

Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 2



Componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias

Trabajo de Diploma para optar por el Título de
Ingeniero en Ciencias Informáticas

Autores: Claudia Aguilera Pérez
Yendry Castañera León

Tutores: Ing. Alexander Rodríguez Bonet
MSc. Yisel Reyes Cardoso

La Habana, 25 de Junio de 2015

“Año 57 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaramos que somos los únicos autores de este trabajo y autorizamos a la Universidad de las Ciencias Informáticas a hacer uso del mismo en su beneficio.

Para que así conste firmamos la presente a los 25 días del mes de Junio del año 2015.

Autores:

Claudia Aguilera Pérez

Yendry Castañera León

Tutores:

Ing. Alexander Rodríguez Bonet

MSc. Yisel Reyes Cardoso

DATOS DE CONTACTO

Tutores:

Ing. Alexander Rodríguez Bonet (abonet@uci.cu)

Graduado de Ingeniero en Ciencias Informáticas (2009) en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI). Es Jefe del Departamento de Desarrollo de Aplicaciones del Centro Telemática de la Facultad 2 y profesor con la categoría docente de Asistente. Ha impartido en pregrado las asignaturas de Matemática I, Matemática II, Matemática III, Matemática IV y Álgebra Lineal. Ha trabajado en investigaciones de procesamiento de imágenes del corazón vinculado al Departamento de Software Médico Imagenológico del Centro de Informática Médica. En esta línea está matriculado en la Maestría de Informática Aplicada y ha tutorado 3 trabajos de diploma relacionados con el tema.

MSc. Yisel Reyes Cardoso (ycardoso@uci.cu)

Graduada de Ingeniero en Ciencias Informáticas (2008) en la UCI y Máster en Informática en Salud en el 2014. Se desempeña como metodóloga de Capacitación y Desarrollo del Centro de Informática Médica con la categoría docente de Asistente. Ha impartido en pregrado las asignaturas de Matemática Discreta, Álgebra Lineal e Investigación de Operaciones, siendo jefa de asignatura de las dos últimas. Desde el 2008 ha estado vinculada a proyectos productivos ocupando los roles de Líder de proyecto, Analista y Planificadora. Actualmente es la planificadora del proyecto PACS-RIS, contribuyendo en investigaciones del mismo.

DEDICATORIA

De Yendry:

A mis dos tesoros, mi madre y mi hermana. Mi madre por ser mi guía, apoyo e inspiración durante tantos años.

A mi hermana, por ser lo más grande que tengo en la vida. Gracias por soportar mi mal genio tantas y tantas veces.

A mi padrastro Rafael, por estar cuando más falta me hacía, por encargarse de mi bienestar y cuidar de mis dos tesoros.

A mi querida abuela Ofelia.

A mi padre.

A mi familia en general, por apoyarme y preocuparse tanto por mi carrera, este trabajo y esfuerzo de tantos años es gracias a ustedes.

De Claudia:

A mi mamá por siempre confiar en mí, cuando nadie más lo hacía.

A mi papito que padece de cardiopatía isquémica y pensando en él, puse todo mi dedicación y esfuerzo en esta investigación.

A mi abuelo Catalá.

A mis bellos sobrinos, que espero que sigan el ejemplo de su tía y lleguen más lejos de lo que ella ha llegado.

A mi abuela, mis hermanos, mis tios y a toda mi familia en general por ser los mejores.

AGRADECIMIENTOS

De Yendry:

A Bonet, nuestro tutor.

De Claudia:

Agradezco a mi abuelo Catalá, que aunque no está físicamente conmigo, ha permanecido a mi lado, cuidándome y protegiéndome.

A mi mamuchi por su amor incondicional, por ser mi modelo de mujer a seguir, por depositar toda su fe en mí, por sus consejos, su sacrificio durante todos estos años y su apoyo incondicional. Eres una persona excepcional.

A mi papito por contribuir a convertirme en la mujer que soy hoy y por estar siempre cuando lo necesito.

A mi abuelita por sus mimos, su ternura y sus cuidados.

A mis hermanas Yeneysis y Yudmila por ser mis confidentes y mis mejores amigas.

A los pequeñuelos de mi vida, mis sobrinos les agradezco sus besos y sus sonrisas.

A todos los amigos que hice durante los 5 años de mi carrera que hicieron de mi vida en esta universidad un lugar más bonito en especial a Jairo, Yanelis, Yuliet, Amigo, mi tocaya Clau, a los chicos más fashion del grupo.

A Alberto por aguantarme y estar conmigo en las buenas y en las malas.

A mi tutor Bonet, por guiarnos y brindarnos siempre su ayuda.

Gracias a todas aquellas personas que han influido en mi carrera de una forma u otra!

RESUMEN

La identificación de grupos de personas con alto riesgo de sufrir enfermedades coronarias constituye una estrategia necesaria, debido a que esta enfermedad representa la principal causa de muerte en el mundo. La medición de calcio en las arterias coronarias por tomografía se ha convertido en un estudio de punta en el diagnóstico de enfermedades isquémicas. Este cálculo se puede realizar en Cuba, solamente en los equipos médicos y no en las estaciones de diagnóstico habituales, lo que imposibilita que el especialista realice un análisis de un caso cuando lo necesite por la poca disponibilidad de tomógrafos y la alta cantidad de estudios que se realizan diariamente. Esto trae consigo un atraso en el estudio y diagnóstico del paciente.

Por tal motivo se decidió desarrollar un componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias detectado por tomografía, desde cualquier estación de visualización. Se utilizó para la cuantificación de las lesiones el método Agatston y la combinación de dos métodos de procesamiento de imágenes, la Umbralización y *Connected Threshold*. Para validar el componente se realizaron pruebas en tres estudios previamente diagnosticados en la estación de visualización de un tomógrafo Siemens del Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. La efectividad aproximada que arrojó el componente en el cálculo fue de un 90%.

Con la implementación de este componente, se incrementará el acceso de los especialistas a esta funcionalidad. Por consiguiente se brindará rapidez en el proceso de atención y tratamiento del paciente, permitiendo así alcanzar una mayor calidad de vida en la población.

Palabras clave: tomografía, coronarias, puntaje de calcio, procesamiento de imágenes.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL COMPONENTE PARA LA MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS	16
1.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	16
1.2. TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA.....	18
1.3. IMAGEN DIGITAL	19
1.4. PROCESAMIENTO DE IMAGEN DIGITAL	20
1.5. UNIDADES HOUNSFIELD	24
1.6. DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE CALCIO CORONARIO (<i>CALCIUM SCORE</i>).....	26
1.7. SISTEMAS QUE REALIZAN EL CÁLCULO DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS	28
1.8. TECNOLOGÍA, METODOLOGÍA, LENGUAJE, LIBRERÍAS Y HERRAMIENTAS A UTILIZAR.....	31
CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DEL COMPONENTE PARA LA MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS	35
2.1. PROCESO DE MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS EN LA ESTACIÓN DE VISUALIZACIÓN DEL TOMÓGRAFO.....	35
2.2. MODELO DE DOMINIO	35
2.3. ESPECIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SOFTWARE	37
2.4. SISTEMA PROPUESTO	40
2.5. DEFINICIÓN DE LOS ACTORES DEL SISTEMA	42
2.6. DIAGRAMA DE CASOS DE USO DEL SISTEMA.....	42
2.7. DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS DE USO DEL SISTEMA.....	43
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL COMPONENTE PARA LA MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS	46
3.1. DISEÑO.....	46
3.2. DIAGRAMAS DE CLASES DEL DISEÑO	46
3.3. DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN	47
3.4. MODELO ARQUITECTÓNICO.....	50
3.5. PATRONES DE DISEÑO	50
CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DEL COMPONENTE PARA LA MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS	54
4.1. DIAGRAMA DE COMPONENTES.....	54
4.2. ESTÁNDAR DE CODIFICACIÓN	55
4.3. FRAGMENTOS DE PSEUDOCÓDIGO	55
4.4. VALIDACIÓN DEL COMPONENTE PARA LA MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS.....	57

RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	69
ANEXOS	76
ANEXO 1: PREFIJOS DE LOS REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES POR CATEGORÍA.....	76
ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE LAS CLASES	76
GLOSARIO DE TÉRMINOS	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. NÚMERO DE DEFUNCIONES ASOCIADAS A ENFERMEDADES DEL CORAZÓN EN EL PERÍODO DEL 2010-2014 (5).....	11
ILUSTRACIÓN 2. ARTERIAS CORONARIAS (9).....	17
ILUSTRACIÓN 3. PARED INTERIOR DE LA ARTERIA CORONARIA (14)	18
ILUSTRACIÓN 4. PLANOS DE ORIENTACIÓN (18)	19
ILUSTRACIÓN 5. EJEMPLO DE LA SEGMENTACIÓN (A) IMAGEN ORIGINAL CORRESPONDIENTE A UNA VENTRICULOGRAFÍA (B) SEGMENTACIÓN OBTENIDA MEDIANTE UN UMBRAL (21)	23
ILUSTRACIÓN 6. VALORES DE ATENUACIÓN (EN UH) PARA DIFERENTES TEJIDOS HUMANOS (30).....	25
ILUSTRACIÓN 7. MODELO DE DOMINIO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	36
ILUSTRACIÓN 8. DIAGRAMA DE REQUISITOS FUNCIONALES DEL COMPONENTE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	38
ILUSTRACIÓN 9. PROCESO DE MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS: (A) IMAGEN ORIGINAL DE TOMOGRAFÍA, (B) UMBRALIZACIÓN BASADA EN UN UMBRAL FIJO, (C) ALGORITMO CONNECTED THRESHOLD, (D) RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DEL PUNTAJE DE CALCIO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA) .	42
ILUSTRACIÓN 10. DIAGRAMA DE CASOS DE USOS DEL COMPONENTE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	43
ILUSTRACIÓN 11. DIAGRAMA DE CLASES DEL DISEÑO: CALCULAR PUNTUACIÓN DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	47
ILUSTRACIÓN 12. DIAGRAMA DE SECUENCIA: CALCULAR PUNTUACIÓN DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	49
ILUSTRACIÓN 13. ARQUITECTURA TUBERÍAS Y FILTROS DEL COMPONENTE PARA LA MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	50

ILUSTRACIÓN 14. CLASE FACTORYARTERY DONDE SE EVIDENCIA EL USO DEL PATRÓN SIMPLE FACTORY (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	51
ILUSTRACIÓN 15. CLASE MAINFACTORY DONDE SE EVIDENCIA EL USO DEL PATRÓN SIMPLE FACTORY (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	52
ILUSTRACIÓN 16. CLASE VIEWER DONDE SE EVIDENCIA LA UTILIZACIÓN DE PATRONES DE DISEÑO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	53
ILUSTRACIÓN 17. DIAGRAMA DE COMPONENTES DEL COMPONENTE PARA LA MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	54
ILUSTRACIÓN 18. PSEUDOCÓDIGO DEL ALGORITMO CONENCTEDREGIÓN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	56
ILUSTRACIÓN 19. PSEUDOCÓDIGO DEL ALGORITMO CONNECTEDTHRESHOLD (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	57

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LA OBSTRUCCIÓN DE LA ARTERIA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	27
TABLA 2. CLASES Y CONCEPTOS DEL MODELO DE DOMINIO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	36
TABLA 3. REQUISITOS FUNCIONALES (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	37
TABLA 4. DIAGRAMA DE REQUISITOS NO FUNCIONALES DEL COMPONENTE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	39
TABLA 5. ACTOR DEL SISTEMA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	42
TABLA 6. CASO DE USO CALCULAR PUNTUACIÓN DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	44
TABLA 7. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL DIAGRAMA DE COMPONENTES (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	55
TABLA 8. VALIDACIÓN DE LA MEDICIÓN DEL ESTUDIO 1 (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	58
TABLA 9. VALIDACIÓN DE LA MEDICIÓN DEL ESTUDIO 2 (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	58
TABLA 10. VALIDACIÓN DE LA MEDICIÓN DEL ESTUDIO 3 (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	58

INTRODUCCIÓN

Antes del descubrimiento de los rayos X (RX) en 1895, la medicina estaba limitada por la falta de técnicas para observar el interior del cuerpo humano, el diagnóstico dependía prácticamente de la evaluación clínica. Gracias a los avances tecnológicos de la sociedad, el cuidado de la salud ha sido transformado con la utilización de equipos médicos de alta tecnología para la adquisición y procesamiento de imágenes. En este contexto, una gran influencia ha tenido el surgimiento y desarrollo de la Imagenología como especialidad médica. La misma se encarga del análisis y el diagnóstico de patologías a partir de las imágenes médicas digitales generadas por los equipos médicos (1).

Las modalidades de diagnóstico por imágenes permiten la recopilación de información anatómica muy completa y de alta calidad; lo que ha conllevado a revolucionar la manera de diagnosticar y tratar a los pacientes de forma más eficiente, precisa y no invasiva. Entre ellas se encuentran la Resonancia Magnética (RM), la Radiografía Computarizada (RC), la Mamografía (MG) y la Tomografía Axial Computarizada (TAC). Esta última ha evolucionado hacia otras técnicas como la Tomografía Axial Computarizada Multicorte (TACM), que propicia la adquisición de las imágenes con mayor detalle al obtener imágenes de grosor menores a 1 mm (3). Además al combinar una mayor resolución espacial y temporal ha facilitado el estudio de estructuras de pequeño tamaño, por lo que se postula actualmente como la técnica de elección para el estudio de la estructura interna del corazón.

En el mundo las enfermedades cardiovasculares ocupan el primer lugar como causa de morbimortalidad, la Organización Mundial de Salud (OMS) (4) afirma que en el 2012 se recogió la cifra de 17.5 millones de personas fallecidas por estas enfermedades. Según el Anuario Estadístico de Salud emitido por el Ministerio de Salud Pública (MINSAP) (5) en el 2015 en Cuba, la incidencia y prevalencia de cardiopatías coronarias es alta (Ver Ilustración 1). Durante muchos años fue la principal causa de muerte, desplazándose al segundo lugar a partir del 2012. El 67 % de las muertes por enfermedades del corazón ocurre por enfermedades isquémicas.

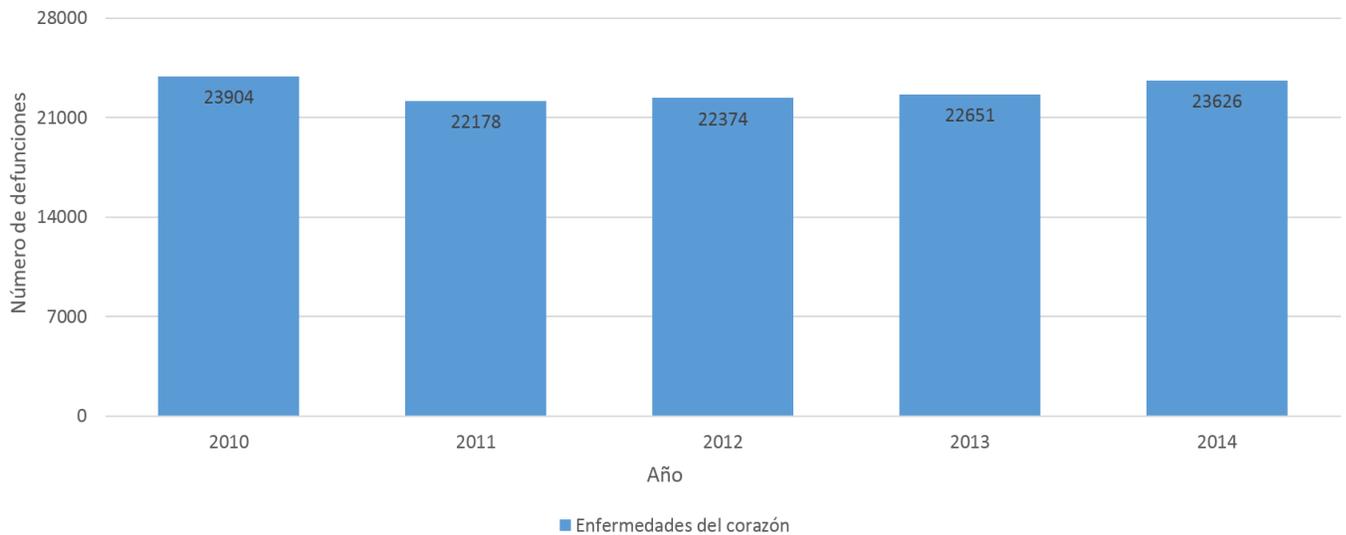


Ilustración 1. Número de defunciones asociadas a enfermedades del corazón en el período del 2010-2014 (5)

Actualmente una de las aplicaciones relevantes para la detección de enfermedades del corazón, es la determinación y cuantificación del depósito de calcio (calcium score) en las arterias coronarias. Es un estudio que ayuda a determinar si la formación de placa calcificada por la acumulación de grasa, colesterol y otras sustancias ha producido el estrechamiento de las arterias coronarias de un paciente. Es un examen altamente sensible y específico que ha demostrado ser una potente herramienta para predecir futuros eventos cardiovasculares (3). Se puede predecir si el paciente tiene una obstrucción de la arteria severa, moderada o leve y tomar decisiones sobre el tratamiento a seguir por el mismo, el descarte de nuevos estudios o la indicación de otros complementarios.

Al mismo tiempo permite el diagnóstico precoz de pacientes afectados de enfermedades coronarias como la arteriosclerosis y por consiguiente, contribuir a evitar la presencia de eventos coronarios fuertes como infarto de miocardio, angina de pecho y hasta la muerte súbita. Su desarrollo a tiempo es de vital importancia para posibilitar grandes oportunidades para pacientes asintomáticos y especialmente en los pacientes calificados como de alto riesgo cardiovascular, a través del cambio del estilo de vida, de la modificación de los factores de riesgo y el oportuno tratamiento farmacológico.

En el mundo, grandes empresas han desarrollado tecnología de punta para equipos médicos y software como los sistemas para el Almacenamiento, Transmisión, Visualización y el Procesamiento de imágenes médicas (PACS, por sus siglas en inglés) (6). Por la necesidad de comunicación de estos sistemas con los equipos

Componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias

Introducción

médicos surge el estándar DICOM (por sus siglas en inglés Digital Imaging and Communication in Medicine) (7), con el objetivo de estandarizar la gestión y transmisión de imágenes médicas digitales. Las soluciones PACS requieren un gran despliegue de tecnología que incluye: instalaciones de red, equipos médicos de adquisición de imágenes digitales y ordenadores con altas prestaciones de hardware.

En la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), en el Centro de Informática Médica (CESIM) se desarrolló un visor de imágenes médicas de propósito general *PACSViewer*. Dicho sistema se encuentra desplegado en algunos hospitales del país y en instituciones venezolanas. Aunque el visor no cuenta con funcionalidades especializadas en cardiología, brinda herramientas como la aplicación de brillo y contraste, la ampliación, mediciones y comparación visual con otras imágenes. Las mismas pueden ayudar en el análisis de las imágenes médicas digitales para llevar a cabo la medición de calcio coronario, pero es un proceso engorroso e imperfecto. Con frecuencia las manifestaciones de lesiones son sutiles y se confunden con afecciones benignas, lo que influye negativamente en los diagnósticos.

El proceso de detección y cuantificación de anomalías en un paciente determinado es un proceso muy tedioso que puede llevar a un especialista alrededor de una hora, dado que los mismos deben analizar grandes cantidades de datos utilizando diferentes esquemas de visualización. Conjuntamente se debe determinar área, máximo de intensidades y un conjunto de operaciones donde el factor humano introduciría demasiado error de aproximación. Los especialistas se valen de su experiencia para complementar su proceso de diagnóstico; hecho por el cual el dictamen de un especialista puede diferir de la valoración de otro.

En la actualidad, el cálculo del *calcium score* en Cuba es posible realizarlo en las estaciones de visualización de los equipos de TACM existentes en el país, condicionando su uso a las mismas y requiriendo la presencia del especialista para su evaluación e informe. Esto imposibilita realizar el procedimiento desde otra estación de diagnóstico habitual. Diariamente se realizan una gran cantidad de estudios en estos equipos por lo que puede suceder que cuando el especialista necesite analizar un caso, el tomógrafo esté ocupado en ese momento y tenga que postergar el estudio. Las estaciones de trabajos son pocas y su adquisición se ve limitada por el alto precio. La poca disponibilidad de los equipos puede traer consigo una demora en el estudio y diagnóstico de los pacientes, lo que provoca que la atención recibida por los mismos no sea óptima y que en ocasiones no se detecten a tiempo situaciones que luego conducen a complicaciones o la muerte.

Por lo antes planteado se identifica como **problema de la investigación**: ¿Cómo medir la puntuación de calcio en las arterias coronarias a partir de las imágenes de tomografía desde cualquier estación de visualización?

Este problema se enmarca en el **objeto de estudio**: los métodos de procesamiento de imágenes médicas de tomografía siendo el **campo de acción**: las técnicas para la segmentación de calcio en las arterias coronarias detectado por imágenes de tomografía.

La presente investigación tiene como **objetivo general**: desarrollar un componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias detectado por tomografía, desde cualquier estación de visualización.

Para dar solución al objetivo general planteado se proponen las siguientes **tareas de la investigación**:

- Análisis de los referentes teóricos relacionados con los métodos de procesamiento de imágenes médicas en los estudios de tomografía.
- Generación de los artefactos propuestos por la metodología de desarrollo de software Proceso Racional Unificado (RUP).
- Diseño del componente para el cálculo del puntaje de calcio.
- Implementación del componente para el cálculo del puntaje de calcio.
- Validación de los resultados alcanzados por el componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias.

Los **métodos científicos teóricos** utilizados para apoyar esta investigación son:

- **Histórico-Lógico**: se hace un estudio de la evolución y desarrollo de los métodos de procesamiento de imágenes médicas de tomografía y los principales conceptos asociados a los mismos.
- **Analítico-Sintético**: se analiza la información disponible para realizar una investigación sobre las técnicas para el procesamiento de imágenes médicas de tomografía. Este método permite analizar los principales conceptos, definiciones y soluciones ya existentes.
- **Modelación**: permite realizar una representación de la realidad a través de diagramas de clases, de flujo y de componentes que permitan comprender el funcionamiento del sistema.

Estructura del documento:

Capítulo 1: Fundamentación teórica del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias.

Se realiza la fundamentación teórica en la que se sustenta la investigación. Brinda la información del estudio de las principales técnicas de procesamiento de imágenes. Se exponen conceptos relacionados con las calcificaciones y el cálculo del puntaje de las mismas en las arterias coronarias. Comprende un análisis de los sistemas que realizan la medición de puntaje de calcio en las arterias coronarias que existen en la actualidad; así como el estudio de la herramienta, metodología, tecnología y lenguaje a utilizar para el desarrollo del componente propuesto.

Capítulo 2: Características del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias.

Se describe la forma en la que se realiza actualmente en las instituciones de salud el flujo de trabajo para realizar la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias, a partir del mismo se conforma el Modelo de Dominio. Se detallan los requisitos a partir de los cuales se realiza la propuesta de solución para el problema planteado en la investigación. Se modelan los casos de usos del sistema correspondientes al componente.

Capítulo 3: Análisis y Diseño del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias.

Se aborda el diseño del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias. Se modelan los Diagramas de Clases del Diseño y los Diagramas de Secuencia. Se propone un modelo arquitectónico para el componente y se describen los patrones de diseño a utilizar.

Capítulo 4: Implementación del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias.

En este capítulo se presenta el Modelo de Implementación de la solución propuesta partiendo de los diagramas de componente. Se muestran ejemplos de códigos de algunos métodos importantes en la realización del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias y el estándar de

codificación para un mejor entendimiento del código implementado. Se realiza la validación del componente a través de estudios previamente diagnosticados en la estación de visualización de un tomógrafo Siemens del Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular (ICCCV).

Los resultados esperados con la realización del Componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias son:

- El componente pudiera integrarse al visor *PACSViewer*, el cual le aportará solidez y competitividad en el mercado.
- Podría permitir a los especialistas realizar este estudio en cualquier estación de trabajo del hospital o centro de salud donde se encuentre ubicado, generalizando este servicio, que solo era posible desde la estación de trabajo del tomógrafo.
- La utilización del componente pudiera ofrecer rapidez en el proceso de diagnóstico del paciente, permitiendo así detectar afecciones en etapas tempranas y por ende brindar una mayor calidad de vida a la población.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL COMPONENTE PARA LA MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS

En el presente capítulo se aborda la fundamentación teórica de los principales conceptos asociados a la Tomografía Axial Computarizada y a la puntuación de calcio coronario, así como las diferentes técnicas de procesamiento de imágenes. Se exponen los diversos sistemas que realizan el análisis del cálculo del puntaje de calcio en las arterias coronarias existente en la actualidad. Contiene los resultados del análisis de las principales herramientas, tecnologías y lenguajes de programación actuales usadas para el desarrollo del componente.

1.1. Conceptos fundamentales

1.1.1. Arterias coronarias

Las arterias coronarias suministran la sangre al músculo cardiaco. Al igual que los demás tejidos del cuerpo, el músculo cardiaco necesita sangre rica en oxígeno para funcionar, y la sangre a la que se ha extraído el oxígeno debe ser expulsada. Cualquier trastorno o enfermedad de la arteria coronaria puede tener graves consecuencias al reducir el flujo de oxígeno y nutrientes al músculo cardiaco, que puede conducir a un ataque del corazón y posiblemente la muerte. Las dos arterias coronarias principales son la Arteria Coronaria Izquierda (LCA, por su sigla en inglés) y la Arteria Coronaria Derecha (RCA, por su sigla en inglés). Las mismas tienen ramas adicionales. (8) Estas incluyen las siguientes:

- Arteria Circunfleja (Cx, por su sigla en inglés): sale de la arteria coronaria izquierda y rodea el músculo cardiaco. Esta arteria lleva la sangre al lado y a la parte trasera del corazón.
- Arteria Descendente Anterior Izquierda (LAD, por su sigla en inglés): sale de la arteria coronaria izquierda y lleva sangre a la parte delantera de la izquierda del corazón.
- Arteria Principal Izquierda (LM, por sus siglas en inglés): es la parte que se encuentra entre la aorta y la bifurcación.

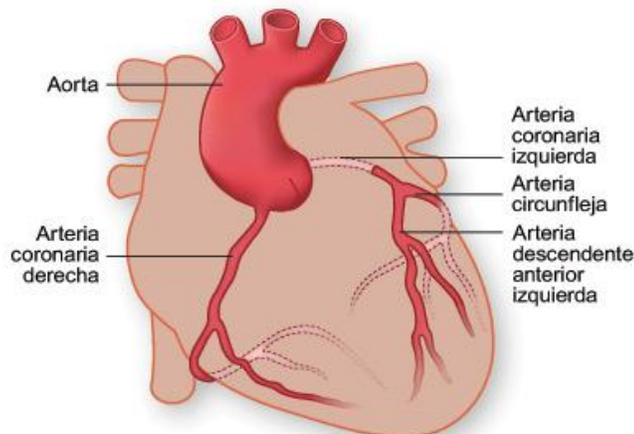


Ilustración 2. Arterias coronarias (9)

1.1.2. Calcificaciones

La calcificación es el proceso en el cual el calcio se acumula en el tejido corporal, haciendo que dicho tejido se endurezca. Esto puede ser un proceso normal o anormal.

Tipos de calcificación:

La calcificación distrófica es la que ocurre en células y tejidos previamente alterados, sobre sustancias anormales o productos patológicos y cuerpos extraños. En estos casos no necesariamente existen niveles de calcio y fosfato elevados en sangre. Está relacionada con el producto de degradación celular que sirve como núcleo de calcificación por un mecanismo no dependiente de energía y que puede tomarse como una variante del que se efectúa en las vesículas de la matriz. (10)

La calcificación metastásica es la que se produce en relación con hipercalcemia, es decir, por un transporte elevado de calcio de un lugar del organismo, en este caso desde el hueso, a otro lugar donde se deposita en forma de una metástasis cálcica, razón a la que debe su nombre. La calcificación metastásica se realiza predominantemente en aquellos lugares de excreción de ácidos (estómago, riñón, pulmón) donde precipita el calcio por alcalinización de pH. Aparentemente, la calcificación metastásica se realiza por un mecanismo dependiente de energía. (11)

Calcificaciones en las arterias coronarias:

La calcificación de las paredes de las arterias, que se puede observar en las arterias coronarias (Ver Ilustración 3), en la propia arteria aorta o en cualquiera de sus ramas, es un signo de arteriosclerosis desarrollada. La

lesión se inicia en la pared de la arteria, donde se van depositando lípidos, como el colesterol y células, formando la placa de ateroma, que posteriormente se va haciendo más fibrosa y puede llegar a calcificarse (12). A su vez la placa calcificada en si misma representa un riesgo, en tanto existe la posibilidad debido a la inestabilidad de la placa, que la misma se desprenda y se convierta en un trombo; el cual viaja a través del torrente sanguíneo y puede quedar bloqueado en un lugar distinto de donde se produjo, lo cual puede generar graves daños como una isquemia (13).

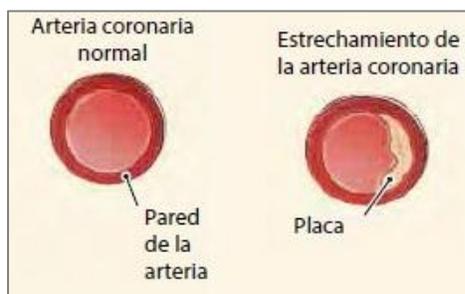


Ilustración 3. Pared interior de la arteria coronaria (14)

1.2. Tomografía Axial Computarizada

La Tomografía Axial Computarizada (TAC) se ha convertido en una de las técnicas de diagnóstico más utilizadas. Desde su introducción clínica en 1971 por el ingeniero eléctrico Sir Godfrey Newbold Hounsfield, ha experimentado sucesivos avances que han hecho posible la aparición de indicaciones nuevas en diferentes campos de la medicina (15). La TAC se utiliza en el diagnóstico y en los estudios de seguimiento de pacientes, en la planificación de tratamientos de radioterapia, e incluso para el tamizado de subpoblaciones asintomáticas con factores de riesgo específicos. Con el paso del tiempo se ha convertido en una técnica de imagen versátil, con la que se obtienen imágenes tridimensionales de cualquier área anatómica en un reducido período de tiempo y una alta resolución en las imágenes generadas (16).

Principio de funcionamiento.

El principio de funcionamiento de un equipo de TAC o tomógrafo se basa en la medición de la absorción de los rayos X por las distintas estructuras anatómicas presentes en la sección explorada y en el hecho que la estructura interna de un objeto se puede reconstruir, a partir de múltiples proyecciones de objeto. Las proyecciones (mediciones) de los rayos se obtienen escaneando (explorando), una sección transversal del cuerpo, con un haz de rayos X muy fino y midiendo la radiación transmitida con un detector sensible a dicha radiación. El detector mide la energía de los fotones transmitidos y genera un valor numérico proporcional a

ésta. Los datos numéricos se envían a una computadora, donde se procesan y a partir de ellos se reconstruye la imagen. La imagen obtenida es un corte que es visualizado sobre un monitor. Cada porción elemental de la imagen tiene asociado un tono de gris que representa un coeficiente de absorción.

Tipos de cortes. (Ver Ilustración 4)

Según el plano de orientación existen tres tipos de cortes: axial, coronal y sagital. (17)

Sagital:

Es un corte que pasa desde la parte anterior del cuerpo (o segmento de éste) hasta la posterior, dividiendo a éste en dos mitades, izquierda y derecha. Se dice que es un plano medio sagital cuando atraviesa la misma mitad del cuerpo, es un corte simétrico.

Coronal:

El corte coronal pasa desde un extremo lateral del cuerpo hasta el otro, dividiendo a este en dos mitades, anterior y posterior. Forma un ángulo recto (perpendicular) con el plano sagital.

Axial:

En anatomía, el corte axial o transversal pasa horizontalmente el cuerpo (o un segmento de éste), dividiéndolo en mitades superior e inferior.

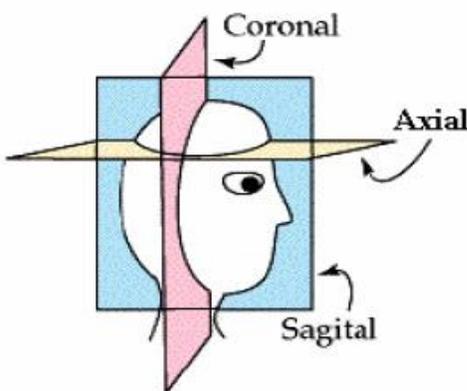


Ilustración 4. Planos de orientación (18)

1.3. Imagen Digital

Imagen digital es la representación bidimensional de una imagen empleando bits, unidad mínima de información compuesta por dígitos binarios (1 y 0). Un concepto introducido por las tecnologías digitales es el

de píxel (contracción del inglés Picture Element). Cada píxel es la representación de un punto en el plano de una imagen bidimensional. El conjunto ordenado de píxeles forman una imagen. Mientras mayor es el número de píxeles, mejor es la calidad de la representación de la realidad que se conoce como resolución espacial (19).

Desde un punto de vista físico, una imagen puede considerarse como un objeto plano cuya intensidad luminosa y color puede variar de un punto a otro. Si se trata de imágenes monocromas (blanco y negro), se pueden representar como una función continua $f(x, y)$ donde (x, y) son sus coordenadas y el valor de f es proporcional a la intensidad luminosa (nivel de gris) en ese punto. (20)

1.4. Procesamiento de imagen digital

El procesamiento digital de imágenes incluye un conjunto de técnicas que operan sobre la representación digital de una imagen, a objeto de destacar algunos de los elementos que conforman la escena, de modo que se facilite su posterior análisis, bien sea por parte de un usuario (humano) o un sistema de visión artificial. En general, las técnicas de procesamiento de imágenes son aplicadas cuando resulta necesario realzar o modificar una imagen para mejorar su apariencia o para destacar algún aspecto de la información contenida en la misma. (20, 21)

1.4.1. Técnicas de Procesamiento basadas en Puntos de la Imagen

Estas técnicas consisten en algoritmos que modifican el valor de un píxel basados únicamente en el valor previo de tal píxel o en su localización. Ningún otro valor de píxel se involucra en la transformación. El procesamiento se realiza desarrollando un barrido píxel por píxel dentro de la imagen a procesar. (21)

Realce de imágenes por modificación del contraste

Una de las imperfecciones más comunes de las imágenes digitales, es el pobre contraste resultante de un rango de intensidad reducido en comparación al rango disponible de niveles de gris (por ejemplo de 0 a 255 niveles). El contraste de una imagen, puede mejorarse mediante el re-escalamiento de la intensidad de cada píxel. Algunas de las transformaciones frecuentes son: (21)

- Negativo de la imagen
- Control del brillo de una imagen
- Ampliación del contraste

Perfil en una imagen

En muchas ocasiones, cuando se procesa una imagen de manera interactiva, resulta muy conveniente, representar gráficamente el valor de los píxeles que componen por ejemplo una línea o una columna o de manera general, según una recta que tenga dirección arbitraria. Tal perfil permite determinar información importante referente a la imagen, como por ejemplo los valores máximos y mínimos de nivel de gris, según la dirección elegida así como información referente al nivel de ruido y a la naturaleza de los contornos presentes en la misma. (21)

1.4.2. Técnicas de segmentación

Para realizar la identificación de estructuras anatómicas presentes en la imagen, se utilizan las técnicas de segmentación, las cuales permiten particionar la imagen en un conjunto no solapado de regiones, cuya unión es la imagen completa. En muchas ocasiones, dependiendo de la aplicación específica, el proceso de segmentación es uno de los pasos difíciles y críticos para determinar la geometría de las diversas estructuras que componen la imagen. Los algoritmos de segmentación operan sobre las intensidades o texturas utilizando métodos de umbralización, métodos crecimiento de regiones, clasificadores, métodos de agrupamiento, modelos de campos aleatorios de Markov, redes neurales artificiales, modelos deformables y métodos guiados por plantillas. (22, 23) Además que se puede realizar de tres formas (24):

- Manual: el usuario realiza la segmentación el mismo con la ayuda de una herramienta informática.
- Automática: la aplicación realiza todo el proceso de forma automática.
- Semi-automática: la aplicación realiza el proceso, pero el usuario interviene en determinados momentos sobre el mismo para definir parámetros o corregir resultados, este método es el utilizado en el presente trabajo, donde la intervención por parte del usuario es reducida automatizando algunos procesos.

Umbralización

La umbralización (Ver Ilustración 5) es un método que busca segmentar imágenes escalares creando una partición binaria de las intensidades de las imágenes. Una umbralización trata de determinar un valor de intensidad, llamado umbral, que separa las clases deseadas. La segmentación se logra agrupando todos los

píxeles con mayor intensidad al umbral en una clase, y todos los otros píxeles en otra clase. La determinación de más de un valor umbral es un proceso llamado multiumbralización.

La umbralización es una técnica efectiva para obtener la segmentación de imágenes donde estructuras diferentes tienen intensidades contrastantes u otras características diferenciables. Generalmente, la umbralización es el paso inicial de una secuencia de operaciones de procesamiento de imágenes. Su principal limitación es que en su forma más simple solo se generan dos clases y por lo tanto no se puede aplicar a imágenes multicanal. (22, 25)

Segmentación por crecimiento de regiones

De acuerdo a esta técnica, se buscan píxeles que tengan características similares (por ejemplo niveles de gris similares) y que adicionalmente sean vecinos. El método comienza con un píxel llamado punto semilla, el cual es seleccionado automáticamente o proporcionado por el usuario y a continuación examina los píxeles vecinos para decidir si tienen características similares. De ser así, el píxel vecino que cumpla con tal condición de similaridad, es agrupado junto con los anteriores para conformar así una región. Al igual que la umbralización, por lo general no se utiliza la región creciente solamente en una imagen, sino que se utiliza como parte de un conjunto de operaciones de procesamiento de imágenes, particularmente en la delineación de pequeñas y simples estructuras como tumores y lesiones. (26)

Dentro de esta técnica se encuentran varios algoritmos:

- *Connected Threshold*

Un criterio simple para incluir píxeles en un crecimiento de región es evaluar el valor de intensidad dentro de un intervalo específico. El algoritmo *Connected Threshold* está basado sobre un intervalo de valores de intensidades proporcionados por el usuario, se debe introducir valores por abajo y arriba del umbral, y luego el algoritmo incluye todos los píxeles cuyas intensidades estén dentro del intervalo. De esta forma la segmentación mediante este algoritmo se convierte un proceso semi-interactivo. Como en la mayoría de las actividades de segmentación, el observador humano habrá de determinar qué objetos son relevantes y cuáles no. En la aplicación más simple de este algoritmo un operador humano selecciona las semillas y la implementación completa el proceso. (27, 28)

- Crecimiento de regiones con tolerancia (27)

Esta variante plantea adaptar el rango a la intensidad de los puntos semillas escogidos, quedando de la siguiente forma:

$$[[I - t; I + t]]$$

$I \rightarrow$ *Intensidad del Punto semilla.*

$t \rightarrow$ *Tolerancia a usar*

- Variante *Connected Threshold* con detección de bordes

La variante de *Connected Threshold* con detección de bordes requiere empezar con la selección de un punto semilla y de un rango de intensidades, su funcionamiento es prácticamente igual que un crecimiento de regiones, con la diferencia de que segmenta los píxeles que pertenecen al contorno de la región de interés.(28)

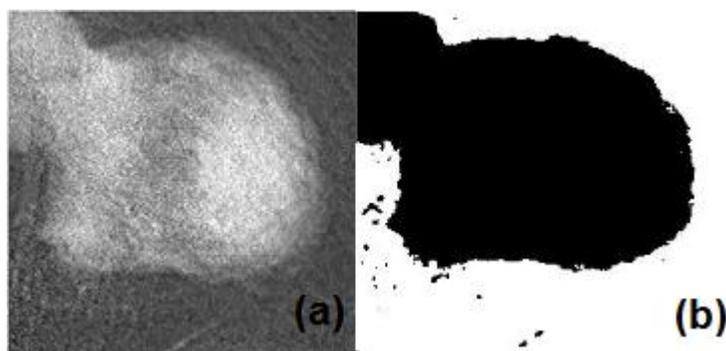


Ilustración 5. Ejemplo de la segmentación (a) imagen original correspondiente a una ventriculografía (b) segmentación obtenida mediante un umbral (21)

Modelos deformables

Los modelos deformables están basados en motivaciones físicas, utilizados para delinear bordes de regiones usando curvas o superficies paramétricas cerradas que se deforman bajo la influencia de fuerzas externas e internas. Para delinear el borde de un objeto en la imagen, se debe colocar una curva o superficie cerrada cerca del borde deseado y luego permitirle experimentar un proceso iterativo de relajación. Las fuerzas internas se calculan en el interior de la curva o superficie para mantenerla suave a lo largo de la deformación. Las fuerzas externas son frecuentemente derivadas de la imagen para llevar la curva o superficie hacia la característica de interés deseada. (29)

Se investigaron varios artículos referentes a los métodos de procesamiento de imágenes en tomografía para identificación de anomalías en el árbol coronario tales como calcificaciones donde explican los métodos utilizados para ello. En (24) incorpora el uso de modelos deformables para obtener una aproximación de las calcificaciones cardiacas. Según las validaciones realizadas el método se comporta de forma estable. Los autores de la investigación (13) proponen varios procedimientos de bajo nivel: el filtrado y la segmentación. La etapa de filtrado se encarga de la eliminación del ruido y se realiza promediando la intensidad y distancia de un punto de referencia de cada uno de los píxeles eliminando así el ruido. En la etapa de segmentación utilizan una detección de discontinuidades desde el eje central de la arteria hasta los bordes, sin embargo este método no tiene en cuenta las calcificaciones a nivel de las arterias.

En la investigación (27) se propone la selección de las técnicas de umbralización y crecimiento de regiones específicamente el algoritmo *Connected Threshold*. Las calcificaciones suelen ser regiones muy brillantes en imágenes de tomografía, por tanto las regiones de interés pueden ser segmentadas por umbralización como primer paso. Posteriormente con el crecimiento de regiones se obtiene una selección de los puntos semillas más optimizada. Los métodos propuestos son ampliamente utilizados por sus ventajas al implementar, en ahorro de tiempo y eficiencia. Los mismos fueron sometidos a pruebas y arrojaron resultados satisfactorios con un 5% de margen de error. Logrando de esta manera identificar calcificaciones en imágenes de tomografía coronaria de una manera efectiva y eficiente.

Los autores de esta investigación, después del estudio y análisis de las técnicas de procesamiento de imágenes, proponen utilizar para el desarrollo del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias la variante propuesta por el autor García en el 2012. Las técnicas de umbralización y el algoritmo *Connected Threshold* demostraron ser rápidas, robustas y procedimientos de segmentación fáciles de usar. La investigación fue realizada en el CESIM específicamente para este tipo de software y fue una recomendación de la tesis que se implementaran estos algoritmos para una correcta segmentación de las calcificaciones coronarias.

1.5. Unidades Hounsfield

En la Tomografía Computarizada (TC) la matriz de reconstrucción de los coeficientes de atenuación lineal μ_{mat} se transforma en una matriz de números de TC medidos en unidades Hounsfield (UH) del material o

tejido correspondiente (UH_{mat}). La atenuación de los materiales o tejidos en la escala Hounsfield se expresa en relación con el coeficiente de atenuación lineal del agua a temperatura ambiente (μ_{agua}):

$$UH_{mat} = \frac{\mu_{mat} - \mu_{agua}}{\mu_{agua}} * 1000 \quad (1)$$

Expresión 1. Expresión para el cálculo del tejido en UH.

El aire presenta por definición un valor teórico de -1000 UH ($\mu_{mat} = 0$) y el agua tiene, también por definición, 0 UH ($\mu_{mat} = \mu_{agua}$), y cada incremento de una UH se asocia con un incremento del 0,1% del coeficiente de atenuación lineal relativo al del agua (Ver Ilustración 6). En la visualización de las imágenes de la TC es muy importante definir los valores de gris que corresponden a un determinado tejido, lo que se consigue de modo óptimo ajustando adecuadamente los valores del nivel (WL, por sus siglas en inglés) y del ancho de la ventana (WW, por sus siglas en inglés). En general, los valores comprendidos entre -1000 UH y 10000 ó más UH suelen visualizarse en una escala de gris de 8 bits, que proporciona sólo 256 niveles de gris. Para visualizar, por ejemplo, el tejido blando, el tejido pulmonar o el hueso, se seleccionan diferentes ajustes de WW y WL. (15)

Hueso	+400, +1000
Tejidos blandos	+10, +60
Hígado	+40, +60
Materia blanca	+43
Materia gris	+40
Músculo	+10, +40
Riñones	+30
Agua	0
Tejido adiposo	-50, -100
Pulmones	-600, -400
Aire	-1000

Ilustración 6. Valores de atenuación (en UH) para diferentes tejidos humanos (30)

La escala de grises, tal como se define por el nivel y el ancho de la ventana elegidos, debe adaptarse a la tarea de diagnóstico, y por lo tanto depende de la pregunta clínica a la que se deba responder. Los valores del número de TC deben tener una profundidad mínima de 12 bits, lo que fija una escala de valores desde -1024 a 3071 UH, con la que se cubre la mayoría de tejidos relevantes clínicamente. Se puede extender la

escala Hounsfield trabajando con una profundidad de 14 bits, lo que permite ampliar hacia arriba la escala hasta 15359 UH y la hace compatible con materiales de alta densidad y alto coeficiente de atenuación lineal. Una escala “extendida” permite una mejor visualización de partes del cuerpo con implantes metálicos, tales como stents, prótesis ortopédicas e implantes dentales o cocleares. (30)

De la definición de la escala Hounsfield se deduce que los valores de UH obtenidos para todas las sustancias y tejidos, con excepción del agua y el aire, varían cuando se aplican diferentes voltajes del tubo. La razón es que su coeficiente de atenuación lineal normalizado con respecto al agua presenta una relación no lineal con la energía. Este efecto es más notable para sustancias o tejidos con elevado número atómico efectivo, como la sangre con contraste (yodo) y el hueso (calcio). En la práctica clínica se encuentran a veces diferencias relevantes entre los valores esperados y los reales de UH. Estas desviaciones son debidas a la dependencia del valor del número de TC obtenido con diferentes parámetros, tales como el filtro de reconstrucción, el tamaño de la imagen escaneada (FOV), o la posición del objeto medido en el FOV. (30)

La aparición de artefactos en la imagen puede tener un efecto sobre la exactitud de las UH. Cuando se realizan estudios clínicos longitudinales, se debe tener en cuenta que, incluso para el mismo escáner, puede darse con el tiempo una deriva en los valores de UH. En estudios multicéntricos que involucran diferentes escáneres de TC pueden aparecer diferencias significativas en las UH observadas entre centros para los mismos materiales. Por eso, al abordar estudios cuantitativos con imágenes de TC se requiere una atención especial a estos problemas, por lo que a menudo es necesario efectuar calibraciones adicionales. (15)

1.6. Detección y cuantificación de calcio coronario (*calcium score*)

A lo largo de los últimos años, uno de los objetivos primordiales en la radiología cardiaca ha consistido en determinar si la detección de la calcificación coronaria por TAC puede considerarse un marcador de estenosis arterial significativa. Es una técnica rápida (10-15min) y sencilla que no requiere preparación del paciente y no utiliza contraste intravenoso. La presencia de calcio en las arterias coronarias es un excelente indicador de aterosclerosis. El mismo se ha asociado como factor de riesgo independiente para futuros eventos coronarios, por lo tanto la evaluación de su utilidad como método de tamizaje es de especial importancia. La aterosclerosis es la única enfermedad vascular conocida que se asocia a calcificación coronaria, ésta aumenta con la edad y es más frecuente en hombres mayores de 50 años y mujeres después de los 60 (31).

El grado de calcificación coronaria está estrechamente relacionada con la ocurrencia de procesos cardiovasculares y con la severidad de la enfermedad coronaria. Existen diversos métodos para cuantificar la cantidad de la calcificación coronaria. El más utilizado internacionalmente es el creado por Agatston (32) en 1990 con el objetivo de estandarizar la forma de cuantificación. Con la utilización de los resultados de depósito de calcio obtenidos por diferentes observadores, Agatston y su equipo desarrollaron un protocolo de adquisición de imágenes tomográficas y elaboran un índice conocido como índice de Agatston, que expresa de forma general la magnitud de calcio depositado en el árbol coronario con el fin de mejorar la eficacia del cálculo de calcio (33).

1.6.1. Método Agatston

El proceso de cuantificación del calcio desarrollado por Agatston se lleva a cabo de la siguiente manera: se ha establecido un umbral de 130 UH dentro de un área $\geq 1 \text{ mm}^2$ para determinar si una lesión se encuentra o no calcificada. Este umbral ha demostrado que provee la suficiente diferenciación del tejido circundante y de la sangre, y es ampliamente aceptado como calcificación clínicamente significativa (34). Posteriormente, se calcula una puntuación para cada lesión individual multiplicando el área (en mm^2) por un cofactor (entre 1 y 4), que depende del valor máximo de UH en cada lesión. El factor de multiplicación es 1 si la densidad en la placa calcificada se encuentra entre 130 y 199 UH, 2 si se encuentra entre 200 y 299 UH, 3 entre 300 y 399 UH y 4 si la densidad es superior a 400 UH.

Las puntuaciones de cada lesión se consideran por separado en cada territorio arterial y la suma de las lesiones calcificadas dará lugar a la cantidad total de calcio (*calcium score*), todos los resultados se devuelven en Unidades Agatston (UA) (35). En función de la cantidad total de calcio observada, la clasificación de la obstrucción de la arteria coronaria se divide en 4 categorías distintas (Ver Tabla 1). La ausencia de calcio coronario se considera un indicador importante de ausencia de enfermedad coronaria obstructiva, por lo que es imprescindible que exista una gran sensibilidad para detectar pequeñas cantidades de calcio.

Tabla 1. Clasificación de la obstrucción de la arteria (Fuente: elaboración propia)

<i>Normal</i>	0 UA
Leve	1-100 UA
Moderado	101- 400 UA
Severo	≥ 401 UA

1.7. Sistemas que realizan el cálculo del puntaje de calcio en las arterias coronarias

En la actualidad existen varios sistemas que son utilizados en el proceso de obtención y procesamiento de imágenes médicas, constituyendo así una valiosa ayuda para los especialistas en la determinación de los diagnósticos y tratamientos de enfermedades. De todos los sistemas, solo un grupo permite determinar afecciones cardiacas mediante el puntaje de calcio en las arterias coronarias.

1.7.1. *Ámbito Internacional*

V3D-Calcium Scoring

V3D-Calcium Scoring es un método no invasivo y rápido para determinar la cantidad de placa calcificada dentro de las arterias coronarias y puede ayudar evaluando el riesgo para un evento coronario. Con la utilización de un scanner Multi-Slice Computer Tomography (MSCT) genera imágenes 2D y 3D que son procesadas por el software. El médico puede revisar la imagen si existe algún resultado anormal. Utiliza tecnología sofisticada para el filtrado de la información dándole al médico una vista reforzada del corazón.(36)

Características:

- Puntuación simple
- Selección de la placa al hacer clic
- Histograma de densidad de la placa
- Código de colores
- Tomar fotografías instantáneas
- Vista previa de un informe en cualquier momento

Philips' calcium scoring

Sistema desarrollado para los equipos de Tomografía por la compañía Philips. Es un software que rápidamente cuantifica las calcificaciones de las arterias coronarias. Este programa incluye los cálculos de masa, Agatston y el volumen con informes personalizados y automatizados en papel y/o distribución electrónica. (37)

Medicsight Heart Screen

Es una actualización de la compañía MedicHeart 1.0, software de imagen cardiaca que cuenta con un nuevo diseño de interfaz de usuario. Es una herramienta de software de análisis de imágenes de tomografías

computarizadas que ayuda a los radiólogos y cardiólogos en la identificación y la cuantificación de la calcificación de las arterias coronarias utilizando el método de Agatston. (38)

The syngo Calcium Scoring

Es un software desarrollado por Siemens que permite la visualización exacta y la cuantificación rápida de lesiones coronarias calcificadas. El cálculo es facilitado por las herramientas de selección automática y región crecientes para definir las lesiones en las ramas coronarias principales (RCA, LM, LAD, CX). Un umbral predefinido de 130 UH se usa para el cálculo de la cuenta pero puede modificarse basado en la preferencia del usuario. El software permite corrección 3D, la separación y modificación de lesiones dentro de un volumen definido. También proporciona el análisis comprensivo de área (en mm²), la densidad máxima (en las Unidades de Hounsfield), volumen (en mm³), masa del calcio (el Calcio en mg), y puntuación (el método de Agatston). (39)

VitreaCore

Sistema desarrollado para los equipos de Tomografía por la Compañía de Sistemas Médicos Toshiba. El Análisis de arterias coronarias de Vitrea (Análisis de TC cardiaca) se ha diseñado para determinar la presencia y la extensión de una arteriopatía coronaria obstructiva mediante una exploración no invasiva de las arterias coronarias del paciente. Los especialistas pueden seleccionar cualquier arteria coronaria para ver las siguientes referencias anatómicas: el vaso resaltado en 3D, dos vistas curvas y giratorias del vaso mostradas en ángulos de 90 grados entre sí, así como secciones transversales del vaso. El especialista también puede determinar de forma semiautomática los límites de la luz contrastada, las mediciones de estenosis y los diámetros máximo y mínimo de la luz. Además, pueden editarse los límites de la luz y examinar las estadísticas expresadas en unidades Hounsfield. (40)

Luego de un estudio de los software anteriormente mencionados, se identificaron características importantes para el desarrollo del componente tales como el código de colores y la notación para las arterias coronarias, selección de la placa con un clic, tratamiento de los resultados a devolver y se decidió utilizar como método para la cuantificación coronaria el método de Agatston por ser el método más utilizado internacionalmente y el que mejor resultados ha arrojado. Estas soluciones están integradas solamente a la estación de visualización de los equipos médicos. No es accesible en el mercado su código fuente, no es posible replicarlo en otra computadora y considerablemente caro. Aunque en Cuba se utilizan algunos de estos sistemas, son productos privados que deben ser comprados a altos precios, crean dependencia tecnológica para el país y

aumentan las importaciones en equipos médicos. Por la tanto no pueden formar parte de la solución de la presente investigación.

1.7.1. Ámbito nacional

Actualmente en Cuba la dependencia tecnológica en el área de visualización médica es muy alta. En los centros hospitalarios, los sistemas de imagenología médica instalados, están atados a un proveedor específico de hardware y software, en el cual el médico, radiólogo o técnico se tiene que adaptar a la herramienta y no es la herramienta la que se adapta a las necesidades del médico. Con el objetivo de disminuir y erradicar este problema, se han realizado estudios sobre las funcionalidades de los principales software de visualización. En este campo podemos mencionar:

PACSViewer

El visor de imágenes médicas *PACSViewer* es un sistema implementado en la UCI, que facilita a los especialistas una gama de herramientas de propósito general para la visualización, procesamiento de imágenes médicas y posterior edición de los informes que son emitidos a cada uno de los pacientes. Esta solución es capaz de visualizar las imágenes generadas desde las diferentes modalidades, incluyendo soporte para imágenes en movimiento. El visor facilita la conexión y recepción de las imágenes generadas en las modalidades haciendo más eficiente la red de imágenes de cada lugar. Con el visor de imágenes es posible multiplicar las capacidades de visualización de las modalidades diagnósticas en los diferentes puntos de monitoreo que puedan existir en la institución hospitalaria, siendo este un recurso de trabajo vital para el diagnóstico clínico por imágenes.

VISMEDIC

Es un software de visualización tridimensional de imágenes médicas, creado en la UCI. Presenta un conjunto de algoritmos y técnicas que garantizan un correcto pre-procesamiento de las imágenes DICOM como un paso importante dentro de la visualización médica. Dentro de las técnicas desarrolladas se encuentran la reducción de ruido en las imágenes, aumento del contraste, agudización de detalles, el realce de bordes y contornos así como la homogenización del volumen de datos para lograr una correcta visualización. (27)

IMAGIS

El sistema fue desarrollado en el Centro de Biofísica Médica para la telemedicina y la transmisión de imágenes médicas. Este permite la adquisición, procesamiento, almacenamiento, recuperación e impresión de imágenes

médicas mediante el uso del protocolo estándar para la comunicación de imágenes digitales en medicina (DICOM), obtenidas en equipos de diferentes modalidades como son la MR, US, CT y XA. Además tiene implementado un protocolo alternativo para la transmisión y recepción de imágenes utilizando como medio de transporte el correo electrónico que brinda similares funcionalidades en redes de baja velocidad. El sistema puede ser utilizado como cliente y servidor indistintamente y permite una completa configuración para satisfacer las necesidades del usuario. (41)

Ningún software de los mencionados anteriormente cuentan con funcionalidades para el cálculo de calcio coronario. Por lo que se llega a la conclusión que no existe oficialmente implementada ninguna aplicación de este tipo que sea propiamente cubana.

1.8. Tecnología, metodología, lenguaje, librerías y herramientas a utilizar

En la actualidad hay que tener en cuenta la evolución de las tecnologías informáticas emparejada al desarrollo de los equipos médicos. Siendo para ellos necesario realizar una correcta selección de las herramientas metodológicas, lenguaje, tecnología y librerías a utilizar para lograr un software de calidad.

1.8.1. .NET Framework 4.5

.NET Framework es una plataforma de desarrollo para compilar aplicaciones de Windows, Windows Phone, Windows Server. La biblioteca de clases de .NET Framework, que incluye clases, interfaces y tipos de valor que son compatibles con una amplia gama de tecnologías. Proporciona un entorno de ejecución administrado, un desarrollo e implementación simplificados, e integración con una gran variedad de lenguajes de programación. Esta versión de Microsoft .NET Framework, incorpora novedades a nivel de optimización y mejor comportamiento con lenguajes como HTML y CSS, mejoras en la depuración de código, entre otras. Además Microsoft .NET Framework 4.5 es compatible con las versiones anteriores de .NET Framework. (42)

1.8.2. C# 4.0

C# es un lenguaje orientado a objetos elegante y con seguridad de tipos que permite a los desarrolladores compilar diversas aplicaciones salidas y seguras que se ejecutan en .NET Framework. Se puede utilizar C# para crear aplicaciones cliente de Windows, componentes distribuidos, aplicaciones cliente-servidor, aplicaciones de base de datos. Las numerosas innovaciones de C# permiten desarrollar aplicaciones rápidamente y mantener la expresividad y elegancia de los lenguajes de estilo de C. (43)

1.8.3. Microsoft Visual Studio 2012

Visual Studio es un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE por sus siglas en inglés) que se define como un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la generación de aplicaciones web ASP.NET, Windows Presentation Foundation (WPF), Windows Communication Foundation (WCF), Windows Workflow Foundation (WWF), Servicios Web XML, aplicaciones de escritorio y Visual C# y son lenguajes que utilizan todos el mismo entorno de desarrollo integrado que habilita el uso compartido de herramientas y hace más sencilla la creación de soluciones en varios lenguajes. (44)

1.8.4. Librería CALIB

Permite agrupar los procesos de lectura, procesamiento y visualización de los formatos DICOM, ANALYZE 7.5¹, NifTI² en un único formato. Permiéndole a los sistemas operacionales de procesamiento y análisis de imágenes médicas acceder de manera uniforme a todos los formatos anteriormente mencionados y desarrollar algoritmos de procesamiento y visualización sobre distintos formatos. Tiene en cuenta además los algoritmos de comprensión de imágenes que puede tener cada formato de imágenes durante el proceso de visualización. CALIB cuenta, entre sus características principales, la de poder hacer extensible sus funciones, de modo que brinda ventajas sustanciales tanto para el usuario como para el desarrollador, pudiéndose integrar nuevos lectores y compresores de manera sencilla y rápida. (45)

1.8.5. Librería iTextSharp

Es una librería, de código abierto y específicamente para .Net, que permite crear, modificar, adapta, revisar y mantener documentos en el Formato de Documento Portátil (PDF, por sus siglas en inglés). (46)

Características:

- Generar documentos e informes basados en los datos de un archivo XML o una base de datos.
- Crear mapas y libros, explotando numerosas características interactivas disponibles en formato PDF.
- Añadir marcadores, números de página, marcas de agua y otras características a los documentos PDF existentes.

¹ Fue el formato creado para ser usado en el software de procesamiento de imágenes médicas ANALYZE

² Fue el formato propuesto por el Data Format Working Group (DFWG) de NifTI (Neuroimaging Informatics Technology Initiative)

- Split o concatenar páginas de archivos PDF existentes.

1.8.6. *Proceso Racional Unificado (RUP)*

El Proceso Unificado es un proceso de software genérico que puede ser utilizado para una gran cantidad de tipos de sistemas de software, para diferentes áreas de aplicación, diferentes tipos de organizaciones, diferentes niveles de competencia y diferentes tamaños de proyectos. Provee un enfoque disciplinado en la asignación de tareas y responsabilidades dentro de una organización de desarrollo. Su meta es asegurar la producción de software de muy alta calidad que satisfaga las necesidades de los usuarios finales, dentro de un calendario y presupuesto predecible. (47)

El Proceso Unificado se basa en componentes, lo que significa que el sistema en construcción está hecho de componentes de software interconectados por medio de interfaces bien definidas. El Proceso Unificado usa el Lenguaje de Modelado Unificado (UML por sus siglas en inglés) en la preparación de todos los planos del sistema. De hecho, UML es una parte integral del Proceso Unificado, fueron desarrollados a la par. Los aspectos distintivos del Proceso Unificado están capturados en tres conceptos clave: dirigido por casos de uso, centrado en la arquitectura, iterativo e incremental. Esto es lo que hace único al Proceso Unificado. (47)

1.8.7. *UML*

Es un lenguaje de modelado visual diseñado para especificar, construir, visualizar y documentar software orientado a objeto. UML estandariza 9 tipos de diagramas para representar físicamente un sistema desde distintos puntos de vista. Su ventaja principal es que unifica distintas notaciones previas. Es un lenguaje de modelado común para todos los desarrollos se crea una documentación común, que cualquier desarrollador con conocimientos de UML será capaz de entender independientemente del lenguaje utilizado para el desarrollo. (48)

1.8.8. *Enterprise Architect 7.5*

Es una plataforma de modelado, diseño y administración, colaborativa. Ágil, intuitiva y extensible, con poderosas características para dominios específicos totalmente integrados. Una solución que permite visualizar, analizar, modelar, probar y mantener un amplio rango de sistemas, software, procesos y arquitecturas. Enterprise Architect es el conjunto de herramientas escalable, compatible con muchos estándares. Con capacidades de gestión de requisitos, Enterprise Architect lo ayuda a trazar especificaciones de alto nivel a modelos de análisis, diseño, implementación, pruebas y mantenimiento, usando UML y otros

estándares abiertos para modelado. Las integraciones para Eclipse y Visual Studio .NET, les proveen a los desarrolladores un acceso directo a los diseños y capacidades de modelado justo dentro del IDE. (49)

Se decidió emplear el lenguaje de programación C# 4.0 y como IDE el Visual Studio 2012, debido a que cuentan con funcionalidades útiles para el procesamiento de imágenes médicas que facilitan la identificación de calcificaciones coronarias. Se utilizó la librería Calib porque facilita la visualización de imágenes de tomografía y que fue desarrollada en C# por especialistas del CESIM. La utilización de la herramienta Enterprise Architect 7.5 permitirá el modelado del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias, pues facilita que se importen las clases del Visual Studio, posibilitando la realización de la ingeniería. Todas las herramientas y el lenguaje mencionados anteriormente se utilizan porque son definidas por el proyecto PACS-RIS perteneciente al Centro de Informática Médica.

Una vez concluido el análisis de los sistemas que realizan el cálculo de calcio coronario se determinó que los sistemas de ámbito internacional no pueden ser parte de la solución de esta investigación, por lo que se evidencia la necesidad de desarrollar un componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias. El estudio de los sistemas estableció que el método para la cuantificación de calcificaciones que se realizará sea el de Agatston debido a su empleo en todos ellos y permitió utilizar algunas características básicas para la creación del componente. Se decide escoger la combinación de los métodos umbralización y *Connected Threshold* para la identificación de las calcificaciones, por obtener un resultado más sólido, por ser rápidas y robustas.

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DEL COMPONENTE PARA LA MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS

En este capítulo se describe la forma en la que se realiza actualmente en las instituciones de salud el proceso para realizar la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias, a partir del mismo se conforma el Modelo de Dominio. Se detallan los requisitos a partir de los cuales se realiza la propuesta de solución para el problema planteado en la investigación. Se modelan los casos de usos del sistema correspondientes al componente.

2.1. Proceso de medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias en la estación de visualización del tomógrafo

El Puntaje de calcio cardiaco es un procedimiento médico que comprueba la acumulación de calcio y placa calcificada en las arterias coronarias. Los profesionales médicos pueden utilizar la prueba de puntuación de calcio para detectar los primeros signos de la enfermedad cardiaca en los pacientes. El proceso inicia cuando el paciente se realiza el estudio de tomografía de tórax. Las imágenes generadas son revisadas por el especialista; que generalmente es el radiólogo el que supervisa e interpreta los exámenes de radiología. El mismo analiza las imágenes con ayuda del software para el cálculo del puntaje de calcio, que se encuentra en las estaciones de visualización del tomógrafo y envía un informe al médico encargado de dar los resultados al paciente.

El procedimiento de medición de calcio solo se puede realizar en las estaciones de visualización de los tomógrafos, por lo que puede provocar retraso en la consulta del paciente. Esta dificultad se puede aminorar con la utilización de sistemas que calculen el puntaje de calcio coronario, que pueda ser utilizado en cualquier estación de trabajo de la institución de salud.

2.2. Modelo de Dominio

Debido a la dificultad de encontrar procesos de negocios bien definidos no se pudo obtener un modelado detallado del negocio por lo que se propone un Modelo de Dominio, donde se capturan los objetos más importantes y las asociaciones entre ellos para modelar el entorno del software. Un Modelo del Dominio es una representación visual de las clases conceptuales u objetos del mundo real en un dominio de interés.

También se les denomina Modelos Conceptuales, Modelo de Objetos del Dominio y Modelos de Objetos de Análisis. (50)

Para realizar el proceso de medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias, el especialista tiene que utilizar la estación de visualización del tomógrafo para visualizar las imágenes DICOM generadas por el tomógrafo. El software que realiza el cálculo del puntaje de calcio se encuentra instalado en la estación de visualización, el mismo procesa las imágenes y muestra el resultado que es consultado por el especialista para entregar un diagnóstico. Ver Ilustración 7

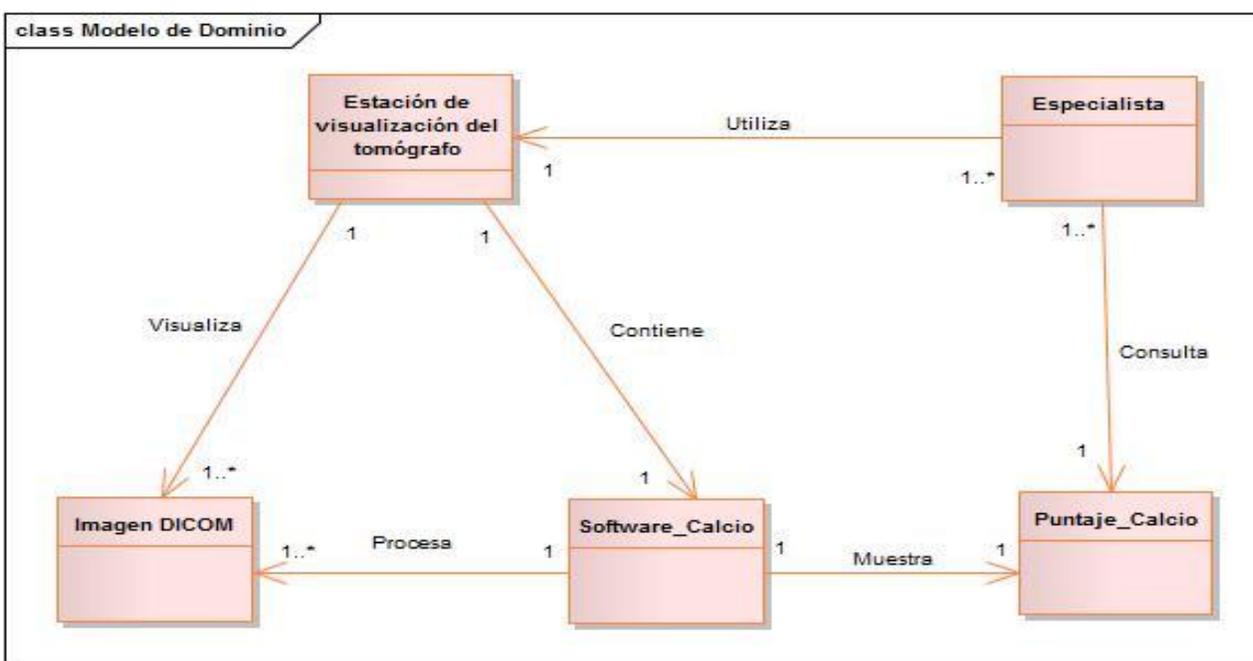


Ilustración 7. Modelo de Dominio (Fuente: elaboración propia)

Para conocer la descripción de las clases y conceptos que conforman el Modelo de Dominio ver la Tabla 2

Tabla 2. Clases y Conceptos del Modelo de Dominio (Fuente: elaboración propia)

Clases y Conceptos	Descripción
Especialista	Es el especialista o radiólogo que realiza la medición del puntaje de calcio y consulta el resultado que el software le brinda.
Estación de visualización del tomógrafo	Objeto que se encarga de la visualización y el procesamiento de las imágenes generadas por el equipo de tomografía.

Imagen DICOM	Es el objeto que compone un estudio de un paciente. Contiene la información que se procesa para realizar la medición del calcio.
Software_Calcio	Es el software que está instalado en la estación de visualización del tomógrafo que permite calcular el puntaje de calcio.
Puntaje_Calcio	Contiene el resultado de la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias generado por el software para calcular el calcio coronario.

2.3. Especificación de los requerimientos del software

2.3.1. Requerimientos funcionales

Los requisitos funcionales definen las funcionalidades o las características que el sistema deberá contar, cómo debe el sistema actuar ante diferentes circunstancias o errores (51). En la Tabla 3 se muestran los requisitos funcionales que el sistema debe cumplir.

Tabla 3. Requisitos funcionales (Fuente: elaboración propia)

Requerimientos	Descripción
RF 1.1 Abrir estudio	Permite abrir un estudio imagenológico.
RF 1.2 Deshacer cambios del estudio	Permite borrar las modificaciones realizadas a un estudio.
RF 1.3 Cerrar estudio	Permite cerrar el estudio de un paciente.
RF 2 Navegar por las imágenes de la serie	Posibilita la navegación por las imágenes de la serie hacia adelante o hacia atrás.
RF 3 Aplicar zoom	Permite acercar y alejar la imagen completa.
RF 4.1 Medir área de la región calcificada	Permite calcular el tamaño de la región calcificada a partir de los valores de los valores de cada píxel que contenga dicha región.
RF 4.2 Calcular factor de atenuación de una región	Permite calcular el factor de atenuación de una región calcificada dándole una ponderación de 1 a 4 dependiendo del valor de UH máximo de cada lesión.

RF 4.3 Calcular puntuación parcial de calcio en las arterias coronarias	Permite calcular la puntuación de calcio por cada arteria coronaria en cada imagen de la serie en UA.
RF 4.4 Calcular puntuación total de calcio en las arterias coronarias	Permite calcular la puntuación total de calcio en las arterias coronarias a partir de la puntuación parcial de calcio en UA.
RF 5 Exportar resultado	Permite exportar un informe en formato PDF donde se muestra el resultado del puntaje de calcio por cada arteria coronaria y el resultado total.

En la Ilustración 8 se muestra el diagrama de requerimientos funcionales del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias agrupados en paquetes lógicos para una mejor organización de los mismos.

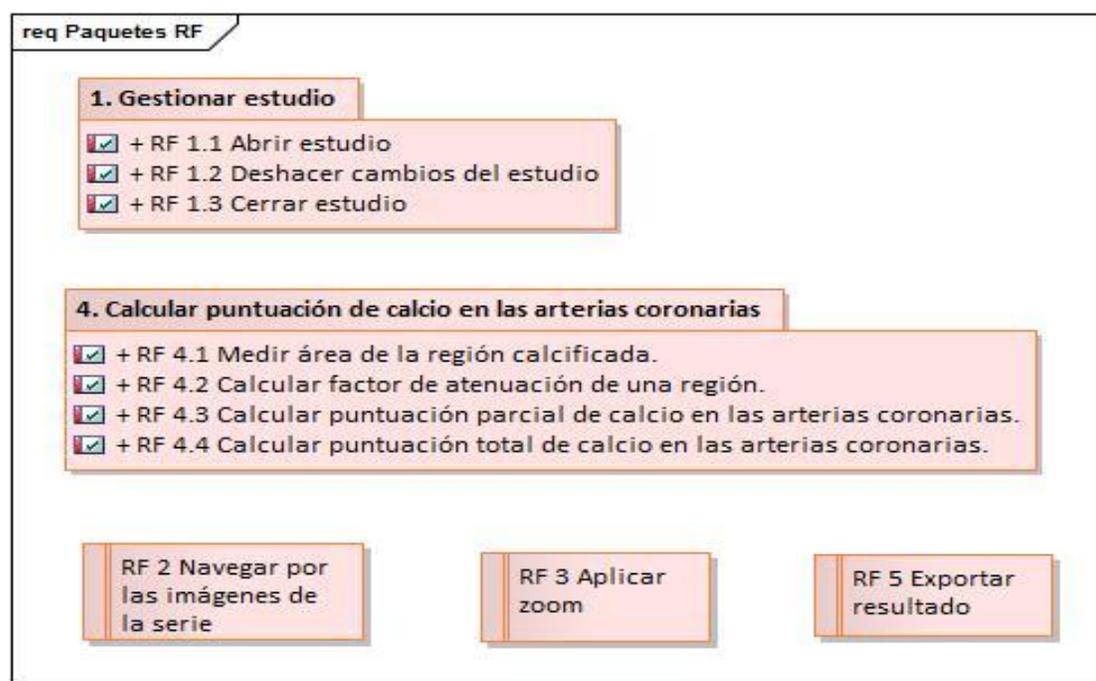


Ilustración 8. Diagrama de requisitos funcionales del Componente (Fuente: elaboración propia)

2.3.2. Requerimientos no funcionales

Componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias

Capítulo 2

Los requisitos no funcionales definen restricciones adicionales con el que el sistema deberá contar. También indica limitaciones, prohibiciones y propiedades emergentes. (51)

Los requerimientos no funcionales (Tabla 4) fueron nombrados asignándoles un prefijo, de acuerdo a las Pautas para la Fase de Requerimientos del proyecto PACS-RIS. En el [Anexo 1](#) se muestra la tabla de los prefijos según la categoría del requisito.

Tabla 4. Diagrama de requisitos no funcionales del Componente (Fuente: elaboración propia)

Requisitos	Descripción
RNDI 1. C# como lenguaje de programación.	Se deberá utilizar C# como lenguaje de programación pues permite a los desarrolladores compilar diversas aplicaciones salidas y seguras que se ejecutan en .NET Framework.
RNDI 2. Entorno Integrado de Desarrollo Microsoft Visual Studio 2012.	Se utilizará Microsoft Visual Studio 2012 como entorno integrado de desarrollo. Este IDE utiliza como plataforma de trabajo el Framework.Net 4.5 y soporta C# como lenguaje de programación.
RNDI 3. Librerías a utilizar.	Se utilizará la librería CALIB para la apertura, procesamiento y transmisión de imágenes. La librería iTextSharp para crear documentos PDF.
RNDI 4. Uso de Enterprise Architect como herramienta CASE.	Se utilizará como herramienta CASE Enterprise Architect en su versión 7.5.
RNDI 5. Uso de UML como lenguaje de modelado.	Se utilizará como lenguaje de modelado UML en su versión 2.1.
RNDI 6. Uso de la metodología Rational Unified Process (RUP).	El análisis y diseño del componente será basado en la metodología RUP.
RNFO 1. Memoria RAM de 2 GB.	Para el correcto funcionamiento del sistema, se necesitará 2 GB mínimo de memoria RAM.
RNFO 2. Procesador Pentium I 2.0 GHz o superior.	La computadora donde se use el componente deberá contar con un procesador Pentium I 2.0 GHz o superior.

RNFO 3. Sistema Operativo Windows 7 o superior.	Para el correcto funcionamiento del sistema, se necesitará tener sistema operativo 7 o superior.
RNFO 4. Espacio libre de disco duro 20 GB como mínimo.	La computadora donde se use el componente deberá contar con un espacio libre de 20 GB como mínimo de capacidad.
RNFO 5. Uso de Framework.Net 4.5.	Se especifica el uso de Microsoft Framework.Net 4.5 que ofrece mejoras en cuanto a rendimiento y depuración del código. El lenguaje de programación C# depende de este Framework.
RNU 1. Facilidad de empleo para usuarios sin experiencia.	El componente deberá contar con una interfaz de usuario agradable e intuitiva que permita un aprendizaje fácil de las funcionalidades.
RNU 2. Navegar por las imágenes de la serie.	El componente debe permitir la navegación por las imágenes de la serie con mayor facilidad utilizando el scroll del mouse.
RNE 1. Carga de imágenes.	Deberá soportar la carga de las imágenes que conforman un estudio, gestionando la memoria de forma eficiente.
RNL 1. El componente y la documentación generada por el mismo, son propiedad del proyecto PACS-RIS.	El componente y la documentación generada por el mismo, son propiedad del proyecto PACS-RIS.

2.4. Sistema propuesto

A partir del análisis de las técnicas utilizadas por varios autores para el procesamiento de imágenes cardiovasculares, se propone desarrollar un componente que analice de forma semiautomática las imágenes que en ese momento estén siendo valoradas por el especialista, buscando regiones de alta densidad en la región del corazón que sean de interés para dar el resultado de la medición del puntaje de calcio. Para obtener la solución deseada, las imágenes de tomografía pasan por una serie de pasos, comenzando con una umbralización basada en un umbral fijo de intensidad de 130 UH escogido por el método Agatston. Con esta

técnica se separan la imagen en dos regiones, una parte agrupando los píxeles de mayor intensidad al umbral que se identifican en la imagen con el color morado y la otra los de menor (Ver Ilustración 9(b)).

Con la imagen umbralizada se procede a realizar la segmentación de las calcificaciones aplicando el algoritmo de crecimiento de regiones Connected Threshold (Ver Ilustración 9(c)). Para proceder con el algoritmo, el especialista debe seleccionar de las opciones, la arteria coronaria que desea analizar e ir marcando los puntos en la imagen. El método ya tiene definido el punto de semilla de 130 UH. Además de cumplir con el umbral definido, debe ser la región analizada $\geq 1\text{mm}^2$ para eliminar los píxeles individuales con una densidad tomográfica computarizada > 130 unidades debido al ruido. Cuando la semilla y cada vecino hayan sido estudiados el algoritmo terminará. Todos los píxeles se mostrarán en la imagen como una región de interés alrededor de las lesiones que se encuentran dentro de una arteria coronaria.

Con la finalización de este paso se aplica el método diseñado por Agatston para determinar el número que refleja el grado de extensión de los depósitos de calcio en las paredes de las arterias coronarias. Este método consiste en calcular el área de la porción calcificada por el factor de atenuación de dicha región. Se muestran las mediciones automatizadas de la zona de la lesión en milímetros cuadrados y de la total. (Ver Ilustración 9(d))

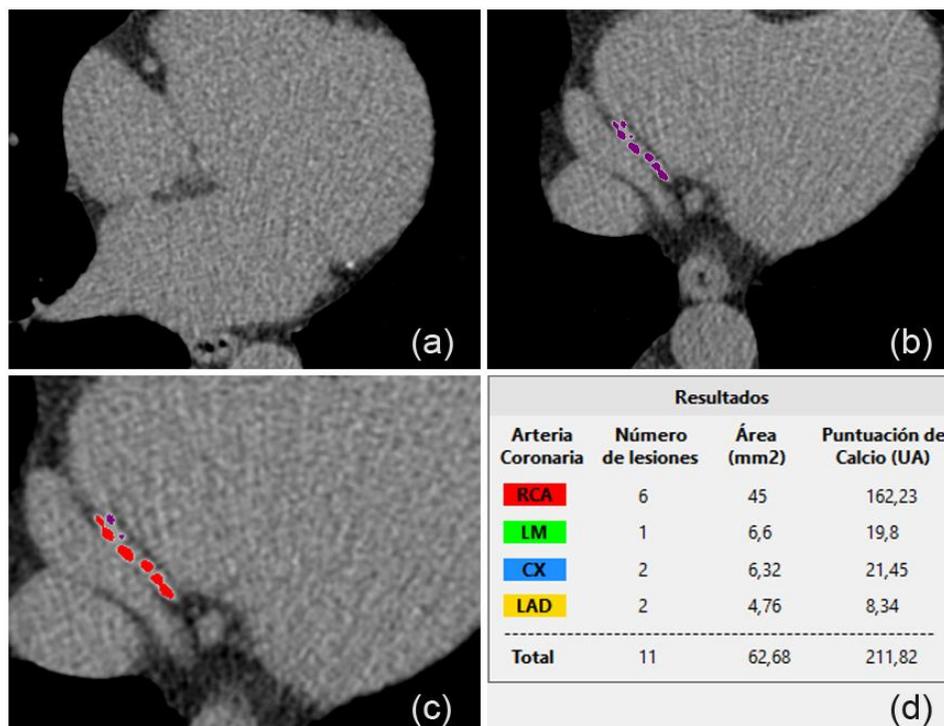
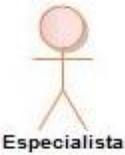


Ilustración 9. Proceso de medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias: (a) imagen original de tomografía, (b) umbralización basada en un umbral fijo, (c) algoritmo Connected Threshold, (d) resultados de las mediciones del puntaje de calcio (Fuente: elaboración propia)

2.5. Definición de los actores del sistema

Los actores del sistema definen un rol interpretado por un usuario o cualquier otro sistema que interactúa con el componente. En la Tabla 5 se define el actor que colabora con los casos de uso del sistema.

Tabla 5. Actor del sistema (Fuente: elaboración propia)

Actor	Descripción
 Especialista	Inicia todos los casos de uso del sistema. Es el especialista o radiólogo encargado de realizar el cálculo de calcio en las arterias coronarias para diagnosticar a un paciente.

2.6. Diagrama de casos de uso del sistema

Los Casos de Uso describen, bajo la forma de acciones y reacciones, el comportamiento de un sistema desde el punto de vista del usuario. Son descripciones de la funcionalidad del negocio/sistema independientes de la implementación. (52) En la Ilustración 10 se muestra el diagrama de casos de uso del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias.

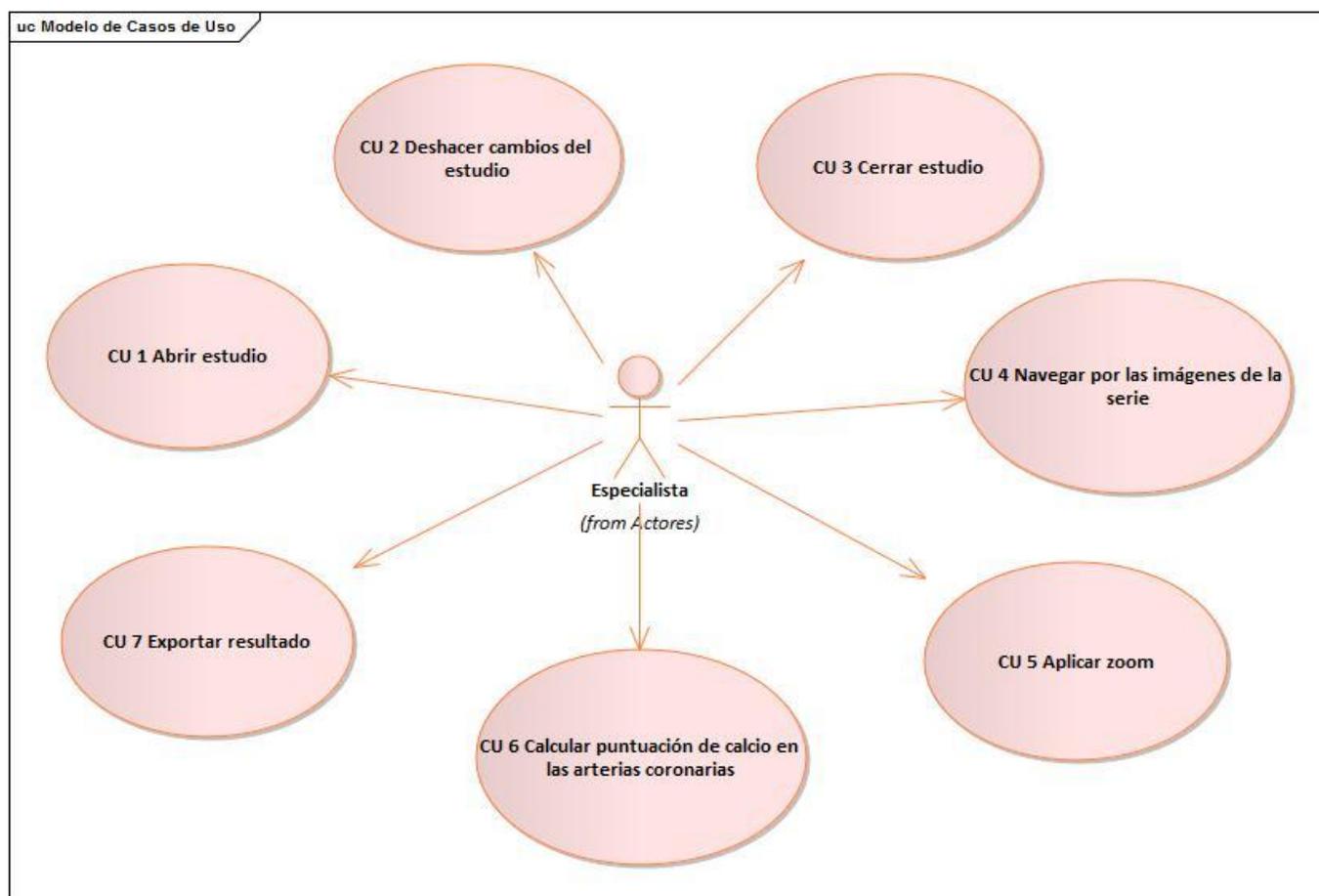


Ilustración 10. Diagrama de casos de usos del Componente (Fuente: elaboración propia)

2.7. Descripción de los casos de uso del sistema

En la Tabla 6 se muestra la descripción del caso de uso Calcular puntuación de calcio en las arterias coronarias, para un mejor entendimiento de las responsabilidades o funcionalidades que debe desarrollar. Este caso de uso es arquitectónicamente significativo porque es indispensable para garantizar el funcionamiento del sistema. El resto de las especificaciones de los casos de uso se pueden encontrar en el documento CESIM_PACS-RIS_010114a_Especificacion_de_casos_de_uso_CalciumScoring.

Tabla 6. Caso de uso Calcular puntuación de calcio en las arterias coronarias (Fuente: elaboración propia)

Objetivo	Permitir calcular la puntuación de calcio en las arterias coronarias en un estudio de tomografía.
Actores	Especialista (Inicia).
Resumen	El caso de uso inicia cuando el especialista selecciona del menú Arterias Coronarias, la arteria a analizar y posteriormente la región de la imagen en la que desea realizar la medición de calcio. El sistema calcula y muestra el puntaje de calcio por cada arteria coronaria y el resultado total del puntaje del paciente.
Complejidad	Alta.
Prioridad	Crítico.
Referencias	RF 5.1, RF 5.2, RF 5.3, RF 5.4
Precondiciones	El especialista ha seleccionado una imagen.
Postcondiciones	Se calculó la puntuación parcial de calcio en cada arteria coronaria.
Flujo de eventos	
Flujo básico “Calcular puntuación parcial de calcio en las arterias coronarias”	
1.	El componente muestra en la imagen seleccionada los puntos pintados de color morado donde las UH son mayores o iguales a 130.
2.	El especialista selecciona del menú izquierdo la arteria coronaria correspondiente a analizar.
3.	El especialista selecciona con un clic los puntos en la imagen donde desea calcular.
4.	El componente calcula el factor de atenuación de la región donde se encuentran los puntos seleccionados por el especialista.
5.	El componente calcula el área de la región calcificada.
6.	El componente muestra en el panel derecho el resultado del cálculo de calcio por cada arteria coronaria, el puntaje de calcio total.
7.	El caso de uso termina.

Relaciones	CU incluidos	No aplicable.
	CU extendidos	No aplicable.
Requisitos no funcionales	No aplicable.	
Asuntos pendientes	No aplicable.	

Después de analizar el flujo del procedimiento para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias desde la estación de visualización de un tomógrafo, que es la manera en la que se realiza este examen en las instituciones de salud; se obtuvo como resultado un Modelo de Dominio donde se observan los objetos más importantes que existen y las interacciones que suceden en el entorno del sistema. Al identificar las particularidades con las que debe contar el componente se obtuvieron los requisitos funcionales y no funcionales, partiendo de los mismos se definieron los casos de usos del sistema para lograr un mejor entendimiento del proceso. A partir de los resultados descritos anteriormente se pudo obtener la propuesta de solución a la problemática planteada.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL COMPONENTE PARA LA MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS

En este capítulo se abordará el diseño de componente para la medición de del puntaje de calcio en las arterias coronarias, que estará compuesto por las Clases del Diseño y con las descripciones de las clases más importantes. Se representará la interacción y el flujo de cada funcionalidad a través de los diagramas de secuencia. Además de los patrones de diseño y de arquitectura con que contará el componente.

3.1. Diseño

Para desarrollar una aplicación, también es necesario contar con descripciones detalladas y de alto nivel de la solución lógica para saber cómo satisface los requerimientos y las restricciones. El Diseño es una representación de ingeniería de algo que se va a construir. El diseño de software es la primera de las tres actividades técnicas (diseño, generación de código y pruebas) que se requiere para construir y verificar el software. Para la creación de los modelos de diseño se requiere que el modelo de análisis proporcione la información necesaria pero en esta investigación no fue necesario ya que había un entendimiento claro de los requerimientos. El diseño proporciona las representaciones del software que se pueden evaluar en cuanto a calidad y es la única forma de convertir exactamente los requisitos de un cliente en un producto o sistema de software finalizado.

3.2. Diagramas de clases del diseño

Un diagrama de Clases del Diseño representa las especificaciones de las clases e interfaces software en una aplicación. A diferencia de las clases conceptuales del Modelo del Dominio, las Clases del Diseño muestran las definiciones de las clases de software en lugar de los conceptos del mundo real. En ellos podemos encontrar las clases, atributos, las relaciones entre ellos y los métodos. Para un mejor entendimiento de los requerimientos y de los procesos planteados para el desarrollo de esta investigación se muestra el diagrama de Clases del Diseño (Ver Ilustración 11) perteneciente al caso de uso Calcular puntuación de calcio en las arterias coronarias. En el documento CESIM_PACS-RIS_010215_Modelo_de_diseno_CalciumScoring se puede encontrar el resto de los diagramas de Clases del Diseño.

Con el objetivo de lograr una mejor comprensión de las funcionalidades que desempeña cada una de las clases modeladas anteriormente, se realiza una descripción de las mismas que se puede encontrar en el [Anexo 2](#).

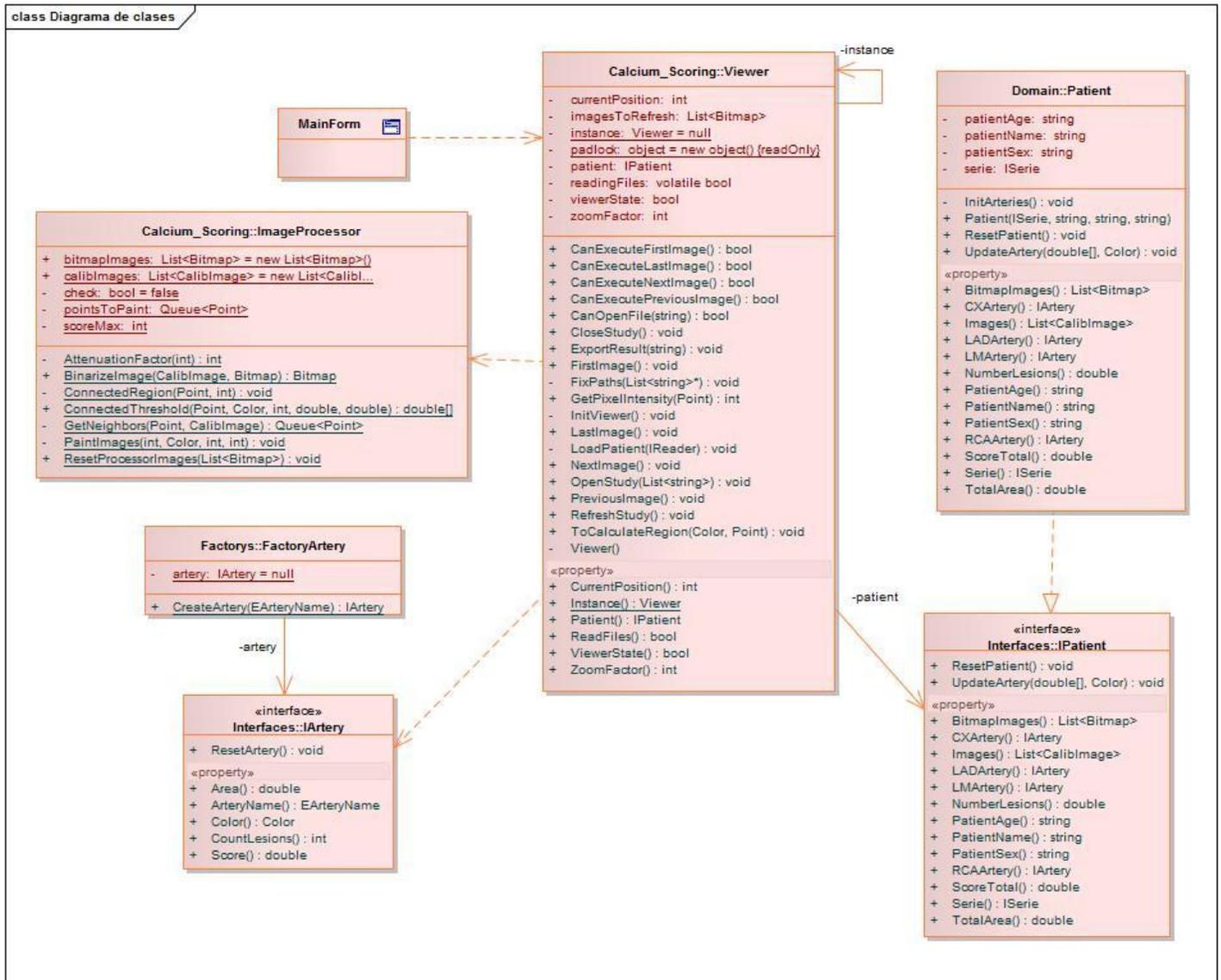


Ilustración 11. Diagrama de Clases del Diseño: Calcular puntuación de calcio en las arterias coronarias
(Fuente: elaboración propia)

3.3. Diagramas de interacción

Se realizarán los diagramas de interacción de todos los casos de uso que conforman el componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias con el objetivo de lograr un mejor entendimiento de la actividad que cada uno realiza. El término diagrama de interacción es una generalización de dos tipos de

diagramas UML más especializados; ambos pueden utilizarse para representar de forma similar interacciones de mensajes. (53)

Un diagrama de secuencia muestra las interacciones entre objetos ordenadas en secuencia temporal. Muestra los objetos que se encuentran en el escenario y la secuencia de mensajes intercambiados entre los objetos para llevar a cabo la funcionalidad descrita por el escenario. En aplicaciones grandes además de los objetos se muestran también los componentes y casos de uso. (53) El mostrar los componentes tiene sentido ya que se trata de objetos reutilizables, en cuanto a los casos de uso hay que recordar que se implementan como objetos cuyo rol es encapsular lo definido en el caso de uso.

Con el objetivo de alcanzar un mayor entendimiento de las actividades que se llevan a cabo en el caso de uso Calcular puntuación de calcio en las arterias coronarias se realizó el Diagrama de Secuencia del Diseño del mismo (Ver Ilustración 12).

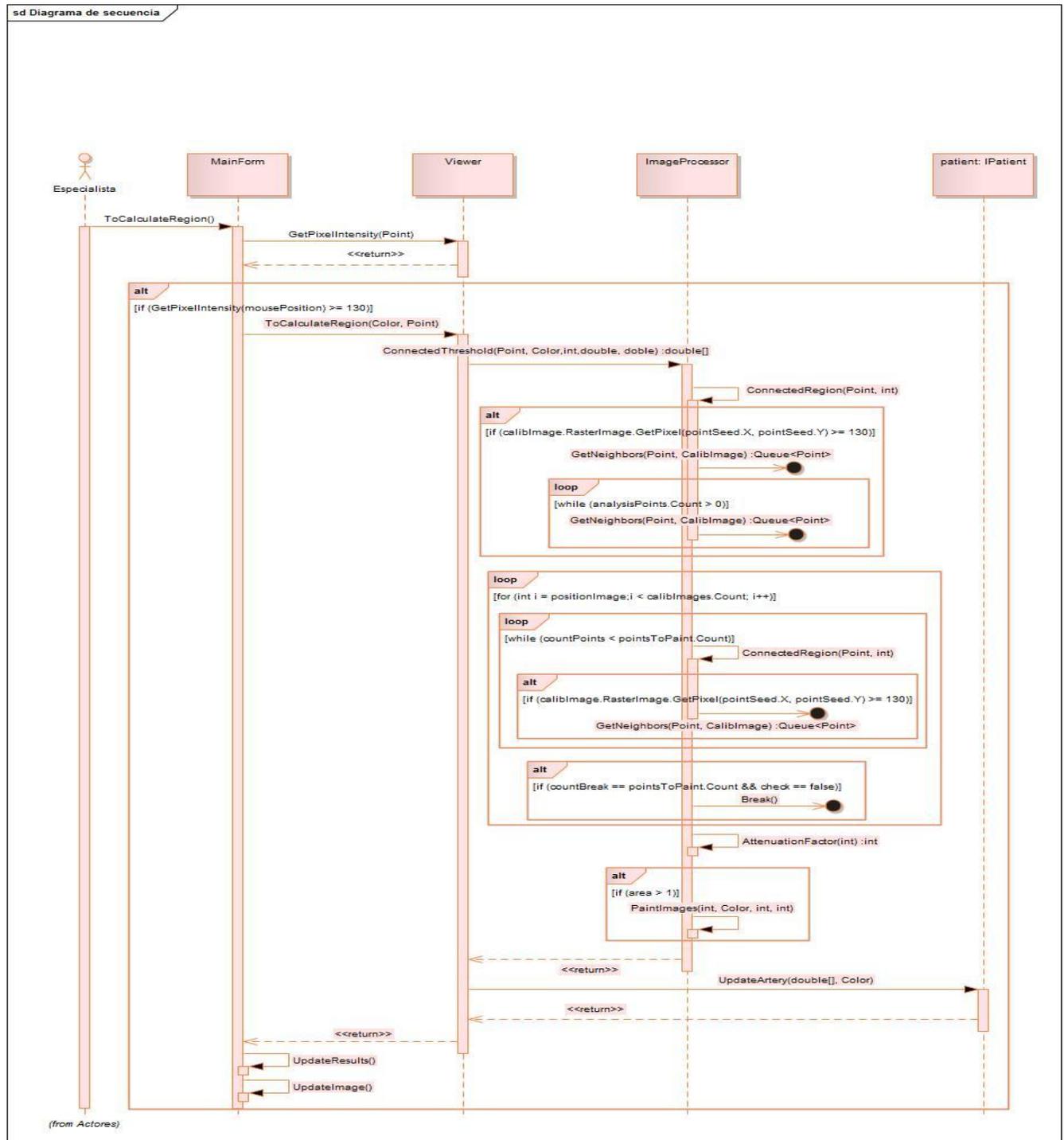


Ilustración 12. Diagrama de secuencia: Calcular puntuación de calcio en las arterias coronarias (Fuente: elaboración propia)

3.4. Modelo Arquitectónico

La arquitectura de software es la estructura jerárquica de los componentes del programa, la manera en que los componentes interactúan y la estructura de datos que van a utilizar los componentes. La representación arquitectónica del sistema sirve como marco de trabajo desde donde se llevan a cabo actividades de diseño más detalladas. (54) Se identificó como modelo arquitectónico del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias la arquitectura Tuberías y Filtros. La misma es una popular arquitectura que conecta componentes computacionales (filtros) a través de conectores (pipes), de modo que las computaciones se ejecutan a la manera de un flujo. Ha prevalecido el nombre de Tuberías y Filtros por más que se sabe que los llamados filtros no realizan forzosamente tareas de filtrado (55)

El sistema Tuberías y Filtros se perciben como una serie de transformaciones sobre los datos de entrada. Los datos entran al sistema y fluyen a través de los componentes transformando gradualmente las entradas en salidas. El empleo del patrón en la investigación se pone en práctica cuando la imagen de tomografía pasa por una serie de fases tales como la umbralización, la aplicación del algoritmo de crecimiento de regiones Connected Thresholding, aplicar el método de Agatston para obtener las calcificaciones identificadas y cuantificadas.

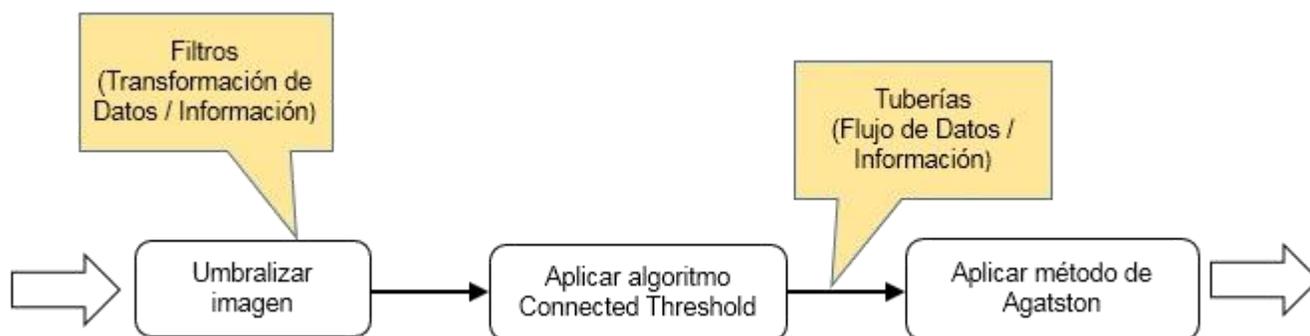


Ilustración 13. Arquitectura Tuberías y Filtros del Componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias (fuente: elaboración propia)

3.5. Patrones de diseño

Un patrón de diseño es una descripción de clases y objetos comunicándose entre sí adaptada para resolver un problema de diseño general en un contexto particular. Están orientados al cambio y soportan la reutilización de arquitecturas de software. El diseño fue conformado por la utilización de patrones como el Simple Factory,

el Controlador perteneciente a los Patrones de Asignación de Responsabilidades (GRASP, por sus siglas en inglés) y el patrón Singleton.

3.5.1. Controlador

El patrón controlador es un patrón que sirve como intermediario entre una determinada interfaz y el algoritmo que la implementa, de tal forma que es el controlador quien recibe los datos del usuario y quien los envía a las distintas clases según el método llamado. (56) Ver Figura 16

Problema: ¿Quién debe ser el responsable de administrar los eventos del componente para la medición de calcio en las arterias coronarias?

Solución: aplicar el patrón Controlador.

Aplicación: la clase *Viewer* es la responsable de administrar las operaciones del sistema.

3.5.2. Simple Factory

Este patrón entra en la categoría de patrones de creación. Es la clase con la responsabilidad de crear objetos de otras clases. No delega en subclasses y sus métodos son estáticos. (57) Ver Figuras 14 y 15

Problema: ¿Cómo asegurar que la clase *Viewer* no tenga la responsabilidad de crear objetos?

Solución: utilizar el patrón Simple Factor.

Aplicación: en el componente cuenta con las clases *FactoryArtery* y *MainFactory*, para encapsular la creación de los objetos de las clases *Patient* y *Artery*.

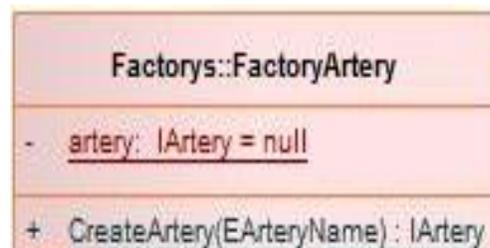


Ilustración 14. Clase *FactoryArtery* donde se evidencia el uso del patrón Simple Factory (Fuente: elaboración propia)

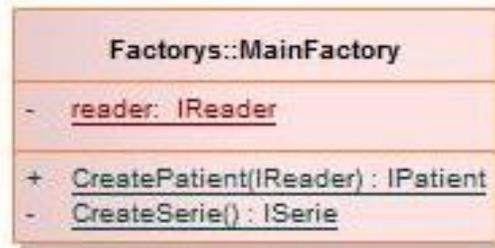


Ilustración 15. Clase MainFactory donde se evidencia el uso del patrón Simple Factory (Fuente: elaboración propia)

3.5.3. Singleton

El patrón de diseño *Singleton* está diseñado para restringir la creación de objetos pertenecientes a una clase o el valor de un tipo a un único objeto. El patrón *Singleton* se implementa creando en nuestra clase un método que crea una instancia del objeto sólo si todavía no existe alguna. Para asegurar que la clase no puede ser instanciada nuevamente se regula el alcance del constructor (con atributos como protegido o privado). Su intención consiste en garantizar que una clase sólo tenga una instancia y proporcionar un punto de acceso global a ella. (58) Ver Figura 16

Problema: ¿Cómo asegurar que cuando se haga varias referencias en el componente a un mismo elemento no se tenga más de una instancia del mismo?

Solución: con el objetivo de dar solución al problema se utiliza el patrón *Singleton*.

Aplicación: en la clase *Viewer* se define un método *Instance* que devuelve una instancia de la clase asegurando un único punto de acceso a la misma.

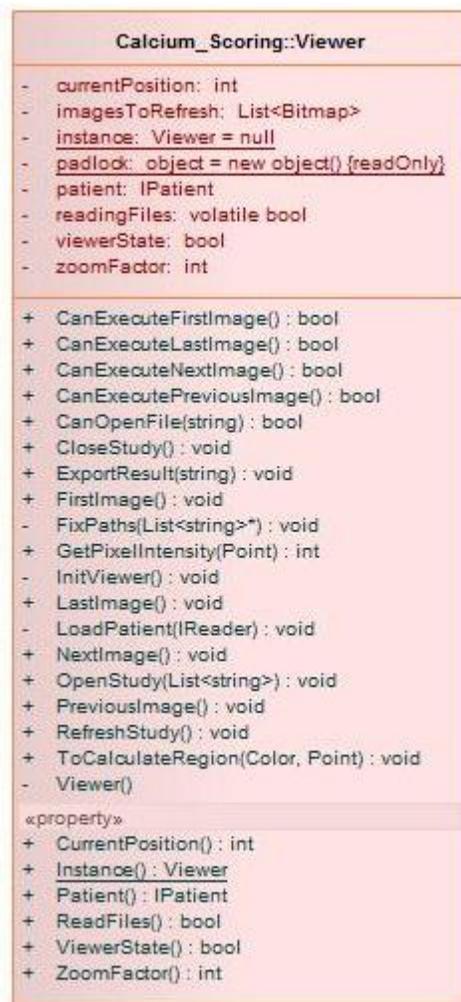


Ilustración 16. Clase Viewer donde se evidencia la utilización de patrones de diseño (Fuente: elaboración propia)

Al desarrollar los Diagramas de Clases del Diseño y los Diagramas de Secuencia del Diseño correspondientes, se tuvo un mejor entendimiento de las interacciones entre las clases para que la implementación del componente sea más fácil. Se definió la arquitectura de software empleando el patrón Tuberías-Filtros, por las diferentes transformaciones por las que van transcurriendo la imagen para identificar y cuantificar las calcificaciones coronarias. Los patrones de diseño utilizados le aportan al componente una solución satisfactoria que ha sido probada y aceptada. El resultado más importante de este capítulo es que se cuenta con un profundo nivel de detalle de diseño y la base para poder desarrollar el componente.

CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DEL COMPONENTE PARA LA MEDICIÓN DEL PUNTAJE DE CALCIO EN LAS ARTERIAS CORONARIAS

En este capítulo se presenta el Modelo de Implementación de la solución propuesta partiendo del Diagrama de Componentes. Se muestran ejemplos de códigos de algunos métodos importantes en la realización del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias, así como el estándar de codificación utilizado. A partir de una prueba realizada al componente, se muestra los resultados de la efectividad del mismo, realizando una comparación de estudios previamente diagnosticados del Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular.

4.1. Diagrama de Componentes

El modelo de componentes es el empaquetamiento físico de los elementos de un modelo. El mismo ilustra los componentes de software que se usarán para construir el sistema. Un Diagrama de Componentes tiene un nivel alto de abstracción. (47) Muestra la relación entre componentes de software, sus dependencias, su comunicación su ubicación y otras condiciones. En la Ilustración 17 se muestra el Diagrama de Componentes referente al componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias.

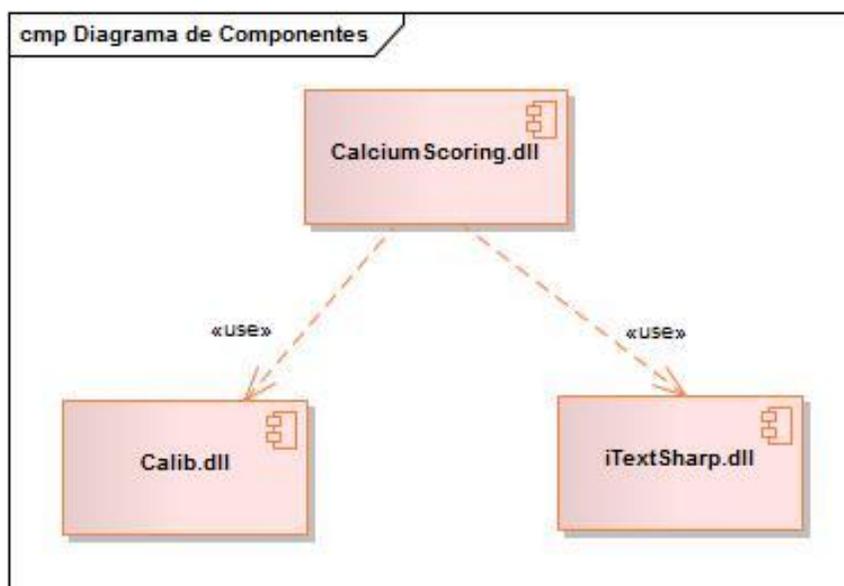


Ilustración 17. Diagrama de Componentes del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias (Fuente: elaboración propia)

A continuación se realiza una descripción de cada uno de los elementos del diagrama de componentes para garantizar una mejor comprensión.

Tabla 7. Descripción de los elementos que conforman el Diagrama de Componentes (Fuente: elaboración propia)

Componente	Descripción
CalciumScoring.dll	Resultado de la presente investigación. Librería para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias.
Calib.dll	Librería utilizada para la visualización y procesamiento de imágenes médicas.
iTextSharp.dll	Librería utilizada para la creación de documentos en PDF.

4.2. Estándar de codificación

Para lograr una mejor comprensión del código del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias por otros desarrolladores, la uniformidad del mismo y facilitar el mantenimiento del código se utilizó un estándar de codificación el cual se muestra a continuación:

- Usar nombres descriptivos para los nombres de clases, propiedades y métodos. Asignar los nombres en idioma Inglés, siempre buscando que estén escritos correctamente.
- Declarar los nombres de los atributos de las clases con letra inicial minúscula, si es un nombre compuesto utilizar minúscula y mayúscula. Ejemplos: *patientName*, *serieDate*.
- Declarar los nombres de los métodos en mayúscula y si son palabras compuestas, notación CamelCase. Ejemplos: *InitSerieValues*, *FactorAttenuation*.
- Hacer uso de clases estáticas para colocar métodos que se utilicen en varias partes del algoritmo.
- Poner comentario en las clases y en los métodos. Agregar comentario a las instrucciones, que sean de mediano a alto nivel de comprensión.

4.3. Fragmentos de pseudocódigo

Se exponen algunos pseudocódigos referentes al desarrollo del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias. Se hace énfasis en los algoritmos utilizados para la segmentación de imágenes médicas e identificación de calcificaciones.

4.3.1. Algoritmo ConnectedRegion

Con el objetivo de extraer regiones de la imagen que están conectadas según el criterio definido de que la intensidad de la imagen tiene que ser mayor a 130 UH.

```

1  Function RegionConectada(puntoInicial, posicionImagen)
2  Inicio
3      imagenCalib <- listaImagenesCalib.Obtener(posicionImagen)
4      Si imagenCalib.Intensidad(puntoInicial) > 130 Entonces
5          1 bandera <- verdadero
6          colaAnalisis <- Vecinos(puntoInicial, imagenCalib)
7          Mientras colaAnalisis.NoVacio() Hacer
8              2 Punto punto = colaAnalisis.Extraer()
9              lista <- Vecinos(punto, imagenCalib)
10             Mientras lista.NoVacio() Hacer
11                 Si puntosParaPintar.NoContiene(lista.Obtener())
12                     y colaAnalisis.NoContiene(lista.Obtener()) Entonces
13                         3 colaAnalisis.PonerEnCola(lista.Extraer())
14                     Sino
15                         lista.Extraer()
16                     Fin si
17             Fin mientras
18             4 Si imagenCalib.Intensidad(punto) > maximo Entonces
19                 maximo = imagenCalib.Intensidad(punto)
20             Fin si
21             5 Si puntosParaPintar.NoContiene(punto) Entonces
22                 puntosParaPintar.PonerEnCola(punto)
23             Fin si
24         Fin mientras
25     Fin si
26 Fin

```

Ilustración 18. Pseudocódigo del Algoritmo ConenctedRegión (Fuente: elaboración propia)

Descripción

1. Se obtienen los vecinos del punto semilla y se ponen en la cola a analizar.
2. Mientras la cola de análisis no esté vacía se elimina el primer punto de la cola.
3. Se comprueba los vecinos de este punto, si no fue visitado se marca como usado y se agrega a la cola de análisis.
4. Se reemplaza la mayor intensidad registrada hasta el momento por la intensidad de la imagen en caso de ser esta mayor.
5. Se agrega el punto a la lista de puntos a pintar en caso de no existir.

4.3.2. Algoritmo ConnectedThreshold

```
1 Function ConnectedThreshold(puntoInicial, color, posicionImagen, spacingX, spacingY)
2 Inicio
3     maximo <- 0
4     RegionConectada(puntoInicial, posicionImagen)
5     1 cantidadPuntos <- 0
6     [] inicioFinal <- PropagarPunto(posicionImagen)
7     factorAtenuacion <- FactorDeAtenuacion(maximo)
8     2 areaRegion <- spacingX * spacingY * puntosParaPintar.Tamaño()
9     puntuacionCalcio <- areaRegion * factorAtenuacion
10    Si areaRegion > 1 Entonces
11        PintarImagenes(posicionImagen, color, inicioFinal[0], inicioFinal[1])
12    3 Sino
13        areaRegion = puntuacionCalcio = 0
14    Fin si
15    resultado[0] <- areaRegion
16    4 resultado[1] <- puntuacionCalcio
17    return resultado
18 Fin
```

Ilustración 19. Pseudocódigo del Algoritmo ConnectedThreshold (Fuente: elaboración propia)

Descripción

- 1- Se calcula la región conectada al punto inicial y se propaga la región de interés por la serie de imágenes siempre que encuentre coincidencias consecutivas hacia adelante y hacia atrás.
- 2- Se calcula el factor de atenuación, el área y la puntuación de calcio de la región de interés.
- 3- Se comprueba si el área es mayor que 1mm², si se cumple, se le da una tonalidad diferente al área con el color definido para la arteria en cuestión, sino el área y la puntuación de calcio se igualan a cero.
- 4- Retornar el área y la puntuación de calcio de la región de interés.

4.4. Validación del componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias.

Después de implementado el componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias se realizaron pruebas para verificar la efectividad del mismo, con 3 estudios de tomografía pertenecientes a pacientes que se atienden en el Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular de La Habana. Los estudios cuentan con 90, 98 y 100 imágenes respectivamente, obtenidas con un tomógrafo Somatom Definition marca Siemens. Se calculó el puntaje de calcio por cada arteria coronaria y el total de cada paciente.

Componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias

Capítulo 4

RCT (UA): resultado de la medición del puntaje de calcio realizado con el tomógrafo medido en UA.

CPC (UA): resultado de la medición del puntaje de calcio con el componente medido en UA.

EFC %: efectividad de la medición del puntaje (es el cociente entre el resultado del componente y el resultado del tomógrafo, se multiplica por 100 obteniendo el resultado en %).

ER %: error relativo.

Tabla 8. Validación de la medición del Estudio 1 (Fuente: elaboración propia)

Arterias Coronarias	RCT (UA)	CPC (UA)	EFC %	ER %
LM	0	0	-	-
LAD	220.3	225.26	97.75	2.25
CX	173.4	145.45	83.88	16.12
RCA	160.2	132.01	82.41	17.59
Total	553.9	502.72	90.77	9.23

Tabla 9. Validación de la medición del Estudio 2 (Fuente: elaboración propia)

Arterias Coronarias	RCT(UA)	CPC (UA)	EFC %	ER %
LM	14.1	16.62	84.83	15.17
LAD	114.2	111.41	97.56	2.44
CX	332.6	266	79.98	20.02
RCA	59.4	73.18	81.16	18.84
Total	520.3	467.21	89.8	10.20

Tabla 10. Validación de la medición del Estudio 3 (Fuente: elaboración propia)

Arterias Coronarias	RCT (UA)	CPC (UA)	EFC %	ER %
LM	0	0	-	-
LAD	13.6	20.65	65.85	34.15

CX	0	0	-	-
RCA	58.7	45.05	76.75	23.25
Total	72.3	65.7	90.87	9.13

La efectividad de la medición del puntaje de calcio en el primer estudio fue de 90.77 %, el segundo de 89.8 % y el tercero de 90.87 %; obteniendo errores relativos inferiores al 10%. Del total de calcio medido por el componente, el error relativo fue de 9.67 % aproximadamente. Los resultados de esta prueba arrojan que el componente propuesto es efectivo, aunque debe seguir mejorándose para reducir el margen de error.

Al concluir el capítulo se obtuvo un componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias con uniformidad en su código y facilidades de mantenimiento. La confección del Diagrama de Componentes permitió un mejor entendimiento de los elementos que se usaron para construir el componente. Se comprobó una precisión aproximada del 90% en los cálculos con respecto a datos obtenidos en el equipo de tomografía multicorte SIEMENS del ICCCV.

CONCLUSIONES

Una vez finalizado el proceso de investigación se puede arribar a las siguientes conclusiones:

- Se empleó la combinación de las técnicas de umbralización basado en un umbral fijo y el algoritmo de crecimiento de regiones *Connected Threshold*, como métodos de procesamiento de imágenes médicas para implementar el componente.
- Se definió la arquitectura Tuberías y Filtros por ser la arquitectura que mejor representa el flujo del proceso de detección y cuantificación de calcificaciones en las arterias coronarias.
- Se desarrolló un componente capaz de identificar y medir calcificaciones en las arterias coronarias.
- Se validó el componente y arrojó un 90.33% de efectividad en la medición de calcio.

RECOMENDACIONES

Una vez concluida la investigación se recomienda:

- Perfeccionar los algoritmos empleados para la identificación de las calcificaciones con el fin de reducir aún más el margen de error arrojado por las pruebas que se realizaron.
- Definir los procedimientos y estrategias necesarias para poder integrar el componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias al sistema *PACSViewer* del CESIM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. REGUERIO CHACÓN, Téc. Régüel y MARRERO TORRES, Téc. Sucel. *Creación de Base de Datos de Imágenes Patológicas con fines docentes*. Cuarta etapa 2006. XV Fórum de Ciencia y Técnica.
2. MUÑOZ GIL, Dra. Cristina. Resonancia magnética. *Canal Salud Mapfre* [En línea]. 2014. [Accedido 4 noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.mapfre.es/salud/es/cinformativo/resonancias-magneticas.shtml>
3. CASTRO CRUZ, M.C. Leonardo Jesús. *Utilidad de la Tomografía Computarizada para la evaluación de la enfermedad aterosclerótica coronaria* [En línea]. Doctorado. Maracaibo, República Bolivariana de Venezuela: Universidad del Zulia, 2010. [Accedido 23 octubre 2014]. Disponible en: http://tesis.luz.edu.ve/tde_arquivos/35/TDE-2011-10-31T14:27:29Z-2039/Publico/castro_cruz_leonardo_jesus.pdf
4. World Health Organization. The top 10 causes of death. *World Health Organization* [En línea]. Mayo 2014. [Accedido 9 octubre 2014]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/>
5. MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA DE CUBA. ANUARIO ESTADÍSTICO DE SALUD 2014. *DIRECCIÓN DE REGISTROS MÉDICOS Y ESTADÍSTICAS DE SALUD* [En línea]. 2015. No. 42. [Accedido 3 mayo 2015]. Disponible en: <http://files.sld.cu/dne/files/2014/05/anuario-2013-esp-e.pdf>
6. ROLDÁN-VALADEZ, Ernesto, ESPEJO-FONSECA, Ruby y HERNÁNDEZ-ORTIZ, Jorge. Hacia una radiología «sin placas»: Sistema de Archivo y Comunicación de Imágenes (PACS). En: *Anales de Radiología México* [En línea]. 2003. p. 219–224. [Accedido 2 junio 2015]. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/anaradmex/arm-2003/arm034e.pdf>
7. GONZÁLEZ LÓPEZ, Dahilys, ÁLVAREZ BARRERAS, Liset M. y FERNÁNDEZ OROZCO, Adrián. Implementación de estándares DICOM SR y HL7 CDA para la creación y edición de informes de estudios imagenológicos. *Revista Cubana de Informática Médica* [En línea]. 2014. Vol. 6, no. 1, p. 71–86. [Accedido 2 junio 2015]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18592014000100008&script=sci_arttext
8. THE UNIVERSITY OF CHICAGO MEDICINE. Anatomía y Función de las Arterias Coronarias. [En línea]. 2015. [Accedido 21 abril 2015]. Disponible en: <http://www.uchospitals.edu/online->

library/content=S03319

9. CENTRO DE INFORMACIÓN CARDIOVASCULAR DEL TEXAS HEART INSTITUTE. Las arterias coronarias. *Instituto del Corazón de Texas* [En línea]. Diciembre 2014. [Accedido 2 junio 2015]. Disponible en: http://www.texasheart.org/HIC/Anatomy_Esp/coroea_sp.cfm
10. PUY, M Carme, RODRÍGUEZ ARIAS, José Manuel y PERE, Casan. Calcificaciones pulmonares asociadas a insuficiencia renal crónica. *Arch Bronconeumol*. 2007. Vol. 43, no. 06, p. 349-351.
11. INFORMACIÓN SOBRE LA CALCIFICACIÓN. Calcificaciones. Síntomas, tratamiento y complicaciones. [En línea]. 2010. [Accedido 21 enero 2015]. Disponible en: <http://calcificacion.info/calcificacion-metastasica/>.
12. INFORMACIÓN SOBRE LA CALCIFICACIÓN. Calcificaciones. Síntomas, tratamiento y complicaciones. [En línea]. 2010. [Accedido 21 enero 2015]. Disponible en: <http://calcificacion.info/calcificaciones-en-las-arterias-coronarias/>.
13. RUIZ VILLA, JUAN SEBASTIAN y ARCILA TORO, RICARDO A. *Desarrollo de un sistema básico de diagnóstico complementario de irregularidades cardíacas por medio de análisis gráfico de Resonancia Magnética y TAC* [En línea]. Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título de ingeniero de sistemas. SANTIAGO DE CALI: UNIVERSIDAD ICESI, 2012. [Accedido 11 marzo 2015]. Disponible en: http://bibliotecadigital.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/68606/1/desarrollo_sistema_basico.pdf
14. JIN, Dra. MPH Jill. Pruebas de detección de la enfermedad cardíaca coronaria «silenciosa». *JAMA* [En línea]. 27 agosto 2014. Vol. 312, no. 8. [Accedido 6 marzo 2015]. Disponible en: <http://jama.jamanetwork.com/>
15. CALZADO, A y GELEIJNS, J. Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones. *Revista Física Médica*. 2010. Vol. 11, no. 3, p. 163-180. SEFM, Sociedad Española de Física Médica
16. LEDO RAMÍREZ, Ing. Arnel y GONZALEZ YERA, Ing. Yasmany. *SLD253 MÓDULO DE RECONSTRUCCIÓN MULTIPLANAR PARA ESTUDIOS DE TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA*. 15. Universidad de las ciencias Informáticas, Cuba: Ediciones pensando en el futuro, 2013. ISBN 978-959-7213-02-4.
17. MARLOVA, Silva B y ESCUDERO, Iliana. *Orientación, posición y planos corporales* [En línea]. 2011.

- [Accedido 30 enero 2015]. Disponible en:
http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/Documentos_Digitales/600/610/39672.pdf
18. JUAN LIZANDRA, M. Carmen, MONSERRAT ARANDA, Carlos y HERNÁNDEZ ORALLO, José. *Síntesis de imágenes en imagen médica* [En línea]. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: users.dsic.upv.es/~jorallo/escrits/ACTA3.pdf
19. SELMAN R, José Miguel. Aplicaciones clínicas del procesamiento digital de imágenes médicas. Abril 2004. Vol. 15, no. 2.
20. REYES REYES, Juan. *Capítulo VI Procesamiento digital de una imagen*. [En línea]. UNIVERSIDAD SIMON BOLÍVAR, BOLIVIA. [Accedido 9 febrero 2015]. Disponible en: <http://users.dsic.upv.es/~jorallo/escrits/ACTA3.pdf>
21. BELLERA, Jesús y MEDINA, Rubén. *Bases del Procesamiento de Imágenes Médicas* [En línea]. [Accedido 9 febrero 2015]. Disponible en: <http://www.kramirez.net/Robotica/Material/Presentaciones/ProcesamientoImagenes.pdf>
22. COTO, Ernesto. Métodos de Segmentación de Imágenes Médicas. *Lecturas en Ciencias de la Computación*. Marzo 2003. P. 9-14.
23. BUSTOS, José Javier. *Validación de técnica de detección de electrodos basados en imágenes de MR y CT*. Maestría en Física Médica. San Juan: Nacional de San Juan, 2011.
24. CLEMENTE SUÁREZ, José Enrique. *SEGMENTACION DE LAS CAVIDADES CARDIACAS EN TOMOGRAFIA COMPUTARIZADA MULTICAPA USANDO ESTIMADORES NO PARAMETRICOS* [En línea]. Maestría en Computación. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, 2008. Disponible en: <http://cetus.saber.ula.ve/bitstream/123456789/33213/1/TesisJoseClemente.pdf>
25. SAHOO, Prasanna K., SOLTANI, SAKC y WONG, Andrew KC. A survey of thresholding techniques. *Computer vision, graphics, and image processing* [En línea]. 1988. Vol. 41, no. 2, p. 233–260. [Accedido 2 abril 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0734189X88900229>
26. PHAM, Dzung L., XU, Chenyang y PRINCE, Jerry L. Current methods in medical image segmentation 1. *Annual review of biomedical engineering* [En línea]. 2000. Vol. 2, no. 1, p. 315–337. [Accedido 2 abril 2015]. Disponible en: <http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.bioeng.2.1.315>

27. GARCÍA BAYATE, Eloy. *Algoritmo para la identificación de calcificaciones en las arterias coronarias*. Trabajo de Diploma para optar por el Título de Ingeniero en Ciencias Informáticas. Cuba: Universidad de las Ciencias Informáticas, 2012.
28. FRESNO, M. y VÉNERE, M. *Segmentación de imágenes médicas por crecimiento de regiones con conocimiento adicional*. Universidad Nacional del Centro, 2002.
29. DEL FRESNO, M., ROMERO, L., JONAS, I., D'AMATO, J. y VÉNERE, M. Segmentación mediante modelos deformables aplicada a imágenes 3D de ultrasonido intravascular. En: *Congreso Argentino de Informática y Salud*. 2010.
30. RAMÍREZ GIRALDO, Juan Carlos, ARBOLEDA CLAVIJO, Carolina y MCCOLLOUGH, Cynthia H. Tomografía computarizada por rayos X: fundamentos y actualidad. *Revista Ingeniería Biomédica*. Julio 2008. Vol. 2, no. 4, p. 14-31.
31. *Mantenerse en forma para la vida: necesidades nutricionales de los adultos mayores*. Pan American Health Org, 2004. ISBN 9789275315958.
32. AGATSTON, ARTHUR S., JANOWITZ, WARREN R., HILDNER,, FRANK J., ZUSMER, NOEL R., VIAMONTE, MANUEL JR. y DETRANO, ROBERT. Quantification of Coronary Artery Using Ultrafast Computed Tomography. *JACC*. 5 marzo 1990. Vol. 15, no. 4, p. 827-32.
33. FERNÁNDEZ-MIRANDA, Consuelo y CARDIOVASCULAR, Grupo Multidisciplinario para el Estudio del Riesgo. Nuevas perspectivas en la medición del riesgo cardiovascular: exploraciones para detectar la aterosclerosis subclínica y marcadores de inflamación. *Medicina Clínica Barcelona*. 2007. Vol. 128, no. 9, p. 344-51.
34. LOZANO RUIZ, Dr. Carlos Andrés. *Puntuación de calcio coronario y presencia de estenosis significativas en arterias coronarias detectadas por angiografía multidetectores*. [En línea]. Postgrado. Bogotá: Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, 2010. [Accedido 25 abril 2015]. Disponible en: <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/1678/71749043.pdf?sequence=1>
35. BASTARRIKA, Gorka, PUEYO, Jesús C, COSÍN, Octavio, BERGAZ, Fernando, VIVAS, Isabel, CANO, David y SERVICIO DE RADIOLOGÍA. CLÍNICA UNIVERSITARIA. UNIVERSIDAD DE NAVARRA. PAMPLONA. ESPAÑA. Detección y cuantificación de la calcificación de las arterias coronarias: perspectiva radiológica. *Radiología* [En línea]. Enero 2004. Vol. 46, no. 1. [Accedido 14 octubre 2014]. Disponible en:

<http://zl.elsevier.es/es/revista/radiologia-119/deteccion-cuantificacion-calcificacion-las-arterias-coronarias-perspectiva-13057334-revision-2004>

36. COMPANY, Web Design by NYLI Viatronix. Viatronix - Cardiac Calcium Scoring. [En línea]. 2011. [Accedido 22 abril 2015]. Disponible en: http://www.viatronix.com/V3D-Calcium_Scoring.asp
37. N.V., Koninklijke Philips. Software de Visualización - Philips. *Philips* [En línea]. 2014. [Accedido 22 abril 2015]. Disponible en: http://www.healthcare.philips.com/ar_es/products/ct/products/visualization_software_clinical_applications/visualization_software/calcium_scoring.wpd
38. AGFA-GEVAERT GROUP. Agfa. [En línea]. [Accedido 22 abril 2015]. Disponible en: <http://www.agfa.com/global/en/main/index.jsp>
39. SIEMENS AG. Syngo Calcium Scoring - Features & Benefits - Siemens Healthcare Global. *Siemens* [En línea]. [Accedido 22 abril 2015]. Disponible en: <https://www.healthcare.siemens.com/computed-tomography/options-upgrades/clinical-applications/syngo-calcium-scoring/features>
40. COMPANY, Toshiba Medical Systems Group. *Acerca del software de adquisición de imágenes médicas de Vital*. Octubre 2014. Vital Images, Inc.
41. RONDA, D., FERRER, O. y ALVAREZ, N. A. Imagis: sistema para la transmisión de imágenes médicas multimodales. *Sociedad Cubana de Bioingeniería* [En línea]. 2001. No. 00190. [Accedido 5 febrero 2015]. Disponible en: <http://www.hab2001.sld.cu/arrepdf/00190.pdf>
42. Microsoft. NET Framework 4.5. *Microsoft* [En línea]. [Accedido 1 febrero 2015]. Disponible en: <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/w0x726c2%28v=vs.110%29.aspx>
43. HEJLSBERG, Anders, WILTAMUTH, Scott y GOLDE, Peter. *C# Language Specification*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2003. ISBN 0321154916.
44. Microsoft. Visual studio 2012. *Microsoft* [En línea]. Disponible en: <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/fx6bk1f4%28v=vs.90%29.aspx>
45. SÁNCHEZ DIEGUEZ, Maikel y VALLÉS GÁMEZ, Antonio Enrique. *Framework CALIB. Procesos de lectura, procesamiento y visualización de imágenes médicas*. Tesis de Grado. Cuba: Universidad de las Ciencias Informáticas, 2010.

46. Microsoft. Convertir HTML a PDF iTextSharp. [En línea]. 2015. [Accedido 22 abril 2015]. Disponible en: <https://msdn.microsoft.com/Forums/es-ES/d5ad507a-59cf-4396-901e-990c045888fd/convertir-html-a-pdf-itextsharp?forum=netfxwebes>
47. BOOCH, Grady, RUMBAUGH, James y JACOBSON, Ivar. *El Proceso Unificado de Desarrollo de Software*. Pearson Educación. Madrid, 2000. ISBN 84-7829-036-2.
48. BERGAZ, Fernando. *UML. El Lenguaje Unificado de Modelado*. [En línea]. 2010. [Accedido 3 febrero 2015]. Disponible en: <http://elvex.ugr.es/decsai/java/pdf/3E-UML.f>
49. Sparx Systems Pty Ltd. Enterprise Architect. [En línea]. 2005. [Accedido 12 febrero 2015]. Disponible en: <http://www.sparxsystems.com.ar/products/ea/features.html>
50. LARMAN, Craig. MODELO DEL DOMINIO. En: *UML y Patrones. 2ª. Prentice Hall, 2003*.
51. LÓPEZ, Diego. *Requerimientos Funcionales y No Funcionales* [En línea]. 2012. [Accedido 22 febrero 2015]. Disponible en: <http://diegolopezcastan.com/funcionales/>
52. HERNÁNDEZ GONZÁLEZ, Dra. Anaisa. *Diagramas de Casos de Uso del Negocio y del Sistema* [En línea]. [Accedido 20 febrero 2015]. Disponible en: http://www-2.dc.uba.ar/materias/isoft1/2001_2/apuntes/CasosDeUso.pdf
53. LARMAN, Craig. El Modelo de diseño. En: *UML y Patrones. 2. Prentice Hall, 2003*.
54. PRESSMAN, Roger S. *Ingeniería de Software. Un enfoque práctico*. 5. Mc Graw Hill, 1997.
55. REYNOSO, Carlos y KICILLOF, Nicolás. *Estilos y Patrones en la Estrategia de Arquitectura de Microsoft* [En línea]. UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. Disponible en: <http://carlosreynoso.com.ar/archivos/arquitectura/Estilos.PDF>
56. Una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y al proceso unificado.pdf. [En línea]. [Accedido 19 marzo 2015]. Disponible en: <http://gravepa.com/granaino/biblioteca/aprende/UNED%20-%20Grado%20Inform%C3%A1tica%20-%20Extras%20%26%20Ediciones%20Antiguas/Una%20introduccion%20al%20 analisis%20y%20diseno%20orientado%20a%20objetos%20y%20al%20proceso%20unificado.pdf>
57. WELICKI, León. Patrones de Fabricación: Fábricas de Objetos. *Microsoft* [En línea]. 2015. [Accedido 15 mayo 2015]. Disponible en: <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/bb972258.aspx>

58. WELICKI, León. El Patrón Singleton. *Microsoft* [En línea]. 2015. [Accedido 10 mayo 2015]. Disponible en: <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/bb972272.aspx>

BIBLIOGRAFÍA

AGATSTON, Arthur S., JANOWITZ, Warren R., HILDNER,, Frank J., ZUSMER, Noel R., VIAMONTE, Manuel Jr. y DETRANO, Robert. Quantification of Coronary Artery Using Ultrafast Computed Tomography. JACC. 5 Marzo 1990. Vol. 15, no. 4, p. 827-32.

Atherosclerosis | University of Maryland Medical Center. [En línea] 2015. [Accedido 16 marzo 2015]. Disponible en: <http://umm.edu/health/medical/spanishency/articles/ateroesclerosis>

BANKMAN, Isaac. Handbook of Medical Image Processing and Analysis. Academic Press, 2008. ISBN 9780080559148.

BASTARRIKA, Gorka, PUEYO, Jesús C, COSÍN, Octavio, BERGAZ, Fernando, VIVAS, Isabel, CANO, David y Servicio de Radiología. Clínica Universitaria. Universidad De Navarra. Pamplona. España. Detección y cuantificación de la calcificación de las arterias coronarias: perspectiva radiológica. Radiología [En línea]. Enero 2004. Vol. 46, no. 1. [Accedido 14 octubre 2014].

BELLERA, Jesús Y MEDINA, Rubén. Bases Del Procesamiento De Imágenes Médicas [En Línea] 2008. [Accedido 9 Febrero 2015]. Disponible En: <Http://Www.Kramirez.Net/Robotica/Material/Presentaciones/Procesamientoimagenes.Pdf>

BENÍTEZ GÓMEZ, Dr. Luis Miguel. Guía De Coronariografía No Invasiva. Guías De Manejo Intervencionista En Enfermedad Coronaria. Noviembre 2011. Vol. 2, P. 87-116.

BERETTA, Dr. Mario. Avances En Cardiología Nuclear: Fusión De Imágenes. SPECT/TC, PET/TC. Revista Uruguaya De Cardiología [En Línea]. Abril 2012. Vol. 27, No. 1. [Accedido 26 Marzo 2015].

TRUCCO BRITO, Dr. Cristián. Tamizaje. Boletín Patología de la Glándula Prostática [En línea]. 1998. Vol. 28, no. 2. [Accedido 24 marzo 2015].

BOOCH, Grady, RUMBAUGH, James Y JACOBSON, Ivar. El Proceso Unificado De Desarrollo De Software. Pearson Educación. Madrid, 2000. ISBN 84-7829-036-2.

BUSTOS, José Javier. Validación De Técnica De Detección De Electrodo Basados En Imágenes De MR Y CT. Maestría En Física Médica. San Juan: Nacional De San Juan, 2011.

CALZADO, A Y GELEIJNS, J. Tomografía Computarizada. Evolución, Principios Técnicos Y Aplicaciones.

Revista Física Médica. 2010. Vol. 11, No. 3, P. 163-180. SEFM, Sociedad Española De Física Médica

CASTRO CRUZ, M.C. Leonardo Jesús. Utilidad De La Tomografía Computarizada Para La Evaluación De La Enfermedad Ateroesclerótica Coronaria [En Línea]. Doctorado. Maracaibo, República Bolivariana De Venezuela: Universidad Del Zulia, 2010. [Accedido 23 Octubre 2014]. Disponible En: Http://Tesis.Luz.Edu.Ve/Tde_Arquivos/35/TDE-2011-10-31T14:27:29Z-2039/Publico/Castro_Cruz_Leonardo_Jesus.Pdf

Centro de Información Cardiovascular del Texas Heart Institute. Las Arterias Coronarias. Instituto del Corazón de Texas [En Línea]. Diciembre 2014. [Accedido 2 Junio 2015]. Disponible En: Http://Www.Texasheart.Org/HIC/Anatomy_Esp/Coroa_Sp.Cfm

CLEMENTE SUÁREZ, José Enrique. Segmentación de las Cavidades Cardiacas en Tomografía Computarizada Multicapa Usando Estimadores no Paramétricos [En Línea]. Maestría En Computación. Mérida, Venezuela: Universidad De Los Andes, 2008. Disponible En: <Http://Cetus.Saber.Ula.Ve/Bitstream/123456789/33213/1/Tesisjoseclemente.Pdf>

COMPANY, Toshiba Medical Systems Group. Acerca Del Software De Adquisición De Imágenes Médicas De Vital. Octubre 2014. Vital Images, Inc.

DEL FRESNO, M., ROMERO, L., JONAS, I., D'AMATO, J. Y VÉNERE, M. Segmentación Mediante Modelos Deformables Aplicada A Imágenes 3D De Ultrasonido Intravascular. En: Congreso Argentino De Informática Y Salud. 2010.

DÍAZ FLORES, Mirian Milagros. Metodología Rational Unified Process (RUP) [En Línea]. Escuela De Ingeniería De Sistemas. [Accedido 15 Febrero 2015]. Disponible En: <Http://Yaqui.Mxl.Uabc.Mx/~Molguin/As/RUP.Htm>

Estudio MESA: A Mayor Densidad De Calcio En La Placa, Menor Riesgo Cardiovascular. [En Línea]. [Accedido 2 Abril 2015]. Disponible En: <Http://Www.Cardioteca.Com/Imagen-Cardiaca-Blog/153-Imagen-Tc-Tomografia-Computarizada-Cardiaca/865-Estudio-Mesa-A-Mayor-Densidad-De-Calcio-En-La-Placa-Menor-Riesgo-Cardiovascular.Html>

FERNÁNDEZ-MIRANDA, Consuelo Y CARDIOVASCULAR, Grupo Multidisciplinario Para El Estudio Del Riesgo. Nuevas Perspectivas En La Medición Del Riesgo Cardiovascular: Exploraciones Para Detectar La Aterosclerosis Subclínica Y Marcadores De Inflamación. Medicina Clínica Barcelona. 2007. Vol. 128, No. 9, P. 344-51.

FRESNO, M. Y VÉNERE, M. Segmentación De Imágenes Médicas Por Crecimiento De Regiones Con Conocimiento Adicional. Universidad Nacional Del Centro, 2002.

G. BASTARRIKA, D. CANO, C.R. BECKER, B.J. WINTERSPERGER Y M.F. REISER. TC Multicorte (TCMC) Cardíaca: Aplicaciones Clínicas. Anales Del Sistema Sanitario De Navarra. 5 Marzo 2004. Vol. 27, No. 1.

GARCÍA BAYATE, Eloy. Algoritmo Para La Identificación De Calcificaciones En Las Arterias Coronarias. Trabajo De Diploma Para Optar Por El Título De Ingeniero En Ciencias Informáticas. Cuba: Universidad De Las Ciencias Informáticas, 2012.

GONZÁLEZ LÓPEZ, Dahilys, ÁLVAREZ BARRERAS, Liset M. Y FERNÁNDEZ OROZCO, Adrián. Implementación De Estándares DICOM SR Y HL7 CDA Para La Creación Y Edición De Informes De Estudios Imagenológicos. Revista Cubana De Informática Médica [En Línea]. 2014. Vol. 6, No. 1, P. 71–86. [Accedido 2 Junio 2015]. Disponible En: [Http://Scielo.Sld.Cu/Scielo.Php?Pid=S1684-18592014000100008&Script=Sci_Arttext](http://Scielo.Sld.Cu/Scielo.Php?Pid=S1684-18592014000100008&Script=Sci_Arttext)

HEJLSBERG, Anders, WILTAMUTH, Scott Y GOLDE, Peter. C# Language Specification. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2003. ISBN 0321154916.

HERNÁNDEZ FALCÓN, Lic. Daylín, MARRERO RIVERÓN, Dr. C. Luis Oscar Y LEDEA LOZANO, Dr. C. Oscar E. Empleo De La Medicina Nuclear Y Las Técnicas De Imágenes En Las Afecciones Del Sistema Óseo. Revista Cubana De Ortopedia Y Traumatología. 2012. Vol. 26, No. 2. Editorial Ciencias Médicas, La Habana, Cuba

IBÁÑEZA, Borja, PINEROB, Antonio, OREJASB, Miguel Y BADIMÓN, Juan J. Nuevas Técnicas De Imagen Para La Cuantificación De La Carga Aterosclerótica Global. Revista Española De Cardiología [En Línea]. Marzo 2007. Vol. 60, No. 3, P. 299-309. [Accedido 14 Octubre 2014]. DOI 10.1157/13100282. Disponible En: [Http://Www.Revespcardiol.Org/Es/Nuevas-Tecnicas-Imagen-Cuantificacion-Carga/Articulo/13100282/](http://Www.Revespcardiol.Org/Es/Nuevas-Tecnicas-Imagen-Cuantificacion-Carga/Articulo/13100282/)

Implante Coclear: Medlineplus Enciclopedia Médica. [En Línea] 2011. [Accedido 19 Mayo 2015]. Disponible En: [Http://Www.Nlm.Nih.Gov/Medlineplus/Spanish/Ency/Article/007203.Htm](http://Www.Nlm.Nih.Gov/Medlineplus/Spanish/Ency/Article/007203.Htm)

JIMÉNEZ ALARCÓN, José Ignacio, CHAPEL GÓMEZ, M. L. Y NÚÑEZ QUINTANILLA, A. T. Evaluación Del Sistema De Radiografía Computarizada Konica REGIUS 170. Revista Física Médica. 2005. Vol. 6, No. 2, P. 71-80.

JIN, Dra. MPH Jill. Pruebas De Detección De La Enfermedad Cardíaca Coronaria «Silenciosa». JAMA [En Línea].

- 27 Agosto 2014. Vol. 312, No. 8. [Accedido 6 Marzo 2015]. Disponible En: [Http://Jama.Jamanetwork.Com/](http://Jama.Jamanetwork.Com/)
- JUAN LIZANDRA, M. Carmen, MONSERRAT ARANDA, Carlos Y HERNÁNDEZ ORALLO, José. Síntesis De Imágenes En Imagen Médica [En Línea]. Universidad Politécnica De Valencia. Disponible En: Users.Dsic.Upv.Es/~Jorallo/Escrits/ACTA3.Pd
- La Arteria Coronaria Score De Calcio Útil Para Determinar El Riesgo Intermedio De Enfermedad Cardíaca. [En Línea]. [Accedido 26 Marzo 2015]. Disponible En: [Http://Www.News-Medical.Net/News/20100428/80/Spanish.AspX](http://Www.News-Medical.Net/News/20100428/80/Spanish.AspX)
- La Historia De La Radiología. Sociedad Europea De Radiología (ESR) [En Línea]. Octubre 2012. Vol. 1. [Accedido 23 Octubre 2014]. Disponible En: [Http://Www.Rsna.Org/Uploadedfiles/The_Story_Of_Radiology_Vol1_Spanish.Pdf](http://Www.Rsna.Org/Uploadedfiles/The_Story_Of_Radiology_Vol1_Spanish.Pdf)
- LARMAN, Craig. El Modelo De Diseño. En: UML Y Patrones. 2. Prentice Hall, 2003.
- LEDO RAMÍREZ, Ing. Arnel Y GONZALEZ YERA, Ing. Yasmany. SLD253 MÓDULO DE RECONSTRUCCIÓN MULTIPLANAR PARA ESTUDIOS DE TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA. 15. Universidad De Las Ciencias Informáticas, Cuba: Ediciones Pensando En El Futuro, 2013. ISBN 978-959-7213-02-4.
- LILACS-Segmentación De Imagenes Biomédicas Mediante Crecimiento De Regiones; Biomedical Images Segmentation By Means Of The Regions Growth Method. [En Línea]. [Accedido 22 Abril 2015]. Disponible En: [Http://Bases.Bireme.Br/Cgi-Bin/Wxislind.Exe/lah/Online/?Isisscript=lah/lah.Xis&Src=Google&Base=LILACS&Lang=P&Nextaction=Lnk&Exp_rsearch=304208&Indexsearch=ID](http://Bases.Bireme.Br/Cgi-Bin/Wxislind.Exe/lah/Online/?Isisscript=lah/lah.Xis&Src=Google&Base=LILACS&Lang=P&Nextaction=Lnk&Exp_rsearch=304208&Indexsearch=ID)
- Mantenerse En Forma Para La Vida: Necesidades Nutricionales De Los Adultos Mayores. Pan American Health Org, 2004. ISBN 9789275315958.
- MÉNDEZ GALLART, R., RÍOS TALLÓN, J., Matheu CAPÓ, G. Y ARGIBAY SOMOZA, I. Microlitiasis Testicular. Significado Clínico e Implicaciones Terapéuticas. [En Línea]. 20 De Marzo De 2000, [2002]. [Accedido 21 Enero 2015]. Disponible En: [Http://Www.Actasurologicas.Info/V24/N10/2410NC05.Htm](http://Www.Actasurologicas.Info/V24/N10/2410NC05.Htm).
- MENDOZA RODRÍGUEZ, Vladimir, LLERENA ROJAS, Luis R., TORRES MIRANDA, Serguei, OLIVARES AQUILES, Eddy W., CABRERA REGO, Julio O., FERNÁNDEZ HERRERA, Katia Y LINARES MACHADO, Romualdo. Utilidad Del Score De Calcio En El Diagnóstico De Enfermedad Coronaria Obstructiva. Revista

Cubana De Investigaciones Biomédicas. 2010. Vol. 29, No. 4, P. 403-416.

MENDOZA-RODRÍGUEZ, Dr. Vladimir, LLERENA ROJAS, Dr.C. Luís Roberto, OLIVARES AQUILES, Dr. Eddy W., CABRERA REGO, Dr. Julio O., ARMAS, Dra. Nurys B. Y HERNÁNDEZ RICARDO, Dr. José. Puntaje De Calcio Y Severidad De La Enfermedad Coronaria. Revista Cubana Cardiología Y Cirugía Cardiovascular. 2010. Vol. 16, No. 1, P. 84-98.

Ministerio De Salud Pública De Cuba. Anuario Estadístico De Salud 2014. Dirección De Registros Médicos Y Estadísticas De Salud [En Línea]. 2015. No. 42. [Accedido 3 Mayo 2015]. Disponible En: <Http://Files.Sld.Cu/Dne/Files/2014/05/Anuario-2013-Esp-E.Pdf>

MONTAÑO ZETINA, Luis Manuel. Imagenología Y Detectores En Medicina [En Línea]. Cinvestav. 2007. Disponible En: Http://Www.Cinvestav.Mx/Portals/0/Sitedocs/Sec_Difusion/Revistacinvestav/Enero-Marzo2007/Imagenologia.Pdf

Patrones De Diseño De Software. [En Línea] 2014. [Accedido 14 Abril 2015]. Disponible En: <Http://Es.Slideshare.Net/lkercanarias/Patrones-De-Diseo-De-Software-14836338>

PAVÓN MESTRAS, Juan. Estructura De Las Aplicaciones Orientadas A Objetos El Patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC). [En Línea]. 2008. [Accedido 2 Febrero 2015]. Disponible En: <Https://Www.Fdi.Ucm.Es/Profesor/Jpavon/Poo/2.14.MVC.Pdf>

PEDROSO MENDOZA, Luis E. Y VÁZQUEZ RÍOS, Belkis S. Imagenología. 1ra. La Habana: Ciencias Médicas, 2005. ISBN 959-212-171-0.

Perfusión Coronaria: Clasificación Basada En El Modo Y La Extensión Relativa De La Irrigación Coronaria (Y II). Algoritmo Angiográfico | Revista Española De Cardiología. [En Línea]. [Accedido 6 Marzo 2015]. Disponible En: <Http://Www.Revespcardiol.Org/Es/Perfusion-Coronaria-Clasificacion-Basada-El/Articulo/543/>

PHAM, Dzung L., XU, Chenyang Y PRINCE, Jerry L. Current Methods in Medical Image Segmentation 1. Annual Review of Biomedical Engineering [En Línea]. 2000. Vol. 2, No. 1, P. 315–337. [Accedido 2 Abril 2015]. Disponible En: <Http://Www.Annualreviews.Org/Doi/Abs/10.1146/Annurev.Bioeng.2.1.315>

PRESSMAN, Roger S. Ingeniería De Software. Un Enfoque Práctico. 5. Mc Graw Hill, 1997.

PUY, M Carme, RODRÍGUEZ ARIAS, José Manuel Y PERE, Casan. Calcificaciones Pulmonares Asociadas A Insuficiencia Renal Crónica. Arch Bronconeumol. 2007. Vol. 43, No. 06, P. 349-351.

- RAMÍREZ GIRALDO, Juan Carlos, ARBOLEDA CLAVIJO, Carolina Y MCCOLLOUGH, Cynthia H. Tomografía Computarizada Por Rayos X: Fundamentos Y Actualidad. Revista Ingeniería Biomédica. Julio 2008. Vol. 2, No. 4, P. 14-31.
- REYNOSO, Carlos Y KICILLOF, Nicolás. Estilos Y Patrones En La Estrategia De Arquitectura De Microsoft [En Línea]. Universidad De Buenos Aires. Disponible En: [Http://Carlosreynoso.Com.Ar/Archivos/Arquitectura/Estilos.PDF](http://Carlosreynoso.Com.Ar/Archivos/Arquitectura/Estilos.PDF)
- ROLDÁN-VALADEZ, Ernesto, ESPEJO-FONSECA, Ruby Y HERNÁNDEZ-ORTIZ, Jorge. Hacia Una Radiología «Sin Placas»: Sistema De Archivo Y Comunicación De Imágenes (PACS). En: Anales De Radiología México [En Línea]. 2003. P. 219–224. [Accedido 2 Junio 2015]. Disponible En: [Http://Www.Medigraphic.Com/Pdfs/Anaradmex/Arm-2003/Arm034e.Pdf](http://Www.Medigraphic.Com/Pdfs/Anaradmex/Arm-2003/Arm034e.Pdf)
- RONDA, D., FERRER, O. Y ALVAREZ, N. A. Imagis: Sistema Para La Transmisión De Imágenes Médicas Multimodales. Sociedad Cubana De Bioingeniería [En Línea]. 2001. No. 00190. [Accedido 5 Febrero 2015]. Disponible En: [Http://Www.Hab2001.Sld.Cu/Arrepdf/00190.Pdf](http://Www.Hab2001.Sld.Cu/Arrepdf/00190.Pdf)
- RUIZ VILLA, Juan Sebastian Y ARCILA TORO, Ricardo A. Desarrollo De Un Sistema Básico De Diagnóstico Complementario De Irregularidades Cardiacas Por Medio De Análisis Grafico De Resonancia Magnética y TAC [En Línea]. Proyecto De Grado Presentado Como Requisito Para Optar El Título De Ingeniero De Sistemas. Santiago De Cali: Universidad ICESI, 2012. [Accedido 11 Marzo 2015]. Disponible En: [Http://Bibliotecadigital.Icesi.Edu.Co/Biblioteca_Digital/Bitstream/10906/68606/1/Desarrollo_Sistema_Basico.Pdf](http://Bibliotecadigital.Icesi.Edu.Co/Biblioteca_Digital/Bitstream/10906/68606/1/Desarrollo_Sistema_Basico.Pdf)
- SAHOO, Prasanna K., SOLTANI, SAKC Y WONG, Andrew KC. A Survey of Thresholding Techniques. Computer Vision, Graphics, and Image Processing [En Línea]. 1988. Vol. 41, No. 2, P. 233–260. [Accedido 2 Abril 2015]. Disponible En: [Http://Www.Sciencedirect.Com/Science/Article/Pii/0734189X88900229](http://Www.Sciencedirect.Com/Science/Article/Pii/0734189X88900229)
- SÁNCHEZ DIEGUEZ, Maikel Y VALLÉS GÁMEZ, Antonio Enrique. Framework CALIB. Procesos De Lectura, Procesamiento Y Visualización De Imágenes Médicas. Tesis De Grado. Cuba: Universidad De Las Ciencias Informáticas, 2010.
- SELMAN R, José Miguel. Aplicaciones Clínicas Del Procesamiento Digital De Imágenes Médicas. Abril 2004. Vol. 15, No. 2.
- The University Of Chicago Medicine. Anatomía Y Función De Las Arterias Coronarias. [En Línea]. 2015. [Accedido 21 Abril 2015]. Disponible En: [Http://Www.Uchospitals.Edu/Online-Library/Content=S03319](http://Www.Uchospitals.Edu/Online-Library/Content=S03319)

UGARTE SUÁREZ, Dr. José Carlos Y AUTORES, Colectivo De. Manual De Tomografía Axial Computarizada Multicorte [En Línea]. Tercera. La Habana, Cuba: CIMEQ, 2006. [Accedido 9 Octubre 2014]. ISBN 959-238-124-0. Disponible En: [Http://Www.Slideshare.Net/Eduardor5/Manual-Tomografia-Axial-Multicorte?Qid=3c4d3d4d-f1c7-4e2e-b6ce-7b9f31f9f8ad&V=Qf1&B=&From_Search=1](http://www.slideshare.net/Eduardor5/Manual-Tomografia-Axial-Multicorte?Qid=3c4d3d4d-f1c7-4e2e-b6ce-7b9f31f9f8ad&V=Qf1&B=&From_Search=1)

Una Introducción Al Análisis Y Diseño Orientado A Objetos Y Al Proceso Unificado.Pdf. [En Línea]. [Accedido 19 Marzo 2015]. Disponible En: [Http://Gravepa.Com/Granaino/Biblioteca/Aprende/UNED%20-%20Grado%20Inform%C3%A1tica%20-%20Extras%20%26%20Ediciones%20Antiguas/Una%20introduccion%20al%20 analisis%20y%20diseño%20orientado%20a%20objetos%20y%20al%20proceso%20unificado.Pdf](http://gravepa.com/grainaino/biblioteca/aprende/uned%20-%20grado%20inform%C3%A1tica%20-%20extras%20%26%20ediciones%20antiguas/una%20introduccion%20al%20 analisis%20y%20diseño%20orientado%20a%20objetos%20y%20al%20proceso%20unificado.Pdf)

WELICKI, León. Patrones De Fabricación: Fábricas De Objetos. Microsoft [En Línea]. 2015. [Accedido 15 Mayo 2015]. Disponible En: [Https://Msdn.Microsoft.Com/Es-Es/Library/Bb972258.Aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/bb972258.aspx)

ANEXOS

Anexo 1: Prefijos de los requerimientos no funcionales por categoría

Categoría	Prefijo
Usabilidad	RNU
Diseño e Implementación	RNDI
Legal	RNL
Fiabilidad	RNF
Seguridad	RNS
Eficiencia	RNE
Funcionamiento	RNFO
Soporte	RNSO
Interfaz de usuario	RNIU
Interconexión	RNI
Estándares aplicables	RNEA

Anexo 2: Descripción de las clases

Nombre: Viewer	
Tipo de clase: Controladora	
Atributo	Tipo
patient	IPatient
imagesToRefresh	List<Bitmap>
instance	Viewer
readingFiles	Volatile bool

Componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias

Anexos

viewerState	bool
zoomFactor	int
padlock	object:= new object () {readOnly}
Para cada responsabilidad:	
Nombre	FixPaths
Descripción:	Ordena las imágenes de la serie
Nombre:	OpenStudy
Descripción:	Abre un estudio de imágenes médicas
Nombre:	InitViewer
Descripción:	Reniciar el estado de los campos de la clase
Nombre:	RefreshStudy
Descripción:	Deshace todos los cambios hechos por el especialista en el estudio
Nombre:	GetPíxelIntensity
Descripción:	Obtiene la intensidad de un píxel determinado
Nombre:	ExportResult
Descripción:	Exporta el resultado de la medición del puntaje de calcio en un archivo PDF
Nombre:	NextImage
Descripción:	Navega hacia la próxima imagen de la serie
Nombre:	PreviousImage
Descripción:	Navega hacia la imagen anterior de la serie
Nombre:	LastImage
Descripción:	Navega hacia la última imagen de la serie

Componente para la medición del puntaje de calcio en las arterias coronarias

Anexos

Nombre:	FirstImage
Descripción:	Navega hacia la primera imagen de la serie
Nombre:	CanOpenFile
Descripción:	Devuelve verdadero si se puede abrir una carpeta de imágenes DICOM
Nombre:	CanExecuteNextImage
Descripción:	Devuelve verdadero si se puede ejecutar el método EjecutarSiguietelmagen
Nombre:	CanExecutePreviousImage
Descripción:	Devuelve verdadero si se puede ejecutar el método EjecutarAnteriorlmagen
Nombre:	CanExecuteFirstImage
Descripción:	Devuelve verdadero si se puede ejecutar el método EjecutarPrimeralmagen
Nombre:	CanExecuteLastImage
Descripción:	Devuelve verdadero si se puede ejecutar el método EjecutarUltimalmagen
Nombre:	CloseStudy
Descripción:	Cierra un estudio de imágenes DICOM
Nombre:	ToCalculateRegion
Descripción:	Permite calcular una región de interés en una región de interés

GLOSARIO DE TÉRMINOS

2D: 2 dimensiones, bidimensional.

3D: 3 dimensiones, tridimensional.

Componente: es aquello que forma parte de la composición de un todo. Se trata de elementos que, a través de algún tipo de asociación o contigüidad, dan lugar a un conjunto uniforme.

Arteriosclerosis: es el endurecimiento de las arterias coronarias por la formación de placas.

Enfermedades Isquémicas: es la enfermedad ocasionada por la arteriosclerosis que impide que el corazón reciba la sangre y el oxígeno necesario lo que puede causar ataques cardíacos o accidentes cerebrovasculares.

Stents: es un tubo diminuto que se coloca dentro de una arteria, un vaso sanguíneo u otra estructura hueca en el cuerpo con el fin de mantenerla abierta.

Cocleares: implante coclear es un pequeño dispositivo electrónico que ayuda a las personas a escuchar. El implante coclear no es lo mismo que un audífono. Éste se implanta por medio de una cirugía y funciona de una manera diferente.

Morbimortalidad: enfermedades causantes de la muerte en determinadas poblaciones, espacios y tiempos.

Trombo: coágulo de sangre que se forma en el interior de un vaso sanguíneo.

Tamizaje: se refiere a la evaluación masiva de sujetos asintomáticos respecto de una patología específica y antes que ellos consulten espontáneamente.

Infarto de miocardio: el infarto se debe a la lesión del miocardio (músculo del corazón) por falta de aporte sanguíneo. El término infarto se refiere a la existencia de una zona de tejido muerto como consecuencia de la ausencia de oxígeno.

Angina de pecho: es un dolor o molestia en el pecho que se siente cuando no hay suficiente irrigación sanguínea al músculo cardíaco.

Metástasis: es la transferencia de una enfermedad o proceso patológico desde un órgano o sector a otro no directamente conectado con el primero.

Alcalinización: proceso químico que se manifiesta como resultado de la disminución de la concentración de iones hidronio (H^+) en determinados componentes del medio ambiente.