

ARTÍCULO ORIGINAL

Una solución pacs cubana bajo software libre que sirve de plataforma a especializaciones médicas

A Cuban pacs solutions under free software as a framework for medical specializations

Lic. Meisbel Daudinot López,^I Msc. Rafael Alejandro Miller Clemente^{II}

I Universidad de Oriente. Calle 15 No 59 % 4 y 6 V. Alegre. Stgo de Cuba. Cuba. E-mail: meisbeld@uo.edu.cu II Centro de Biofísica Médica. Cuba. E-mail: rafael.miller@cbiomed.cu

RESUMEN

En nuestro país se lucha por la soberanía tecnológica y se impulsa la utilización del software libre. Por esto y con un mejor diseño de las soluciones implementadas por el Centro de Biofísica Médica, el imagis 2.0, como paquete de soluciones de un sistema de almacenamiento y transmisión de imágenes médicas, fue desarrollado bajo la plataforma Linux, haciendo uso de herramientas libres, convirtiéndolo en un sistema más eficiente, estable y robusto. Con este trabajo pretendemos primero realizar un breve recorrido por la historia de los sistemas de almacenamiento y transmisión de imágenes médicas en nuestro país, para luego adentrarnos en una solución implementada bajo plataforma libre que sirve de base a la implementación para especializaciones médicas, exponiendo su uso en los procesos radioterapéuticos.

Palabras Clave: imágenes médicas, software libre, PACS, Cuba.

ABSTRACT

In our country we fight for technological sovereignty and the use of free software is promoted. For this and with better design solutions implemented by the Center of Medical Biophysics, the imagis 2.0, as a package of solutions of storage and transmission of medical images systems, was developed under the Linux platform, using free tools, making it more efficient, stable and robust. In this paper we first present a brief review of storage and transmission of medical images history in our country, for then get into a deployed under open platform solution that can be

using as framework for the implementation for medical specializations, exposing its use in radiotherapeutic procedures.

Key word: medical images, free software, PACS, Cuba.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las tecnologías de las telecomunicaciones, la microelectrónica, la cibernética y la informática ha provocado importantes avances en diferentes esferas del desarrollo de la sociedad y en especial en el área de la salud y los servicios médicos.

La digitalización de la información, las computadoras personales, y las redes de ordenadores son ejemplos concretos de elementos tecnológicos que han revolucionado varias especialidades médicas y especialmente la radiología, devenida en imagenología producto de la constante integración entre la cardiología, neurología, angiología, entre otras.

La década de los 80 marcó el surgimiento de un nuevo tipo de tecnología vinculada a los servicios médicos, los PACS llamados por sus siglas anglosajonas Picture Archiving and Communication System, representan sistemas de hardware y software, integrados por una red digital, capaces de almacenar, intercambiar y visualizar imágenes médicas generadas por diferentes modalidades como: Tomografía Axial Computarizada (CT), Resonancia Magnética (MR), Ultrasonido (US), Medicina Nuclear (NM), Angiografía (XA), entre otras. Como consecuencia de la expansión de los PACS en la práctica médica moderna y la gran cantidad de fabricantes de este tipo de tecnologías, surgió la necesidad de "unificar" el modo de manejar e intercambiar imágenes en función de maximizar la integración de las tecnologías generadas. En 1983 el Colegio Americano de Radiólogos (ACR por sus siglas en inglés) y la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA por sus siglas en inglés) crean un comité conjunto para desarrollar el estándar DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) dirigido a:

- Promover el intercambio de información de imágenes médicas, independientemente del fabricante del equipo o software imagenológico.
- Facilitar el desarrollo y la expansión de los PACS.
- Posibilitar la creación de bases de datos de información diagnóstica que puedan ser interrogadas por una amplia variedad de equipos y/o software médicos distribuidos geográficamente.

Estados Unidos es el líder en la aplicación de los PACS de forma masiva e intensiva en su sistema de salud. Otros países desarrollados como Canadá, Reino Unido, Alemania, Japón, Holanda y Australia, aparecen como destacados representantes en la implantación de esta tecnología.

En los países del tercer mundo el panorama es muy diferente. La utilización de estos tipos de sistemas se concentra fundamentalmente en algunos hospitales y clínicas privadas con un desarrollo tecnológico que está económicamente muy lejos del alcance de la mayoría de la población. La presencia de los PACS no es masiva en los sistemas de salud, debido entre otras causas, a la obsolescencia de los equipos médicos de adquisición, el alto precio de este tipo de tecnología, asociada generalmente a equipos imagenológicos; la falta de adiestramiento del personal médico y paramédico en el uso de estos sistemas y la carencia de empresas con infraestructura y personal calificado para garantizar los servicios de postventa que demandan los clientes. El precio de los PACS oscila, según las necesidades de los clientes entre decenas a cientos de miles de dólares.

Cuba no ha estado ajena a la utilización de los PACS y algunas de las empresas que desarrollan software médico han implementado soluciones de este tipo, como es el caso del Centro de Biofísica Médica, centro en el que desarrolló el primer tomógrafo de resonancia magnética, que contaba con una Estación de Visualización y que sentó las bases para el desarrollo de las soluciones PACS imagis.

Con este trabajo pretendemos primero realizar un breve recorrido por la historia de los PACS en nuestro país, mediante el análisis documental, para luego adentrarnos en una solución implementada bajo plataforma libre.

BREVE HISTORIA DE LOS PACS EN CUBA

La primera experiencia de sistemas PACS en Cuba fue el sistema PATRIS desarrollado por la empresa EICISOFT (ya desaparecida) a finales de los 90. PATRIS, fue un sistema de software implementado para computadoras personales con el objetivo de automatizar el flujo de información en los departamentos de imagenología e incursionar en la telemedicina.¹

Sus principales componentes fueron:

- Sistema de adquisición de imágenes en diferentes modalidades.
- Red de comunicaciones inter-departamental e intra-hospitalaria.
- Archivo de datos (imágenes e información demográfica del paciente).
- Sistema de gestión de la información e imágenes.
- Sistema de visualización y proceso de imágenes.
- Impresión de imágenes.

Este sistema comenzó a explotarse en varios hospitales de la nación, apoyándose en la red telemática INFOMED, aunque finalmente no continuó desarrollándose.

En 1998 el Centro de Biofísica Médica, de la Universidad de Oriente, desarrolló y puso en explotación un sistema PACS DICOM compatible, llamado imagis®, con el propósito de permitirle a las instituciones de salud de la provincia Santiago de Cuba:²

- Almacenar, visualizar y transmitir imágenes médicas según las especificaciones del estándar DICOM.
- Suministrar herramientas de procesamiento de imágenes (brillo y contraste, rotaciones y espejo, anotaciones y mediciones sobre imágenes médicas) vinculadas a especialidades como radiología, cardiología entre otras.
- Brindar opciones para el intercambio de imágenes entre instituciones de salud a través del correo electrónico.

- Facilitar la entrega de resultados e imágenes a través de CD/DVD y reportes en papel.

Este producto de software fue certificado por el Centro de Control Estatal de Equipos Médicos para su explotación en el Sistema Nacional de Salud. Actualmente está instalado en 36 hospitales del país y en 11 Centros Médicos Diagnósticos de Alta Tecnología en Venezuela.³ El sistema imagis 1.3 ha contribuido significativamente al mejoramiento de los servicios imagenológicos en Cuba y Venezuela.

A raíz del surgimiento de la Universidad de Ciencias Informáticas, en el año 2005 esta institución se planteó la idea de desarrollar también una nueva solución PACS y surge así el sistema Cassandra, devenido posteriormente en el software Alas PACS. Estos sistemas han sido desarrollados bajo plataforma propietaria Windows. El Sistema Nacional de Salud tiene aproximadamente 219 hospitales de los cuales 12 tienen instalado el sistema Alas.⁴

El software imagis del CBM siguió desarrollándose y se crearon nuevas versiones del mismo. El imagis 1.3 desarrollado sobre plataforma Windows, ha sido el principal producto de software del Centro, pero el paso del tiempo y las exigencias del mercado han exigido la existencia de nuevas soluciones como el imagis Web, el cual es una solución práctica para la visualización de imágenes en la web y el imagis Server desarrollado también como servidor de imágenes. Pero el CBM necesitó de una versión PACS multiplataforma que superara las versiones existentes. Surge así el imagis 2.0.

SOFTWARE LIBRE PARA APLICACIONES MÉDICAS

El software de código abierto se proporciona bajo una licencia que permite a cualquier usuario estudiar, modificar, mejorar y también redistribuir una aplicación, mediante la disponibilidad del código fuente y otros derechos que normalmente son reservados a los titulares de derechos de autor.

Los requisitos del software de código abierto según la Open Source Initiative⁷ (OSI) son:

- a. Libre redistribución: el software debe poder ser regalado o vendido libremente.
- b. Código fuente: el código fuente debe estar incluido u obtenerse libremente.
- c. Trabajos derivados: la redistribución de modificaciones debe estar permitida.
- d. Integridad del código fuente del autor: las licencias pueden requerir que las modificaciones sean redistribuidas sólo como parches.
- e. Sin discriminación de personas o grupos: nadie puede dejarse fuera.
- f. Sin discriminación de áreas de iniciativa: los usuarios comerciales no pueden ser excluidos.
- g. Distribución de la licencia: deben aplicarse los mismos derechos a todo el que reciba el programa.
- h. La licencia no debe ser específica de un producto: el programa no puede licenciarse solo como parte de una distribución mayor.
- i. La licencia no debe restringir otro software: la licencia no puede obligar a que algún otro software que sea distribuido con el software abierto deba también ser de código abierto.
- j. La licencia debe ser tecnológicamente neutral: no debe requerirse la aceptación de la licencia por medio de un acceso por clic de ratón o de otra forma específica del medio de soporte del software.

Las metodologías de desarrollo de código abierto acortan el grado de separación entre los usuarios y los desarrolladores de una aplicación, lo cual da como resultado software de alta calidad, ya que muchos desarrolladores revisan el código, y programas más intuitivos, debido a la participación activa del usuario final durante el proceso de desarrollo.

El proceso de compartir el código fuente y programas ha jugado un importante papel en el campo de desarrollo de la informática médica. Este proceso no solo facilita los avances individuales, sino que poniendo a disposición una serie de recursos y mejoras públicas, los resultados de desarrollo son más rápidos y concertados y se validan nuevas herramientas. Además, el acceso al código fuente le da al usuario la posibilidad de solucionar problemas de la aplicación, hacer modificaciones que pueden ser de beneficio ya sea en determinadas circunstancias o para el uso general, le permite tener el control del software y adaptar la aplicación a las necesidades locales. Esto es especialmente útil en los esfuerzos para asegurar que los nuevos productos cumplan con los estándares HL7 (Health Level Seven) y DICOM.

Las principales motivaciones para utilizar software de código abierto son:

- Reducir el costo total de propiedad (TCO, por sus siglas en inglés).
- Entrega más rápida de los sistemas.
- Eliminación de la dependencia del proveedor.
- Sistemas más seguros.
- Control sobre el software (posibilidad para adaptarlos a las necesidades).
- Para las aplicaciones de código abierto existen algunas barreras que dificultan su implementación:
 - Falta de apoyo profesional.
 - Ejecutivos que carecen de conocimientos sobre los beneficios del código abierto.
 - Problemas legales y de licencias.
 - Vacíos funcionales.
 - Falta de una hoja de ruta para la sostenibilidad.

Si los paquetes de software comercial parecen fuera de alcance para muchos países pobres, los principios fundamentales del software de código abierto constituyen una gran oportunidad para ellos. Por otra parte, el interés del código abierto reside también en su capacidad de permitir a las empresas y las naciones controlar y gestionar mejor sus sistemas de información.

RESULTADOS

En nuestro país se lucha por la soberanía tecnológica y se impulsa la utilización del software libre. Por esto y con un mejor diseño, el imagis 2.0 fue desarrollado bajo la plataforma Linux, haciendo uso de herramientas libres.

imagis 2.0 es un paquete que está compuesto por un servidor DICOM y un sistema de visualización que se integran en un sistema operativo Linux personalizado para ejecución de aplicaciones médicas.

Servidor DICOM

En la instalación de esta solución proponemos la utilización del servidor DCM4CHEE.

DCM4CHEE es un software PACS de código abierto que se puede utilizar para el almacenamiento, la búsqueda y recuperación de imágenes médicas. Implementa completamente el protocolo DICOM, el cual como se ha mencionado está diseñado para la atención sanitaria. Está escrito en el lenguaje de programación Java por motivos de flexibilidad y rendimiento. Puede funcionar en Windows, Mac OS y Linux. Es compatible con diferentes bases de datos como PostgreSQL, MySQL, Oracle, SQL Server, entre otros.

Las funcionalidades de esta herramienta son:

- Almacenamiento y recuperación de varios tipos de objetos DICOMs tales como:
- Imágenes de múltiples modalidades.
- Estados de presentación en escala de grises, el que especifica la presentación de imágenes en escala de imágenes, zoom, texto y anotaciones gráficas.
- Objetos Llaves, el que especifica una selección particular de imágenes por una razón específica y con una nota adjunta.
- Reportes estructurados.
- Procesamiento de mensajes de notificación HL7 desde la Orden de Llenado, sobre Planificación de Procesos, Actualización de Procedimientos y actualización de Información de Pacientes.
- Procesamiento de mensajes MPPS (Modality Performed Procedure Step) desde las modalidades y envíos a la Orden de Llenado.

Aunque nuestra propuesta consta de la utilización de este servidor, la solución puede tener cualquier otro tipo de servidor de imágenes que cumpla con el estándar DICOM.

Sistema de Visualización

imagis 2.0 brinda servicios de almacenamiento, indexado, búsqueda y entrega de imágenes, provenientes de modernos equipos de imágenes médicas y estaciones de trabajo, a través de redes de computadoras. Este tipo de sistema facilita la organización y distribución de la información generada por modernos equipos imageneológicos.

Los sistemas imagis anteriores son capaces de visualizar solo un conjunto limitado de tipos de imágenes médicas, igualmente presentan errores a la hora de ejecutar acciones básicas como la búsqueda y recuperación de estudios y el cálculo de área y otras medidas.

El nuevo sistema de visualización soluciona dichos problemas agregando la visibilidad de un grupo de modalidades de imágenes lo suficientemente moderno ofreciendo un visor altamente competitivo.

DISCUSIÓN

Este nuevo sistema de visualización se diseñó como arquitectura basada en componentes muy fácil de extender, sin comprometer el resto del sistema, lo cual permite que se le puedan agregar funcionalidades diversas al sistema. Por otra

parte, ha sido concebido para funcionar como una aplicación del sistema o de forma dedicada para una computadora con bajas prestaciones.

El sistema de visualización consta de cinco plugins que adicionan igual número de aplicaciones al sistema:

- Visor 2D: su principal función es la visualización de imágenes médicas en dos dimensiones.
- Visor 3D: su principal función es la visualización de imágenes médicas de forma volumétrica.
- Visor MPR: realizar reconstrucciones multiplanares.
- Manejador de estudios: encargado de la transmisión, búsqueda y recuperación de imágenes en servidores DICOM.
- Multimedia: encargado de la salva en discos ópticos y direcciones locales de estudios DICOMs.

Además de las funcionalidades genéricas de cada uno de estos módulos, el sistema permite exportar estudios imagenológicos a otros formatos no DICOM como jpg, png y bmp, realizar operaciones básicas sobre las imágenes como brillo/contraste, ampliaciones, rotaciones, traslaciones, exploración de las imágenes de una serie, así como mediciones básicas sobre las imágenes: distancias, ángulos, contornos irregulares posibilitando el cálculo de área, media y desviaciones estándar. Todas las mediciones son reajustables. En la figura 1 se muestran múltiples vistas de una serie de imágenes a la que se le han aplicado varias de las operaciones permitidas.



Fig. 1. Múltiples vistas de una serie con diferentes operaciones sobre la imagen

Por otra parte, las imágenes pueden visualizarse en diferentes orientaciones (Axial, Coronal y Sagital) y en modo de cine, con opciones para pausar y cambiar la velocidad y el modo de reproducción.

Las imágenes que pueden ser vistas con este visor son objetos en formato DICOM 3.0 que pueden ser adquiridas a través de una red digital de imágenes o desde un directorio en disco. La aplicación permite el quemado de discos ópticos de forma nativa.

Soporta un amplio rango de modalidades médicas entre las que se encuentran Tomografía Computarizada, Resonancia Magnética, Ultrasonido, Angiografía por Rayos X, Medicina Nuclear, entre otras. Ver (fig. 2).



Fig. 2. Vistas de varias modalidades de imágenes

Esta versión además puede ser vista como una herramienta de integración con la plataforma de transmisión interhospitalaria más natural y transparente al usuario.

Para un buen funcionamiento del imagis® 2.0 es necesario estar conectado a través de una red digital con un servidor de imágenes médicas DICOM o tener acceso a disco donde están almacenados los estudios imagenológicos, y tener espacio en disco suficiente para almacenar las imágenes descargadas desde el servidor para ser visualizadas.

El sistema es capaz de comunicarse con servidores de almacenamiento de imágenes que cumplan con los estándares médicos relevantes como el DICOM 3.0 en este caso. Esta interconectividad permite usar el sistema con cualquier servidor disponible siempre que cumpla con el estándar.

USO EN PROCESOS RADIOTERAPÉUTICOS

La radioterapia es una de las principales armas contra la primera causa de muerte en Cuba. Este se puede usar para curar, detener o demorar el avance del cáncer, además para reducir el tamaño de los tumores cancerosos, lo que puede conllevar al alivio de síntomas causados por la presión del tumor canceroso en otras partes cercanas del cuerpo.

Actualmente se realiza la planificación computarizada del tratamiento por radioterapia de pacientes basándose en imágenes tomográficas, para ello las condiciones en que se obtienen las imágenes deben simular la distribución de las estructuras anatómicas que tendrá el paciente en el lugar de tratamiento definitivo.

Imagis 2.0 puede ser empleado en especialidades médicas como la ortopedia, cardiología, radioterapia, entre otros. En el caso de la radioterapia sus componentes le permiten que pueda usarse de forma inusitada para la simulación y planificación de tratamiento.

Entre las principales funciones que son necesarias en los procesos de simulación, planificación y evaluación de los procesos radioterapéuticos se encuentran la delimitación de órganos de riesgos que puede realizarse a través del trazo de contornos irregulares, de los cuales se muestran datos estadísticos como el área de la región demarcada, su media y la desviación estándar y la realización de mediciones. Otras de las funcionalidades importantes son la comparación entre series de estudios para evaluar la evolución de un tratamiento o patología y la vista en varios planos (Axial, Coronal y Sagital) de las imágenes.

El visor bidimensional permite dividir la pantalla para mostrar más de una serie o estudio para hacer comparaciones o tener referencias entre ellos, mediante el ajuste de la disposición de la serie. También se puede cargar la misma serie en varias ventanas. La disposición de la serie divide la pantalla en ventanas de proporciones iguales, que simulan una matriz que puede tomar tamaños de 1 x 1, 2 x 1, 1 x 2, 2 x 2, 3 x 2, 2 x 3 o 3 x 3.

Para las imágenes de CT el sistema presenta también filtros que permiten destacar estructuras determinadas como tejidos blandos, parénquima pulmonar y huesos.

HERRAMIENTAS EMPLEADAS

Para el desarrollo de esta solución PACS el lenguaje que se empleó fue Python, con el objetivo de acelerar el proceso desarrollo y a su vez las librerías utilizadas proveen los bindings necesarios para ser usadas desde este lenguaje.

Por otra parte, las herramientas empleadas fueron herramientas libres y multiplataformas, teniendo el paquete de software principalmente las siguientes dependencias:

- Librería GDCM para el procesamiento de los ficheros de imágenes médicas.
- Framework QT4 con el módulo PyQt para el desarrollo de las interfaces gráficas.
- Librería VTK para la visualización de las imágenes médicas.

A continuación describiremos brevemente el lenguaje y las herramientas empleadas.

Lenguaje de Programación Python

Python es un lenguaje de programación creado por Guido van Rossum a principios de los años 90 cuyo nombre está inspirado en el grupo de cómicos ingleses "MontyPython". Es un lenguaje similar a Perl, pero con una sintaxis muy limpia y que favorece un código legible. Se trata de un lenguaje interpretado o de script, con tipado dinámico, fuertemente tipado, multiplataforma y orientado a objetos. Aunque Python es un lenguaje interpretado, posee muchas características de los lenguajes compilados, por lo que se podría decir que es semi interpretado. En Python, como en Java y muchos otros lenguajes, el código fuente se traduce a un pseudo código máquina intermedio llamado bytecode la primera vez que se ejecuta, generando archivos .pyc o .pyo (bytecode optimizado), que son los que se ejecutarán en sucesivas ocasiones.

La característica de tipado dinámico se refiere a que no es necesario declarar el tipo de dato que va a contener una determinada variable, sino que su tipo se determinará en tiempo de ejecución según el tipo del valor al que se asigne, y el tipo de esta variable puede cambiar si se le asigna un valor de otro tipo.

En Python no se permite tratar a una variable como si fuera de un tipo distinto al que tiene, es necesario convertir de forma explícita dicha variable al nuevo tipo previamente.

El intérprete de Python está disponible en multitud de plataformas (UNIX, Solaris, Linux, DOS, Windows, OS/2, Mac OS, etc.) por lo que si no utilizamos librerías específicas de cada plataforma nuestro programa podrá correr en todos estos sistemas sin grandes cambios.⁵

GDCM

Grassroots DICOM o GDCM, es una biblioteca de código abierto multiplataforma escrito en C++ para leer y escribir archivos médicos DICOM. Se ajusta automáticamente a los lenguajes Python, C#, Java y PHP (usando SWIG). Soporta los formatos raw, jpege (con pérdida y sin pérdida), j2k, jpeg-l y, rle. Se puede utilizar para construir servidores JPIP o WADO.⁶

Biblioteca QT4 y las extensiones PyQt para el trabajo con interfaces gráficas.

QT4 es una biblioteca multiplataforma para desarrollar interfaces gráficas de usuario y también para el desarrollo de programas sin interfaz gráfica como herramientas de la consola y servidores. QT4 utiliza el lenguaje de programación C++ de forma nativa, adicionalmente puede ser utilizado en varios otros lenguajes de programación a través de extensiones. Funciona en todas las principales plataformas, y tiene un amplio apoyo.

El API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) de la biblioteca cuenta con métodos para acceder a bases de datos mediante SQL, así como uso de XML, gestión de hilos, soporte de red, una API multiplataforma unificada para la manipulación de archivos y una multitud de otros para el manejo de ficheros, además de estructuras de datos tradicionales.

PyQt es un conjunto de extensiones de Python para el trabajo con la biblioteca Qt, que se ejecutan en todas las plataformas soportadas por la misma, incluyendo Windows, Mac OS/ X y Linux. Las extensiones se implementan como un conjunto de módulos de Python que contienen más de 300 clases y más de 6.000 funciones y métodos.⁷

VTK

VTK es un sistema de software de código abierto, orientado a objetos para gráficos 3D, visualización y procesamiento de imágenes. Implementado en C + +, VTK también soporta binding para los lenguajes Tcl, Python y Java, lo que permite aplicaciones complejas, prototipado rápido de aplicaciones y secuencias de comandos simples. Aunque VTK no proporciona componentes de interfaz de usuario, puede ser integrado con Widget existente como los de Tk y Qt.⁸

VTK ofrece una gran variedad de representaciones de datos que incluyen conjuntos organizados puntuales, datos poligonales, imágenes, volúmenes y estructurada, rectilínea y mallas no estructuradas. Viene con lectores / escritores / importadores y exportadores para el intercambio de datos con otras aplicaciones.

Cientos de filtros de procesamiento de datos están disponibles para operar en estos datos. El modelo de representación de VTK soporta aproximaciones 2D, poligonal, volumétrica, y basado en textura, que se pueden utilizar en cualquier combinación.

CONCLUSIONES

Las soluciones PACS son parte del proceso con las que se logran el almacenamiento, la trasmisión y visualización de imágenes médicas en redes hospitalarias. El imagis 2.0 es una solución PACS que permite visualizar imágenes médicas de forma más eficiente y confiable que sus versiones anteriores. Al estar implementada con herramientas bajo plataforma libre, le brinda al sistema estabilidad y robustez. Su implementación propone una solución viable y escalable, que puede integrar nuevas soluciones. Al ser un sistema PACS de propósito general, tiene todavía prestaciones que implementar y mejorar para su uso en determinadas especialidades médicas como la radioterapia, donde por ejemplo, para la selección de regiones y tejidos a riesgos es necesario poder realizar anotaciones en las imágenes. Su estructura basada en componentes permite adicionar funcionalidades que pueden requerir sistemas especializados en áreas como la planificación y simulación de terapias radiológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mesias JC, et al. "PATRIS: Sistema Intra-hospitalario de Imaginología y Telemedicina". XII Forum Nacional de Ciencia y Técnica, 1998."Reingeniería de la geometría desconocida de engranajes cónicos con dientes rectos y curvilíneos". Ingeniería Mecánica. Vol.11, No.3, pp. 13 - 20, Ciudad de La Habana, 2008.
2. Ronda D, Ferrer O. "imagis: Sistema para la Transmisión de Imágenes Médicas Multimodales". Memorias del II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, Habana, 2001.
3. Blanco H. Generalización del Sistema PACS, imagis®. Memorias del VII Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería. Habana 2007.
4. Manrique JE. Salud-e y Telemedicina en Cuba: logros, planes y retos pendientes. Memorias del II Seminario Regional sobre Salud-e y Telemedicina en América Latina y el Caribe. Caracas 2011.
5. González D-R. Python para todos. Autoedición. Recuperado el 20 de Enero de 2011. 2010. Disponible en: <http://mundogeek.net/tutorial-python/Pythonparatodos.pdf>
6. Wikipedia. GDCM. Consultado: Junio 2014. Disponible en: <http://en.wikipedia.org/wiki/GDCM>
7. Summerfield M. Rapid GUI Programming with Python and Qt. 1ra Ed. Prentice-Hall. pp. 475-505. 2008.
8. Schroeder W-J, Lisa S, Hoffman W. Visualizing with VTK: A Tutorial. IEEE ComputerGraphics and Applications. September/October 2000.

Recibido: 22 de marzo de 2016.
Aprobado: 12 de mayo de 2016.