

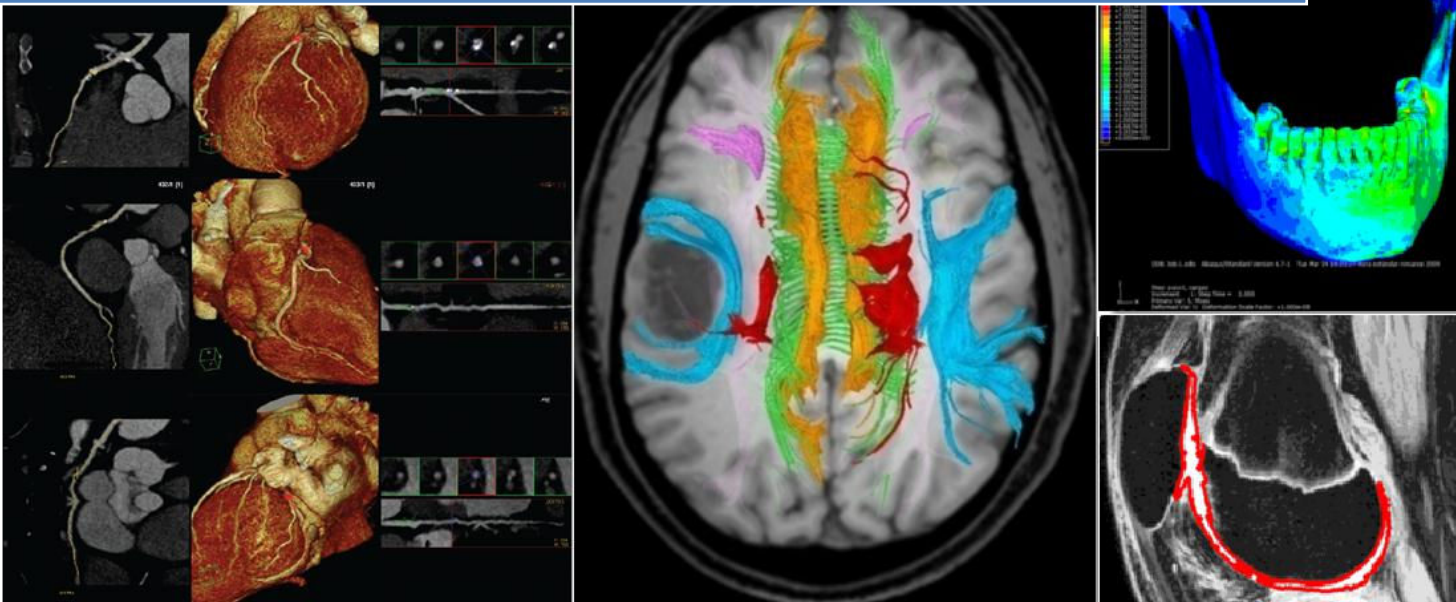


UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



2012

IMBIS - Sistema de Información para Biomarcadores de Imagen



Alumno: Carlos Pérez Castillo

Grupo Hospitalario Quirón

Directora: Silvia Abrahao

Universitat Politècnica de València

Trabajo de fin del Máster en Ingeniería del
Software, Métodos Formales y Sistemas de
Información

*A Sabrina, mi mujer.
Porque ella hace que todo sea posible para mí...*

Contenido

Resumen	6
Abstract	7
1. Introducción	8
1.1. Contexto del proyecto: Cuantificación Quirón Valencia	9
1.2. Objetivos	10
1.3. Estructura del Documento.....	11
2. FUNDAMENTOS.....	13
2.1. Comunicaciones: El estándar DICOM	13
2.2. Sistemas de Información: PACS y RIS	15
2.3. Ley Orgánica de Protección de Datos	16
2.4. Imagen cuantitativa y biomarcadores de imagen	18
2.4.1. Colonografía Virtual	20
2.4.2. Concentración de hierro. Enfermedad Hepática por Depósito e Inflamación	21
2.4.3. Coronariografía por Tomografía Computarizada	22
2.4.4. Difusión molecular por resonancia magnética.....	24
2.4.5. Enfisema pulmonar (volumetría)	25
2.4.6. Espectroscopia	26
2.4.7. Microarquitectura ósea.....	27
2.4.8. Perfusión	29
3. Estado del arte	30
3.1. Dcm4che	30
3.1.1. Carencias de Dcm4che	30
3.2. DCM4CHEE	31
3.2.1. Carencias de DCM4CHEE	31
3.3. OsiriX	31
3.3.1. Carencias de OsiriX.....	32
3.4. DICOM Router	32
3.4.1. Carencias de DICOM Router.....	33
3.5. Propuestas de fabricante	33

3.5.1.	Carencias de las propuestas de fabricante.....	34
3.6.	Informes estructurados: DICOM Structured Reporting	34
3.6.1.	Carencias detectadas en el estándar DSR	35
4.	<i>Estado actual</i>.....	36
4.1.	Carencias del procedimiento actual	37
5.	<i>Propuesta</i>.....	38
5.1.	Metodología	38
5.1.1.	Diseño de IMBIS	38
5.1.2.	Requisitos de los usuarios del sistema	40
5.1.3.	Requisitos técnicos.....	40
5.1.4.	Requisitos legales	41
5.1.5.	Requisitos de informe de cuantificación	42
5.2.	Implementación.....	43
5.2.1.	Arquitectura de IMBIS.....	44
5.2.2.	Comunicaciones y entorno de IMBIS	46
5.2.3.	Recepción de imágenes y datos	48
5.2.4.	Almacenamiento de datos	49
5.2.5.	Clasificación de datos	49
5.2.6.	Procesos de cuantificación	53
5.2.7.	Flujo de datos de posproceso e informe de cuantificación.....	55
5.2.8.	Interfaz de IMBIS	58
6.	<i>Utilidad de IMBIS</i>.....	60
6.1.	Integración en el flujo de información radiológica.....	60
6.2.	Caso de estudio: el cáncer de próstata.....	61
6.2.1.	Diagnóstico y seguimiento tradicionales.....	62
6.2.2.	Diagnóstico y seguimiento con IMBIS	63
7.	<i>Conclusiones</i>.....	67
7.1.	Beneficios y aplicabilidad del trabajo.....	67
7.2.	Limitaciones de los informes de cuantificación	68
7.3.	Transferencia de tecnología	69
7.4.	Trabajos futuros	70

7.5. Publicaciones relacionadas.....	71
<i>Glosario de términos</i>	73
<i>Referencias bibliográficas.....</i>	75
<i>ANEXO I: Documento de especificación inicial de la plataforma IMBIS.....</i>	79
PT1 – Entrada de datos	79
Tarea 1.1	79
Tarea 1.2	79
Tarea 1.3	80
Tarea 1.4	80
Tarea 1.5	80
Tarea 1.6	80
PT2 - Interfaz	81
Tarea 2.1	81
Tarea 2.2	81
Tarea 2.3	81
Tarea 2.4	82
Tarea 2.5	82
PT3 - Posproceso.....	82
Tarea 3.1	82
Tarea 3.2	83
<i>ANEXO II: Ejemplo de Informe mensual de estado de la plataforma IMBIS</i>	84

RESUMEN

Los biomarcadores de imagen describen características objetivas que están relacionadas con procesos biológicos normales, enfermedades, o la respuesta al tratamiento. Su implantación está cambiando el concepto y el flujo de trabajo de la radiología de hoy en día. Mediante la aplicación de nuevas técnicas de modelado y procesos computacionales a las imágenes médicas, se obtiene un conjunto de parámetros cuantitativos. Esta información cuantitativa proporciona medidas precisas y reproducibles de varios procesos biológicos en pacientes individuales. Estos biomarcadores de imagen ayudan a establecer la presencia de una lesión antes de que sea evidente, comprueban la predisposición a sufrirla, miden su situación biológica, definen su progreso y evalúan los efectos del tratamiento. Su potencial para mostrar y medir un amplio rango de situaciones biológicas y fisiológicas, y su naturaleza no invasiva, convierten a los biomarcadores de imagen en uno de los campos de investigación más activos.

En esta Tesis de Máster se ha desarrollado un sistema de información de biomarcadores de imagen (plataforma IMBIS) para incorporar con rapidez todas las ventajas de los biomarcadores de imagen al flujo de trabajo radiológico, proporcionando información cuantitativa adicional a los radiólogos para obtener fácilmente diagnósticos más precisos. El trabajo ha sido desarrollado en el contexto del Servicio de Radiología del Hospital Quirón de Valencia. La plataforma IMBIS recibe y clasifica las imágenes DICOM enviadas desde el PACS (sistema de archivo y transmisión de imágenes) u otros dispositivos. Entonces se lanzan diferentes procesos para cuantificar diversos biomarcadores de imagen. La plataforma almacena los resultados en una base de datos y genera informes estructurados que son enviados al PACS. Estos informes de posproceso proporcionan información cuantitativa muy útil para el diagnóstico de los radiólogos. Además, el software es independiente de fabricante y compatible con el estándar DICOM.

El software de la plataforma IMBIS está implementado en el lenguaje de programación Java usando el IDE open-source NetBeans. Los resultados se almacenan en una base de datos MySQL. El único requisito hardware es una estación de trabajo conectada a la red del hospital.

ABSTRACT

Imaging biomarkers define objective characteristics that are related to normal biological processes, diseases, or the response to treatment. Their implementation is changing the concept and workflow of radiology today. By applying new modeling techniques and computational procedures to medical images, a set of quantitative parameters is obtained. This quantitative information provides accurate and reproducible measures of various biological processes in individual patients. Imaging biomarkers help establishing the presence of a lesion before it becomes evident, assess the predisposition to suffer it, measure its biological situation, define its progress and evaluate treatment effects. Their potential to display and measure a wide range of biological and physiological situations, and their non invasive nature, makes imaging biomarkers one of the most active research fields.

In this M.S. Thesis, an imaging biomarkers information system (IMBIS platform) has been developed for quickly incorporating all the advantages of imaging biomarkers into the radiological workflow, providing additional quantitative information to the radiologists in order to friendly obtain more accurate diagnosis. This work has been developed in the context of the Radiological Centre at the Quirón Hospital in Valencia. The IMBIS platform receives and classifies DICOM images from the PACS or other devices. Then different processes are launched for quantifying several imaging biomarkers. The platform stores the results in a database and generates structured reports that are sent to the PACS. These postprocessing reports provide very useful quantitative information to the radiologists for the diagnosis. In addition, the software is vendor-independent and compatible with DICOM standards.

The IMBIS platform software is implemented in Java programming language using the open-source NetBeans IDE. The results are stored in a MySQL database. The only hardware requirement for using the system is a workstation connected to the hospital network.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el aumento de las capacidades computacionales y los grandes avances tecnológicos en los sistemas de información han revolucionado el campo de la radiología. Un ejemplo de ello es la implantación de los sistemas PACS (Picture Archiving and Communication System) y RIS (Radiology Information System), que simplifican considerablemente el manejo y almacenamiento de la información radiológica digital, tanto de informes diagnósticos como de imágenes.

Por otro lado, la digitalización de la imagen médica proporciona información de relevancia que no era perceptible a simple vista cuando se analizaban las imágenes radiológicas. El procesado computacional de esta información permite extraer medidas físicas, químicas y biológicas de los órganos analizados. Estos biomarcadores de imagen, calculados a partir de gran cantidad de datos obtenidos en los dispositivos de imagen y en las estaciones de posproceso, ofrecen una información complementaria muy útil al diagnóstico radiológico tradicional de cara a gradar las enfermedades de forma más exacta o evaluar la eficacia de los tratamientos.

La utilidad de toda esta información para los radiólogos depende directamente de su presentación y accesibilidad, por lo que se deben preparar y rediseñar los flujos de trabajo radiológico con el fin de aprovechar al máximo las ventajas de la cuantificación de imagen médica. Estos nuevos flujos de trabajo requieren cambios en la configuración de la infraestructura tecnológica del hospital, propiciando nuevas colaboraciones multidisciplinares entre clínicos e ingenieros.

Toda la metodología, desde la adquisición de las imágenes hasta la generación y almacenamiento de los informes de cuantificación, pasando por el procesado computacional correspondiente a cada tipo de biomarcador de imagen, se puede integrar en una misma plataforma software. Así se aumentaría la eficiencia del proceso en su conjunto, facilitando su implantación en el entorno hospitalario. Además, la investigación en diferentes centros proporciona una gran variedad de procesos informáticos para el cálculo de diversos biomarcadores de imagen, por lo que una centralización de la información que utilizan y

generan estos procesos en una misma plataforma software, ayudaría a extender y facilitar la utilización de estos procesos en diferentes centros.

La inclusión de los biomarcadores de imagen en la práctica clínica habitual permitirá potenciar y optimizar los flujos de trabajo, explotando las posibilidades que ofrecen los avances tecnológicos y la colaboración multidisciplinar.

1.1. Contexto del proyecto: Cuantificación Quirón Valencia

Desde sus inicios, el Servicio de Radiología del Hospital Quirón Valencia se configura con la idea de liderar un plan global de calidad y rentabilidad radiológica en sus vertientes tanto profesional como científica.

Como respuesta a las necesidades del paciente, y con el objetivo de incorporar la cuantificación de biomarcadores de imagen al flujo de trabajo radiológico, en el año 2006 nace Cuantificación Quirón Valencia, integrando el trabajo de ingenieros dentro del entorno radiológico para hacer de la investigación y del trabajo multidisciplinar una ventaja profesional. El grupo está formado por un Director Científico, el Dr. Luis Martí Bonmatí, tres ingenieros de telecomunicación, dos ingenieros en informática y una gestora de proyectos. La figura 1 muestra el resultado de la sinergia entre ingenieros, clínicos y tecnología.

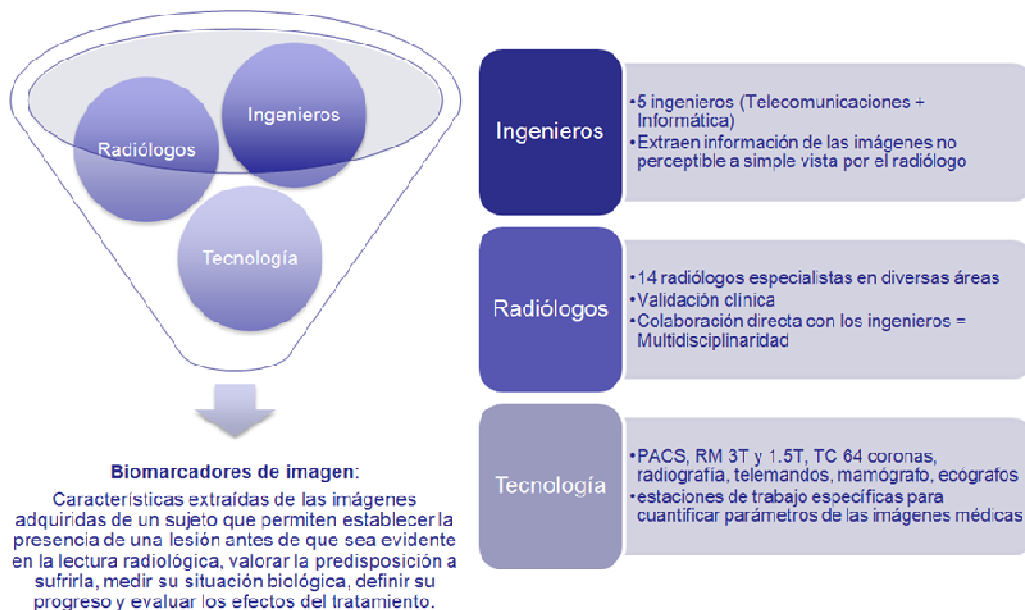


Figura 1. Sinergia entre ingenieros, clínicos y tecnología.

Cuantificación Quirón Valencia ofrece una completa gama de servicios a los profesionales que eligen diferenciarse dando un valor añadido al diagnóstico radiológico. Proporciona soluciones de I+D+I a la medida de las necesidades de los clínicos, especializándose en los ámbitos de:

- Neurología y Psiquiatría
- Abdomen
- Músculo-Esquelético
- Cardiovascular y Tórax
- Oncología

Cuantificación Quirón Valencia integra las ventajas de los biomarcadores de imagen al flujo de trabajo radiológico, ofreciendo información cuantitativa adicional en forma de informes de cuantificación.

Para la adquisición de imágenes, Cuantificación Quirón Valencia cuenta con la tecnología más avanzada (RM de 1.5 y 3 Teslas, TAC 64 detectores, radiografía convencional, telemandos, mamógrafo, ortopantomógrafo, densitómetro, ecógrafos en 3D y 4D) garantizando calidad y reproducibilidad. Cuantificación Quirón Valencia ofrece también la posibilidad de analizar y procesar imágenes de otros centros, asesorando sobre los requisitos mínimos de calidad y correcta configuración de la adquisición, y poniendo los medios para la recepción de las imágenes.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es el siguiente:

Definir e implementar una plataforma software multiusuario (plataforma IMBIS) para incluir los biomarcadores de imagen dentro del flujo de trabajo radiológico mediante la gestión, manejo y proceso de información en formato DICOM, la integración de todos los procesos necesarios y la organización y distribución de la información entre todos los actores del sistema.

Este objetivo principal conlleva un conjunto de subobjetivos específicos, que se detallan a continuación:

- Hacer un análisis del dominio o background que se corresponde con el marco de un sistema de información adaptado a biomarcadores de imagen.
- Estudiar el estado del arte de los paquetes software para la gestión, almacenamiento y visualización de imagen médica correspondientes a dicho dominio.
- Analizar las carencias del flujo de trabajo radiológico y del estado del arte en cuanto a software de soporte a sistemas de información para biomarcadores de imagen.
- Proponer e implementar una plataforma software (plataforma IMBIS) para dar solución a las carencias detectadas, describiendo en detalle su arquitectura.
- Probar la utilidad de la plataforma implementada mediante un caso de estudio industrial llevado a cabo en el Hospital Quirón de Valencia.

1.3. Estructura del Documento

El presente documento en su conjunto describe el procedimiento llevado a cabo para cumplir con el objetivo descrito en el apartado anterior, materializado en la plataforma IMBIS (IMaging Biomarkers Information System). A tal fin, los contenidos se estructuran del siguiente modo:

En el Capítulo 2 se presenta un análisis del dominio o *background* que se corresponde con el marco del presente trabajo. En él se describe el estándar de comunicación de imágenes médicas, los sistemas de información hospitalaria y las restricciones legales en cuanto a protección de datos, los cuales son tres pilares básicos a tener en cuenta en el diseño e implementación de una plataforma software de gestión de imágenes médicas como IMBIS. Dado que la plataforma IMBIS está ideada como sistema de información para biomarcadores de imagen, en este capítulo se presenta, además, el concepto de biomarcador de imagen médica, junto con algunos ejemplos.

El Capítulo 3 trata el estado del arte de los paquetes software para la gestión, almacenamiento y visualización de imagen médica, describiendo las opciones más cercanas a IMBIS y las carencias que justifican la creación de una plataforma software ad-hoc para el dominio del sistema de información de los biomarcadores de imagen. También describe el estándar DSR propuesto por la *National Electrical Manufacturers Association*, y detalla las limitaciones de éste que justifican la metodología seguida para la generación de informes de cuantificación descrita en el Capítulo 5.

El Capítulo 4 presenta el flujo de información del Servicio de Radiología del Hospital Quirón Valencia antes de contar con la plataforma IMBIS, con las carencias detectadas en lo que a gestión de la información de biomarcadores de imagen se refiere.

Como solución a las carencias descritas en el Capítulo 4, y solventando las limitaciones del software descrito en el estado del arte del Capítulo 3, el Capítulo 5 propone la plataforma IMBIS, describiendo la metodología de diseño y detallando los aspectos técnicos de su implementación.

En el Capítulo 6 se muestran las ventajas de la plataforma IMBIS, mediante el planteamiento de un caso de estudio industrial (diagnóstico y seguimiento del cáncer de próstata) en el que se muestra el valor añadido al flujo de trabajo radiológico.

El Capítulo 7 presenta las conclusiones, describiendo las limitaciones de los informes de cuantificación generados por la plataforma IMBIS, y explicando la transferencia de tecnología que corresponde a la plataforma. También se esbozan los posibles trabajos futuros, y se presenta un listado de la actividad científica relacionada con el presente Trabajo de Fin de Máster.

2. FUNDAMENTOS

A continuación se presenta un análisis del dominio o *background* que se corresponde con el marco del presente Trabajo de Fin de Máster. En él se describen tres pilares básicos a tener en cuenta en el diseño e implementación de una plataforma software de gestión de imágenes médicas como IMBIS:

- Estándar de comunicación de imágenes médicas
- Sistemas de información hospitalaria
- Restricciones legales en cuanto a protección de datos

Dado que la plataforma IMBIS está ideada como sistema de información para biomarcadores de imagen, al final del capítulo se presenta, además, el concepto de biomarcador de imagen médica, junto con algunos ejemplos.

2.1. Comunicaciones: El estándar DICOM

El intercambio de información radiológica viene definido por el estándar DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine). La estandarización de los formatos de imagen digital para la medicina a través de una estructura común como DICOM ha facilitado el intercambio de casos clínicos y estudios entre los diferentes equipos y centros hospitalarios.

En un fichero DICOM, la información (generalmente imágenes) se encuentra encapsulada dentro de una estructura que incluye una cabecera de datos. Dicha cabecera contiene una gran cantidad de información relevante, como datos del paciente (nombre, fecha de nacimiento, etc.) y parámetros de adquisición de la imagen, que se encuentra indexada con pares de números denominados etiquetas o tags, con el fin de ser gestionada y explotada por los sistemas de información hospitalarios.

En la figura 2 se muestra una imagen médica junto con un fragmento de su cabecera DICOM, que muestra algunos de los metadatos contenidos en ella.



Figura 2. Ejemplo de imagen DICOM.

Además de definir el formato de archivo, DICOM incluye un protocolo de comunicación que utiliza TCP / IP (Transfer Control Protocol / Internet Protocol). Por lo tanto, los archivos DICOM se pueden intercambiar entre dos entidades DICOM compatibles. Este intercambio de datos se administra por varios servicios DICOM:

- Dicom Store: Se utiliza para enviar imágenes e informes estructurados a una estación de trabajo o PACS.
- Storage Commitment: Se usa para confirmar que una imagen ha sido almacenada permanentemente por un dispositivo. El usuario del servicio (modality, workstation, etc.) utiliza la confirmación de la estación de almacenamiento (service provider) para garantizar que el intercambio de datos se ha realizado correctamente.
- Query / Retrieve: Permite a una estación de trabajo buscar imágenes en un PACS y recuperarlos.
- Otros servicios: Dicom Worklist, Modality Performed Procedure Step, Dicom Print, etc.

Si se analiza el flujo de información de un PACS, la transferencia de imágenes puede dividirse en tres dominios funcionales abstractos:

- En el entorno del PACS, las imágenes adquiridas en las estaciones se transfieren al archivo de un modo restringido y bien definido.
- En lo que respecta a las comunicaciones externas, las imágenes pueden transferirse desde el PACS a través de la red a otro sistema compatible DICOM, como otro PACS o estación de trabajo.
- Las imágenes también pueden entrar o salir del PACS en forma de CD/DVD.

Dentro del contexto de los biomarcadores de imagen, la importancia del estándar DICOM radica en que permite obtener las imágenes digitales desde un sistema de adquisición (Resonancia magnética, Tomografía computarizada, etc.) para su procesamiento y manipulación. Con diversas técnicas de procesado se mejora la calidad de las imágenes adquiridas y se preparan para los procesos de cálculo de los biomarcadores de imagen. Además, los metadatos contenidos en la cabecera DICOM de las imágenes se usan para extraer información tanto técnica (esta información es útil para los procesos de cuantificación) como administrativa (datos del paciente, hospital, fechas, etc.), que es usada para la generación del informe de cuantificación y para surtir la base de datos centralizada.

2.2. Sistemas de Información: PACS y RIS

Un PACS (Picture Archiving and Communication System) es un sistema computacional inter e intrainstitucional que gestiona la adquisición, transmisión, almacenamiento, distribución, visualización e interpretación de imágenes médicas. Como tal, el sistema está muy integrado con la gestión de imágenes del departamento de radiología y con la práctica clínica basada en imágenes. En los últimos años, ha habido un crecimiento continuo en la implementación de PACS, debido principalmente a ventajas potenciales tales como:

- Mejora del flujo de trabajo, del rendimiento y de la productividad.
- Acceso rápido, remoto y simultáneo a imágenes almacenadas electrónicamente, y posibilidad de manipularlas.
- Relación coste-efectividad, llevando a una mejor atención al paciente.

Un PACS cuenta con una serie de componentes:

- Los dispositivos digitales de adquisición (tomografía computarizada, resonancia magnética, etc.) son la fuente de las imágenes digitales distribuidas y almacenadas por el PACS.
- La red es el canal que proporciona la conexión de datos entre los distintos componentes del PACS. Puede haber ordenadores intermedios para la transferencia de imágenes desde los dispositivos de adquisición al PACS o para la transferencia de información desde y hacia el RIS.

- El servidor de base de datos, a veces denominado servidor de imágenes, es el "cerebro" de un sistema centralizado PACS. Suele tratarse de un ordenador central, que es responsable de realizar un seguimiento de la información y de los atributos y ubicación de las imágenes.
- El sistema de archivos es un componente importante de un PACS y es responsable del almacenamiento electrónico de las imágenes.
- El RIS (Radiology Information System), dentro de un servicio de radiología, es el sistema responsable de mantener los datos demográficos de los pacientes, así como la información financiera y de citación, y las interpretaciones de los resultados de los exámenes (en ocasiones gestionadas por un sistema de dictado).
- Las estaciones de trabajo (compuestas por software y hardware) proporcionan una presentación dinámica y personalizable de las imágenes a los clínicos.

2.3. Ley Orgánica de Protección de Datos

El tratamiento de información de carácter personal, concretamente de datos clínicos, está sometido al máximo nivel de confidencialidad según la legislación española, y debe cumplir con una serie de normas reguladas por la Ley Orgánica 15/1999 de 13 de diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal (LOPD). Se trata de una Ley Orgánica española que tiene por objeto garantizar y proteger las libertades públicas y los derechos fundamentales de las personas físicas en lo que concierne al tratamiento de los datos personales.

Independientemente del soporte en el cual se encuentre la información, la LOPD regula el tratamiento de los datos de carácter personal, los derechos de los ciudadanos sobre ellos y las obligaciones de aquellos que los crean o tratan.

A continuación se presenta un extracto de la LOPD con los artículos en los que cabe centrar la atención en el desarrollo de un soporte que trate con datos de carácter médico.

Artículo 4. Calidad de los datos.

2. Los datos de carácter personal objeto de tratamiento no podrán usarse para finalidades incompatibles con aquellas para las que los datos hubieran sido recogidos. No se considerará incompatible el tratamiento posterior de éstos con fines históricos, estadísticos o científicos.

5. Los datos de carácter personal serán cancelados cuando hayan dejado de ser necesarios o pertinentes para la finalidad para la cual hubieran sido recabados o registrados. No serán conservados en forma que permita la identificación del interesado durante un período superior al necesario para los fines en base a los cuales hubieran sido recabados o registrados.

Artículo 6. Consentimiento del afectado.

2. No será preciso el consentimiento cuando los datos de carácter personal se recojan para el ejercicio de las funciones propias de las Administraciones públicas en el ámbito de sus competencias; cuando se refieran a las partes de un contrato o precontrato de una relación comercial, laboral o administrativa y sean necesarios para su mantenimiento o cumplimiento; cuando el tratamiento de los datos tenga por finalidad proteger un interés vital del interesado en los términos del artículo 7, apartado 6, de la presente Ley, o cuando los datos figuren en fuentes accesibles al público y su tratamiento sea necesario para la satisfacción del interés legítimo perseguido por el responsable del fichero o por el del tercero a quien se comuniquen los datos, siempre que no se vulneren los derechos y libertades fundamentales del interesado.

Artículo 7. Datos especialmente protegidos.

6. No obstante lo dispuesto en los apartados anteriores, podrán ser objeto de tratamiento los datos de carácter personal a que se refieren los apartados 2 y 3 de este artículo, cuando dicho tratamiento resulte necesario para la prevención o para el diagnóstico médicos, la prestación de asistencia sanitaria o tratamientos médicos o la gestión de servicios sanitarios, siempre que dicho tratamiento de datos se realice por un profesional sanitario sujeto al secreto profesional o por otra persona sujeta asimismo a una obligación equivalente de secreto. También podrán ser objeto de tratamiento los datos a que se refiere el párrafo anterior cuando el tratamiento sea necesario para salvaguardar el interés vital del afectado o de otra persona, en el supuesto de que el afectado esté física o jurídicamente incapacitado para dar su consentimiento.

Artículo 8. Datos relativos a la salud.

Sin perjuicio de lo que se dispone en el artículo 11 respecto de la cesión, las instituciones y los centros sanitarios públicos y privados y los profesionales correspondientes podrán proceder al tratamiento de los datos de carácter personal relativos a la salud de las personas que a ellos acudan o hayan de ser tratados en los mismos, de acuerdo con lo dispuesto en la legislación estatal o autonómica sobre sanidad.

Artículo 9. Seguridad de los datos.

1. El responsable del fichero, y, en su caso, el encargado del tratamiento deberán adoptar las medidas de índole técnica y organizativas necesarias que garanticen la seguridad de los datos de carácter personal y eviten su alteración, pérdida, tratamiento o acceso no autorizado, habida cuenta del estado de la tecnología, la naturaleza de los datos almacenados y los riesgos a que estén expuestos, ya provengan de la acción humana o del medio físico o natural.

Artículo 11. Comunicación de datos.

1. Los datos de carácter personal objeto del tratamiento sólo podrán ser comunicados a un tercero para el cumplimiento de fines directamente relacionados con las funciones legítimas del cedente y del cesionario con el previo consentimiento del interesado.

2. El consentimiento exigido en el apartado anterior no será preciso:

- f. Cuando la cesión de datos de carácter personal relativos a la salud sea necesaria para solucionar una urgencia que requiera acceder a un fichero o para realizar los estudios epidemiológicos en los términos establecidos en la legislación sobre sanidad estatal o autonómica.

6. Si la comunicación se efectúa previo procedimiento de disociación, no será aplicable lo establecido en los apartados anteriores.

2.4. Imagen cuantitativa y biomarcadores de imagen

Un biomarcador de imagen es una característica extraída de las imágenes médicas que se han adquirido de un sujeto, que puede medirse de forma objetiva y que se comporta como un indicador de un proceso biológico normal, una enfermedad o una respuesta a una intervención terapéutica. Puede ser un cálculo simple, como una medición de tamaño o forma, o complejo, derivado de la aplicación de complejos modelos computacionales.

En los últimos años se ha demostrado que los biomarcadores de imagen ofrecen una información complementaria muy útil al diagnóstico radiológico tradicional para:

- Establecer la presencia de una alteración o lesión.
- Medir su situación biológica.
- Definir su historia natural y progreso.

- Estratificar las anomalías en fenotipos.
- evaluar los efectos de un tratamiento.

Aunque en principio se pueden extraer biomarcadores de imagen a partir de cualquier modalidad de imagen para diagnóstico (Resonancia Magnética, Tomografía Computarizada, etc.) la Resonancia Magnética destaca por su gran versatilidad para estudiar distintos tejidos y procesos.

Ventajas de los biomarcadores de imagen

La tabla 1 muestra una breve comparativa con tres ejemplos a título ilustrativo de tres fragmentos de informes radiológicos tradicionales, con esos mismos informes enriquecidos con información cuantitativa de los biomarcadores de imagen.

Tabla 1. Informes radiológicos tradicionales vs. Informes con información cuantitativa

Diagnóstico radiológico tradicional	Diagnóstico con biomarcadores de imagen
diagnóstico de atrofia cerebral	pérdida del 24% del volumen cerebral, ajustado a la edad, en la región del surco temporal medio derecho
lesión tumoral en el hígado	grado de agresividad biológica muy alto y respuesta al tratamiento muy limitada
no se ven alteraciones en la resonancia magnética (RM) de hueso	el índice de elasticidad de la esponjosa está disminuido en un 34% y el paciente tiene osteoporosis con un alto riesgo de fractura ósea

Los biomarcadores de imagen presentan dos ventajas principalmente:

- Representan variables numéricas que caracterizan y cuantifican diferentes parámetros extraídos de las imágenes médicas, y que son relevantes para una enfermedad específica.
- Plasmando gráficamente los valores de cada uno de los biomarcadores o parámetros (calculados a partir del posproceso de las imágenes originales adquiridas) mediante imágenes paramétricas, es posible analizar la distribución espacial del biomarcador en la muestra observada mediante su representación visual.

A continuación se describen varios ejemplos de diferentes tipos de procesos de obtención de biomarcadores de imagen e imagen cuantitativa:

2.4.1. Colonografía Virtual

La colonografía virtual consiste en una exploración por TC y un posproceso en una estación de trabajo para producir imágenes del colon en dos y tres dimensiones y mostrarlas en una pantalla para su visualización y estudio por parte del radiólogo (ver figura 3). La colonografía virtual es menos cruenta y más rápida (aproximadamente 10 minutos) que la colonoscopia convencional. Como resultado de ello, no se requiere sedación y el paciente puede regresar a sus actividades habituales después del procedimiento [Heiken et al., 2005].

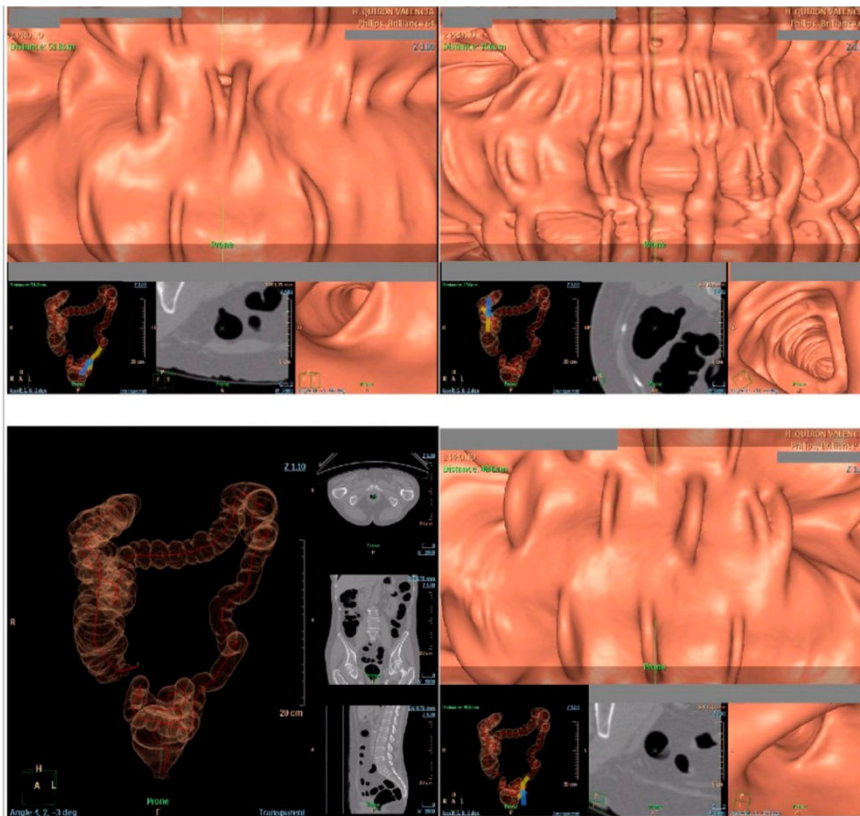


Figura 3. Imágenes obtenidas del estudio de colonografía virtual.

2.4.2. Concentración de hierro. Enfermedad Hepática por Depósito e Inflamación

Los procedimientos de biopsia son invasivos, pueden dar lugar a complicaciones y presentan sesgos en las muestras. La imagen por resonancia magnética puede evidenciar anomalías en un tejido antes de que el paciente presente síntomas, permitiendo también el seguimiento del efecto del tratamiento. Los biomarcadores de imagen para la cuantificación de la concentración tisular de compuestos como grasa, agua y hierro pueden considerarse como biopsias virtuales debido a su inocuidad, buena sensibilidad, y alta correlación con el análisis patológico. Las técnicas de imagen por RM en una sola apnea son preferibles a la espectroscopia por RM, ya que reducen los artefactos de respiración o movimiento y, además, proporcionan datos sobre la distribución espacial de los componentes (figura 4).

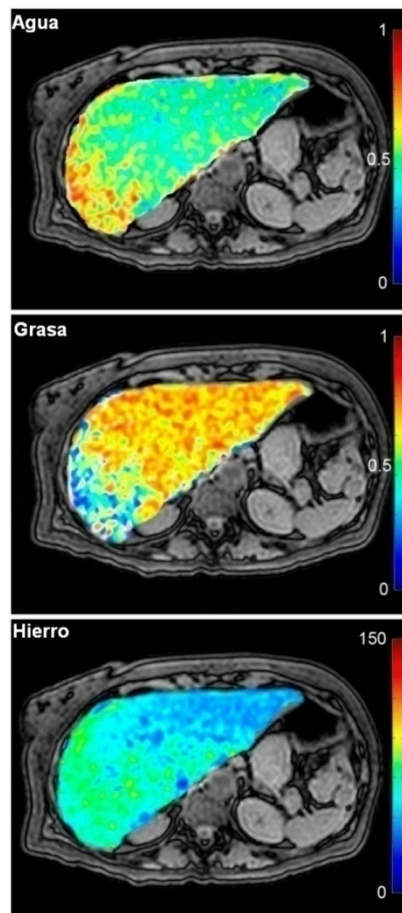


Figura 4. Mapas paramétricos de las concentraciones de agua, grasa e hierro.

Las secuencias GRE (eco de gradiente) con múltiples tiempos de eco se pueden optimizar para la estimación de la fracción grasa con cuantificación T2*. Mediante la modificación de este método, es posible cuantificar simultáneamente grasa, agua, y concentraciones de hierro del parénquima hepático tras el ajuste de los datos de imagen, en base a las diferencias en la frecuencia de precesión entre el agua y la grasa, teniendo en cuenta los diferentes efectos T2 * para ambos elementos.

Para evitar sesgos y calcular con precisión estos biomarcadores de imagen, se plantea un método seguro, rápido y práctico para diagnosticar y cuantificar la esteatosis hepática, diferenciar la esteatohepatitis de la esteatosis simple, gradar la actividad necroinflamatoria, calcular la cantidad de hierro hepático y monitorizar la progresión de estos elementos y el efecto de los diferentes tratamientos [Marti-Bonmati et al., 2011].

2.4.3. Coronariografía por Tomografía Computarizada

La coronariografía no invasiva mediante tomografía computarizada multidetector (TCMD) permite realizar adquisiciones del árbol arterial coronario con una alta resolución temporal y espacial. Permite estudiar las lesiones coronarias no sólo valorando la estenosis sino también la morfología y la composición de las placas de ateroma. La TCMD es una técnica con elevada resolución, que junto con el desarrollo e implementación de potentes herramientas de análisis (reconstrucciones MPR, 3D-Volume rendering) la convierte en un método de diagnóstico con una alta fiabilidad [Achenbach, 2011].

		Referencia	Lesión	% Estenosis
LAD	Diámetro (mm)	3,4	2,0	40 %
	Área (mm ²)	11,3	6,8	40 %
RCA	Diámetro (mm)	3,4	3,4	0 %
	Área (mm ²)	11,3	11,3	0 %
LCX	Diámetro (mm)	3,4	3,4	0 %
	Área (mm ²)	11,3	11,3	0 %

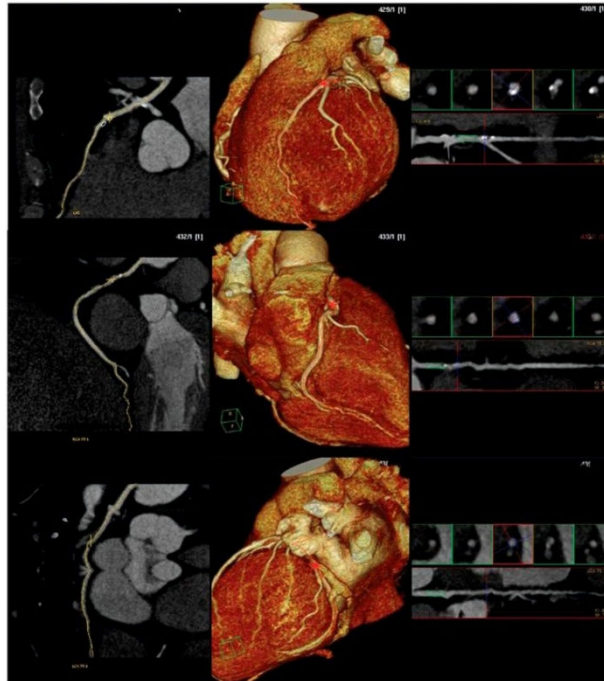


Figura 5. Resultados cuantitativos y reconstrucciones de las principales arterias coronarias.

Es necesaria la administración de un medio de contraste yodado. Para la adquisición de las imágenes es necesario delimitar límites y planificar una región de interés que tiene como objetivo examinar la presencia y magnitud de la calcificación de la pared arterial coronaria. A continuación se reconstruyen las imágenes mediante técnica retrospectiva (ECG-gated) sincronizándolas con las fases apropiadas del electrocardiograma. La figura 5 muestra los resultados cuantitativos y reconstrucciones de las principales arterias coronarias.

Esta técnica es útil en el estudio del árbol arterial coronario, ya que permite la visualización de la anatomía y de la pared de las arterias coronarias de forma no invasiva [Williams et al., 2011].

2.4.4. Difusión molecular por resonancia magnética

La difusión por resonancia magnética es una técnica que permite estudiar el movimiento microscópico de las moléculas de agua in vivo en el cuerpo humano. El movimiento microscópico de las moléculas de agua se encuentra restringido en determinadas condiciones patológicas, como procesos degenerativos tumorales e isquémicos. El comportamiento de estas moléculas de agua en los tejidos puede cuantificarse, con parámetros como el coeficiente de difusión aparente (ADC), o los derivados del estudio detallado del movimiento incoherente del agua intravóxel (IVIM), como son la difusión (D), la perfusión (D*) y la fracción vascular (f) de los tejidos. La cuantificación proporciona información sobre su celularidad y organización microestructural desde la relación entre alteraciones patológicas y la difusión de las moléculas de agua. Los coeficientes de difusión (ADC, D) se encuentran disminuidos en regiones con alta celularidad y espacio intersticial restringido, como muestra la figura 6 [Mehmet Erturk et al., 2009].

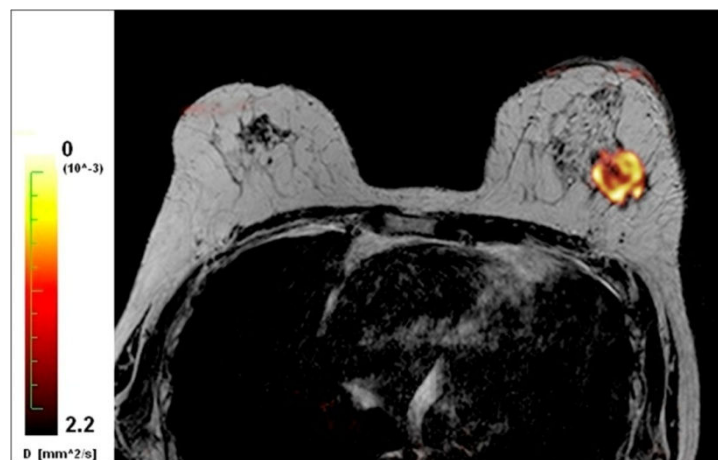


Figura 6. Parametrización de la difusión de una lesión en mama.

Es una técnica de posproceso útil para detectar alteraciones en la microestructura de los tejidos, como ocurre en procesos isquémicos degenerativos y neoplásicos. Entre sus muchas aplicaciones, cabe destacar su uso en el diagnóstico precoz del infarto cerebral, en cáncer de próstata, cáncer de mama, enfermedad focal y difusa en hígado, alteraciones renales y del sistema musculoesquelético (degeneración del cartílago). La RM de Difusión con estudio IVIM permite analizar con una mayor sensibilidad y especificidad el movimiento microscópico de las moléculas de agua en todo tipo de lesiones y alteraciones, ya que permite diferenciar la

difusión pura de los cambios debidos a variaciones en el componente vascular, actuando como información adicional complementaria a los resultados convencionales de ADC [Padhani et al., 2009].

2.4.5. Enfisema pulmonar (volumetría)

El enfisema pulmonar está relacionado con la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y se manifiesta como un agrandamiento de los alveolos pulmonares que producen una disminución de la función respiratoria. Estos espacios llenos de aire se detectan mediante tomografía computarizada y su volumen se puede cuantificar de forma exacta utilizando técnicas de segmentación por umbral [Matsuoka et al., 2010, Uppaluri et al., 1997].

La figura 7 muestra una cuantificación de enfisema donde se muestran los volúmenes de los parénquimas pulmonares derecho e izquierdo y los volúmenes asociados de enfisema, tanto en valores absolutos como relativos.

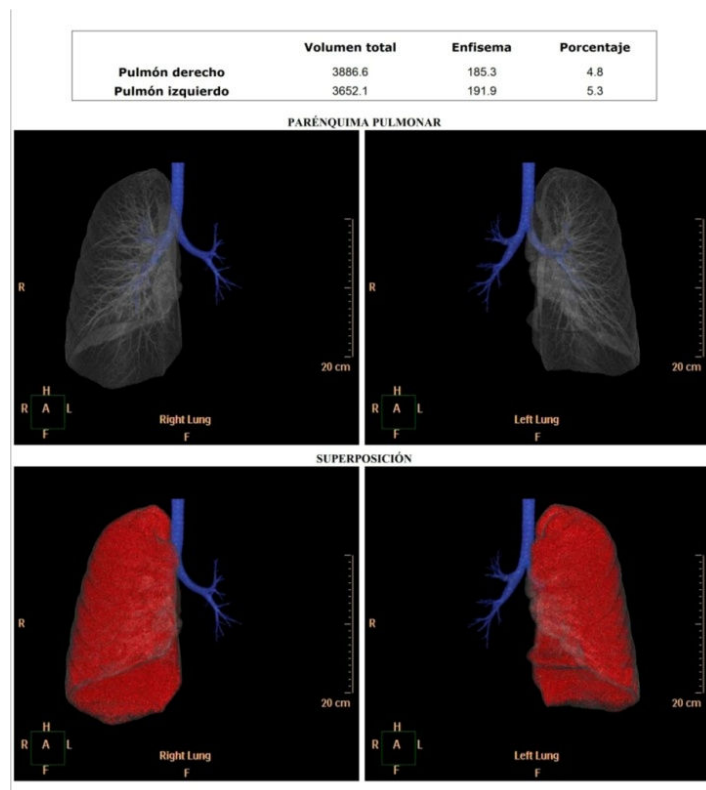


Figura 7. Cuantificación de enfisema.

La técnica de análisis consiste en una segmentación del volumen de interés por umbralización de unidades Hounsfield (UH): pulmones y aire en el interior de los pulmones (< -950 UH) y una cuantificación de volúmenes en valores absolutos (ml) y relativos (%). A continuación se realiza una representación 3D del parénquima pulmonar y del enfisema. En el análisis se obtiene una tabla con los volúmenes pulmonares y de enfisema en pulmón derecho e izquierdo y se genera un informe de posproceso con los resultados obtenidos tras la cuantificación con una representación gráfica.

2.4.6. Espectroscopia

Las alteraciones neurológicas se manifiestan con frecuencia mediante cambios en las concentraciones metabólicas de las células. Procesos de neurodegeneración, como el Alzheimer, están relacionados con pérdida de viabilidad neuronal, con descensos de las concentraciones de N-acetil-aspartato, así como aumento de la gliosis. En tumores, la proliferación celular y la agresividad se relacionan con altas concentraciones de Colina y lípidos. La espectroscopia por RM se ha convertido en la técnica más usada en el análisis de las interacciones moleculares y la identificación de compuestos químicos debido a su naturaleza no destructiva y su sensibilidad al entorno molecular y al átomo. El número de usos de la espectroscopia es creciente. La principal aplicación es la espectroscopia cerebral en demencia, gradación de tumores, daño neuronal difuso y epilepsia, pero también se utiliza en los tumores de próstata y mama para valorar su malignidad [Arana et al., 2007].

Los metabolitos que se analizan son: N-acetil-aspartato (NAA) marcador neuronal, sus concentraciones disminuyen en diferentes tipos de lesiones cerebrales; Colina (Co) su incremento refleja el aumento en la síntesis de membranas o del número de células tal como se observa en tumores; Creatina (Cr) marca el metabolismo energético en la zona analizada; Mioinositol (MI) su incremento marca el aumento de la actividad glial; el Lactato el funcionamiento anaerobio; el Glutamato (Glx) marcador de la actividad cerebral. En la próstata se cuantifican los niveles de Citrato (Cit), marcador de la viabilidad del tejido prostático y los lípidos (Lip) marcador de necrosis o agresividad [Martínez-Bisbal et al., 2004].

Los resultados obtenidos mediante la espectroscopia permiten detectar cambios metabólicos no apreciables a simple vista por imagen. En el análisis se elaboran gráficos anatómicos mostrando alteraciones en el tejido, se aportan los datos cuantificados de los metabolitos y se genera un informe de posproceso con los resultados obtenidos tras la cuantificación de la espectroscopia (figura 8).

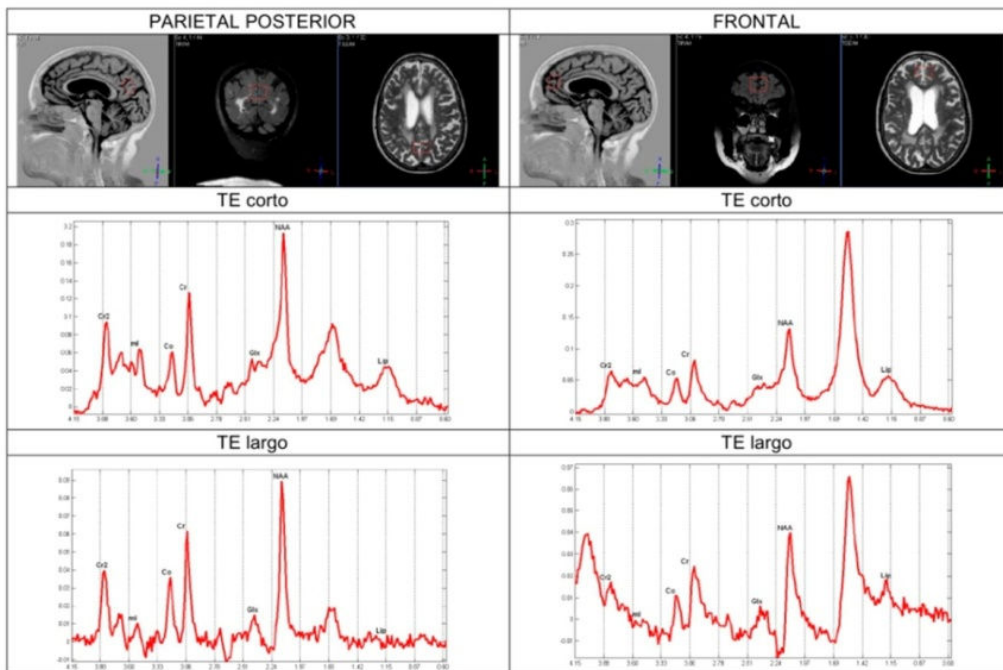


Figura 8. Análisis espectroscópico de la sustancia gris en región parietal posterior y región frontal.

2.4.7. Microarquitectura ósea

Los métodos para el análisis de la microarquitectura permiten cuantificar el grado de deterioro de la trabécula, así como evaluar la respuesta al tratamiento en pacientes con osteoporosis y otros procesos patológicos, en estadios iniciales y con elevada sensibilidad. La osteoporosis produce un incremento del riesgo de fracturas óseas principalmente por la disminución de la densidad mineral ósea y la desorganización de la estructura trabecular. Aproximadamente un 40% de fracturas osteoporóticas suceden en pacientes con densitometrías normales o discrepantes. La desorganización de la microarquitectura trabecular tiene pues un papel

importante para predecir la fractura ósea. Mediante el posprocesado de imágenes de RM de alta resolución se puede caracterizar la morfometría y la mecánica de la estructura del hueso trabecular (figura 9) [Alberich-Bayarri et al., 2010].

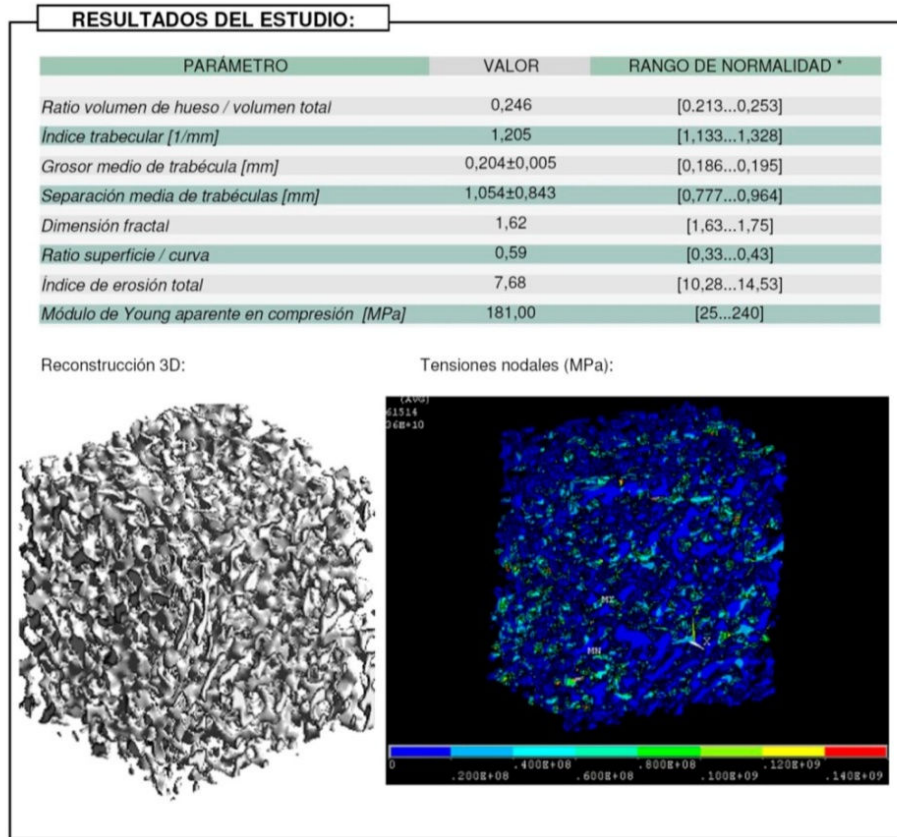


Figura 9. Resultados principales del estudio morfométrico y mecánico del hueso.

La extracción de diversos parámetros cuantitativos que expresen propiedades relevantes del hueso trabecular permite realizar una caracterización más completa del tejido esponjoso, importante para el diagnóstico inicial de la osteoporosis, la monitorización y evaluación de la respuesta a las diferentes terapias. Se extraen las distribuciones de fuerzas, desplazamientos, tensiones y deformaciones en forma de reconstrucción paramétrica univariante como una “biopsia virtual” del hueso. Se proporcionan los principales indicadores morfométricos del hueso trabecular, así como el módulo elástico de Young de la muestra como respuesta al ensayo de resistencia mecánica realizado en cada una de las direcciones del espacio. Los resultados y la distribución de tensiones de la simulación se integran en un único indicador que permite estudiar las alteraciones en la elasticidad del hueso trabecular.

2.4.8. Perfusión

La angiogénesis y la neovascularización son procesos biológicos que están asociados al aumento de las demandas de oxígeno y nutrientes en los tejidos. En condiciones de enfermedad, como en inflamaciones o en el desarrollo de tumores, el VEGF (factor de crecimiento vascular endotelial, vascular endothelial growth factor), proteína señalizadora causante de la angiogénesis, está fuertemente expresada. En estas circunstancias se forman rápidamente nuevos vasos y capilares. Esta nueva red vascular es caótica y no presenta una estructura normal, especialmente en el caso de tumores. La cuantificación de la angiogénesis es esencial para evaluar el grado de agresividad de una anomalía o un tumor y la eficacia del tratamiento [Sourbron y Buckley, 2012].

La figura 10 presenta mapas paramétricos de la permeabilidad capilar (K_{trans}) del cartílago articular patelar.

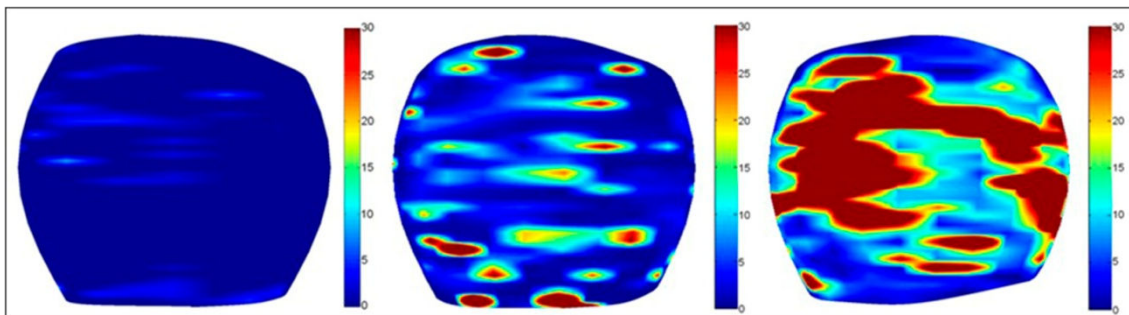


Figura 10. Mapas paramétricos de la permeabilidad capilar (K_{trans}) del cartílago articular patelar. De izquierda a derecha: Normal, Condromalacia y Artrosis.

El modelado farmacocinético de imágenes de perfusión por resonancia magnética es una valiosa herramienta para la evaluación de parámetros como la permeabilidad capilar, el coeficiente de extracción, el volumen intersticial y el volumen vascular. Los resultados proporcionados por los modelos farmacocinéticos son muy útiles en la detección de neoplasias de próstata, mama, sistema nervioso central y órganos abdominales; caracterización vascular de lesiones y seguimiento de los tratamientos [Leach et al., 2005].

3. ESTADO DEL ARTE

Previamente a abordar el diseño e implementación de la plataforma IMBIS se han evaluado y probado diferentes plataformas y utilidades relativas al tratamiento y almacenamiento de imágenes en DICOM, realizando un esfuerzo por la búsqueda de software libre como opción de implantación.

A continuación se describen, en el marco de los paquetes software para la gestión, almacenamiento y visualización de imagen médica, las opciones que se han considerado más cercanas a IMBIS y las carencias que justifican la creación de una plataforma software ad-hoc para el dominio del sistema de información de los biomarcadores de imagen para el Hospital Quirón. También se describe el estándar DSR propuesto por la *National Electrical Manufacturers Association*, detallando las limitaciones de éste que justifican la metodología seguida para la generación de informes de cuantificación descrita en el Capítulo 5.

3.1. Dcm4che

Dcm4che es una colección de aplicaciones de código abierto y utilidades para las empresas del sector de la salud [Dcm4che, 2012]. Estas aplicaciones se han desarrollado en el lenguaje de programación Java por motivos de rendimiento y portabilidad. En el núcleo del proyecto dcm4che hay una implementación robusta de la norma DICOM. El dcm4che-1.x es un conjunto de herramientas DICOM que se utiliza en muchas aplicaciones de producción en todo el mundo [Warnock et al., 2007], mientras que la corriente versión 2.x versión ha sido rediseñada para un alto rendimiento y flexibilidad.

3.1.1. Carencias de Dcm4che

Este conjunto de herramientas, a pesar de ser de gran utilidad (de hecho algunas de ellas se utilizan en la implementación de la plataforma IMBIS, como se verá más adelante), no

componen una plataforma en sí, sino que son un conjunto de herramientas aisladas utilizables por línea de comando. Además, la funcionalidad de estas herramientas no cubre las comunicaciones con procesos de cuantificación ni la visualización de imágenes DICOM.

3.2. DCM4CHEE

Contenida en el proyecto Dcm4che, DCM4CHEE (La "e" extra significa "empresa") es un administrador de imágenes/archivo de Imágenes (según IHE) [Dcm4che, 2012]. La aplicación contiene los servicios e interfaces DICOM que se requieren para proporcionar el almacenamiento, la recuperación y flujo de trabajo para un entorno sanitario. DCM4CHEE está pre-empaquetado y desplegado en el servidor de aplicaciones JBoss. Al tomar ventaja de las muchas características de JBoss (JMS, EJB, motor de servlets, etc.), y asumiendo el rol de varios actores en aras de la interoperabilidad, la aplicación ofrece muchos servicios robustos y escalables.

3.2.1. Carencias de DCM4CHEE

Esta fue una de las opciones más estudiadas y probadas, pero a pesar de cumplir con creces con todos los requisitos de comunicación y almacenamiento DICOM, carecía de la funcionalidad necesaria para ofrecer un sistema de comunicación e intercambio de datos con los procesos de cuantificación, así como de capacidad de generación de informes. Además, no ofrecía la posibilidad de clasificar las imágenes entrantes según diferentes criterios de estructura de directorios.

3.3. OsiriX

OsiriX es una aplicación de procesamiento de imágenes dedicada a imágenes DICOM generadas por equipos médicos de adquisición [OsiriX, 2012]. Es totalmente compatible con el estándar DICOM, y es capaz de recibir imágenes DICOM transferidas por el protocolo de

comunicación de cualquier PACS o modalidad de imagen médica (STORE SCP, STORE SCU y Query/Retrieve).

OsiriX ha sido específicamente diseñado para la navegación y visualización de imágenes multimodalidad y multidimensionales: Visualizador 2D, 3D, Visualizador 4D (series 3D con dimensión temporal, por ejemplo: Cardiac-CT) y Visualizador 5D (series 3D con dimensiones temporal y funcional, para ejemplo: Cardio-PET-CT). El Visor 3D ofrece todos los modos de representación modernos: reconstrucción multiplanar (MPR), Surface Rendering, Volume Rendering y Maximum intensity projection (MIP). Todos estos modos soportan datos 4D y son capaces de fusionar imágenes entre dos modalidades diferentes (por ejemplo: PET y CT).

OsiriX es a la vez una estación de trabajo PACS DICOM para imágenes médicas y un paquete software de procesamiento de imágenes para la investigación médica (radiología y medicina nuclear), la imagen funcional, imágenes en 3D, microscopía con focal y de imagen molecular.

OsiriX soporta una completa arquitectura plug-in que permite ampliar las capacidades de OsiriX para necesidades personales.

3.3.1. Carencias de OsiriX

A pesar de su calidad y posibilidades de ampliación, OsiriX no es un paquete multiplataforma, y es compatible únicamente con el sistema operativo Mac OS X, lo que hace que se deseché como opción. Además, la versión gratuita tiene limitaciones en la cantidad de imágenes que pueden ser procesadas, requiriendo para un funcionamiento óptimo la versión de pago.

3.4. DICOM Router

Se trata de un marco configurable que puede recibir, modificar y exportar imágenes DICOM en diferentes escenarios de comunicación del sistema [Hacklander et al., 2005]. El marco consta de tres componentes principales: un receptor de imágenes DICOM, una tubería de proceso para aplicar una o varias modificaciones a estos objetos, y uno o varios remitentes para enviar los objetos procesados a los destinatarios predefinidos. Este toolbox se implementó como un proyecto de código abierto en Java. El procesamiento utiliza el concepto de plug-ins

configurables. Un plug-in es programable por el usuario por medio de ficheros de configuración y permite la conversión de los objetos DICOM. Los canales de entrada y de salida son el servicio DICOM Storage y el sistema de archivos local. Debido a las interfaces de programación abiertas, la funcionalidad puede ser fácilmente adaptada a aplicaciones futuras

3.4.1. Carencias de DICOM Router

Pese a su extensa y altamente configurable funcionalidad de recepción y comunicación de imágenes DICOM, y de ofrecer la posibilidad de clasificar las imágenes entrantes según diferentes criterios de estructura de directorios. Esta aplicación carece, al igual que Dcm4chee, de la funcionalidad necesaria para ofrecer un sistema de comunicación e intercambio de datos con los procesos de cuantificación, así como de capacidad de generación de informes de cuantificación.

3.5. Propuestas de fabricante

Los diferentes fabricantes de estaciones de adquisición de imagen médica (Philips Medical Systems, General Electrics, Siemens, etc.) ponen a disposición de sus clientes diversos paquetes de procesado para la cuantificación de imágenes médicas.

En el Servicio de Radiología del Hospital Quirón de Valencia se cuenta con algunas herramientas del proveedor Philips Medical Systems. Estas herramientas se usan para el cálculo del volumen de enfisema pulmonar y para la navegación por colonografía virtual. A pesar de su utilidad, los resultados de las pruebas realizadas con estas herramientas no se pueden exportar a informes customizados. Además, la información generada se debe introducir a mano en la base de datos si se quiere conservar con fines estadísticos. Así, estas herramientas de fabricante no cierran el flujo de información requerido.

3.5.1. Carencias de las propuestas de fabricante

Las opciones de paquete software descritas anteriormente quedan desechadas por los siguientes motivos:

- Precio: Los paquetes de software de los diferentes fabricantes no son gratuitos. Además, suelen requerir la adquisición de caras estaciones de trabajo.
- Compatibilidad multifabricante: En el caso del Hospital Quirón Valencia, las estaciones de adquisición de imagen (resonancia magnética, tomografía computarizada) son del proveedor Philips Medical Systems. El uso del software de procesado que proporcionan, ha mostrado incompatibilidades con imágenes procedentes de otros centros obtenidas en estaciones de adquisición de otros proveedores.
- Personalización: Se trata de paquetes software cerrados, que no siguen la filosofía Open-Source, y cualquier cambio deseado en su funcionalidad es costoso en términos de tiempo y/o económicos.

3.6. Informes estructurados: DICOM Structured Reporting

Existen diferentes maneras de estructurar la información en un informe radiológico, desde la estructura basada en texto libre a la rigidez de los campos desplegados. Los informes estructurados (Structured Reporting o SR) usados para la transmisión y almacenamiento de documentos clínicos se describen en el suplemento 23 del estándar DICOM propuesto por la *National Electrical Manufacturers Association* [<http://medical.nema.org> 2012].

Un SR (Structured Report) no es un informe como tal, sino una forma de estructurar la información más o menos compleja mediante documentos XML (eXtensible Markup Language) que puede visualizarse mediante plantillas u hojas de estilo. Un SR consta de una secuencia de nodos (imágenes, comentarios, hallazgos o incluso otros informes) relacionados, siguiendo una arquitectura en forma de árbol [Clunie, 2000].

DSR (DICOM Structured Reporting) mejora la precisión y claridad de la información clínica y permite buscar, almacenar y comparar datos entre las distintas especialidades [Hussein et al., 2004]. DSR no sólo define las estructuras de datos (paciente, episodio, imágenes,

biomarcadores derivados e informes parciales), sino que también permite su almacenamiento, consulta, recuperación, análisis estadístico y transferencia.

La figura 11 muestra un ejemplo de informe estructurado DICOM, en la que se aprecian campos de descripción como diagnóstico, técnica utilizada, etc.

	DATOS CLÍNICOS:	Sospecha de rotura ligamento escafo-semilunar
	TÉCNICA:	Arthro-RM de muñeca derecha con planos sagitales, transversales y coronales. Administración de 5ml de solución de suero fisiológico, contraste yodado, anestésico local y gadolinio
	HALLAZGOS	
	VARIANZA CUBITAL:	Neutra
	HUESOS DEL CARPO, RADIO Y CÚBITO:	Normal
	FIBROCARTÍLAGO TRIANGULAR:	Rotura focal externa
	LIGAMENTO ESCAFO-SEMILUNAR:	Rotura parcial dorso-central
	LIGAMENTO LUNO-PIRAMIDAL:	Rotura parcial central
	TENDONES FLEXORES:	Normal
	TENDONES EXTENSORES:	Normal
SINOVIAL:	Normal	
DIAGNÓSTICO:	Rotura del fibrocartílago triangular, ligamento escafo-semilunar y luno-piramidal	

Figura 11. Ejemplo de informe radiológico estructurado por campos definidos para una artro-RM de muñeca.

3.6.1. Carencias detectadas en el estándar DSR

Dado que toda la información del SR queda estructurada y almacenada en ficheros XML dentro del PACS, para visualizarla de un modo ordenado y conjunto es necesario un soporte software en el PACS que la estructure mediante plantillas. Este requisito reduce la flexibilidad y escalabilidad de la implantación de DSR en un entorno radiológico. Además, los procesos de búsqueda de datos en ficheros XML tienen una eficiencia reducida en comparación con los sistemas de gestión de bases de datos relacionales [Nicola y Jasmi, 2003].

4. ESTADO ACTUAL

En el Servicio de Radiología del Hospital Quirón de Valencia, la aplicación clínica de los métodos de imagen clásicos se ha basado en el juicio cualitativo por parte del radiólogo de la imagen adquirida. Así, mediante un análisis visual, el radiólogo ha sido capaz de realizar un diagnóstico sobre la presencia y el tipo de patología con cierta eficacia.

En la figura 12 puede observarse, en color azul, el flujo de trabajo convencional de un estudio radiológico. Para empezar, el paciente acude al médico *Clínico*, el cual solicita la prueba radiológica pertinente. La información cualitativa que se obtiene tras la *Adquisición* (principalmente imágenes médicas) llega al *Radiólogo*, que aplica su juicio clínico y emite un *Informe Radiológico*. Este informe llega al médico clínico que lo solicitó.

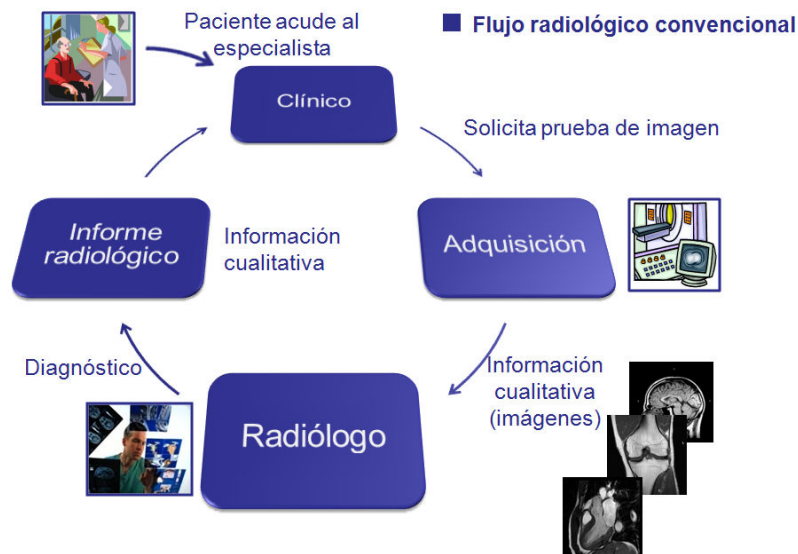


Figura 12. Flujo radiológico convencional.

No obstante, gracias a la aparición de la imagen digital, en la actualidad puede obtenerse información de relevancia médica que no era perceptible a simple vista cuando se analizaban las imágenes radiológicas. La evolución hacia entornos completamente digitales y la implantación de plataformas de posproceso con cuantificación y análisis paramétrico de las

imágenes médicas han empezado a revolucionar la medicina. La computación permite extraer medidas físicas, químicas y biológicas de los órganos analizados, que se comportan como biomarcadores de imagen, ofreciendo una información complementaria muy útil al diagnóstico radiológico tradicional de cara a gradar las enfermedades de forma más exacta o evaluar la eficacia de los tratamientos. La inclusión de los biomarcadores en la práctica clínica habitual permitiría potenciar y optimizar los flujos de trabajo, explotando las posibilidades que ofrecen los avances tecnológicos y la colaboración multidisciplinar.

4.1. Carencias del procedimiento actual

A pesar de contar con varias estaciones de posproceso para cuantificación de biomarcadores de imagen médica, así como de disponer de varios algoritmos de posproceso programados (ver apartado 2.4), se carece de una comunicación centralizada de toda la información del sistema.

Cualquier proceso de cuantificación requiere de una comunicación verbal a los ingenieros de cuantificación, seguida de una descarga de las imágenes a través de soportes físicos o a través de la red en algunos casos.

Los resultados del proceso de cuantificación de estos datos son incluidos en un informe no automatizado generado ad-hoc (a mano) para este proceso en cuestión. Esto genera una alta variabilidad en el formato de los informes de cuantificación.

El informe resultante es impreso en papel y se da en mano al radiólogo que va a encargarse del informe radiológico.

Los datos resultantes del posproceso no quedan registrados en ninguna base de datos, con lo que se pierde la trazabilidad del proceso y cualquier posibilidad de usar toda esa información para generar datos de normalidad de gran valor estadístico.

5. PROPUESTA

Para introducir el uso de los biomarcadores de imagen en el flujo de trabajo de un servicio de radiología es necesario contar con el soporte tecnológico adecuado. La plataforma IMBIS implementa e integra toda la metodología, desde la adquisición de las imágenes hasta la generación y almacenamiento de los informes en una misma plataforma software, consiguiendo que el proceso en su conjunto resulte mucho más eficiente y sencillo, y facilitando su implantación en el entorno hospitalario.

5.1. Metodología

A continuación se describe la metodología seguida para el diseño de la plataforma IMBIS, detallando los requisitos del sistema.

5.1.1. *Diseño de IMBIS*

El diseño e implementación de la plataforma IMBIS se ha realizado siguiendo un Modelo de Desarrollo Evolutivo e Incremental, concretamente un modelo de prototipos.

El hecho de que cada versión del prototipo incluyera una representación de aquellos aspectos del software visibles para el usuario final ha ayudado a crear una interfaz de usuario amigable, que cumplía con todos los requisitos.

Este diseño ha conducido a la creación de una versión estable de la aplicación, mediante la evaluación y retroalimentación por parte de los usuarios finales (ingenieros y radiólogos), refinando evolutivamente los requisitos de la plataforma IMBIS.

La figura 13 muestra un esquema del modelo de desarrollo evolutivo utilizado. El objetivo ha sido reemplazar el sistema anterior con uno nuevo que tenga la propiedad de satisfacer los

nuevos requisitos lo más rápido posible. De este modo se ha ido implementando una nueva versión de la plataforma IMBIS para cada re-especificación de requisitos, y se ha ido creando una nueva re-especificación de requisitos en base a las carencias, problemas, o nuevas funcionalidades requeridas de la versión en producción de la plataforma IMBIS.

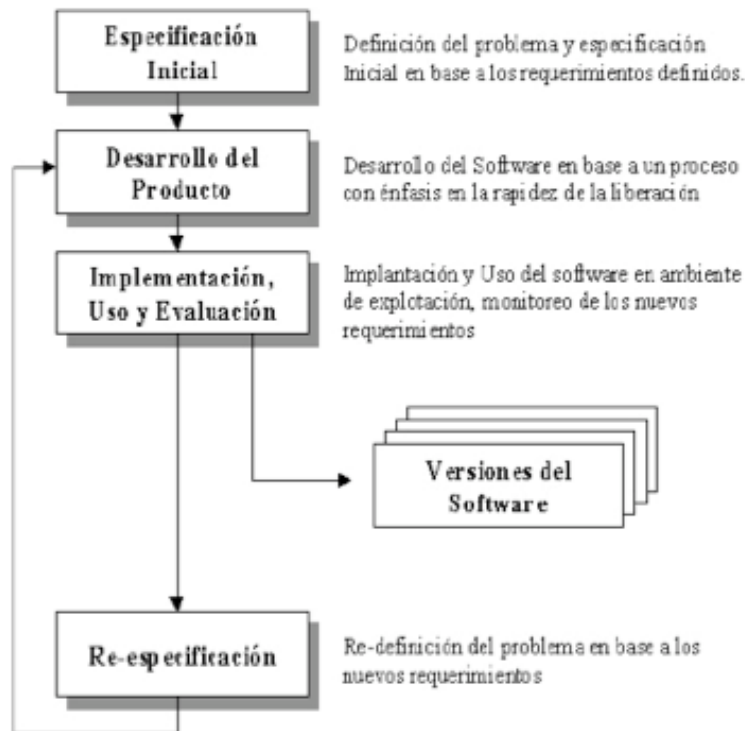


Figura 13. Modelo de desarrollo evolutivo utilizado.

Para ilustrar esta metodología de trabajo, en el Anexo I se ha incluido el documento de especificación inicial de la plataforma, en el cual se delimitan las tareas mediante paquetes de trabajo con hitos a cumplir en fechas concretas. El Anexo II presenta el entregable correspondiente a la primera versión del software resultante de la especificación del Anexo I.

5.1.2. Requisitos de los usuarios del sistema

Paciente

Aunque su rol es intrínsecamente pasivo, es importante tenerlo en cuenta, ya que es el origen de todas las imágenes adquiridas. No obstante, no tiene interacción directa con la interfaz de la plataforma. Es el titular de los derechos de protección de los datos médicos, de lo que se deduce que los requisitos de los pacientes se corresponden con los requisitos legales de la plataforma IMBIS, descritos más adelante.

Radiólogo

Es el destino final de los informes de cuantificación generados por la plataforma. No tiene interacción directa con la interfaz de la plataforma, sino que realiza la interacción a través del PACS, al visualizar el informe de cuantificación resultante, por lo que sus requisitos se corresponden con los requisitos de informe de cuantificación, detallados más adelante.

Ingeniero

Es el rol que tiene más interacción con el sistema. Introduce los datos, recibe las alertas, visualiza y controla la calidad de las imágenes recibidas y lanza los procesos de cuantificación. Todas las funcionalidades de la interfaz de IMBIS están dirigidas a este tipo de usuario, y sus requisitos se recogen iterativamente mediante documentos como el mostrado en el Anexo I.

5.1.3. Requisitos técnicos

La plataforma IMBIS debe:

- Ser compatible con la recepción de datos de cualquier fabricante (Philips, General Electric, etc.).
- Poder recibir imágenes desde cualquier vía de envío (red mediante protocolos DICOM, descarga desde dispositivos locales, envío desde máquina de adquisición).
- Clasificar las imágenes recibidas según criterios dependientes del tipo de estudio y/o secuencia de adquisición.

- Proporcionar un sistema de alertas para la recepción de estudios.
- Proporcionar un mecanismo de selección de series de imágenes y visualización.
- Permitir lanzar cualquier proceso de cuantificación de cualquier serie de imágenes que se seleccione.
- Proporcionar un mecanismo de control de estado de los diferentes procesos de cuantificación que se han lanzado.
- Permitir la generación, visualización y envío al PACS de los informes de cuantificación generados por los diferentes procesos.
- Almacenar todos los datos recibidos y generados en una base de datos segura y que cumpla la legislación vigente, permitiendo su trazabilidad y consulta.

5.1.4. Requisitos legales

De los artículos extraídos de la LOPD descrita anteriormente, se deducen los aspectos más importantes a tener en cuenta para el diseño de un repositorio de datos médicos:

Podrán ser objeto de tratamiento los datos de carácter personal cuando dicho tratamiento resulte necesario para la prevención o para el diagnóstico médicos, la prestación de asistencia sanitaria o tratamientos médicos o la gestión de servicios sanitarios.

Las instituciones y los centros sanitarios públicos y privados y los profesionales correspondientes podrán proceder al tratamiento de los datos de carácter personal relativos a la salud de las personas que a ellos acudan o hayan de ser tratados en los mismos.

El encargado del tratamiento deberá adoptar las medidas de índole técnica y organizativas necesarias que garanticen la seguridad de los datos de carácter personal y eviten su alteración, pérdida, tratamiento o acceso no autorizado.

Los tres puntos anteriores autorizan al tratamiento de los datos dentro del hospital al que acude el paciente, con finalidad diagnóstica y con las medidas de seguridad adecuadas. En cuanto a medidas de seguridad, la plataforma IMBIS deberá almacenar los datos en un repositorio remoto protegido por doble cerradura (barrera física) y contraseña y control de accesos (barrera informática).

Los datos de carácter personal serán cancelados cuando hayan dejado de ser necesarios o pertinentes para la finalidad para la cual hubieran sido recabados o registrados. No serán conservados en forma que permita la identificación del interesado durante un período superior al necesario para los fines en base a los cuales hubieran sido recabados o registrados.

No será preciso el consentimiento cuando el tratamiento de los datos tenga por finalidad proteger un interés vital del interesado.

Los datos de carácter personal objeto del tratamiento sólo podrán ser comunicados a un tercero para el cumplimiento de fines directamente relacionados con las funciones legítimas del cedente y del cesionario con el previo consentimiento del interesado.

El consentimiento exigido en el apartado anterior no será preciso... si la comunicación se efectúa previo procedimiento de disociación.

De estos puntos se deduce que los datos deberán ser disociados (anonimizados) si el fin del tratamiento es diferente al de la salud del paciente (es decir, fines científicos en nuestro caso) o bien si los datos vienen de un tercero (es decir, otro centro envía datos clínicos por un medio no seguro).

5.1.5. Requisitos de informe de cuantificación

El informe radiológico es el resultado más relevante del trabajo del radiólogo. A partir de su interpretación se toman decisiones clínicas importantes, por lo que su elaboración debe seguir algunas pautas y normas que lo hagan comprensible para los médicos peticionarios. Debe ser conciso, preciso y adecuado a la pregunta clínica subyacente [Martí-Bonmatí et al., 2004, Bosmans et al., 2011]. Existe una gran variabilidad entre los informes emitidos en los distintos hospitales, e incluso entre los radiólogos de un mismo servicio, por lo que es necesaria su adecuada estructuración y estandarización [Schwartz et al., 2011, Reiner, 2009, Reiner, 2010].

Para ser útil, un informe radiológico debe presentar al clínico los hallazgos patológicos del paciente, establecer un diagnóstico y sugerir otros estudios o técnicas adicionales que pudieran complementar la ya existente.

El concepto de informe radiológico estructurado representa a un conjunto de herramientas informáticas destinadas a reducir la variabilidad y a mejorar la utilidad clínica de las interpretaciones radiológicas formales, estructurando toda la información incluida y relevante. Debe contener [Tardáguila et al., 2004] los datos demográficos del paciente, la información clínica relevante, una descripción de la técnica utilizada con los datos más relevantes de la exploración, el detalle de los hallazgos observados en las imágenes y una conclusión diagnóstica concisa que responda a las preguntas clínicas planteadas.

La integración de los biomarcadores de imagen en el flujo de trabajo radiológico consiste en la implementación de informes estructurados de cuantificación, ofreciendo una información complementaria muy útil al diagnóstico radiológico convencional. Estos informes secundarios se deben incorporar al historial del paciente y a su informe radiológico estructurado definitivo.

5.2. Implementación

La plataforma IMBIS se ha diseñado con una arquitectura abierta y modular que permite definir múltiples configuraciones de recepción, clasificación y almacenamiento de imágenes médicas en formato DICOM.

Se ha realizado un esfuerzo por el uso de librerías de software libre, tanto como solución en la programación de algunas de las partes de la plataforma, como referencia para su diseño.

Se ha optado por la utilización del lenguaje Java usando el entorno de desarrollo integrado *Netbeans* versión 7.0.1, empleando técnicas de programación concurrente mediante hilos o *threads* de ejecución. Esto permite que cada estudio recibido, y que cada posproceso lanzado, tenga su propio hilo de ejecución independiente del resto, funcionando de manera concurrente.

La plataforma IMBIS hace un uso intensivo de las librerías DCM4CHE versiones 1 y 2, que dan solución en Java a la manipulación y comunicación de los objetos DICOM.

Para la base de datos de posproceso se ha optado por una base de datos MySQL.

5.2.1. Arquitectura de IMBIS

La figura 14 muestra la arquitectura de IMBIS, marcando con un rectángulo amarillo la funcionalidad correspondiente a la interfaz principal de la plataforma, la cual se verá en detalle más adelante.

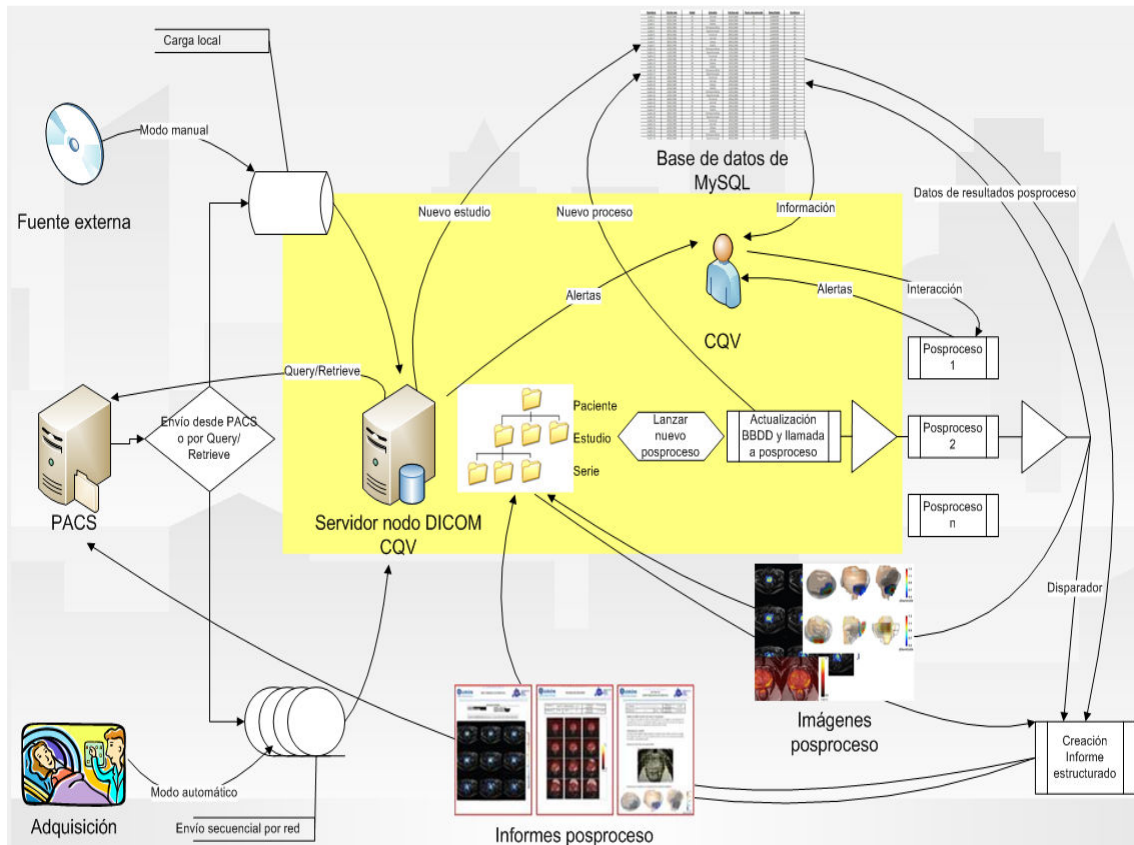


Figura 14. Arquitectura de IMBIS.

En el diagrama anterior se distinguen las siguientes partes diferenciadas:

- Entrada de datos: los datos pueden llegar a la plataforma IMBIS por varias vías:
 - o Descargándolos desde dispositivos externos (ej.: DVD).
 - o Transfiriéndolos desde el PACS a través de la red o mediante query / retrieve.
 - o Directamente desde los dispositivos de adquisición, usando opcionalmente un modo automático que comprueba los *tags* de la cabecera DICOM y determina si se trata de estudios que requieren posproceso.

- Una vez en el servidor (figura 15), configurado como nodo DICOM para permitir su integración en la red del PACS, los datos recibidos son almacenados automáticamente en una estructura de árbol de directorios, organizada y creada según la información extraída de las cabeceras DICOM.

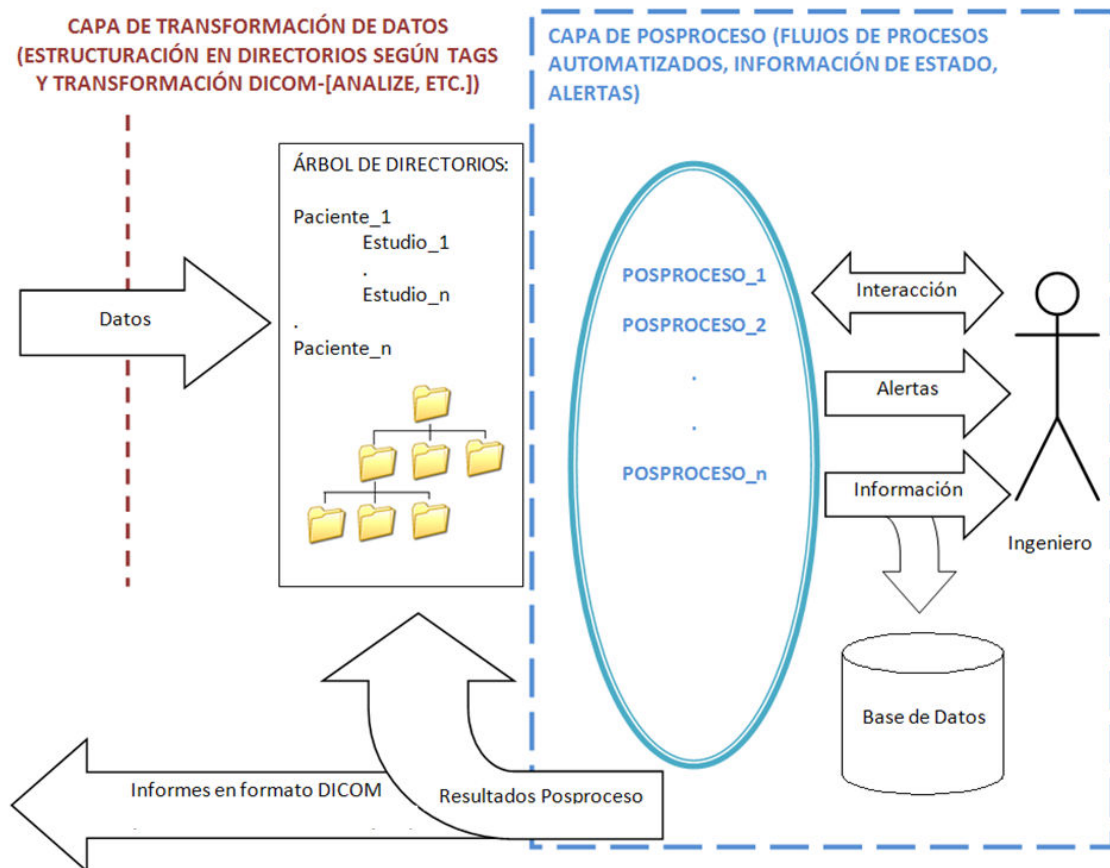


Figura 15. Mapa de procesos dentro de la plataforma IMBIS.

- La plataforma permite entonces lanzar a ejecución varias rutinas informáticas, incluyendo:
 - o Se envía automáticamente una alerta (mediante un e-mail) de que ha sido recibido un trabajo, así como del estado de ejecución de este trabajo.
 - o Posproceso de los datos, ejecutando los algoritmos descritos en capítulos anteriores.

- En el caso de algoritmos que requieran interacción con el usuario (como definición de regiones de interés o introducción de parámetros), la plataforma la solicitará mediante alertas visuales en la interfaz principal.

- En cuanto a la información generada tras el posproceso:
 - Los resultados del posproceso se almacenan en la estructura de directorios del paciente.
 - Cualquier otra información relevante para posteriores análisis estadísticos es seleccionada y almacenada en una base de datos MySQL remota.
 - Los resultados se utilizan para generar automáticamente un informe de posproceso, que se encapsula en un fichero DICOM y se envía al PACS para su almacenamiento y posterior visualización por parte del radiólogo. De este modo, todos los informes de posproceso compartirán formato y localización, y el radiólogo podrá recibir la información necesaria de una manera rápida, sencilla e intuitiva.

5.2.2. Comunicaciones y entorno de IMBIS

La plataforma IMBIS se encuentra instalada en un servidor (Servidor CQV Plataforma) desde el cual los usuarios acceden a la interfaz remotamente, y lanzan los diferentes programas de posproceso. La figura 16 presenta un diagrama del entorno de red de la plataforma IMBIS en el que se aprecia el resto de dispositivos con los que está comunicada.

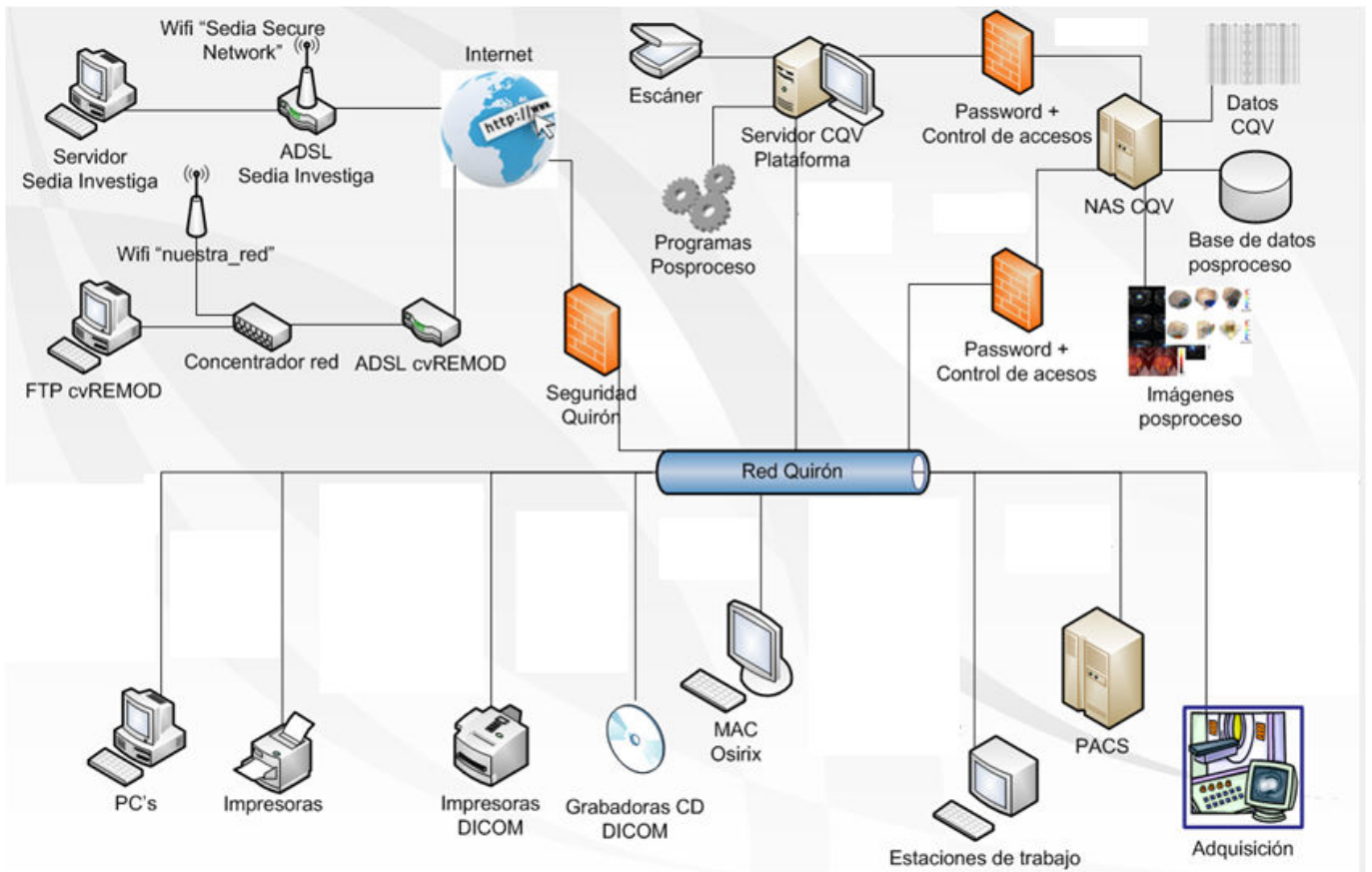


Figura 16. Entorno de red de la plataforma IMBIS.

En lo que se refiere al origen de los datos, estos pueden llegar a través de la red hospitalaria desde el resto de dispositivos de adquisición, otras estaciones de trabajo, o bien desde el PACS, el cual, como se vio anteriormente, es el repositorio principal de imágenes radiológicas del hospital.

El repositorio de datos (resultados de cuantificación, imágenes recibidas, etc.) de la plataforma IMBIS, tal como exige la LOPD, se encuentra bajo medidas adicionales de seguridad, alojado en un Network-attached storage (NAS CQV en la figura 16).

Los informes de cuantificación resultantes de los diferentes programas de posprocesamiento son enviados desde la plataforma IMBIS al PACS a través de la red del hospital.

Cualquier acceso externo a IMBIS desde Internet está controlado, al igual que cualquier otro acceso externo al hospital, por protocolos de seguridad del hospital adicionales, ajenos éstos a la plataforma IMBIS.

5.2.3. Recepción de imágenes y datos

El software implementado está preparado para integrarse en la red del hospital como un nodo DICOM más. Los datos recibidos se almacenan automáticamente en una estructura de árbol de directorios, interpretando los datos de las cabeceras DICOM necesarios para los diferentes procesos de cuantificación previamente definidos. Además, la plataforma IMBIS proporciona varios mecanismos de recepción de imágenes (figura 17):

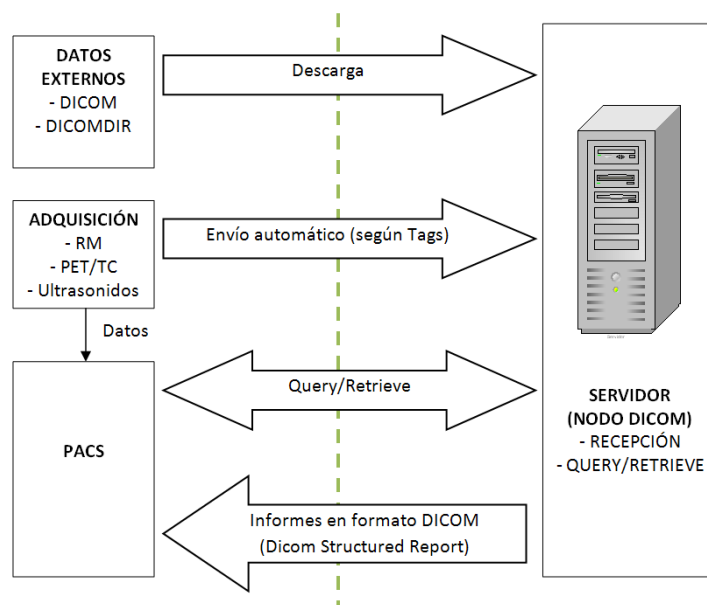


Figura 17. Capa de transporte de datos (Recepción/envío en formato DICOM).

- Descargándolas desde soportes físicos (ej.: DVD, USB storage, etc.).
- Transfiriéndolos desde el PACS a través de la red.
- Realizando queries al PACS mediante el protocolo de comunicación DICOM.
- Directamente desde los dispositivos de adquisición (RM, TC, etc.), si se trata de estudios que requieren posproceso.

Tras recibir un nuevo estudio (conjunto de imágenes), IMBIS comprueba en la base de datos si dicho estudio es nuevo o se corresponde con un fragmento de un estudio ya recibido. En caso de que sea un estudio de nueva recepción, se envía una alerta (mediante un e-mail) a los usuarios indicando que ha sido recibido un nuevo trabajo.

5.2.4. Almacenamiento de datos

Para el almacenamiento y gestión de la información de cuantificación se ha optado por el sistema de gestión de bases de datos relacional MySQL (Oracle Corporation, Redwood City, EEUU). MySQL es un software dedicado a servir de interfaz entre la base de datos, el usuario y las aplicaciones que la utilizan. Posee capacidades multihilo y multiusuario, permitiendo a cualquier aplicación realizar varias operaciones con la base de datos de manera concurrente, y compatibilidad multiplataforma y altas prestaciones en velocidades de acceso a los datos. Los datos almacenados pueden ir desde una variable clínica del paciente hasta el resultado numérico de un determinado biomarcador, como la fracción de anisotropía de un determinado fascículo cerebral. Toda esta información puede recuperarse por medio de consultas que ofrecen una amplia flexibilidad y potencial para su gestión.

Para interactuar con la base de datos y realizar las operaciones de creación, edición, consulta y almacenamiento de informes es necesaria una interfaz eficiente e independiente de la plataforma donde se ejecute el software y los algoritmos de computación. El lenguaje de programación Java cumple ambos requisitos.

5.2.5. Clasificación de datos

Una vez llegan a la plataforma IMBIS, configurada como nodo DICOM para permitir su integración en la red del hospital, los datos recibidos son almacenados automáticamente en una estructura de árbol de directorios, organizada y creada según la información extraída de las cabeceras DICOM. La figura 18 muestra la capa de clasificación de datos y estructuración en directorios según tags de las cabeceras DICOM.

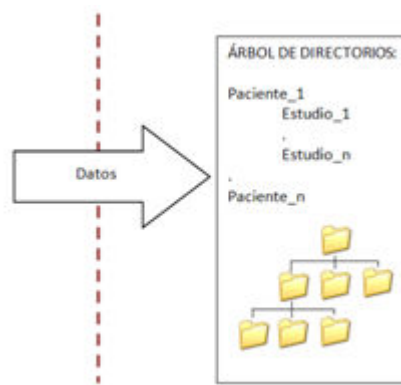


Figura 18. Capa de clasificación de datos y estructuración en directorios según tags de las cabeceras DICOM.

La clasificación de los ficheros DICOM entrantes realizada por la plataforma es equivalente a la de cualquier herramienta comercial, pero adaptada a las necesidades del servicio de cuantificación, y consiste en clasificar las imágenes en directorios con el siguiente orden:

- primer nivel: nombre e id de paciente.
- segundo nivel: nombre del estudio y fecha del estudio.
- tercer nivel: nombre de la serie y hora de la serie.
- cuarto nivel: imágenes nombradas según el tag instancenumber, añadiendo ceros al principio para posibilitar la correcta ordenación.

Se crea un fichero de texto por cada secuencia, conteniendo información detallada y procesada extraída de las cabeceras DICOM de las imágenes, así como información ordenada especificando los diferentes instantes temporales para secuencias de farmacocinética (si procede), los diferentes tiempos de eco (si procede), los diferentes cortes con los desplazamientos y las coordenadas de posicionamiento de paciente en cada uno, y una ruta de directorio que especifica un fichero DICOM del estudio cuya cabecera será utilizada por el módulo generador de informes para enviar y enlazar correctamente el informe de cuantificación en el PACS.

Se considera como imágenes a clasificar todos aquellos ficheros con información relativa al instante de adquisición (tag AcquisitionTime). No obstante, no se desecha ningún fichero DICOM entrante, para lo que se ha programado la capacidad de almacenar estos ficheros en la carpeta "OTROS" dentro del estudio en cuestión, con una nomenclatura automatizada que prevé la no sobreescritura de un fichero sobre otro (es decir, numerando los ficheros). Los tags de la cabecera DICOM se usan del siguiente modo:

```

.../ patientName_patientId
/ studyDescription_studyDate
/ seriesDescription_seriesTime (8 primeros dígitos)
/ instanceNumber

```

Adicionalmente, dada la variabilidad de las diferentes tipologías de estudios de imagen recibidos, la plataforma IMBIS aplica los siguientes criterios dependientes del tipo de secuencia y del fabricante de la estación de adquisición:

Caso Farmacocinética (si tag NumberOfTemporalPositions>1)

Clasificación en instantes temporales: capacidad de clasificar los volúmenes de imágenes según su evolución en el tiempo. En el caso de secuencias con varios instantes temporales (como es el caso de la farmacocinética), el software las detecta automáticamente y clasifica las imágenes siguiendo criterios específicos, añadiendo un nuevo nivel de directorio bajo la carpeta de serie, en el cual se almacenan las carpetas nombradas con los diferentes instantes temporales en centésimas de segundo, contados y calculados desde el instante 0, y colgando de ellas los cortes correspondientes. Además, el software contempla la posibilidad y es compatible con el hecho de que se adquiera una secuencia durante el cambio de un día al siguiente (pasando por las 00:00 horas). En este caso, los tags de la cabecera DICOM se usan del siguiente modo:

```

.../ patientName_patientId
/ studyDescription_studyDate
/ seriesDescription_seriesTime (8 primeros dígitos)
/ instante(centésimas de segundo transcurridas desde el inicio de la secuencia hasta el
dinámico actual; se usan los tags: seriesDate, acquisitionDate, seriesTime,
acquisitionTime)
/ instanceNumber

```

Caso Multieco (si tag nº_ecos>1 [Philips: tag 20011014; GE: tag 0019107E])

Clasificación según tiempos de eco: de forma análoga al caso de farmacocinética, pero considerando diferentes echo-times. Además, se detecta y clasifica automáticamente el caso de mapas de eco. En este caso, los tags de la cabecera DICOM se usan del siguiente modo:

```

.../ patientName_patientId
/ studyDescription_studyDate
/ seriesDescription_seriesTime (8 primeros dígitos)
/ "ECHOTIME"_EchoTime ("MAPA" si EchoTime=0)
/ instanceNumber

```

Caso Difusión Philips (comprobamos si hay valor en Tag20011004)

Se clasifican las imágenes según sus valores B, orientación del gradiente de difusión, direcciones y número de valores B, usando los tags de la cabecera DICOM del siguiente modo:

Isotrópica (Tag20011004="I"):

```
.../ patientName_patientId
/ studyDescription_studyDate
/ seriesDescription_seriesTime (8 primeros dígitos)
/ "ISOTROPICA"
/ Tag20011003 (DiffusionB-Factor)
/ instanceNumber
```

No isotrópica (Tag20011004 no es "I"):

```
.../ patientName_patientId
/ studyDescription_studyDate
/ seriesDescription_seriesTime (8 primeros dígitos)
/ "OTRAS"
/ DiffusionDirection_DiffusionGradientOrientation (usando Tag20011004 y
Tag00189089)
/ Tag20011003 (DiffusionB-Factor)
/ instanceNumber
```

Difusión GE (Clasificación isotrópica según valor B [Tag00431039], comprobamos Tag0021105A para ver si es difusión y Tag001910E0 para comprobar que no es tensor)

Se clasifican las imágenes según sus valores B, orientación del gradiente de difusión, direcciones y número de valores B, usando los tags de la cabecera DICOM del siguiente modo:

```
.../ patientName_patientId
/ studyDescription_studyDate
/ seriesDescription_seriesTime (8 primeros dígitos)
/ "ISOTROPICA"
/ Tag00431039 (valor B)
/ instanceNumber
```

Posproceso (informes de cuantificación descargados desde el PACS)

Para el caso específico de clasificar informes de posproceso ya generados y descargados desde el PACS:

```
.../ patientName_patientId
/ studyDescription_studyDate
/ "POSPROCESO"
```

/ ProtocolName
/ SeriesInstanceUID

TRACTO (tractografiadesde EWS)

.../ patientName_patientId
/ studyDescription_studyDate
/ "TRACTO"
/ seriesDescription_seriesTime

Flujo cardio_2d Philips (comprobamosSeriesDescription)

.../ patientName_patientId
/ studyDescription_studyDate
/ seriesDescription_seriesTime (8 primeros dígitos)
/ 3 opciones:
FASE (Tag20051011="P")
MODULO (Tag20051011="M" e ImageType="ORIGINAL\\PRIMARY\\M_FFE\\M\\FFE")
OTROS (Tag20051011="M" e ImageType no ="ORIGINAL\\PRIMARY\\M_FFE\\M\\FFE")
/ instanceNumber

Flujo cardio_2d GE (comprobamos SeriesDescription)

.../ patientName_patientId
/ studyDescription_studyDate
/ seriesDescription_seriesTime (8 primeros dígitos)
/ 3 opciones:
FASE (Tag00431030="11")
MODULO (Tag00431030="8")
OTROS (Tag00431030= ni "11" ni "8")
/ instanceNumber

5.2.6. Procesos de cuantificación

Desde el formulario principal de la interfaz de la plataforma IMBIS, se puede seleccionar cualquier estudio y lanzar a ejecución el proceso de cuantificación que se elija, ejecutando los algoritmos de posproceso necesarios en cada caso (difusión, perfusión, espectroscopia, volumetría, etc.).

Los procesos de cuantificación de biomarcadores de imagen implementados actualmente son los siguientes:

- Cardio
- Cardio flujo 2D

- Colonoscopia virtual
- Coronariografía
- Cálculo de enfisema pulmonar
- Flujo de líquido cefalorraquídeo
- Morfometría y volumetría cerebral
- Perfusión cerebral
- Próstata - Difusión
- Próstata - Farmacocinética
- Rodilla - Farmacocinética
- Trabécula ósea

El primer paso al lanzar a ejecución cualquier proceso de cuantificación es el preprocesado. El preprocesado de las imágenes es un paso muy importante y necesario en el flujo de un biomarcador de imagen. El objetivo de este tratamiento de imagen es asegurar el correcto funcionamiento de las técnicas de medida, minimizando las diferencias entre los datos, eliminando valores extremos, incrementando la relación señal / ruido de las imágenes, etc. Algunos de estos procesos, en general, se aplican de manera secuencial desde que las imágenes se obtienen directamente del equipo hasta que están listas para aplicar el análisis y modelado que permite la extracción de la información del biomarcador. Los diferentes preprocesados que puede requerir un módulo de cuantificación son los siguientes:

- Corregistro
- Promediado
- Suavizado
- Segmentación
- Filtros de ruido
- Normalización no lineal
- Eliminación de tejido no útil

En el caso de algoritmos que requieran interacción con el usuario (como definición de regiones de interés o introducción de parámetros), la plataforma IMBIS la solicitará mediante alertas por pantalla.

5.2.7. Flujo de datos de posproceso e informe de cuantificación

Para incorporar la información de cuantificación de los biomarcadores de imagen en el flujo de trabajo radiológico de manera completa, clara y concisa se ha implementado el siguiente flujo de información:

- Los resultados del proceso de cuantificación se almacenan en la base de datos MySQL, que centraliza tanto la información relativa a la generación de informes como los datos necesarios para los cálculos de valores de normalidad. La base de datos está interconectada con la plataforma Java (entrada de datos) y con los módulos de generación de informes.
- Las imágenes y mapas paramétricos resultantes se almacenan en la estructura de directorios del paciente.
- Cualquier otra información relevante para posteriores análisis estadísticos es seleccionada y almacenada en la base de datos remota MySQL. Esta información se usa periódicamente para extraer conocimiento estadístico sobre valores de normalidad, que se usan en la generación de sucesivos informes de cuantificación.
- Toda esta información (imágenes + datos + valores de normalidad) se utiliza para generar automáticamente un informe de cuantificación. El módulo de generación de informes utiliza plantillas diseñadas en HTML para todos los tipos de informes de cuantificación (como por ejemplo los de espectroscopia por RM, celularidad y difusión molecular por RM y perfusión-RM con farmacocinética). En la definición de las plantillas personalizadas se ha optado por el uso de HTML (HyperText Markup Language) en lugar del XML (eXtensible Markup Language) propuesto por el estándar DSR. Aunque ambos son lenguajes de marcado, es decir, que incorporan etiquetas o marcas al texto con información adicional acerca de su estructura o presentación, XML se utiliza para describir los datos, mientras que HTML se utiliza para darles formato y mostrarlos. En el escenario actual, XML es la herramienta más común para la transmisión y manipulación de información. No obstante, XML únicamente contiene datos y descriptores, a diferencia de HTML donde los datos y la lógica de la presentación por pantalla están disponibles en el mismo archivo [Hussein et al., 2004]. Por lo tanto, se prefirió HTML ya que las plantillas de informes únicamente poseen funcionalidad estética, ya que toda la información relevante, resultados de los análisis y del diagnóstico se almacenan en una base de datos que aporta mayor versatilidad y

potencial de búsqueda que las plantillas XML. La figura 19 presenta cuatro ejemplos de Informes de cuantificación estructurados. De izquierda a derecha, son el modelado dinámico farmacocinético, el estudio molecular de la difusión del agua, la espectroscopia de próstata y la morfometría cerebral.

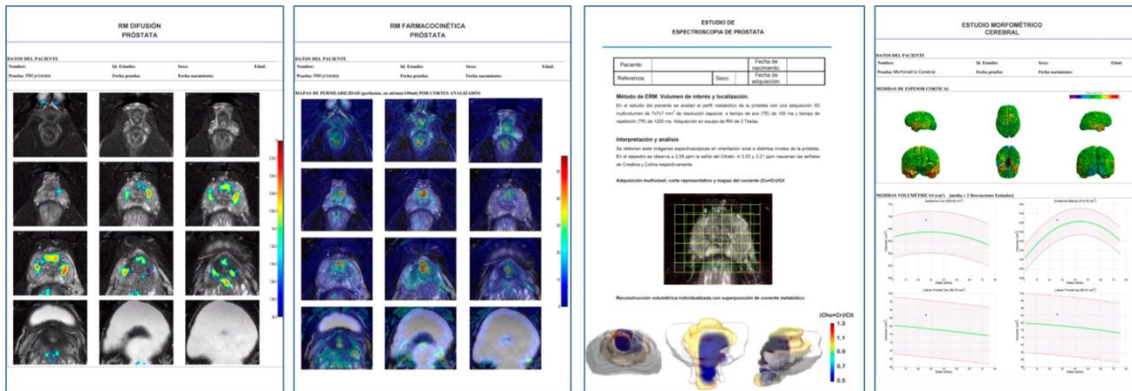


Figura 19. Informes de cuantificación estructurados.

- El informe resultante se envía al PACS para su almacenamiento y posterior visualización por parte del radiólogo. De este modo, todos los informes de posproceso comparten formato y localización, y el radiólogo puede recibir la información necesaria de una manera rápida, sencilla e intuitiva. Para la comunicación con el PACS es necesaria la encapsulación de los informes estructurados de cuantificación en ficheros DICOM, haciendo uso de las librerías dcm4che2 (DICOM Toolkit, dcm4che.org). El nuevo fichero DICOM generado (que contiene el informe de cuantificación) se almacena en el PACS como una secuencia de imagen más dentro del estudio del paciente (figura 20).

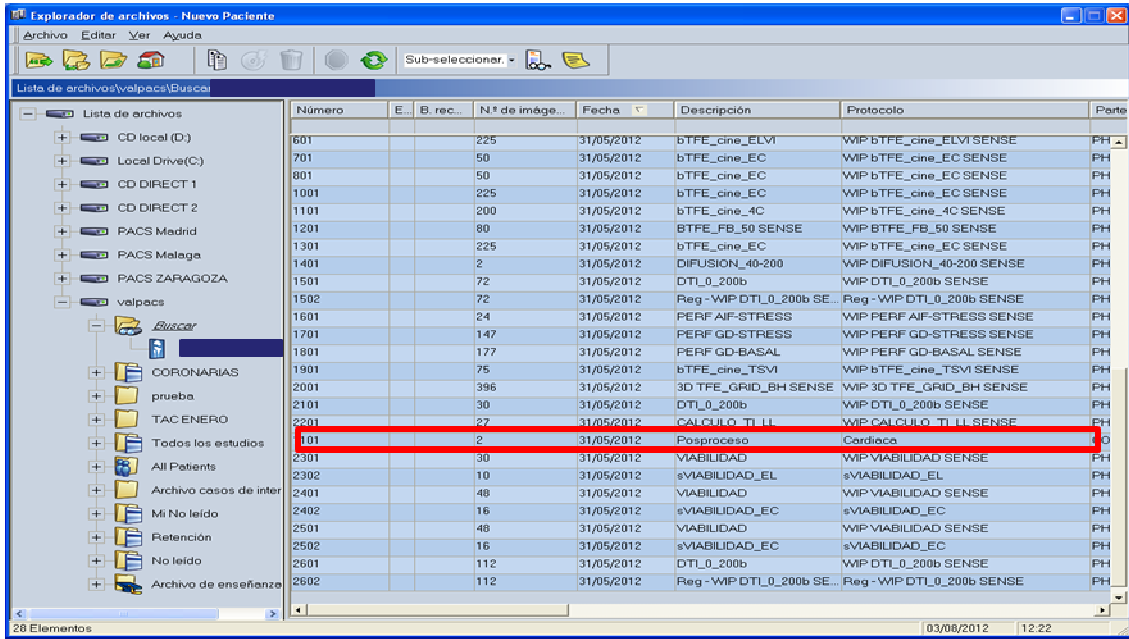


Figura 20. El informe de cuantificación aparece en el PACS como una secuencia de imágenes más dentro del estudio correspondiente al paciente en cuestión.

- Una vez en el PACS (figura 21) y haciendo click en el link correspondiente, el radiólogo puede seleccionar y visualizar el informe sin necesidad de usar ninguna otra aplicación, como si se tratara de una secuencia de imágenes médicas cualquiera.

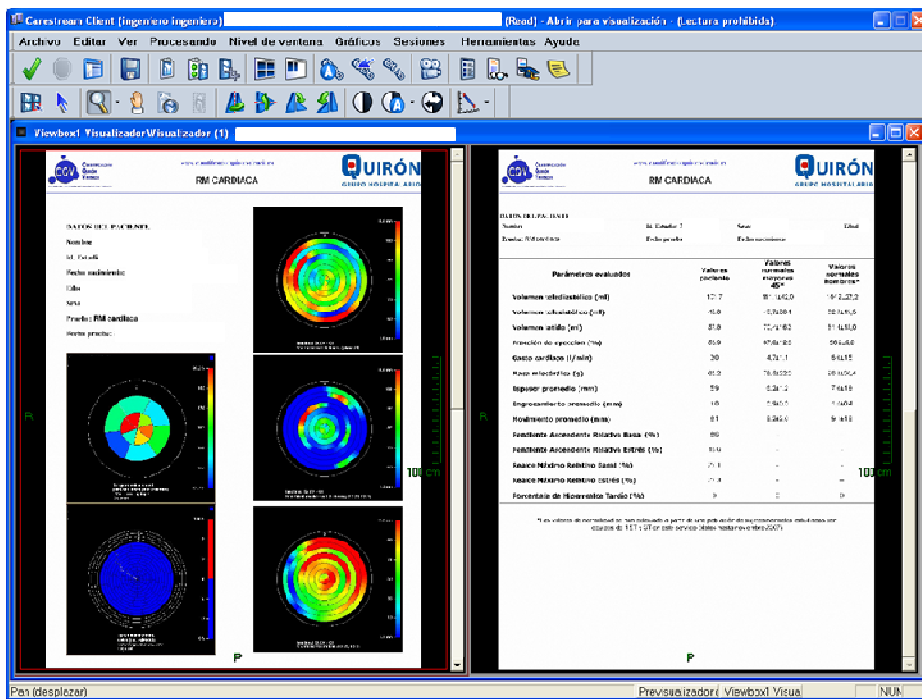


Figura 21. Visualización del informe de cuantificación dentro de la interfaz del PACS.

La figura 22 muestra un esquema resumido de todo el proceso descrito. Como se puede ver, la información de cuantificación contenida en la base de datos se introduce en una plantilla HTML para darle formato. El informe de cuantificación obtenido se envía al PACS aportando información estructurada cuantitativa al informe radiológico final.



Figura 22. Mapa de procesos del informe de cuantificación.

5.2.8. Interfaz de IMBIS

La interfaz de la aplicación contiene todos los elementos y funcionalidades necesarios para la interacción con los usuarios, incluyendo un visor DICOM, un selector de procesos de cuantificación, y ventanas de exploración de estudios y series de imágenes y de información acerca del estado de los procesos de cuantificación en ejecución.

A continuación se presentan dos capturas de pantalla de la interfaz de IMBIS, indicando los controles que se relacionan con los pasos del flujo de información de IMBIS. La figura 23 muestra la interfaz principal de la plataforma IMBIS, con todas las funcionalidades principales indicadas, y la figura 24 muestra la interfaz del módulo de Query/Retrieve, útil para las comunicaciones DICOM con el resto de componentes de la red.

The screenshot shows the main interface of the IMBIS platform, divided into several sections: ESTUDIOS, PROCESOS, and SECUENCIAS. Callouts provide detailed information about each section:

- Listado de estudios:** Points to the 'ESTUDIOS' table, which lists patient and study details.
- Detalle del estado de los procesos del estudio seleccionado:** Points to the 'PROCESOS' table, showing the progress of individual processes.
- Detalle secuencias de estudio seleccionado:** Points to the 'SECUENCIAS' tree view, showing the hierarchy of image sequences.
- Rojo: estudio recién recibido, o error en algún posproceso:** Explains the red status indicator in the 'ESTUDIOS' table.
- Blanco: Nada que destacar. Botón "visto" cambia a este estado:** Explains the white status indicator and the 'Visto' button.
- Verde: estudio con posprocesos finalizado/s:** Explains the green status indicator.
- Ámbar: estudio con posprocesos en ejecución:** Explains the yellow status indicator.
- Gestión de informes: visualización, envío a diferentes Pacs, etc:** Points to the report management controls on the right.
- Visualización secuencia seleccionada:** Points to the DICOM image viewer showing a brain scan.
- Query/Retrieve:** Points to the search and retrieval controls.
- Ejecución de proceso seleccionado:** Points to the 'Procesar' button.
- Selección de tipo de posproceso de cuantificación:** Points to the 'Cardio Flujo2D' dropdown menu.

Figura 23. Interfaz principal de la plataforma IMBIS, con todas las funcionalidades principales indicadas.

The screenshot shows the 'QueryRetrieve' window, which is used for searching and retrieving data. Callouts highlight key features:

- Criterios de búsqueda:** Points to the input fields for PatientName, PatientID, StudyDate, StudyID, and StudyDescription.
- Log de la ejecución:** Points to the 'Process' log area on the right side of the window.
- Origen y destino del Query/Retrieve:** Points to the 'Origen' (PACS_MADRID) and 'Destino' (CQV) dropdown menus.

Figura 24. Interfaz del módulo de Query/Retrieve, útil para las comunicaciones DICOM con el resto de componentes de la red.

6. UTILIDAD DE IMBIS

Para la implantación del uso de los biomarcadores de imagen en el entorno informático de un servicio de radiología, en interacción con todos sus componentes, es de gran utilidad un nuevo elemento: la plataforma de posproceso IMBIS.

Esta plataforma de software se relaciona con el PACS, introduciendo las ventajas inherentes al uso de biomarcadores en el flujo de trabajo de un servicio de radiología.

6.1. Integración en el flujo de información radiológica

La aplicabilidad de técnicas digitales de procesado de imagen para extraer información cuantitativa de las imágenes médicas, que a priori no puede detectarse visualmente, está cambiando el concepto y el flujo de trabajo de la radiología actual.

El flujo de trabajo de posproceso aporta una valiosa información cuantitativa, que llega al radiólogo en forma de informes de posproceso. Éste utiliza esta información para emitir un informe radiológico más completo y preciso. De este modo, y cerrando el ciclo, el clínico especialista dispondrá de una mayor cantidad de información a la hora de emitir su diagnóstico y pautar el tratamiento, con el consecuente beneficio para el paciente.

Si se observa la figura 25, se ve en color rojo el flujo de trabajo añadido que supone la cuantificación de imágenes médicas, flujo éste apoyado en la plataforma IMBIS, en comparación con el flujo radiológico convencional que se presentó anteriormente.

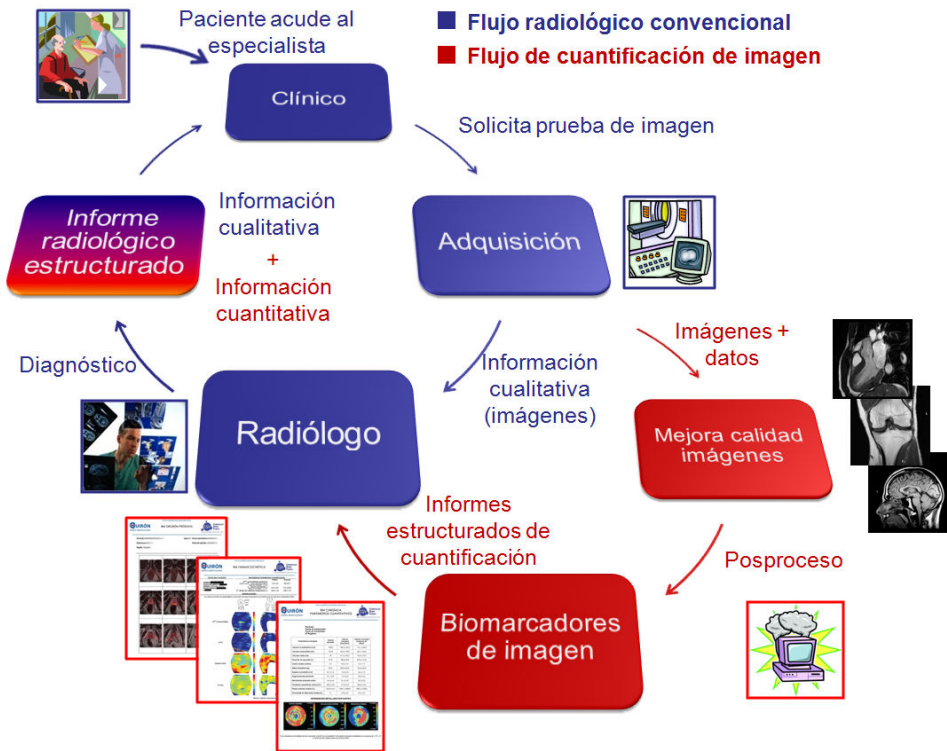


Figura 25. Añadido que supone la cuantificación de imágenes médicas en comparación con el flujo radiológico convencional.

6.2. Caso de estudio: el cáncer de próstata

Para analizar las ventajas y observar un ejemplo de aplicación de los biomarcadores de imagen mediante el uso de la plataforma IMBIS, se plantea a continuación el caso del cáncer de próstata. La detección temprana del cáncer de próstata con una estimación eficaz de su extensión y agresividad es uno de los principales retos de la oncología actual. Con el fin de diagnosticar lesiones en estadios iniciales, surge la necesidad de desarrollar nuevas herramientas diagnósticas que permitan detectar con mayor precisión las lesiones, aun siendo de pequeño tamaño.

6.2.1. Diagnóstico y seguimiento tradicionales

En sus estadios iniciales, el cáncer de próstata es asintomático. No obstante, algunos presentan sintomatología similar a otras enfermedades no cancerosas, como la hiperplasia prostática benigna (BPH). Una forma de detectarlo es el tacto rectal, que es útil en la gradación de la neoplasia después de su detección, o para detectar posibles recidivas después del tratamiento. Otra forma de detección es mediante pruebas de la cantidad de antígeno prostático específico (PSA) en la sangre. El PSA es una sustancia producida por la glándula prostática, tanto por las células normales como por las cancerosas. La mayoría de los hombres sanos tienen niveles menores de 4 ng/ml de sangre. La prevalencia del cáncer de próstata aumenta con el PSA.

Si los resultados de cualquiera de estas pruebas son anormales, suelen necesitarse exploraciones adicionales para confirmar la existencia de una neoplasia, dado que ni la prueba de PSA ni el tacto rectal son infalibles. Estas pruebas pueden tener resultados anormales incluso cuando el cáncer no está presente (falsos positivos), o resultados normales cuando el cáncer existe (falsos negativos). Los falsos positivos pueden acarrear una biopsia de próstata innecesaria (con dolor, riesgo de infección y sangrado), y los falsos negativos pueden dar una falsa sensación de seguridad a pesar de la existencia del cáncer. La biopsia de próstata transrectal es el principal método utilizado para diagnosticar el cáncer de próstata.

La vigilancia activa consiste en una visita al médico con un examen de sangre PSA y tacto rectal cada 3 a 6 meses. En el caso de que el cáncer esté creciendo o empeorando, se puede iniciar el tratamiento. De ahí la importancia de la gradación y seguimiento de la enfermedad. Es necesario, además de detectar la presencia del cáncer de próstata, determinar la agresividad del mismo. Esto ayuda en la toma de decisiones relativas al tratamiento de cada paciente.

Las técnicas de imagen útiles para el estudio del paciente con cáncer de próstata, tales como ecografía y resonancia magnética convencional, no han permitido en numerosas ocasiones detectar la enfermedad en estadios iniciales. En la ecografía, la mayoría de tumores (>50%) son isoecoicos y las lesiones de la glándula central no se aprecian, presentando una baja sensibilidad (39-52%). En la Resonancia Magnética, la imagen T2 muestra el tumor con una sensibilidad que no supera el 67-72% (figura 26).



Figura 26. Cáncer de próstata en paciente de 71 años. En esta imagen T2 se aprecia una zona hipointensa (flechas) que se distingue de la zona hiperintensa periférica [Yu et al., 2008].

6.2.2. Diagnóstico y seguimiento con IMBIS

Con el objetivo de mejorar el diagnóstico y el seguimiento de los tumores malignos se han desarrollado técnicas novedosas de adquisición de imagen funcional en Resonancia Magnética, como son el estudio dinámico con modelado farmacocinético, el estudio de la difusión molecular del agua o la evaluación clínica por espectroscopia añadidas al protocolo convencional de Resonancia Magnética de próstata.

La gran cantidad de información en forma de imágenes y datos generada por estas técnicas no puede evaluarse de manera directa, sino que necesita de la aplicación de técnicas de posproceso de imagen médica para extraer conclusiones relevantes y aportar características de la lesión de manera cuantitativa, mejorando así el diagnóstico y el seguimiento de la enfermedad. Estos biomarcadores de imagen ofrecen medidas exactas y reproducibles de los procesos fisiológicos, y tienen un enorme potencial de aplicación, que los ha convertido en uno de los campos de investigación más activos dentro del diagnóstico por la imagen [Downing, 2001, Marti-Bonmati et al., 2010].

La combinación multivariante de los biomarcadores obtenidos por estas tres técnicas (difusión por RM, perfusión por RM y espectroscopia por RM) es de gran relevancia y supone un incremento significativo en la sensibilidad y especificidad para el diagnóstico y seguimiento del cáncer de próstata. La integración de las metodologías permite la elaboración de tres informes y el almacenamiento de los datos cuantificados en una base de datos estructurada:

- Informe de difusión molecular: Los carcinomas de próstata, así como las metástasis hematológicas y ganglionares, restringen el movimiento de las moléculas de agua más que la glándula. Así pues, un mapa de los coeficientes de difusión (D , D^* y f) como el mostrado en la figura 27 puede emplearse como biomarcador de progresión.

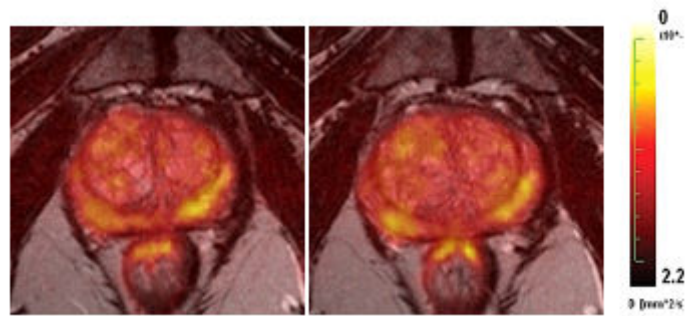


Figura 27. Mapa paramétrico del coeficiente de difusión superpuesto a la imagen anatómica. Aquellas zonas en amarillo presentan elevada restricción a la difusión del agua como consecuencia de aumento de la celularidad y disminución de espacio intersticial por la aparición de una neoplasia maligna.

- Informe de perfusión (farmacocinética): Los carcinomas de próstata captan y lavan más rápidamente que el parénquima, presentando unos valores farmacocinéticos de angiogénesis mayores que la glándula. Así pues, la información de permeabilidad capilar ayuda a diferenciar regionalmente la glándula normal, la prostatitis crónica y el carcinoma de alto grado (figura 28).

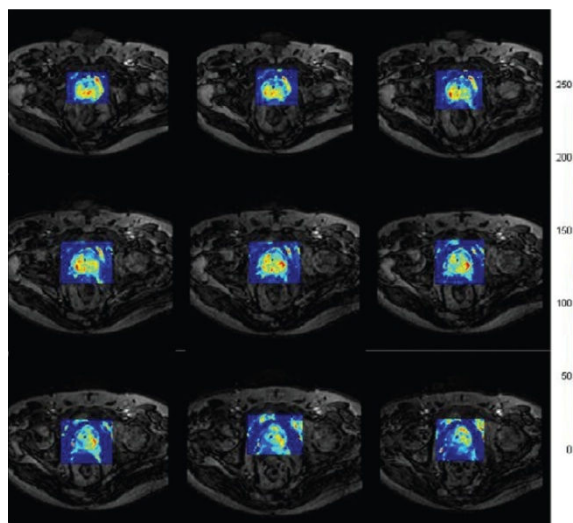


Figura 28. Análisis farmacocinético de la próstata. Superposición de mapa de permeabilidad vascular sobre cortes anatómicos.

- Informe de espectroscopia: La presencia de un carcinoma de próstata implica una modificación del perfil metabólico de la glándula, ocasionando una reducción regional de los niveles de citrato y un aumento de la colina y sus derivados. Por ello, la información relativa a la composición bioquímica de la próstata supone también una importante ayuda para el diagnóstico radiológico. La figura 29 muestra la adquisición de espectroscopia por RM multi-vóxel en glándula prostática, en la que se puede apreciar la rejilla de vóxeles superpuesta a la información anatómica.

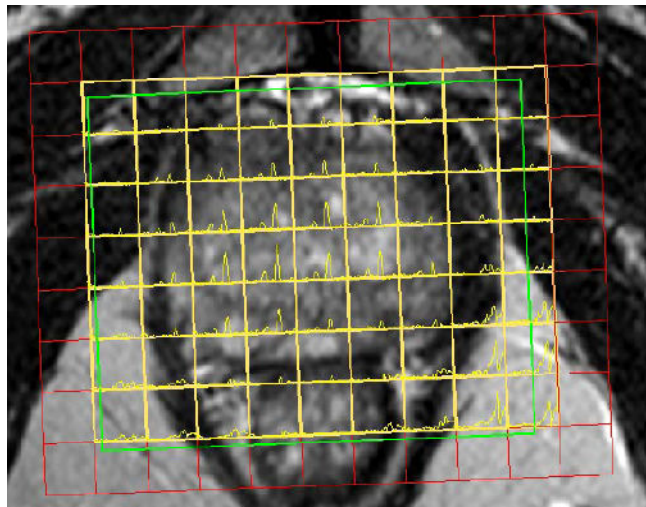


Figura 29. Adquisición de espectroscopia por RM multi-vóxel en glándula prostática.

Mediante los informes de cuantificación generados por la plataforma IMBIS (figura 30) e integrados en el PACS, el clínico puede disponer de toda la información extraíble de las imágenes, tanto de manera directa por análisis visual, como indirecta por técnicas de posproceso para que el diagnóstico del cáncer de próstata sea precoz, sensible y muy específico.

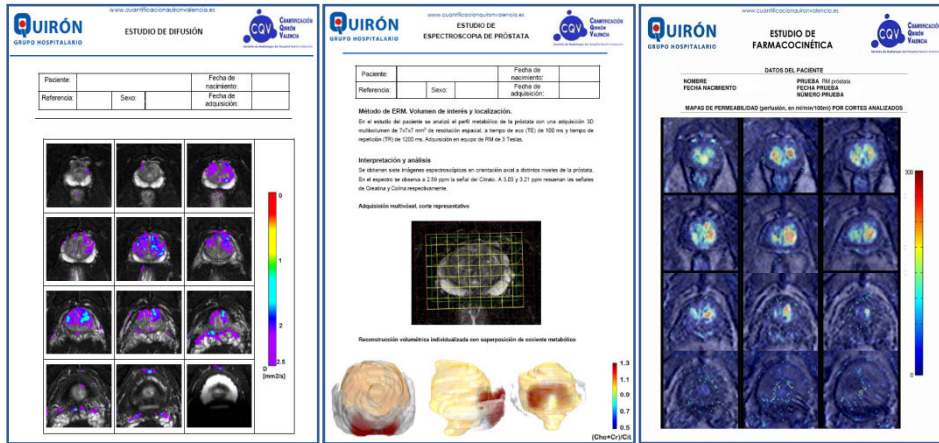


Figura 30. Ejemplos de informes de farmacocinética, difusión y espectroscopia de próstata.

El informe personalizado para cada paciente muestra una selección de los hallazgos más significativos. La innovación en la práctica clínica se completa con la inclusión de la información generada en un informe estructurado, que se presenta en un modo ordenado e intuitivo. Radiólogos y especialistas pueden aprovechar esta información para mejorar la calidad de sus informes y la precisión de sus diagnósticos. Esto se traduce en una mejor calidad de vida de los pacientes, dado que se minimiza la probabilidad de obtener falsos positivos (que implican una preocupación y un tratamiento innecesarios) y falsos negativos (que conllevan un retraso en la detección de la enfermedad y en la aplicación del tratamiento necesario).

7. CONCLUSIONES

Los procesos de cuantificación de imagen presentan tanta variabilidad como los mismos biomarcadores de imagen que buscan cuantificar. En el campo de investigación de los biomarcadores de imagen, la evolución es constante, y los datos sobre los que se hacen los cálculos, así como los criterios que se aplican y los algoritmos que se ejecutan cambian tan constantemente como exige el estado del arte del momento.

Este alto grado de variabilidad en los procesos no sólo está afectado por la evolución científica. Un simple cambio en los protocolos de adquisición de imagen en una máquina del hospital puede exigir modificaciones en el código de los procesos de cuantificación que vayan a utilizar los datos adquiridos por dicha máquina.

Otro factor de variabilidad es el paciente en sí. La medicina moderna está evolucionando hacia el nuevo paradigma de medicina personalizada, con lo que en una situación ideal, deberíamos ser capaces de adaptar los parámetros de cálculo estadístico para un paciente concreto según su edad, sexo, etc.

A pesar de su alto grado de variabilidad, los procesos de cuantificación tienen muchos elementos en común, lo cual obliga a plantear una metodología de desarrollo adecuada, que permita una reusabilidad y modularidad del código desarrollado.

En este documento se la presentado la definición e implementación de una plataforma software (plataforma IMBIS) que incluye los biomarcadores de imagen dentro del flujo de trabajo radiológico. Dicha plataforma permite la la gestión, manejo y proceso de información en formato DICOM, la integración de todos los procesos necesarios y la organización y distribución de la información entre todos los actores del sistema. La plataforma IMBIS se encuentra en uso actualmente en el Hospital Quirón de Valencia.

7.1. Beneficios y aplicabilidad del trabajo

El flujo de trabajo propuesto facilita la inclusión de los biomarcadores de imagen en el flujo de trabajo radiológico como informes de cuantificación estructurados, explotando las posibilidades que ofrecen los avances tecnológicos y la colaboración multidisciplinar. Este proceso acerca el flujo de trabajo radiológico al nuevo paradigma de la medicina personalizada, permitiendo la extracción de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los pacientes individuales. El resultado de los informes de cuantificación contiene información adicional que complementa el diagnóstico radiológico tradicional, al tiempo que mejora su precisión y evaluación en la eficacia de los tratamientos.

El informe radiológico estructurado combina velocidad y eficiencia, permitiendo compartir imágenes clave, observaciones y medidas asociadas con los especialistas y clínicos. A su vez, estandariza los resultados radiológicos y mantiene la trazabilidad de cada hallazgo. Al ser estandarizado y personalizado, asegura que los pacientes reciben la información diagnóstica y el tratamiento adecuado en el momento apropiado, con las mínimas consecuencias negativas y la máxima eficacia.

La importancia de estos informes estructurados y de la metodología implantada radica en su utilidad para realizar análisis y explotar los datos. La explotación de la información contenida en la base de datos nos permite conocer correlaciones entre variables, establecer patrones y utilizar los resultados como un repositorio de datos para uso docente, clínico e investigador.

Además, actualmente se está comenzando a abrir la posibilidad de ofrecer el servicio de realización de informes de cuantificación de biomarcadores de imagen al resto de hospitales del Grupo Quirón en otros puntos del territorio nacional, centralizando el servicio en el Hospital de Valencia gracias a la plataforma IMBIS. Esto es posible mediante el envío de estudios de imagen a través de la red interhospitalaria.

7.2. Limitaciones de los informes de cuantificación

A pesar de que los informes de cuantificación tienen muchas aplicaciones potenciales, deben probarse y verificarse para conocer si realmente produce una mejora de la calidad final del informe. Cualquier implementación de un biomarcador de imagen requiere una evaluación previa y una exhaustiva validación clínica antes de su inserción final en el flujo de trabajo radiológico.

Aunque una de las ventajas del flujo de trabajo propuesto es que tanto el diseño de las plantillas de formato de los informes como la explotación estadística de datos son independientes del PACS, dicha independencia no puede ser total, ya que no todos los PACS proporcionan opciones de visualización de cualquier tipo de fichero dicomizado, lo que limita la escalabilidad de la integración del flujo de trabajo propuesto.

7.3. Transferencia de tecnología

La transferencia de tecnología es la "transferencia de conocimiento sistemático para la elaboración de un producto, la aplicación de un proceso o la prestación de un servicio" (UNCTAD 1990 - Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo).

La plataforma IMBIS engloba los tres componentes citados:

- **Producto:** La plataforma IMBIS es un producto software generado a partir de la implementación de un nuevo flujo de trabajo asociado al diagnóstico clínico.
- **Proceso:** Desde la realización de la adquisición de imagen hasta la generación de los informes clínicos, transcurre un proceso ordenado, cada parte del cual es de vital importancia. Apoyándose en la plataforma IMBIS, se ha definido una serie de etapas en las que están especificadas las entradas y las salidas de manera modular, asegurando la coherencia y la escalabilidad.
- **Servicio:** La tecnología resultante tiene como beneficiarios a los pacientes y a los facultativos. Por un lado, la vertiente clínica, que se corresponde con la generación de nuevo conocimiento para la ayuda al diagnóstico. Por otro lado se presta un servicio a los pacientes, que se benefician directamente de las ventajas de esta tecnología.

Todo el conocimiento generado con la aplicación de este paquete diagnóstico es compatible e integrable en el marco metodológico y tecnológico del Virtual Physiological Human (VPH). El VPH [Clapworthy et al., 2008] es una iniciativa específica de la Unión Europea dentro del Sexto Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico (6º PMIDT), en el que se planteó como principal objetivo contribuir a la creación de un verdadero Espacio Europeo de Investigación (EEI) a través de una mayor integración y coordinación. El VPH tiene como objetivo desarrollar un marco metodológico y tecnológico para facilitar la investigación del cuerpo humano como un sistema integrado. El objetivo principal es desarrollar un enfoque

sistémico que evite las trabas de la subdivisión de los sistemas biológicos, en cualquiera de sus formas, sea por escalas de las dimensiones (cuerpo, órganos, tejidos, células, moléculas), disciplina científica (biología, fisiología, bioquímica, biofísica, biología molecular, bioingeniería) o subsistema anatómico (cardiovascular, osteomuscular, gastrointestinal, etc.).

Este marco permite a los expertos de una amplia variedad de disciplinas trabajar en colaboración, analizar e interrelacionar las observaciones y mediciones obtenidas de múltiples fuentes y desarrollar hipótesis sistémicas. Asimismo, debería hacer posible la combinación de modelos predictivos, definidos a diversas escalas, con una serie de métodos que operan a diferentes niveles de detalle, a fin de producir hipótesis concretas y permitir que su validez sea evaluada con resultados existentes.

7.4. Trabajos futuros

La plataforma IMBIS tiene una interfaz desktop accesible mediante escritorio remoto multiusuario. Un planteamiento para el futuro es crear una interfaz web que permita un acceso remoto más eficiente.

Por otro lado, la mayor parte de los procesos de cuantificación están programados en Matlab. Se plantea la migración de todo el código fuente a lenguajes más estables y eficientes, como Java y C++.

También sería de gran utilidad la realización de un diseño unificado de procesos de cuantificación, que sea modular y que permita la reutilización de código de una manera eficiente y sencilla. Para ello, se pretende estudiar el uso de las Líneas de Producto Software (LPS) [Clements and Northrop, 2011] como una alternativa para gestionar la variabilidad hardware y software existente en los procesos de cuantificación de biomarcadores de imagen. Esta alternativa parece viable, ya que actualmente se pretende usar la plataforma IMBIS para ofrecer el servicio de realización de informes de cuantificación a otros hospitales del Grupo Hospitalario Quirón. Además, las líneas de producto software han sido usadas con éxito en el dominio médico (por ejemplo, Philips Medical Systems [Pronk, 1999]), [Jaring, 2003] [America et al., 2005]) y se pretende explotar su uso para el diseño e implementación de una línea de productos para el Grupo Hospitalario Quirón que tenga en cuenta los atributos de calidad esperados (fiabilidad, safety, testability, portabilidad, modificabilidad) [Wijnstra, 2001].

7.5. Publicaciones relacionadas

Durante el desarrollo de esta Tesis de Máster, se han realizado diferentes contribuciones en modo de publicaciones. A continuación se recopilan dichas publicaciones ordenadas por tipo de publicación:

Revista:

Martí Bonmatí, L., Alberich-Bayarri, A., García-Martí, G., Sanz Requena, R., Pérez Castillo, C., Carot Sierra, J.M., Manjón Herrera, J.V. Biomarcadores de imagen, imagen cuantitativa y bioingeniería, **Radiología** Vol.54 Núm 03, pp. 54:269-78, Elsevier, 2012.

Congresos internacionales y nacionales:

Perez-Castillo C, Martí-Bonmatí L, Sanz-Requena R, Alberich-Bayarri A, Garcia-Marti G, Pomar-Nadal A, Lederhandler S. Post-processing and reporting platform. **European Society for Magnetic Resonance in Medicine and Biology (ESMRMB 2011)** – ITEM 763 (Software exhibit), Leipzig, Germany, October 2011.

Lederhandler S.B, Pomar-Nadal A, Alberich-Bayarri A, Uribe S, Sanz-Requena R, Perez-Castillo C, Martí-Bonmatí L. Feasibility of free-breathing 4D phase contrast-MRI at 3T as a routine integration into the diagnosis of cardiac disease. **European Society for Magnetic Resonance in Medicine and Biology (ESMRMB 2011)** – ITEM 420 (Póster), Leipzig, Germany, October 2011.

Pérez-Castillo C, Pomar-Nadal A, García-Martí G, Alberich-Bayarri A, Sanz-Requena R, Martí-Bonmatí L. Imaging Biomarkers Automated Structured Assembly Pipeline (IB-ASAP.). **III Workshop on Technology for Healthcare and Healthy Lifestyle**. December 2011.

Capítulo de libro:

Pomar Nadal, A., Pérez Castillo, C., Sanz Requena., R. Informe estructurado y flujo de integración clínica. Capítulo 7 de la **Guía de biomarcadores de neuroimagen en esquizofrenia** (2012 EdikaMed, S.L. Josep Tarradellas, 52 - 08029 Barcelona ISBN: 978-84-7877).

Beca:

BECA SERAM (**Sociedad Española de Radiología Médica**) DE PROMOCIÓN Y AYUDA A LA INVESTIGACIÓN. Título del proyecto: “Implantación de una arquitectura software para la generación, almacenamiento y transmisión de informes estructurados DICOM”.
Nº total de investigadores: 5.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Algoritmo: Conjunto prescrito de instrucciones ordenadas que, dados un estado inicial y una entrada, permite realizar una actividad mediante pasos sucesivos para llegar a un estado final y obtener una solución.

Biomarcador: Característica que puede ser medida y evaluada de forma objetiva como indicador de un proceso biológico normal, un proceso biológico patogénico o como respuesta farmacológica a una intervención terapéutica.

Cuantificación: Obtención de información de relevancia médica no perceptible a simple vista, extrayendo medidas físicas, químicas y biológicas de los órganos analizados mediante varios procesos de computación.

DICOM: Acrónimo de Digital Imaging and Communications in Medicine. Se trata de un estándar para el intercambio, manejo, almacenamiento, impresión y transmisión de imágenes médicas.

Imagen médica: conjunto de técnicas y procesos usados para obtener imágenes del cuerpo humano, o partes de él, con propósitos clínicos (procedimientos médicos que buscan revelar, diagnosticar o examinar enfermedades) o para la ciencia médica.

PACS: Acrónimo de Picture Archiving and Communication System. Se trata de un sistema computacional que gestiona las imágenes médicas.

Posproceso: Conjunto de técnicas de computación para la mejora, transformación, clasificación, adecuación y/o extracción de información de imágenes médicas.

Radiología digital: Este término hace referencia a los cambios que el entorno radiológico y el modo de visualizar, almacenar e intercambiar imágenes han experimentado, viéndose beneficiados por la revolución tecnológica de los últimos años.

RIS: Acrónimo de Radiology Information System. Sistema de información que gestiona los datos de los pacientes dentro de un servicio de radiología.

RM (Resonancia Magnética): Técnica de diagnóstico por imagen que emplea un campo magnético de elevada intensidad para polarizar y excitar núcleos de hidrógeno en moléculas de agua de tejidos humanos, produciendo una señal detectable que está codificada espacialmente y que es utilizada para generar imágenes del cuerpo.

TC (Tomografía computarizada): Técnica de diagnóstico por imagen mediante exploración por rayos X. Al rotar alrededor del cuerpo, obtiene múltiples imágenes que una computadora combina para obtener cortes de la parte del cuerpo que está siendo estudiada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achenbach S. Current clinical applications of cardiac computed tomography. *J CardiovascTransl Res* 2011;4:449-58.

Alberich-Bayarri A, Marti-Bonmati L, Pérez MA, Sanz-Requena R, Lerma-Garrido JJ, García-Martí G, Moratal D. Assessment of 2D and 3D fractal dimension measurements of trabecular bone from high-spatial resolution magnetic resonance images at 3 Tesla. *Medical Physics*. 2010. 37:4930-4937.

America P, Hammer D, Mugurel, Ionita MT, Obbink H, and Rommes E. Scenario-based Decision Making for Architectural Variability in Product Families, *Software Process Improvement and Practtice*, 2005; 10: 171–187, John Wiley & Sons, Ltd.

Arana E, Martínez-Granados B, Marti-Bonmati L, Martínez-Bisbal MC, Gil A, Blasco C, Celda B. Demen-tias: diagnostic contribution of imaging and proton magnetic resonance spectroscopy. *Neurologia*. 2007 Jun;22:267-74.

Bosmans J, Weyler J, Schepper A, Parizel P. The radiology report as seen by radiologists and referring clinicians: results of the COVER and ROVER surveys. *Radiology*. 2011; 259: 184-95.

Dcm4che: Open SourceClinicalImage and Object Management, <http://www.dcm4che.org/> , fecha última consulta: 14 de Septiembre 2012.

Clapworthy G, Viceconti M, Coveney PV, Kohl P. The virtual physiological human: building a framework for computational biomedicine I. *Philos Transact A Math PhysEngSci* 2008;366:2975–2978.

Clements P and Northrop L. *Software Product Lines: Practices and Patterns*. Addison-Wesley Professional, 2001.

Clunie DA. *DICOM structuredreporting*. Bangor Pennsylvania Publishing. 2000.

Digital imaging and communications in medicine (DICOM): Website: <http://medical.nema.org>. Publicado el 16 de noviembre de 1994. Actualización 17 de Septiembre de 2007. Acceso el 12 de abril de 2012.

Downing G. Biomarkers Definitions Working Group. Biomarkers and surrogate endpoints. *ClinPharmacolTherap* 2001;69:89-95.

Hacklander, T., J. Martin, and K. Kleber, Informatics in radiology (infoRAD): an open source framework for modification and communication of DICOM objects. *Radiographics* 25(6): pp. 1709-21, 2005.

Heiken, JP; Peterson CM, Menias CO. "Virtual colonoscopy for colorectal cancer screening: current status". *Cancer Imaging*. 2005: S133–S139.

Hussein R, Engelmann U, Schroeter A, Meinzer H. Dicom structured reporting. Part 1. Overview and characteristics. *RadioGraphics*. 2004; 24:891-6.

Jaring M, Krikhaar RL, Bosch J. Representing variability in a family of MRI scanners, *Software Practice and Experience*, 2003; 00:1–7, John Wiley & Sons, Ltd.

Hussein R, Engelmann U, Schroeter A, Meinzer H. Dicom structured reporting. Part 2. Problems and challenges in implementation for PACS workstations. *RadioGraphics*. 2004; 24:897-909.

Leach M.O. et al. The assessment of antiangiogenic and antivasular therapies in early-stage clinical trials using magnetic resonance imaging: issues and recommendations. *Br J Cancer* 2005;92:1599-1610.

Marti-Bonmati L, Alberich-Bayarri A, Sánchez-González. Overload hepatitis: quantitative analysis. *J. Abdom Imaging* (2011).

Martí-Bonmatí L, SanzRequena R, GarcíaMartí G, Flórez YN, AlberichBayarri A. Modelado de sistemas dinámicos en imagen médica. En: *Modelado y Simulación: Ingeniería Biomédica*. Ediciones de la Universidad de Castilla - La Mancha, ISBN 978-84-8427-689-0, 2010.

Martí-Bonmatí L, Tardáguila F, Bonmatí J. El informe radiológico: estilo y contenido (II). *Radiología*. 2004; 46:199-202.

Martínez-Bisbal MC, Arana E, Martí-Bonmatí L, Mollá E, Celda B. Cognitive impairment: classification by 1H magnetic resonance spectroscopy. *Eur J Neurol*. 2004 Mar;11:187-93.

Matsuoka S, Yamashiro T, Washko GR, Kurihara Y, Nakajima Y, Hatabu H. Quantitative CT assessment of chronic obstructive pulmonary disease. *RadioGraphics* 2010;30:55-66.

Nicola M, Jasmi J. XML parsing: a threat to database performance. *Proceedings of the twelfth international conference on Information and knowledge management*.2003. doi>10.1145/956863.956898.

OsiriXImaging Software, <http://www.osirix-viewer.com>, fecha última consulta: 14 de Septiembre 2012.

Padhani AR. Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging as a Cancer Biomarker: Consensus and Recommendations.*Neoplasia*. 2009;11: 102–125.

Pronk B.J., Medical Product Line Architectures –12 years of experience, *Proceedings of the First Working IFIP Conference on Software Architecture*, February 1999.

Reiner B. Customization of medical report data. *J DigitImaging*. 2010; 23:363-73.

Reiner B. The challenges, opportunities, and imperative of structured reporting in medical imaging.*J Digit Imaging*.2009; 22:562-68.

Erturk, M., Alberich-Bayarri, A., Herrmann, K., Marti-Bonmati, L., P.R. Ros. Use of 3.0-T MR Imaging for Evaluation of the Abdomen.*Radiographics*. 2009;29:1547-1563.

Schwartz L, Panicek D, Berk A, Li Y, Hricak H. Improving communication of diagnostic radiology findings through structured reporting. *Radiology*. 2011; 260:174-81.

Sourbron S. P. and Buckley D. L. Tracer kinetic modelling in MRI: estimating perfusion and capillary permeability. *Phys Med Biol* 2012;57:1-33.

Tardáguila F, Martí-Bonmatí L, Bonmatí J. El informe radiológico: filosofía general (I). *Radiología*. 2004; 46:195-8.

Uppaluri R, Mitsa T, Sonka M, Hoffman EA, McLennan G. Quantification of pulmonary emphysema from lung computed tomography images. *Am J RespirCrit Care Med* 1997;156:248-254.

WarnockM., TolandC., EvansD., WallaceB., and NagyP., “Benefits of using the dcm4che dicom archive,” *Journal of Digital Imaging*, Vol. 20, pp. 125–129,2007.

Williams MC, Reid JH, McKillop G, et al. Cardiac and coronary CT comprehensive imaging approach in the assessment of coronary heart disease. *Heart* 2011;97:1198-205.

Wijnstra JG. Quality Attributes and Aspects of a Medical Product Family, Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences – 2001.

Yu JS, Chung JJ, Hong SW, Chung BH, Kim JH, Kim KW. Prostate cancer: added value of subtraction dynamic imaging in 3T magnetic resonance imaging with a phased-array body coil. *Yonsei Med J.* 2008 Oct 31; 49(5):765-74. PMID: 18972597 [PubMed - indexed for MEDLINE].

ANEXO I: DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN INICIAL DE LA PLATAFORMA IMBIS

PT1 - Entrada de datos

Tarea 1.1

Cuando llegan al servidor, configurado como nodo DICOM para permitir su integración en la red del PACS, los datos recibidos son almacenados automáticamente en una estructura de árbol de directorios, organizada y creada según la información extraída de las cabeceras DICOM. Esta tarea implica que nuestro software tenga la capacidad de descifrar los datos de las cabeceras DICOM necesarios para los diferentes posprocesos (farmacocinética, difusión, etc.).

Hitos de esta tarea:

Hito 1.1 - Clasificación de dicom según parámetros concretos (fecha: 31-oct-2011)

Tarea 1.2

La plataforma deberá estar preparada para recibir los datos desde varias vías:

- **Subtarea 1.2.1:** Descargándolos desde dispositivos externos (ej.: DVD). Quedará pendiente la compatibilidad con otros fabricantes (ver tarea correspondiente)
- **Subtarea 1.2.2:** Transfiriéndolos desde el PACS a través de la red. Quedará pendiente la compatibilidad con otros fabricantes (ver tarea correspondiente)
- **Subtarea 1.2.3:** Directamente desde los dispositivos de adquisición (RM, TC). Quedará pendiente la compatibilidad con otros fabricantes (ver tarea correspondiente)

Hitos de esta tarea:

Hito 1.2 – descarga desde dispositivos externos (fecha: 31-oct-2011)

Hito 1.3 – transferencia desde el PACS a través de la red (fecha: 31-oct-2011)

Hito 1.4 – Transferencia desde los dispositivos de adquisición (fecha: 31-oct-2011)

Tarea 1.3

La plataforma dispondrá de un módulo de alertas (mediante e-mail) para indicar que ha sido recibido un trabajo. Este módulo quedará en desuso con la implementación de la interfaz definitiva (ver tarea correspondiente)

Hitos de esta tarea:

Hito 1.5 – Sistema de alertas (fecha: 31-oct-2011)

Tarea 1.4

La plataforma debe tener la funcionalidad de poder hacer Query/retrieve a otros elementos de la red, principalmente al PACS. Esta funcionalidad será implementada mediante módulos de las librerías dcm4che2.

- **Subtarea 1.4.1:** Los resultados obtenidos de la consulta al PACS (query) deberán recibir un tratamiento y un formateo para su presentación en pantalla.
- **Subtarea 1.4.2:** Deberá ser posible hacer peticiones de descarga de imágenes al PACS (retrieves)

Hitos de esta tarea:

Hito 1.6 – organizar salida del módulo query-retrieve (fecha: 23-dic-2011)

Tarea 1.5

Implica la compatibilidad de la plataforma con el resto de estaciones y adquisiciones del HQV (hasta ahora comprobada sólo con la Achieva 3T) y la opción de redireccionar los dicom a diferentes estaciones de trabajo según el tipo de posproceso implicado.

Hitos de esta tarea:

Hito 1.7 – configuración de nodo dicom en estaciones de HQV y redireccionamiento dicom según tipos de posproceso (fecha: 31-ene-2012)

Tarea 1.6

Implica la compatibilidad de la plataforma con un abanico de fabricantes más allá de Philips (Siemens, GE) y con datos externos a GHQ.

Hitos de esta tarea:

Hito 1.8 – testeo plataforma con dicom de otros fabricantes (fecha: durante 2012)

Hito 1.9 – testeos y configuración flujos de datos externos a Quirón Valencia (fecha: durante 2012)

PT2 - Interfaz

La interfaz de la plataforma será el mecanismo de interacción con los usuarios (principalmente ingenieros). La interfaz básica será un formulario o ventana clásica de Windows, y más adelante se implementará una interfaz web para acceso remoto (siempre dentro de la red de Quirón).

Tarea 2.1

Una parte de la interfaz deberá permitir la modificación manual de los registros de la base de datos para la introducción no automática de resultados de posproceso. Esta parte está en estrecha relación con la salida de datos de posproceso, siendo una vía alternativa a la inserción automática.

Hitos de esta tarea:

Hito 2.1 – interfaz inserción resultados posproceso en base de datos (fecha: 31-oct-2011)

Tarea 2.2

La interfaz deberá permitir la visualización de las imágenes dicom que se seleccionen mediante la llamada a un visor dicom pulsando un botón.

Hitos de esta tarea:

Hito 2.2 – visualizador interactivo (fecha: 30-nov-2011)

Tarea 2.3

La interfaz permitirá la exploración de las carpetas donde estén almacenados los datos de entrada de posproceso. Las imágenes pueden transformarse de formato DICOM a otros formatos que faciliten su procesado informático (ANALYZE o NIFTI) mediante un botón.

Hitos de esta tarea:

Hito 2.3 – explorador de pacientes/estudios (fecha: 30-nov-2011)

Tarea 2.4

Dos ventanas de información, además de la de exploración de estudios y series de imágenes, ofrecerán información acerca del estado de los posprocesos en ejecución y de las peticiones de descarga de imágenes o *queries* al PACS.

Hitos de esta tarea:

Hito 2.4 – cola módulo query-retrieve (fecha: 23-dic-2011)

Hito 2.5 – cola posprocesos (fecha: 23-dic-2011)

Tarea 2.5

Se facilitará el acceso a la interfaz de la plataforma mediante una interfaz web, accesible desde la red de Quirón, que siga las debidas medidas y restricciones de seguridad.

Hitos de esta tarea:

Hito 2.6 – WADO-acceso por web a objetos dicom (durante 2012)

PT3 - Posproceso

Tarea 3.1

Los resultados de los diferentes flujos de posproceso son almacenados en una base de datos, que centraliza tanto la información relativa a la generación de informes como los datos necesarios para los cálculos de valores de normalidad. La base de datos resultante de esta tarea se deberá revisar más adelante con la colaboración de los responsables de protección de datos de GHQ para comprobar que se cumple debidamente con la legislación vigente en la materia.

Hitos de esta tarea:

Hito 3.1 – almacenamiento en base de datos de datos del posproceso, incluyendo rutas de imágenes (fecha: 31-oct-2011)

Tarea 3.2

Aunque tengan una funcionalidad completa y den los resultados adecuados, todos los flujos de posproceso requieren de una continua revisión y puesta al día, tanto en lo que respecta a eficiencia en ejecución del software (velocidad en ejecución, seguridad, etc.) como en lo relativo a actualización científica de los algoritmos en relación con el estado del arte más actual en cada momento. Esta tarea incluye la conversión de los diferentes algoritmos desde el lenguaje Matlab (lenguaje en el que están programados actualmente, útil por su simplicidad en fase de diseño pero muy lento en ejecución) a lenguajes de programación más seguros, eficientes y escalables como Java o C++.

Hitos de esta tarea:

Hito 3.2 – optimización de algoritmos de posproceso (proceso cíclico con finalización indefinida)

ANEXO II: EJEMPLO DE INFORME MENSUAL DE ESTADO DE LA PLATAFORMA IMBIS

Seguidamente se describe el estado de los diferentes hitos previstos para la presente mensualidad (octubre 2011).

Hito 1.1 - Clasificación de dicom según parámetros concretos

Se ha concluido la programación del módulo java responsable de clasificar las imágenes según *tags* de las cabeceras *dicom* a la entrada de la plataforma. El módulo incluye las siguientes funcionalidades:

- clasificación genérica: es equivalente a la clasificación de cualquier herramienta comercial, pero adaptada a las necesidades del servicio de cuantificación, y consiste en clasificar las imágenes en directorios con el siguiente orden:
 - primer nivel: nombre e id de paciente.
 - segundo nivel: nombre del estudio y fecha del estudio.
 - tercer nivel: nombre de la serie y hora de la serie.
 - cuarto nivel: imágenes nombradas según el *tag instance number*, añadiendo ceros al principio para posibilitar la correcta ordenación.

- clasificación en instantes temporales: capacidad de clasificar los volúmenes de imágenes según su evolución en el tiempo. En el caso de secuencias con varios instantes temporales (como es el caso de la farmacocinética), el software las detecta automáticamente y clasifica las imágenes siguiendo criterios específicos, añadiendo un nuevo nivel de directorio bajo la carpeta de serie, en el cual se almacenan las carpetas nombradas con los diferentes instantes temporales en centésimas de segundo, contados y calculados desde el instante 0, y colgando de ellas los cortes

correspondientes. Además, el software contempla la posibilidad y es compatible con el hecho de que se adquiera una secuencia durante el cambio de un día al siguiente (pasando por las 00:00 horas).

- clasificación según tiempos de eco: de forma análoga al caso de farmacocinética, pero considerando diferentes *echo times*. Además, se detecta y clasifica automáticamente el caso de mapas de eco.

- se ha programado la capacidad para el caso específico de clasificar informes de posproceso ya generados y descargados desde el PACS.

- clasificación según valores B para secuencias de difusión (añadido en octubre de 2011): Con las debidas modificaciones en la configuración de la sintaxis del nodo de recepción *dicom*, ha sido posible recibir y procesar correctamente la información de las cabeceras *dicom* correspondiente a valores B, orientación del gradiente de difusión, direcciones y número de valores B, y se ha reprogramado el módulo para clasificar los cortes según estos criterios y facilitar así el posproceso correspondiente.

- el módulo considera como imágenes a clasificar todos aquellos ficheros con información relativa al instante de adquisición (*tag AcquisitionTime*). No obstante, no se desecha ningún fichero *dicom* entrante, para lo que se ha programado la capacidad de almacenar estos ficheros en la carpeta "OTROS" dentro del estudio en cuestión, con una nomenclatura automatizada que prevé la no sobreescritura de un fichero sobre otro.

- creación de un fichero de texto por cada secuencia, conteniendo información detallada y procesada extraída de las cabeceras *dicom* de las imágenes, así como información ordenada especificando los diferentes instantes temporales para secuencias de farmacocinética (si procede), los diferentes tiempos de eco (si procede), los diferentes cortes con los desplazamientos y las coordenadas de posicionamiento de paciente en cada uno, y una ruta de directorio que especifica un fichero *dicom* del estudio cuya cabecera será utilizada por el módulo generador de informes para enviar y enlazar correctamente el informe de cuantificación en el PACS.

- La clasificación de imágenes según criterios específicos como instantes temporales, valores B de difusión o tiempos de eco, dependerá de la compatibilidad con el

fabricante en cuestión (ver tarea 1.6), así como del contenido y completitud de las cabeceras de las imágenes a procesar.

Hito 1.2 – Descarga desde dispositivos externos

La plataforma está preparada para cambiar el origen de los datos de entrada, pudiendo procesar imágenes desde otros dispositivos como discos compactos, llaves de memoria usb, etc. mediante la selección de un fichero de configuración diferente al del nodo de red *dicom*.

Hito 1.3 – Transferencia desde el PACS a través de la red

La plataforma procesa y clasifica estudios enviados desde el PACS a través de la red. No obstante, la clasificación según datos de difusión de las imágenes recibidas por esta vía no es posible por el momento debido a alteraciones de estos tags de las cabeceras *dicom* en el PACS, inconveniente en proceso de resolución (comunicaciones con *Carestream*).

Hito 1.4 – Transferencia desde los dispositivos de adquisición

Al tener la funcionalidad de ser configurada como nodo *dicom*, la plataforma está preparada para recibir imágenes desde cualquier dispositivo de la red compatible con el estándar *dicom*.

Hito 1.5 – Sistema de alertas

La plataforma dispone de un módulo de alertas (mediante e-mail) para indicar que ha sido recibido un trabajo. Las alertas de este módulo serán complementarias con la implementación de la interfaz definitiva (ver tareas correspondientes en PT2).

Hito 2.1 – Interfaz inserción resultados posproceso en base de datos

Al haber escogido *MySQL* para implementar la base de datos de resultados de posproceso, durante esta mensualidad se ha instalado y configurado en el NAS (servidor de datos remoto) la aplicación *PhpMyAdmin* para gestionar la base de datos, posibilitando la manipulación de los datos de las tablas por acceso web más allá de las operaciones llevadas a cabo por la plataforma.

Hito 4.1 – Almacenamiento en base de datos de datos del posproceso, incluyendo rutas de imágenes

Tras las pruebas iniciales con *MSAccess*, durante esta mensualidad se ha procedido a la implementación de la base de datos de almacenamiento de resultados de posproceso utilizando el sistema de gestión de bases de datos relacional *MySQL*, con funcionalidades multihilo y multiusuario, y siguiendo los requisitos estructurales propuestos por todos los miembros del grupo de cuantificación. Además, siguiendo las recomendaciones legales en materia de protección de datos, la base de datos se ha instalado en el servidor de datos remoto (NAS), sito en la sala de servidores informáticos, con controles de seguridad tanto físicos (protegido por doble cerradura) como virtuales (control de acceso de usuarios y contraseña). Durante noviembre de 2011 se concluirá la migración de las tablas correspondientes a cada flujo de posproceso desde *MSAccess* a *MySQL*.

