

Gestión de Imágenes Médicas a Través de la Web

Cesar J. Acuña^{*}, Esperanza Marcos^{*}, Valeria de Castro^{*}, Juan A. Hernández,[▼]
Marcos López-Sanz^{*}

Resumen

En los últimos años, el uso de imágenes digitales para investigación y diagnóstico médico ha aumentado considerablemente. Debido a esto, es necesario desarrollar nuevas y mejores aplicaciones para gestionar grandes cantidades de información médica de forma eficiente. Los formatos más utilizados para codificar las imágenes médicas son DICOM y Analyze 7.5. DICOM es un estándar para imágenes digitales y comunicaciones en medicina y Analyze es un formato propietario diseñado para el mismo propósito. Sin embargo, es difícil intercambiar e integrar la información DICOM o Analyze fuera del ámbito del equipamiento médico específico. Este inconveniente dificulta su uso e integración en un ámbito más amplio como es la Web. Por un lado, XML es el estándar para el intercambio de información y transporte de datos entre múltiples aplicaciones y, por otro, las bases de datos XML surgen como la mejor alternativa para almacenar y gestionar la información XML. En este trabajo presentamos un sistema de información Web para almacenar, de forma integrada, ficheros DICOM y Analyze en una base de datos XML. Para este desarrollo se han obtenido los esquemas XML de los formatos DICOM y Analyze y se ha definido la arquitectura para la integración de documentos XML en la base de datos.

Palabras clave: *Imágenes médicas, XML, Bases de Datos XML, DICOM, Sistemas de Información Web.*

Abstract

In the last years, the use of digital images for medical diagnosis and research has increased considerably. For this reason, it is necessary to develop new and better applications for managing in an effective way a large amount of medical information. The most currently used standards to code medical images are DICOM and Analyze 7.5. DICOM is the standard for the Digital Imaging and COmmunications in Medicine, Analyze is also a format used for the same purpose. However, DICOM or Analyze information is difficult to interchange and integrate out of the scope of medical specialized equipment. This drawback makes difficult its use and its integration in a wide context as the Web. XML is the standard for the information exchange and data transportation between multiple applications. As the XML databases are emerging like the best alternative to storage and manage XML documents, in this work we present a Web Information System to store, in an integrated way, DICOM and Analyze 7.5 files in an XML Database. For its development, the XML schemas for both DICOM and Analyze 7.5 formats have been obtained and the architecture for the integration of XML documents in the XML DB has been defined.

Keywords: *Medical images, XML, XML databases, DICOM, Web Information Systems.*

1 Introducción

En los últimos años se ha experimentado un incremento considerable en el uso de información digital, especialmente de imágenes digitales para el diagnóstico e investigación médica. La gran mayoría de las imágenes generadas son almacenadas, principalmente, en formato DICOM (*Digital Imaging and COmmunications in Medicine*) que es el estándar más ampliamente aceptado para el intercambio de imágenes médicas en formato digital; y en formato Analyze, que es un formato propietario de la institución Mayo Clinic. A pesar de ser el estándar más aceptado para el

^{*} Grupo de Investigación Kybele, Universidad Rey Juan Carlos, C/Tulipán S/N, Móstoles - Madrid (España), {cesar.acuna,esperanza.marcos, valeria.decastro, marcos.lopez}@urjc.es

[▼] Grupo de Tecnología Electrónica, Bioingeniería e Imagen Médica, Universidad Rey Juan Carlos, C/Tulipán S/N, Móstoles - Madrid (España), juan.tamames@urjc.es

intercambio de información sobre imágenes médicas, DICOM presenta ciertos inconvenientes: por un lado, los ficheros DICOM se generan individualmente, dificultando la gestión de la información médica de forma conjunta. Así por ejemplo, no es posible consultar toda la información de un paciente o seleccionar todas aquellas imágenes realizadas con el mismo tipo de adquisición (tomografía computarizada, resonancia magnética, etc.); por otro lado, DICOM representa la información en un formato determinado, que sólo puede ser entendido por equipos de imagen médica de acuerdo al estándar DICOM, sin tener en cuenta la integración e intercambio de información a un nivel más amplio. Estos inconvenientes justifican la necesidad de desarrollar herramientas software específicas que faciliten la gestión de este tipo de ficheros.

La posible solución para los problemas presentados se basa principalmente en los siguientes puntos:

- Representar la información DICOM y Analyze en XML, mejorando de esta forma el intercambio e integración de la información médica, ya que XML es el estándar para el intercambio de información y el transporte de datos entre múltiples aplicaciones. XML y XML Schema permiten la representación de cualquier tipo de información, modelando también su estructura y sus restricciones semánticas.
- Almacenar la información DICOM y Analyze en una base de datos XML mejorando la gestión de los ficheros codificados según ambos formatos.

Este artículo presenta el desarrollo de un Sistema de Información Web (SIW) para la gestión y procesamiento de ficheros DICOM y Analyze representados en XML y su almacenamiento en una base de datos XML. Con este artículo no se pretende mostrar un método de extracción de la información de tales formatos a XML sino que se presenta un sistema de información completo, una de las principales aportaciones de este trabajo se encuentra en la utilización de una base de datos en la cual se almacena, conjuntamente, información XML, imágenes en el formato original e información objeto-relacional. Para este propósito, se ha definido el metamodelo de información de DICOM mediante un esquema XML a partir del modelo de información definido en el estándar DICOM. Este SIW permite también gestionar y consultar, de forma integrada, información de ficheros Analyze 7.5 (Analyze a partir de ahora), que es otro de los formatos más usados para almacenar información sobre imágenes médicas. En nuestro caso, los ficheros DICOM o Analyze que gestiona el SIW contienen un tipo de imágenes médicas que denominamos neuroimágenes, ya que nuestro ámbito de investigación se centra en la neurociencia. Algunas propuestas han surgido para abordar el problema de adoptar la tecnología XML dentro del dominio de la medicina. Concretamente, se intenta resolver las dificultades de integración y compatibilidad de la información médica utilizando DTDs de XML para representar la información de los ficheros DICOM. Desafortunadamente, como se comenta en [1], las DTDs no son suficientes para representar las restricciones semánticas definidas en DICOM.

El resto del artículo se organiza de la siguiente forma: en la sección 2 se presenta una introducción al estándar DICOM así como al formato Analyze; en la sección 3 se presenta el SIW propuesto, introduciendo sus funcionalidades, su arquitectura, el esquema XML de la base de datos y el interfaz Web de usuario; finalmente la sección 4 agrupa las principales conclusiones y trabajos futuros.

2 Estándar DICOM y Formato Analyze

DICOM es el principal estándar para el intercambio de imágenes médicas en formato digital. Este estándar define: las estructuras de datos para las imágenes médicas y la información relacionada, ciertos servicios orientados a las comunicaciones (transmisión de imágenes, consulta de un archivo de imagen, etc.) los formatos para el intercambio de los datos almacenados, y los requisitos de compatibilidad para dispositivos y programas.

Internamente, un fichero DICOM está formado por dos componentes:

- El primero es una cabecera que contiene un número variable de conjuntos de datos o *DataSet*. Cada *DataSet* (ver Fig. 1) se compone de varios elementos de datos o *DataElement*. Un *DataElement* está formado por: una etiqueta (*Tag*), un campo VR, la longitud del campo valor, y el valor o valores en sí del elemento identificado. La etiqueta de un *DataElement* lo identifica unívocamente y consiste en un par ordenado de números hexadecimales, los primeros cuatro dígitos se refieren al número de grupo (*GroupNumber*) y los 4 segundos al número de elemento (*ElementNumber*). El campo VR es la representación del tipo del campo valor.

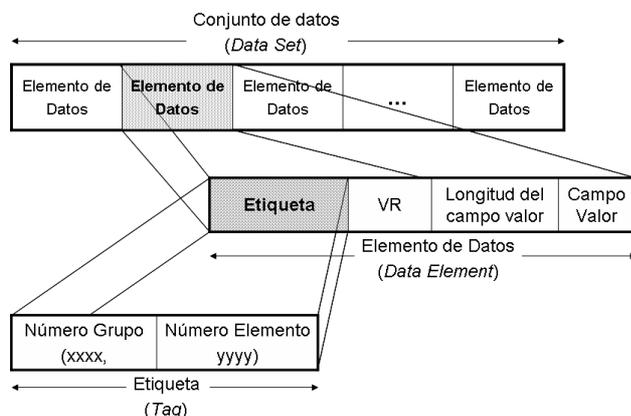


Fig. 1. Estructura de los *DataSet* que forman la cabecera de un archivo DICOM

Cada *DataElement* define la información asociada a la imagen médica. De esta forma tenemos, por ejemplo, elementos de datos tales como: nombre del paciente, edad, espacio entre píxeles, etc. Debido a esta organización (en elementos de datos) la estructuración de la información DICOM es muy similar a la estructuración de XML, lo cual hace posible el procesamiento de los contenidos almacenados en DICOM para su posterior almacenamiento en una estructura XML equivalente.

- El segundo componente de un fichero DICOM contiene una o más imágenes, es decir, el flujo de bytes donde se codifican las imágenes en sí. No debe confundirse con los datos de la imagen (capas, bits dedicados, filas, columnas, etc.) que se codifican en la cabecera.

La información de un fichero DICOM sólo puede ser entendida por aquellas herramientas software y equipamiento para imágenes médicas que sigan el estándar. Por ello es necesario utilizar siempre herramientas software especializadas para almacenar, gestionar y consultar ficheros DICOM, estas herramientas se llaman PACS (*Picture Archiving and Communication System*, Sistema de comunicación y almacenamiento de imágenes). Cada proveedor de PACS utiliza su propia aproximación para codificar, intercambiar y almacenar la información DICOM, haciendo incluso más difícil la integración e intercambio de la información médica.

Analyze es un formato propietario que permite la visualización, procesamiento y análisis de las imágenes codificadas según este formato y que es utilizado por una herramienta llamada también Analyze. Se trata de un formato utilizado junto con DICOM para almacenar información sobre las imágenes médicas. Al contrario que DICOM, Analyze separa la información de las imágenes médicas en dos ficheros, uno de ellos (con extensión .img) almacena la imagen, el otro (con extensión .hdr) almacena la información relacionada con la imagen. El fichero .hdr contiene información parecida a la contenida en la cabecera de un fichero DICOM.

3 Un Sistema de Información Web para la Gestión de Imágenes Médicas

Esta sección presenta las principales características del sistema de información Web desarrollado. Los objetivos de este SIW son:

- Representar ficheros DICOM y Analyze utilizando XML, mejorando, de esta forma, la interoperabilidad e integración de la información médica en un contexto más amplio como es la Web.
- Facilitar la organización, consulta y recuperación de la información de los ficheros DICOM y Analyze mediante una base de datos XML.
- Permitir un posible procesamiento y análisis de las imágenes médicas almacenadas en la base de datos, donde los resultados sean también almacenados conjuntamente con las imágenes originales. Esta base de datos de imágenes y sus resultados formarían un archivo histórico que podría ser consultado y usado a través de Internet para futuros estudios y proyectos de investigación.

Las principales funcionalidades que ofrece el SIW son las siguientes:

- Importar archivos DICOM o Analyze. Este proceso toma como entradas los ficheros DICOM o Analyze originales. Después, los ficheros son transformados en documentos XML e insertados en la base de datos.
- Convertir formatos. El SIW permite exportar la información de la base de datos a cualquiera de los formatos soportados. Por ejemplo, un fichero DICOM puede ser convertido en un fichero Analyze y viceversa. La cantidad de información de cada formato de fichero es diferente por lo que, durante el proceso de conversión, habrá una pérdida de información inevitable.
- Hacer consultas y actualizaciones de los datos almacenados en la base de datos XML. Esta aplicación Web permite gestionar de forma eficiente la información, permitiendo búsquedas por paciente, estudio, modalidad de imagen, entre otros.
- Procesar y analizar estadísticamente las imágenes almacenadas en la base de datos.

3.1 Arquitectura

En la Fig. 2 puede verse la arquitectura del sistema de información Web:

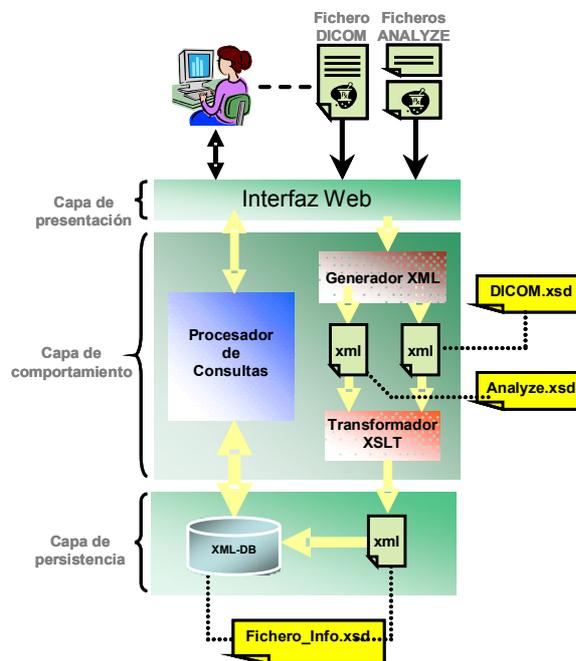


Fig. 2. Arquitectura en capas del sistema de información Web

Tomando como referencia las arquitecturas para el desarrollo de aplicaciones Web propuestas por .Net y J2EE, esta aplicación Web ha sido estructurada en tres capas:

- **Capa de Presentación:** Para esta capa se ha desarrollado un interfaz Web. La sección 3.4 describe dicho interfaz Web.

- **Capa de Comportamiento:** En la capa de comportamiento se encuentran los componentes principales, estos componentes se describen en la sección 3.2.
- **Capa de Persistencia:** Está formada por el sistema gestor de la base de datos (SGBD). Por sus características, se ha elegido el gestor ofrecido por Oracle junto con su extensión de XML DB. Esta capa se explica en detalle en la sección 3.3.

3.2 Capa de Comportamiento

Los componentes principales del SIW se encuentran en la capa de comportamiento. A continuación se describen cada uno de ellos:

- **Generador XML:** Este componente, desarrollado en Java, toma como entradas ficheros DICOM o Analyze y los transforma en documentos XML. Las estructuras de estos ficheros intermedios están descritas en los esquemas XML Dicom.xsd y Analyze.xsd dependiendo del fichero de entrada.

La estructura de los documentos XML intermedios para ficheros DICOM está basada en la estructura de la cabecera DICOM comentada con anterioridad. Cada conjunto de datos (*DataSet*) se representa de la siguiente forma: un elemento raíz (llamado *Header*) con atributos que describen las características del fichero DICOM de origen (ruta, formato, tamaño, etc.). Debajo de esta raíz, se representan los elementos de datos (*DataElements*) organizados en función de la etiqueta que los identifica, primero se clasifican por número de grupo (cada *Header* contiene elementos de tipo *DICOMGroup* que contiene un atributo con el primer número de la etiqueta del elemento de datos DICOM) y después por número de elemento. Cada elemento *DICOMGroup* contiene elementos *DICOMElement* con el resto de los campos de un *DataElement*. Cada elemento *DICOMElement* tiene un atributo que coincide con el segundo número de la etiqueta del elemento de datos DICOM y como subelementos el campo VR y el campo valor del *DataElement*.

De forma análoga, la estructura de los documentos XML intermedios para ficheros Analyze se ha obtenido a partir del modelo de información de Analyze.

- **Transformador XSLT:** Este componente, desarrollado utilizando XSLT, toma como entradas los ficheros intermedios generados por el generador XML y los transforma en un documento XML diferente que sigue el esquema XML de la base de datos.

Por razones de portabilidad y modularidad, es necesario obtener una representación intermedia de los ficheros DICOM y Analyze antes de insertarlos en la base de datos. DICOM es un estándar que está evolucionando continuamente, por lo tanto, si cambia la forma en que representa la información, estas modificaciones afectarán únicamente al componente generador de XML. Este componente encapsula el tratamiento de los ficheros DICOM y Analyze. De igual forma, si hay que modificar el esquema de la base de datos o cambia el sistema de gestión de la base de datos, solamente debe ser modificado o cambiado el componente de transformación XSL sin que se vean afectados el resto de componentes. Nótese que no existe pérdida de información relevante durante el proceso de generación de los datos en XML desde los ficheros de imágenes ni durante la transformación entre las diferentes representaciones XML.

- **Procesador de Consultas:** Este componente es el responsable de construir las consultas del usuario, que serán ejecutadas posteriormente en el SGBD, y de mostrar, de forma correcta, el resultado de las consultas a través del interfaz de usuario. Para realizar las consultas, el usuario introduce los datos en los formularios de la aplicación Web que después son transformados por el procesador de consultas en expresiones de acceso a la base de datos. En estas consultas se utiliza XPath que es el lenguaje de la extensión XML DB de Oracle para el acceso a datos y documentos XML.

3.3 Esquema XML de la Base de Datos

En la actualidad, la mayoría de las aplicaciones únicamente utilizan XML como una forma de transportar y transferir los datos almacenados en una base de datos o en un sistema de ficheros. Sin embargo, existen numerosas ventajas al almacenar datos conformes con un esquema XML determinado en una base de datos que maneje directamente documentos XML, entre ellas: a) mayor facilidad de consultas, actualizaciones optimizadas y validación más estricta, b) alto aprovechamiento de los recursos a la hora de intercambiar información entre aplicaciones, el

origen debe organizar los datos en un documento XML y el destino debe procesar el documento XML para importarlo, generalmente a una base de datos relacional, c) evitar pérdidas semánticas entre la estructura del documento XML y el esquema de la base de datos relacional, lo cual podría ocurrir cuando el documento XML es almacenado en una base de datos convencional.

Existen diferentes soluciones para el almacenamiento de documentos XML que pueden ser clasificadas, según la terminología habitual, en dos grandes grupos: bases de datos XML nativas como Tamino, X-Hive/DB, eXcelon XIS; y extensiones de bases de datos que permiten el almacenamiento de documentos XML dentro de las bases de datos convencionales, normalmente relacionales u objeto-relacionales, como Oracle XML DB, IBM DB2 XML Extender o Microsoft SQLXML. La definición de una solución mediante una base de datos nativa no está aún muy clara y las existentes no están lo suficientemente aceptadas.

Aunque a primera vista las bases de datos XML nativas podrían considerarse como la solución más intuitiva, las extensiones XML de bases de datos se basan en una tecnología de bases de datos tradicionales ampliamente establecida. Por consiguiente, dichas extensiones pueden beneficiarse de las funcionalidades implementadas en los SGBD sobre los que se apoyan. Además, en los últimos años existe una tendencia a hacer los SGBD cada vez más extensibles, con nuevas funcionalidades y nuevas estructuras de índices. Las extensiones de bases de datos XML son una opción aún más recomendable en lo concerniente a la extensibilidad puesto que pueden beneficiarse directamente de todos estos mecanismos de extensión para sus propios propósitos.

En se presenta un análisis exhaustivo de las soluciones de bases de datos XML para la gestión de descripciones de datos multimedia en MPEG. Debido a que nuestra aplicación debe tratar también las imágenes asociadas a los ficheros DICOM y Analyze, nos basamos en para escoger el SGBD más adecuado. Por ello, la opción que mejor se adapta al SIW desarrollado de acuerdo con sus requisitos es Oracle XML DB, principalmente porque ofrece, entre otras, las siguientes características: control de versiones, acceso a bajo nivel, estructuras de caminos por índices, optimización de acceso, actualizaciones de grano fino y acceso tipado.

Otra razón para escoger una solución basada en Oracle es que, en los últimos años, hemos trabajado con bases de datos Oracle. Así, por ejemplo, hemos desarrollado extensiones XML para modelar bases de datos objeto-relacionales basadas en el modelo objeto-relacional de SQL:1999 y en Oracle 9i como plataforma específica para la gestión de bases de datos objeto-relacionales.

Para desarrollar el esquema XML se han seguido los siguientes pasos:

1. Se han obtenido los modelos conceptuales de DICOM y Analyze. Después de analizar ambos modelos, se puede concluir que todos los conceptos definidos por Analyze están incluidos dentro del modelo de datos de DICOM. Por lo tanto, y como resultado, se ha obtenido un modelo conceptual unificado que integra los dos tipos de ficheros.
2. Partiendo del modelo conceptual integrado, obtenido en el paso previo, se ha derivado el esquema XML de la base de datos siguiendo MIDAS, una metodología para el desarrollo de sistemas de información Web, y utilizando, específicamente, el aspecto de desarrollo de bases de datos Web. Finalmente, se ha obtenido el esquema XML de la base de datos. Los esquemas XML se han modelado siguiendo las extensiones XML propuestas en: la Fig. 4 representa el esquema XML de la base de datos.

El esquema conceptual completo puede verse en la Fig. 3. Cada usuario del SIW puede crear ensayos clínicos que son una de las principales herramientas de experimentación con las que trabajan los investigadores médicos. Cada ensayo está formado por grupos de sujetos que comparten una característica común. A cada grupo de sujeto se le asignan una serie de tareas a realizar sobre los individuos que forman cada grupo. De la realización de cada tarea a cada individuo se genera un estudio que será el que tenga asociadas un conjunto de ficheros de imágenes codificadas en DICOM o Analyze. Además, el sistema soporta el almacenamiento de las características de posteriores análisis que se realicen sobre las imágenes. La información de procesos tales como la normalización o la segmentación de imágenes es almacenada en la base de datos junto con los resultados obtenidos.

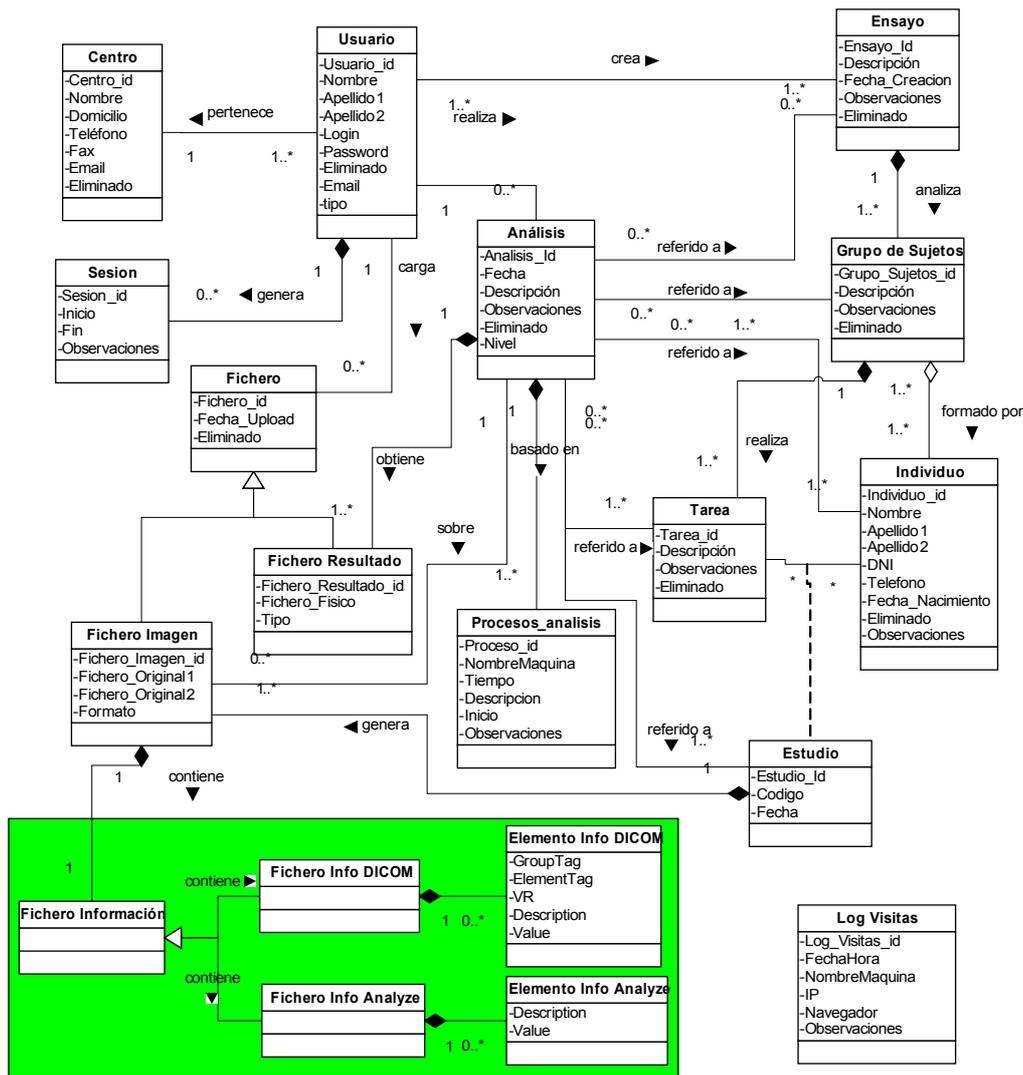


Fig. 3. Modelo conceptual de datos del SIW

La parte resaltada es la parte del modelo conceptual que corresponde a la representación de los ficheros DICOM y Analyze. Como se ha dicho antes, la organización de los datos en DICOM y Analyze se aproxima bastante a XML. El modelo lógico de la parte mencionada se ha representado utilizando la extensión de UML mostrada en . Dicho modelo lógico es el que se observa en la Fig. 4. A partir de ese modelo se genera el esquema XML que, mediante el proceso de registro en la base de datos, permite la creación de los componentes necesarios para almacenar la información XML.

El resto del diagrama conceptual del SIW (Fig. 3) incluye todas las clases necesarias para gestionar los ficheros DICOM y Analyze, así como la información referente a ensayos clínicos, tareas, estudios, análisis, etc. Para implementar esta parte de los diferentes elementos (tipos de objetos y tablas) de una base de datos objeto-relacional (Oracle 9i).

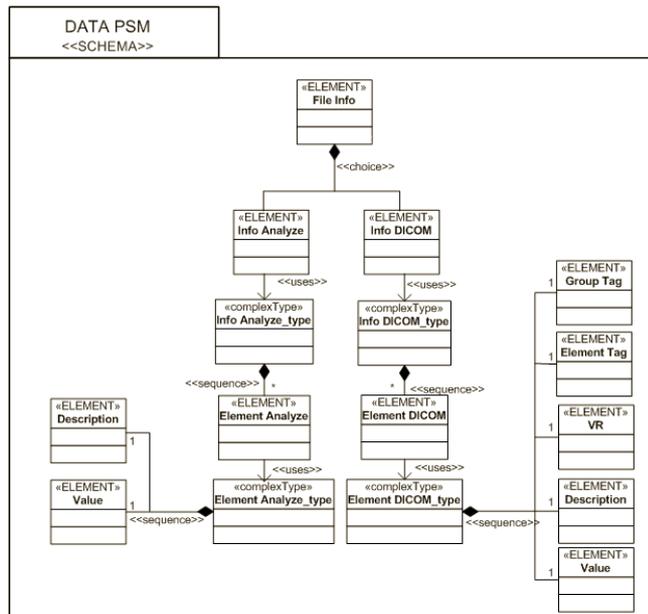


Fig. 4. Representación del esquema XML de DICOM y Analyze

3.4 Interfaz Web de Usuario

Las aplicaciones médicas para propósitos tales como el análisis y visualización de imágenes se utilizan ampliamente en el ámbito de la medicina. La entrega y visualización de imágenes de bajo coste se necesita en la mayoría de los hospitales conectados en red. Para estos propósitos, la solución más efectiva es utilizar un interfaz de usuario basado en Web. Para entregar y acceder a imágenes médicas en entornos de intranet e Internet usar navegadores Web es más conveniente que utilizar DICOM o Analyze y estaciones de trabajo de visualización profesional de imágenes.

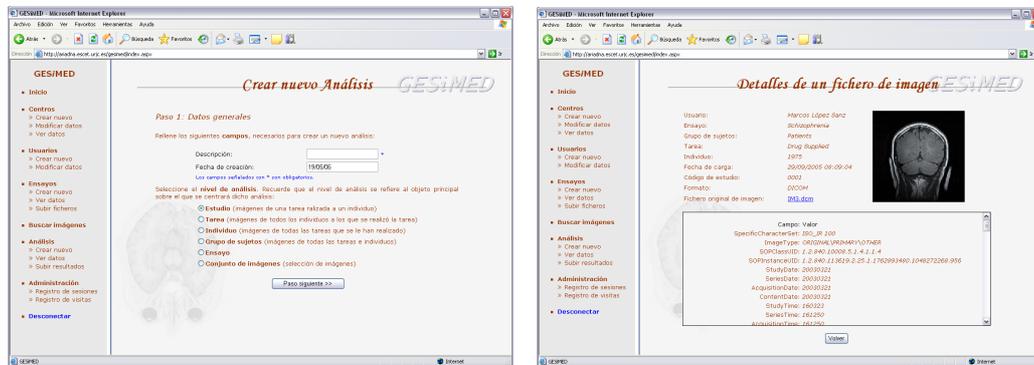


Fig. 5 y 6. Ejemplos de pantallas del interfaz del SIW

Para este SIW se ha desarrollado un interfaz Web sencillo del que se pueden ver algunas capturas de pantalla en las Figuras 5 y 6. La creación de este interfaz se ha realizado siguiendo el lenguaje de programación ASP.Net y la metodología de programación mediante Web Forms dentro del marco de trabajo de la tecnología .Net de Microsoft[®]. Esta aplicación es accesible desde la siguiente URL: <http://ariadna.escet.urjc.es/gesimed>. El SIW tiene un sistema de control de seguridad básico, para acceder al SIW cada usuario debe identificarse mediante un nombre de usuario y una contraseña¹.

¹ Para probar el sistema puede solicitarse un usuario y contraseña enviando un correo electrónico a los autores

4 Conclusiones y Trabajos Futuros

Debido al aumento de la información médica existente en formato digital, en especial de la digitalización de las imágenes adquiridas para diagnóstico médico, han aparecido una serie de formatos que permiten codificar toda esta información para su tratamiento informatizado. Dos de las principales formas de codificación de la información médica son el estándar DICOM y el formato Analyze 7.5.

DICOM es el estándar más aceptado para la representación e intercambio de imágenes médicas. Sin embargo, la forma en que la información es representada permite un intercambio efectivo únicamente entre el equipamiento médico y ciertas aplicaciones médicas específicas; por esta razón, existen serias limitaciones cuando lo que se quiere es un intercambio o integración a un nivel más amplio. Analyze es un formato propietario que presenta los mismos problemas a la hora de trabajar con él. Además, la información médica contenida en los ficheros DICOM o Analyze sólo puede ser gestionada a través de herramientas específicas llamadas PACS, que generalmente son desarrolladas por diferentes proveedores y que utilizan estructuras y formatos propietarios para almacenar la información, haciendo incluso más difícil la integración.

Este artículo ha presentado un sistema de información Web que permite conseguir la representación XML de ficheros DICOM y Analyze, mejorando de esta forma el intercambio e integración de la información médica en un contexto más amplio. Esta aplicación utiliza un sistema de base de datos XML para gestionar la información obtenida de ficheros DICOM y Analyze. Utilizando una base de datos XML con características objeto-relacionales en vez de una base de datos relacional pura se evita la transformación de documentos XML a una estructura estrictamente relacional, además de prevenir las pérdidas semánticas derivadas del proceso de transformación.

Actualmente se está estudiando la integración con otros formatos y estándares de imágenes médicas. También se está desarrollando una arquitectura de integración de múltiples aplicaciones Web que gestiona diferentes tipos de imágenes médicas. La aplicación presentada se utiliza como punto de partida de dicha arquitectura. Además, debido a que el procesamiento de las imágenes médicas conlleva una carga computacional de trabajo muy elevada, se pretende que el sistema sea implementado sobre una plataforma de computación Grid. Esta plataforma Grid, aparte de permitir la distribución del almacenamiento de las imágenes e información médica asociada, permite realizar los procesos de análisis de imágenes de forma eficiente.

Agradecimientos

Esta investigación está financiada parcialmente por el Ministerio de Educación y Ciencia de España bajo los proyectos GOLD (TIN 2005-00010) y NeuroMaps (TEC 2005-07801-C03-01/TCM).

Referencias

- [1] ACR-NEMA, *The DICOM Standard*, Obtenido de <http://medical.nema.org/>, 2003.
- [2] H. Oosterwijk, *The DICOM Standard, Overview and Characteristics*, Obtenido de http://www.ringholm.de/docs/02010_en.htm, mayo 2006.
- [3] Mayo Clinic, *Analyze Software*, Obtenido de: <http://www.mayo.edu/bir/Software/Analyze/Analyze.html>, mayo 2006.
- [4] T. Bray et al. *Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third Edition)*, W3C Recommendation 04 February 2004. Obtenido de: <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xml-20040204/>, mayo 2006.

- [5] P. Harding, Q. Li y B. Moon *XISS/R: XML Indexing and Storage System Using RDBMS*, Proceedings of the 29th VLDB Conference, Berlín, Germany, 2003.
- [6] W3C XML Schema Working Group. *XML Schema Parts 0-2: Primer, Structures, Datatypes Second Edition. W3C Recommendation 28 October 2004*. Obtenido de: <http://www.w3.org/TR/xmlschema-0/>, <http://www.w3.org/TR/xmlschema-1/> y <http://www.w3.org/TR/xmlschema-2/>, mayo 2006.
- [7] C. Ahn, Y. Nah, S. Park y J. Kim. *An Integrated Medical Information System Using XML*, W. Kim et al. (Eds.): Human Society Internet 2001, LNCS 2105, pp. 307-322, 2001.
- [8] DICOM Strategic Working Group *DICOM Structured Reporting (SR) object and XML, HL7 V3.0 RIM, HL7 Clinical Document Architecture*, Obtenido de: <http://medical.nema.org>, mayo 2006
- [9] H. Oosterwijk, *Dicom Basics (2nd Ed.)*, O Tech Ed., 2002.
- [10] Microsoft Corp., *Microsoft .NET*, Obtenido de: <http://www.microsoft.com/net/>, mayo 2006
- [11] Sun Microsystems, *Java 2 Platform Enterprise Edition (J2EE)*, Obtenido de: <http://java.sun.com/j2ee/>, mayo 2006
- [12] J. Clark, *XSL Transformations (XSLT) Version 1.0*, W3C Recommendation 16 November 1999, Obtenido de: <http://www.w3c.org/TR/xslt>, mayo 2006.
- [13] J. Clark y S. DeRose, *XML Path Language (XPath) Version 1.0*, W3C Recommendation 16 November 1999. Obtenido de: <http://www.w3.org/TR/xpath>, mayo 2006
- [14] R. Murthy y S. Banerjee, *XML Schemas in Oracle XML DB*, Proceeding of the 29th VLDB Conference, Berlin, Germany, 2003.
- [15] A. Silberschatz et al. *Database System Concepts (4th Ed.)*, McGraw-Hill, 2002.
- [16] T. Fiebig et al. *Anatomy of a native XML base management system*, VLDB J., Vol. 11, N 4, pp. 292-314, 2002.
- [17] Software AG, *Tamino X-Query. System Documentation Version 3.1.1.*, Software AG, Darmstadt, Germany. Web site: www.softwareag.com, mayo 2006
- [18] X-Hive Corp., *X-Hive/DB 2.0-Manual. System Documentation Release 2.0.2.*, X-Hive Corp., Rotherdam, The Netherlands. Web site: www.x-hive.com, mayo 2006
- [19] eXcelon Corp., *Managing DXE. System Documentation Release 3.5.*, eXcelon Corp. Burlington, Massachusetts. Web site: www.objectstore.com, mayo 2006
- [20] S. Higgins et al. *Oracle 9i XML Database Developer's Guide - Oracle XML DB. System documentation Release 2*, Oracle Corp. 2002
- [21] IBM Corp. *IBM DB2 Universal Database - XML Extender Administration and Programming*, Product Documentation Version 7. IBM Corporation, 2000.
- [22] Microsoft Corp. *Microsoft SQL Server - SQLXML 2.0*, System Documentation. Microsoft Corporation, 2000.
- [23] Westermann U. y Klas W., *An Analysis of XML Database Solutions for the Management of MPEG-7 Media Descriptions*, ACM Computing Surveys, Vol. 35, N 4, pp. 331-373, 2003.

- [24]E. Marcos, B. Vela y J.M. Cavero, *Aggregation and composition in object-relational database design*. Advanced Databases and Information Systems. Communications of the 5th East-European Conference, 2001.
- [25]E. Marcos, B. Vela y J.M. Cavero, *Extending UML for Object-Relational Database Design*. Fourth International Conference on the United Modelling Language, UML 2001, Springer Verlag LNCS-2185, pp. 225-239, 2001.
- [26]B. Vela, C. Acuña, E. Marcos, *A Model Driven Approach for XML Database Development*. Conceptual Modeling – ER 2004: 23rd International Conference on Conceptual Modeling, Shanghai, China, November 8-12, 2004. LNCS 3288 pp 780-794
- [27]E. Marcos et al. *MIDAS/BD: a Methodological Framework for Web Database Design*, Conceptual Modeling for New Information Systems Technologies, Ed.: H. Arisawa, Y. Kambayashi, V. Kumar, H. C. Mayr, y I. Hunt, Springer Verlag LNCS-2465, pp. 227-238, 2002.
- [28]E. Marcos, B. Vela y J.M. Cavero, *Methodological Approach for Object-Relational Database Design using UML*, Journal on Software and System Modelling (SoSyM), Vol. 2, pp.59-72, 2003.
- [29]B. Vela y E. Marcos, *Extending UML to represent XML Schemas*, The 15th Conference On Advanced Information Systems Engineering, CAISE'03 FORUM. Ed.: J. Eder y T. Welzer, 2003.
- [30]I. Foster y C. Kesselman, *The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure*. Ed. Morgan Kauffmann, 1998. ISBN: 1558604758.