modelado el Lenguaje Unificado de Modelado (UML por sus siglas en inglés) en su versión 2.1. En la creación de diagramas fue usada la herramienta Enterprise Architect en su versión 7.5 y en la realización de la aplicación se utilizó Microsoft Visual Studio 2010. En este artículo se especifican las principales funcionalidades del módulo de extremidades que se implementó e integró al sistema de Planificación Quirúrgica Ortopédica (PQO). La aplicación permitirá a los especialistas realizar la planificación preoperatoria de una cirugía ortopédica empleando una menor cantidad de recursos y en menos tiempo.

**Palabras clave:** ortopédica, planificación, quirúrgica, extremidades.

## ABSTRACT

Different orthopaedic surgical procedures have a high level of complexity and require proper planning to increase the chances of their success. From a general perspective, preoperative planning in Cuban hospitals is carried out in a traditional way, so it is prone to human error and magnification, and requires a considerable investment of time and additional material. The scientific problem of this research is how to incorporate the computer-assistance to the planning process of orthopaedic limb surgeries in the hospitals of Cuba. Rational Unified Process was used as the development methodology and as modeling language the Unified Modeling Language (UML for its acronym in English) version 2.1. Enterprise Architect tool in its version 7.5 was used in the creation of diagrams and in the implementation of the application was used Microsoft Visual Studio 2010. This article specifies the main functionalities of the limbs module, was implemented and integrated to Orthopaedic Surgical Planning System (PQO in Spanish). The application will allow specialists to perform preoperative planning of orthopedic surgery using fewer resources and less time.

**Key words:** orthopedic, planning, surgical, limbs.

---

## INTRODUCCIÓN

El servicio médico gratuito para toda la población cubana ha sido una prioridad de primer orden desde que triunfó la Revolución en el año 1959. El Ministerio de Salud Pública (MINSAP), órgano rector de la salud en Cuba colabora actualmente con numerosos países, principalmente los enmarcados en la Alternativa Bolivariana para las Américas (ALBA), convirtiéndose en un factor clave para el avance de la medicina latinoamericana.

La población cubana actualmente asciende a 11 204 841 habitantes según estimaciones realizadas por la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) para el 31 de diciembre de 2010 y atraviesa lo que se conoce como transición demográfica. La misma ha traído como consecuencia un aumento de la esperanza de vida hasta los 77.97 años, cifra comparable con la de muchos países desarrollados. Pero la tasa global de fecundidad actualmente es de 1.63 representando una disminución de 0.07 respecto al 1.70 del año 2009, debido en gran medida a las condiciones de "Período Especial en Tiempo de Paz" que ha sufrido el pueblo de Cuba por más de 20 años.<sup>1</sup> Las condiciones actuales para tener familias numerosas no son las adecuadas, por lo que muchos núcleos familiares no dan a luz a más de un hijo. Siendo un país subdesarrollado, Cuba tiene indicadores de mortalidad inferiores a muchos países desarrollados. A finales del 2010 arribó a una tasa anual de crecimiento de -0.2 habitantes por cada mil, cifra extremadamente baja y representa un decrecimiento poblacional.<sup>2</sup>

Con una población mayormente anciana, existe la tendencia a la aparición de diversos tipos de enfermedades y afecciones que son propios de esta edad. Las enfermedades óseas se han hecho más comunes, pues los huesos de un adulto mayor son más propensos al desgaste.<sup>3</sup>

---

El sistema óseo humano es afectado por diversas enfermedades tales como: Osteomielitis, Osteonecrosis, Cáncer óseo primario, Osteosarcoma, Osteomalacia, Raquitismo, Osteoporosis, Osteogénesis imperfecta, Acromegalia, Acondroplasia, entre otros.

De manera general la planificación quirúrgica aplicada a pacientes que requieren cirugía por causa de alguna de estas enfermedades, es realizada de forma tradicional. Dadas las condiciones actuales en Cuba este proceso de planeación se realiza, en gran medida, a partir de la experiencia adquirida por los especialistas, muchos de los cuales tienen la capacidad de hacer cálculos rápidos y efectivos.

Por tanto, no se realiza en los hospitales cubanos una apropiada planificación quirúrgica ortopédica. Dado el deseo del gobierno cubano de hacer uso de las tecnologías existentes para lograr un nivel de excelencia donde el éxito es la meta a alcanzar, se está desarrollando en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) el sistema Planificador Quirúrgico Ortopédico (PQO), el cual permite efectuar la planificación preoperatoria en diversas regiones anatómicas donde se incorporarán las extremidades.

## **DESARROLLO**

La planificación preoperatoria es un procedimiento para realizar la cirugía de una forma elegante y atraumática. Los objetivos de los cirujanos ortopédicos son lograr: definir el orden de la táctica quirúrgica en el procedimiento quirúrgico y determinar el final que tendrá la cirugía correctiva. Constituye un proceso de gran importancia porque un cirujano de excelencia debe estar suficientemente preparado antes de tomar la decisión de efectuar determinada operación.<sup>4</sup>

### **Planificación quirúrgica ortopédica en las extremidades**

Para desarrollar la cirugía se realiza un conjunto de pasos previos que tendrán como objetivo planificar con el mayor grado de exactitud posible los procedimientos a seguir durante la operación quirúrgica. El médico deberá dividir en dos etapas dicha planificación, en resumen: realizará un croquis donde se plasme el resultado final que se pretende alcanzar y finalmente definirá la táctica quirúrgica que empleará.<sup>5</sup>

Posteriormente son introducidos los datos en la historia clínica del paciente, datos obtenidos de estudios radiográficos básicos en dos planos, anteroposterior y lateral. Luego, en dependencia de factores como el grado de la fractura y el asiento de la misma, el médico solicitará estudios adicionales o complementarios dentro de los que se encuentran: radiografías oblicuas, radiografías del lado sano o tomografías axiales computarizadas.

Teniendo todos estos datos y terminada la confección de la historia clínica, se procederá a realizar el diagnóstico integral de la fractura y se construirá un croquis con el resultado final que demostrará cual será el procedimiento a seguir y es elaborado mediante una serie de calcos sucesivos de la radiografía, con los fragmentos en posición de reducción hasta lograr un calco final con la fractura reducida.

Este último calco se somete posteriormente a estudio, con el objetivo de seleccionar el principio biomecánico que estabilice la fractura, sostén, comprensión

con tornillo, protección, férula interna, comprensión bilateral, tirante y luego de esto son elegidos los implantes adecuados teniendo en cuenta la localización del trazo, el hueso que sufrió la fractura y el principio seleccionado.

La próxima y última etapa a realizar será seleccionar la táctica quirúrgica, la cual se define en dependencia del croquis construido, pues en ella se plasma el proceder quirúrgico que se utilizará en la reducción de la fractura.

### **Cirugía Ortopédica Asistida por Computadora**

El concepto de CAOS fue introducido por Anthony M. DiGioia,<sup>6</sup> quien coincide en definir el uso de esta tecnología como la unión entre hombre y máquina, de forma que el trabajo en diferentes procedimientos ortopédicos sea superior al realizado por el hombre o la máquina de forma aislada. DiGioia ha proporcionado una clasificación amplia de los diferentes sistemas de CAOS en ortopedia.<sup>7</sup>

En traumatología y ortopedia, los sistemas CAOS son utilizados ampliamente para cirugías de fracturas. También son empleados en muchos estudios tales como: cadera, columna y rodilla. Además son utilizados en varias prácticas clínicas como: traumatología, cirugía, simulación y planificación preoperatoria.

Con estos sistemas los médicos pueden realizar las planificaciones preoperatorias y tener un proceso más preciso y repetible que los métodos convencionales.<sup>5</sup> Además, los sistemas CAOS integran la información quirúrgica con las imágenes médicas, brindando la posibilidad de determinar las medidas exactas de los implantes a utilizar. Dichas imágenes médicas están basadas en las dimensiones físicas reales del paciente, para la adecuada colocación de los implantes y pueden contener un repositorio de los mismos a utilizar para una reducción de fractura. De esta forma se reduce el tiempo de búsqueda de las mismas.

Estos sistemas pueden emplear las imágenes reales de cualquier articulación del cuerpo humano proveniente de los distintos equipos médicos imagenológicos utilizados en radiología, tales como ultrasonido, rayos X, y tomógrafo; además pueden crear imágenes virtuales de la articulación dañada.<sup>8</sup> Esta característica constituye una enorme ventaja respecto a otros sistemas, pues estas imágenes están en formato DICOM y el proceso de obtención, transmisión y procesamiento de las mismas está controlado por un sistema PACS. Así se asegura que dicho proceso además de seguro sea de cierta forma más sencillo.

### **Esquema general para los sistemas de planificación preoperatoria**

La imagen correspondiente que recibe como entrada el sistema es transmitida por el PACS desde un equipo médico utilizado en radiología, tales como: tomógrafo y rayos X. En el caso de ausencia de una infraestructura hospitalaria y equipos de adquisición de imágenes digitales, la imagen puede ser capturada por una simple cámara digital. Una vez adquirida la imagen se procede a un proceso de calibración, y de esta forma se obtienen medidas reales de las proporciones dentro de la imagen.

Después de calibrada la imagen se le aplican técnicas de mejoramiento como el aumento del brillo y contraste; las cuales mejorarán la visión del especialista para realizar la manipulación de los fragmentos de huesos.

Seguidamente se efectuará el ensamblaje de los huesos, luego de que el traumatólogo los halla separado. La región tratada puede requerir de un medio externo (placa, tornillo, implante, entre otros) para la reducción del hueso, dicho dispositivo será seleccionado desde un conjunto de plantillas asociadas al tipo de afección a tratar. A continuación, el sistema permite al radiólogo aplicar deformaciones dependiendo de la anatomía de la reducción. Al analizar los pasos anteriores, se obtiene el calco necesario para la cirugía. Para finalizar es generado un reporte con los datos.

### **Integración al PQQ**

Desde su surgimiento, la Arquitectura Orientada a Servicios (SOA por sus siglas en inglés) ha sido muy usada en el diseño de software. Esta describe a un sistema como un conjunto de componentes llamados servicios, que son independientes, con responsabilidades bien definidas y con interfaces explícitas, pequeñas, intuitivas y reutilizables. Dado que estos servicios se orientan a resolver un propósito en específico. El hecho de que este tipo de arquitectura promueva la creación de servicios que utilizan un protocolo de comunicación uniforme e independiente de tecnologías y la capacidad de integración de componentes, sin importar en cuales marcos de trabajo o tecnologías fueron desarrollados; son sin dudas unas de sus mejores ventajas.

Para hacer uso correcto de los elementos de esta arquitectura es importante definir de antemano y de forma duradera, las interfaces para unir partes en un sistema y mantenerlas fuera de cambios; en todo caso, solo hacerles adiciones mediante especializaciones de las mismas, para proteger los componentes que las utilicen. Es recomendable que la misma sea usada en aquellos lugares dentro de la aplicación donde se necesiten interconectar servicios de alto nivel. Especialmente aquellos que son horizontales a la misma o en aquellos ámbitos privados, dentro de ensamblados generalmente, donde las consecuencias de los cambios solo se propagan dentro de ellos.

El sistema que se desarrolla en el PQQ posee interfaces para lograr la integración de componentes y descubrimiento de extensiones. El diseño actual del planificador toma el enfoque de SOA, haciendo que el propio sistema sea un servicio de alto nivel; que las extensiones consumen. Dentro de estos servicios se encuentran aquellos que permiten al Ribbon de la interfaz de usuario principal manejar las pestañas. Actualmente este sistema define, para manejar las extensiones un modelo basado en plugins. Lo cual, combinado con algunos elementos de SOA, logra aumentar significativamente la extensibilidad y reusabilidad del sistema o sus componentes, además de proteger al mismo de la propagación desenfrenada de cambios.

La solución que se propone será integrada al planificador en forma de plugins. Este último, almacenará la lógica encargada de manejar los aspectos necesarios para realizar la planificación quirúrgica preoperatoria en las extremidades del cuerpo humano, mediante el uso de los servicios que brinda el planificador a sus extensiones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para obtener una clara visión de los requerimientos funcionales con los que el sistema debería contar, se utilizaron métodos empíricos los cuales permiten extraer de los fenómenos analizados las informaciones que se necesitan sobre ellos a través de observaciones, del uso de técnicas opináticas y la propia experimentación. Dentro de estos métodos se utilizó la entrevista a los especialistas altamente calificados de distintos hospitales que contienen departamentos ortopédicos con el objetivo de detectar funcionalidades para el sistema que sean realmente útiles y adecuadas a los avances ortopédicos actuales.

Se empleó para el desarrollo de la solución C# 4.0 como lenguaje de programación; además se utilizaron las tecnologías Windows Presentation Foundation (WPF), Managed Extensibility Framework (MEF) y Model-View-ViewModel (MVVM) como patrón arquitectónico.

Como metodología de desarrollo se utilizó el Proceso Unificado de Rational (RUP) además de implementarse la especificación del nivel 2 de CMMI como parte del proceso de mejoras.

También se utilizó BPMN 1.1 como notación de modelado de los procesos del negocio y el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) como lenguaje de modelado visual.

Entre las herramientas seleccionadas para crear la aplicación se encuentran como entorno integrado de desarrollo Microsoft Visual Studio 2010. Enterprise Architect en su versión 7.5 como herramienta de modelado y para el control de versiones se utilizó TortoiseSVN en su versión 1.6.6.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El módulo de extremidades para el sistema de PQO en los hospitales cubanos permitirá que los especialistas planifiquen las intervenciones quirúrgicas reduciendo la posibilidad de cometer algún error humano o de medición. Permitirá definir la táctica quirúrgica a utilizar, de esta forma aumentarán los indicadores de eficiencia en los servicios a los pacientes y aumentará la satisfacción de los mismos. También los cirujanos ortopédicos en formación tendrán una herramienta educativa de alta calidad.

El módulo brindará diversas mediciones especializadas que permitirán efectuar diferentes mediciones en las extremidades tanto superiores como inferiores. A continuación se describen las más importantes, dentro de las extremidades inferiores.

*Pie:*

- Ángulo de Hallux Valgus: permite medir la angulación en valgo de la superficie articular distal del primer metatarsiano y de la falange proximal.
- Ángulo Interfalángico de Hallux Valgus: permite medir el ángulo de lateralización de la falange distal.

- Ángulo intermetatarsiano: permite medir el ángulo de la relación del primer metatarsiano con el segundo metatarsiano.
- Ángulo articular distal del metatarsiano: describe el ángulo formado entre la superficie articular y el eje del primer metatarsiano.
- Ángulo de apertura del pie: permite medir el ángulo de anchura del pie.
- Ángulo metatarsofalángico del quinto dedo: permite determinar la relación y el grado de desviación del dedo en un plano transverso.
- Ángulo de Meschan: permite medir el ángulo que forman dos líneas tangentes trazadas entre el extremo más distal de la cabeza del segundo metatarsiano con la del primer y quinto metatarsiano respectivamente.
- Arco plantar interno: permite valorar afecciones como pie cavo o pie plano.
- Ángulo articular distal: expresa el componente de valguización inherente a la falange proximal del Hallux.
- Ángulo proximal articular del metatarsiano: permite medir la oblicuidad de la base del primer metatarsiano.

*Tobillo:*

- Ángulo tibioastragalino: permite valorar la estabilidad del ligamento lateral externo.

Dentro de las extremidades superiores se encuentran las siguientes mediciones:

*Hombro:*

- Espacio subacromial: permite medir la separación del acromio y del húmero.
- Distancia acromioclavicular: permite asociar a las lesiones traumáticas de la articulación acromioclavicular.
- Ángulo de la cabeza humeral: permite definir las causas reales que alteran la articulación humeral tales como fracturas de cabeza humeral.

*Mano:*

- Altura del carpo: permite calcular la distancia entre la base del tercer metacarpiano y el borde articular distal del radio medido a lo largo del eje del tercer metacarpiano.
- Índice de Youm: permite calcular la proporción entre la altura del carpo y la longitud del 3er metacarpiano.
- Ángulo de inclinación radial: permite medir el ángulo formado por una línea perpendicular al eje longitudinal del radio y otra línea que unirá el extremo más distal de la estiloides radial y el borde cubital del radio distal.

- Varianza cubital: describe las posiciones relativas de las superficies articulares del radio y cúbito.

- Longitud radial: permite calcular la distancia entre dos líneas perpendiculares al eje del radio.

*Codo:*

- Ángulo de transporte del codo: permite medir las alteraciones en las fracturas supracondíleas de húmero y en las de cúbito y radio.

- Ángulo cubital: permite medir las alteraciones en las fracturas supracondíleas de cúbito.

- Ángulo humeral: permite medir las alteraciones en las fracturas supracondíleas de húmero.

## CONCLUSIONES

El módulo de extremidades se integró al sistema de POO permitiendo así apoyar la planificación quirúrgica en esta región anatómica. La aplicación fue desarrollada cumpliendo con todos los requerimientos necesarios y las diferentes mediciones especializadas.

Después de una apropiada búsqueda sobre estilos arquitectónicos utilizados en la actualidad para el desarrollo de sistemas similares al que se desarrollaría; se definió la arquitectura híbrida usando como patrón fundamental MVVM, el cual ofrece importantes beneficios en cuanto a flexibilidad entre el diseño y el desarrollo que se llevarán a cabo y la reutilización de componentes.

El acoplamiento de este módulo al sistema POO enriquecerá al mismo, dotando a los hospitales ortopédicos cubanos de un sistema integral que apoyará la planificación de los procedimientos a realizar durante operaciones ortopédicas en las extremidades, así como para la definición de la táctica quirúrgica a utilizar. De esta forma aumentarán los indicadores de eficiencia en los servicios a los pacientes, aumentará la satisfacción de los mismos y los cirujanos ortopédicos en formación tendrán una herramienta educativa de alta calidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gobierno de la República de Cuba. Período Especial [citado 21 Ene 2012]. Disponible en [http://www.cubagob.cu/otras\\_info/minfar/periodo\\_especial.htm](http://www.cubagob.cu/otras_info/minfar/periodo_especial.htm)
2. ONE.CU [homepage]. La Habana: Oficina Nacional de Estadísticas e Información [citado 10 Jun 2013] Disponible en: <http://www.one.cu>
3. Padrino Armas I. Complejo Ortopédico Frank País: esperanza para el mundo [citado 21 Ene 2012]. Disponible en <http://www.adelante.cu/index.php/sociedad/salud/3470-complejo-ortopedico-frank-pais-esperanza-para-el-mundo.html>



4. Rivera Suarez Y, Noguera López PJ. Desarrollo del módulo de extremidades para el sistema PQO [tesis]. La Habana: Universidad de las Ciencias Informáticas; 2011.
5. Ramírez E. Planificación preoperatoria digital en traumatología; 2009.
6. Amd3 Foundation. Amd 3 foundation. [citado 21 Ene 2012]. Disponible en <http://www.amd3.org/digioia.htm>
7. Medicomedia [homepage]. [Citado 14 Oct 2012] Disponible en: [http://www.portalesmedicos.com/diccionario\\_medico/index.php/goniometro](http://www.portalesmedicos.com/diccionario_medico/index.php/goniometro)
8. Rothman Institute. Computer assisted orthopaedic surgery for total hip and knee replacement. [citado 21 Ene 2012]. Disponible en <http://www.rothmaninstitute.com/index.cfm/fuseaction/content.page/nodeid/136824c8-0023-4a26-b961-55a9ee0a1d91/>

Recibido: 10 de mayo de 2013.  
Aprobado: 13 de junio de 2013.