



Universidade da Coruña

DEPARTAMENTO DE

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES

TESIS DOCTORAL

---

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y DESARROLLO DE UN SISTEMA  
DE INFORMACIÓN BASADO EN IMAGEN. UN CASO PRÁCTICO DE  
IMPLEMENTACIÓN EN UN SERVICIO DE HEMODINÁMICA

---

**Directores:**

Dr. Alejandro Pazos Sierra

Dr. Javier Pereira Loureiro

**Doctorando:**

Francisco Javier Nóvoa de Manuel

A Coruña, Mayo 2007



D. **ALEJANDRO PAZOS SIERRA**, Catedrático de Universidad en el Área de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial de la Universidade da Coruña y D. **JAVIER PEREIRA LOUREIRO**, Profesor Titular de Escuela Universitaria en el Área de Radiología y Medicina Física de la Universidade da Coruña

HACEN CONSTAR QUE:

La memoria “**METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN BASADO EN IMAGEN. UN CASO PRÁCTICO DE IMPLEMENTACIÓN EN UN SERVICIO DE HEMODINÁMICA**” ha sido realizada por D. Francisco Javier Nóvoa de Manuel, bajo nuestra dirección, en el Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la Universidade da Coruña, y constituye la Tesis que presenta para optar al Grado de Doctor en Informática de la Universidade da Coruña.

A Coruña, 29 de mayo de 2007

Fdo: Dr. Alejandro Pazos Sierra

Fdo: Dr. Javier Pereira Loureiro



# ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	FUNDAMENTOS	5
1.	<b>La Imagen Radiológica</b>	<b>5</b>
2.	<b>Los Sistemas de Información Hospitalaria</b>	<b>7</b>
3.	<b>El Estándar DICOM</b>	<b>9</b>
3.1	Introducción	9
3.2	Information Object Definition	12
3.3	Elementos de Servicio	13
3.4	La Asociación DICOM	15
3.5	La Estructura de los Mensajes	16
3.6	Las Comunicaciones	17
4.	<b>La Seguridad de la Información</b>	<b>29</b>
4.1	El Real Decreto 994/1999	29
4.2	La Ley Orgánica 15/1999 de Protección de Datos de carácter personal	31
4.3	Arquitectura de Seguridad	31
5.	<b>Las Patologías Coronarias</b>	<b>34</b>
6.	<b>La Angiografía Coronaria</b>	<b>35</b>
6.1	La Historia de los Rayos X	36
6.2	El Desarrollo de la Angiografía Cardíaca	38
6.3	Los Dispositivos de Realización de Angiografías Cardíacas	39
III.	ESTADO DEL ARTE	49
1.	<b>Segmentación Vascular</b>	<b>51</b>
1.1	Técnicas basadas en reconocimiento de patrones.	52
1.2	Técnicas basadas en modelos	56
1.3	Tracking o seguimiento arterial.	61
1.4	Técnicas Basadas en Inteligencia Artificial.	62
1.5	Técnicas generales de detección de objetos tubulares.	63
2.	<b>Soluciones Software Comerciales</b>	<b>64</b>
2.1	BioImage PC.	64
2.2	VEO Sistema de diagnóstico DICOM 3.0	65
2.3	QAngio XA	67
IV.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	69

<b>V. METODOLOGÍA Y MATERIAL</b>	<b>71</b>
<b>1. Especificación de requisitos.</b>	<b>72</b>
1.1 Descripción del proceso de intervención	73
1.2 Análisis Preliminar	74
<b>2. Análisis.</b>	<b>75</b>
2.1 Acceso a Datos.	75
2.2 Adquisición de la Información Clínica.	83
2.3 Explotación	123
2.4 Resumen Final del Análisis	142
<b>3. Diseño</b>	<b>143</b>
3.1 Subsistema de Acceso a Datos (SMIIS)	144
3.2 Subsistema de Adquisición de Estudios Angiográficos	159
3.3 Subsistema de Explotación	176
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>213</b>
<b>1. Adquisición de Estudios Angiográficos.</b>	<b>214</b>
1.1 DISCUS	215
1.2 DISTA	224
1.3 SMIIS	233
<b>2. Acceso a los Estudios Angiográficos.</b>	<b>236</b>
2.1 VISIOM	236
<b>3. Herramientas de segmentación y etiquetado.</b>	<b>240</b>
3.1 Herramienta de Segmentación y Etiquetado. “Hemotool”.	240
<b>4. Construcción del Modelo Arterial Artificial.</b>	<b>259</b>
4.1 Creación del modelo de árbol coronario.	259
4.2 Porcentaje del árbol coronario en riesgo como marcador pronóstico	262
4.3 Explotación de los datos	263
<b>VII. CONCLUSIONES.</b>	<b>265</b>
<b>VIII.FUTUROS DESARROLLOS.</b>	<b>267</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>269</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estrechamientos en las arterias coronarias.....	4
Figura 2. Relación entre HIS, RIS y PACS.....	9
Figura 3. Relación entre las partes principales del estándar DICOM [OOST-01]. ....	12
Figura 4. Ejemplo de un IOD imagen compuesto [OOST-01].....	13
Figura 5. Servicios DICOM [OOST-01].....	14
Figura 6. Proceso distribuido en DICOM.....	16
Figura 7. Estructura del mensaje DICOM.....	17
Figura 8. Estructura de los niveles OSI.....	18
Figura 9. Servicios OSI.....	18
Figura 10. Elementos de una capa OSI.....	19
Figura 11. Estructura del nivel de aplicación.....	20
Figura 12. Estructura del proceso de aplicación.....	20
Figura 13. Arquitectura del protocolo de red DICOM.....	22
Figura 14. Estructura de DICOM en TCP/IP.....	22
Figura 15. Estructura de DICOM bajo el modelo de referencia OSI.....	22
Figura 16. Establecimiento de la asociación [DICO-07]. ....	24
Figura 17. Terminación normal de la asociación [DICO-07].....	25
Figura 18. Terminación anormal de la asociación [DICO-07].....	25
Figura 19. Terminación anormal producida por el “DUL Service Provider” [DICO-07]. ....	25
Figura 20. Transferencia de información sobre una asociación establecida [DICO-07]. ....	26
Figura 21. Flujo de operaciones y notificaciones DIMSE.....	27
Figura 22. Primitivas y mensajes DIMSE.....	29
Figura 23. Arterias principales del árbol coronario [PMED-07].....	35
Figura 24. Procedimiento de realización de un cateterismo [UVIR-07]. ....	36
Figura 25. Radiografía de la mano de Anna Roentgen [GARC-05]. ....	37
Figura 26. Tubo de rayos X.....	38
Figura 27. Imagen de la primera angiografía [MDIN-07].....	39
Figura 28. Intensificador de imagen [MDSP-07]. ....	41
Figura 29. Efecto de las distorsiones “pincushion” y S, sobre una cuadrícula.....	42
Figura 30. Sistema de adquisición de imagen [RCHO-07] . ....	43
Figura 31. Conjunto de secuencias de imágenes que componen un estudio angiográfico.....	44
Figura 32. Imágenes pertenecientes a una misma secuencia de un estudio angiográfico.....	45
Figura 33. Capturas del sistema VEO.....	65
Figura 34. Captura de QAngio XA [QANG-07]. ....	68
Figura 35. Casos de uso generales.....	74
Figura 36. Arquitectura básica del sistema.....	75

Figura 37. Subsistema de Acceso a Datos.....	76
Figura 38. Diagrama de casos de uso del subsistema de acceso. ....	78
Figura 39. Subsistema de Adquisición.....	84
Figura 40. Escenario de seguridad DICOM.....	94
Figura 41. Módulo Funcional SDUL del Subsistema de Adquisición.....	97
Figura 42. Identificación de casos de uso para la entidad DICOM remota.....	99
Figura 43. Identificación de los casos de uso de usuario del servicio. ....	100
Figura 44. Diagrama de estados de la asociación del sistema.....	105
Figura 45. Módulo funcional DISCUS dentro del Subsistema de Adquisición.....	106
Figura 46. Identificación de casos de uso del servidor DISCUS para el usuario Administrador del Sistema.....	108
Figura 47. Identificación de casos de uso del servidor DISCUS, integrado con el subsistema de acceso, para el usuario Entidad DICOM remota.....	109
Figura 48. Módulo funcional DISTA dentro del Subsistema de Adquisición.....	116
Figura 49. Identificación de los casos de uso del módulo DISTA.....	119
Figura 50. Subsistema de Explotación.....	124
Figura 51. Modulo funcional VISIOM dentro del Subsistema de Explotación.....	125
Figura 52. Identificación de los casos de uso del módulo VISIOM.....	126
Figura 53. Módulo funcional de Herramienta de Segmentación del Subsistema de Explotación.....	130
Figura 54. Diagrama de casos de uso de las Herramientas de Segmentación.....	133
Figura 55. Casos de uso del algoritmo de la herramienta de segmentación basada en seguimiento arterial.....	140
Figura 56. Casos de uso del algoritmo de la herramienta de segmentación basada en crecimiento de regiones.....	140
Figura 57. Arquitectura Funcional del Sistema de Información.....	142
Figura 58. Diagrama Arquitectónico del Sistema de Información.....	142
Figura 59. Diagrama Entidad-Relación del Modelo de Datos del Subsistema.....	144
Figura 60. Clases Objeto-Valor definidas en el Subsistema.....	154
Figura 61. Ejemplo de clases "Data Access Object" definidas en el Subsistema.....	155
Figura 62. Arquitectura del LoadOrigenDICOM.....	156
Figura 63. Fachada Query/Retrieve.....	157
Figura 64. Clases que definen los objetos valor del módulo "Consulta Listas de Trabajo".....	158
Figura 65. Fachada Worklist.....	158
Figura 66. Arquitectura del Sistema. Módulos del Subsistema de Adquisición.....	159
Figura 67. Estructura del módulo SDUL.....	160
Figura 68. Estructura del componente "Security Layer".....	161
Figura 69. Estructura del componente "DICOMUpperLayer".....	163
Figura 70. Estructura del componente "StateMachine".....	164



Figura 71. Estructura del componente "PDU".....	165
Figura 72. Estructura del componente "SDUL".....	166
Figura 73. Interfaces de las primitivas DICOM.....	167
Figura 74. Estructura del componente "Application Entity".....	168
Figura 75. Arquitectura del paquete C-ECHO.....	170
Figura 76. Arquitectura del paquete C-STORE.....	171
Figura 77. Arquitectura del paquete C-FIND.....	172
Figura 78. Arquitectura del paquete C-MOVE.....	173
Figura 79. Arquitectura del paquete C-GET.....	174
Figura 80. Estrategias de procesado de peticiones de servicios en DISCUS.....	175
Figura 81. Estructura del Subsistema de Explotación.....	176
Figura 83. Descripción de la clase "Segment".....	179
Figura 84. Descripción de la clase "TreeManager".....	180
Figura 85. Definición de la clase "TreeTrader".....	181
Figura 86. Diseño conceptual del modelo de datos.....	182
Figura 87. Modelo de datos del Sistema de Información. Modelo Conceptual.....	184
Figura 88. Descripción de la fachada de acceso a datos.....	185
Figura 89. Estructura de "HemoDataFacadeDelegate".....	185
Figura 90. Relación entre las clases "Value-Object" y "Data Access Object".....	186
Figura 91. Diagrama de estados del proceso completo de creación de un modelo arterial artificial.....	187
Figura 92. Diagrama de estados detallado del proceso completo de creación de un modelo arterial artificial.....	188
Figura 93. Diagrama de clases del núcleo de la unidad funcional "Herramientas de Segmentación".....	189
Figura 94. Diagrama de clases asociadas al escenario "Session".....	191
Figura 95. Diagrama de interacción simplificado del módulo "Herramientas de Segmentación".....	193
Figura 96. Diagrama de clases relacionadas con el etiquetado de segmentos arteriales.....	194
Figura 97. Diagrama de clases que representa los estados genéricos por los que transcurre cualquier sesión.....	195
Figura 98. Diagrama de clases de la "Guía de Usuario".....	197
Figura 99. Diagrama de interacción simplificado para el mecanismo de segmentación basado en técnicas de seguimiento.....	198
Figura 100. Diagrama de estados para el mecanismo de segmentación basado en técnicas de seguimiento.....	199
Figura 101. Diagrama de estados del proceso de seguimiento.....	200
Figura 102. Diagrama de interacción del método de etiquetado asociado al método de segmentación basado en técnicas de seguimiento.....	201

Figura 103. Diagrama de clases de las estructuras de datos adicionales en el mecanismo de "tracking".....	202
Figura 104. Diagrama de clases relacionadas con la sesión de "tracking". .....	203
Figura 105. Diagrama de clases relacionadas con el método de etiquetado asociado con "tracking".....	204
Figura 106. Diagrama de clases de los estados adicionales para la segmentación basada en seguimiento. ....	205
Figura 107. Diagrama que muestra los “subastados” de segmentación al utilizar crecimiento de regiones.....	206
Figura 108. Diagrama de interacción del proceso de segmentación basado en "crecimiento de regiones".....	207
Figura 109. Diagrama de secuencia del etiquetado en una sesión basada en "crecimiento de regiones".....	208
Figura 110. Diagrama de clases relacionadas con el almacenamiento de segmentos en las sesiones basadas en "crecimiento de regiones".....	209
Figura 111. Diagrama de clases involucrados en una sesión de "Crecimiento de Regiones". .....	209
Figura 112. Diagrama de las clases implicadas en el etiquetado en una sesión de "Crecimiento de Regiones".....	210
Figura 113. Diagrama de las nuevas clases necesarias para soportar los estados propuestos.....	211
Figura 114. Pantalla principal de DISCUS.....	215
Figura 115. Pantalla de información de asociación.....	216
Figura 116. Prueba de validación 1, C-ECHO.....	217
Figura 117. Prueba de validación 2, C-ECHO, C-STORE.....	218
Figura 118. Comprobación de la capacidad multiservicio. ....	218
Figura 119. Ejemplo de certificados firmados por la Autoridad Certificadora DISCUS. ....	219
Figura 120. Prueba de acceso no permitido.....	220
Figura 121. Captura de una asociación sin cifrado. ....	221
Figura 122. Captura de una asociación con cifrado.....	221
Figura 123. Pantalla inicial de la aplicación DISTA.....	225
Figura 124 Opciones de carga de estudios DICOM en DISTA.....	226
Figura 125. Cuadro de Diálogo de apertura de archivos en DISTA.....	226
Figura 126. Barra de progreso de apertura de archivos en DISTA.....	227
Figura 127. Datos cargados de los archivos en DISTA.....	227
Figura 128. Cuadro de dialogo para cambiar los datos de un paciente en DISTA. ....	228
Figura 129. Pantalla de visualización de un estudio en DISTA. ....	229
Figura 130. El botón "Play" para visualizar una secuencia de imágenes en modo cine en DISTA.....	229
Figura 131. Pantalla de animación en DISTA.....	230
Figura 132. Almacenar secuencias en DISTA.....	230

Figura 133. Cuadro de diálogo de autenticación en VISIOM.....	237
Figura 134. Acceso al sistema de búsqueda de un estudio. ....	237
Figura 135. Cuadro de dialogo para indicar los criterios de búsqueda.....	237
Figura 136. Pantalla de selección del estudio angiográfico en VISIOM.....	238
Figura 137. Herramienta de visualización de un estudio almacenado en el sisema.....	238
Figura 138. Panel de previsualización de las imágenes.....	239
Figura 139. Pantalla de presentación de la herramienta. ....	241
Figura 140. Herramienta Hemotool iniciada. ....	242
Figura 141. Guía de ejecución de Hemotool.....	242
Figura 142. Calibración.....	244
Figura 143. Segmentación. ....	245
Figura 144. Borrado. ....	245
Figura 145. Resultado final del Tracking.....	246
Figura 146. Etiquetado. ....	247
Figura 147. Identificación de la estenosis. ....	248
Figura 148. Calibración en "Crecimiento de Regiones".....	251
Figura 149. Preprocesado en "Crecimiento de regiones".....	252
Figura 150. Líneas delimitadoras de segmentos.....	253
Figura 151. Segmentos reconocido por "Crecimiento de Regiones".....	254
Figura 152. Pantalla para la construcción del modelo.....	260

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I: Actores del Subsistema de Acceso a Datos.....	77
Tabla II: Casos de Uso del Subsistema de Acceso a Datos (SMIIS).....	79
Tabla III: Mecanismos de seguridad frente a los servicios.....	87
Tabla IV: Capas OSI y mecanismos de seguridad.....	88
Tabla V: Mecanismos de negociación TLS en el estándar DICOM [DICO-07].....	95
Tabla VI: Mecanismos de Negociación ISCL en el estándar DICOM [DICO-07].	96
Tabla VII: Actores SDUL: Usuario del Servicio.....	99
Tabla VIII: Casos de Uso de SDUL.....	101
Tabla IX: Actores de DISCUS.....	107
Tabla X: Casos de Uso de DISCUS.....	110
Tabla XI: Actores del subsistema DISTA.....	118
Tabla XII: Casos de Uso de DISTA.....	120
Tabla XIII: Actor de VISIOM.....	126
Tabla XIV: Casos de Uso de VISIOM.....	127
Tabla XV: Casos de Uso de las Herramientas de Segmentación.....	134
Tabla XVI: Casos de Uso de los Algoritmos de Segmentación.....	140
Tabla XVII: Entidad “Paciente”.....	145
Tabla XVIII: Entidad “Estudio”.....	146
Tabla XIX: Entidad “Serie”.....	146
Tabla XX: Entidad “Imagen”.....	147
Tabla XXI: Entidad “Origen DICOM”.....	148
Tabla XXII: Entidad “Multimedia”.....	148
Tabla XXIII: Entidad “Solicitud de Servicio de Generación de Imagen”.....	149
Tabla XXIV: Entidad “Procedimiento Solicitado”.....	150
Tabla XXV: Entidad “Paso de Procedimiento Programado”.....	151
Tabla XXVI: Relación “Realiza”.....	152
Tabla XXVII: Relación “Consta”.....	152
Tabla XXVIII: Relación “Está Formada Por”.....	152
Tabla XXIX: Relación “Se Solicita”.....	152
Tabla XXX: Relación “Consiste En”.....	153
Tabla XXXI: Relación “Se Programa”.....	153
Tabla XXXII: Entidad Catéter.....	182
Tabla XXXIII: Entidad Información de Vaso.....	183
Tabla XXXIV: Entidad Información de Estenosis.....	183
Tabla XXXV: Entidad Reconstrucción.....	184
Tabla XXXVI: Rendimiento de la transmisión de series pertenecientes a diversos estudios angiográficos de estudios angiográficos.....	222

Tabla XXXVII Tiempos de carga de 65 series de imágenes angiográficas en DISTA.....	231
Tabla XXXVIII. Tiempos y tasas de envío a base de datos.....	234
Tabla XXXIX. Representación gráfica de la correlación lineal de los resultados obtenidos por el Usuario 1. Se han medido 59 casos de forma doble y ciega por el mismo usuario.....	249
Tabla XL. Representación gráfica de la correlación lineal de los resultados obtenidos por el Usuario 2. Se han medido 59 casos de forma doble y ciega por el mismo usuario.....	250
Tabla XLI. Representación gráfica de la correlación lineal de los resultados obtenidos por el Usuario 1 y el Usuario 2. Se han medido 59 casos de forma doble y ciega por cada uno de los usuarios. ....	250
Tabla XLII. Representación gráfica de la correlación lineal de los resultados obtenidos por el Usuario 1. Se han medido 59 casos de forma doble y ciega por el mismo usuario.....	255
Tabla XLIII. Representación gráfica de la correlación lineal de los resultados obtenidos por el Usuario 1. Se han medido 59 casos de forma doble y ciega por el mismo usuario.....	255
Tabla XLIV. Representación gráfica de la correlación lineal de los resultados obtenidos por el Usuario 1 y el Usuario 2. Se han medido 59 casos de forma doble y ciega por cada uno de los usuarios.....	256



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero expresar mi agradecimiento a mis directores de tesis, los doctores Alejandro Pazos y Javier Pereira, por abrirme las puertas de la UDC, por haber confiado en mí para la realización de este trabajo y por dirigirme durante la elaboración de la tesis.

Me gustaría también transmitir mi gratitud al Dr. Norberto Ezquerro por su ayuda en el planteamiento de este trabajo. Sus consejos en el ámbito del problema, sus recomendaciones para la realización de las tareas de investigación y su forma clara y sencilla de transmitir su conocimiento, han sido claves para el desarrollo de esta investigación. También quiero agradecer al Dr. Jorge Teijero su punto de vista interdisciplinar de la ciencia y la investigación, cuyo espíritu subyace en este trabajo. Además, quiero dar las gracias al Dr. Julián Dorado por brindarme su experiencia en investigación.

Como en todas las tareas importantes, la que finaliza con la realización de esta memoria, es fruto de la colaboración con insuperables compañeros de trabajo, en este caso del Centro Informática Médica y Diagnóstico Radiológico (IMEDIR) de la UDC. Quiero dar las gracias de forma especial a Alberto Curra por su trabajo incansable, sus puntos de vista prácticos y su ayuda desinteresada. También quiero agradecer a Juan Luis Pérez su ayuda en los comienzos, sus ideas y sus opiniones francas. No puedo dejar de mencionar tampoco a “Tono” Castro y a José Manuel Vázquez por su trabajo e ideas, y a Santiago Pellit por su apoyo incondicional, sobre todo en los tiempos difíciles.

Tengo que agradecer infinitamente la ayuda prestada por el Servicio de Hemodinámica del Complejo Hospitalario Universitario “Juan Canalejo” de A Coruña, especialmente a D. Nicolás Vázquez y a D. José Manuel Vázquez, por su plena colaboración, su gran interés y su actitud positiva durante toda la investigación llevada a cabo. Sin su esfuerzo, este trabajo no habría sido posible. También al Servicio de Informática de este hospital por las facilidades prestadas en todas las fases del desarrollo del trabajo, especialmente al director del mismo, D. Guillermo Vázquez. En este mismo servicio, no puedo dejar de hacer mención a Alejandro Lamelo por múltiples razones, pero sobre todo, por “resolver eficientemente” los tediosos protocolos cuando era necesario para avanzar. Tampoco ha sido desdeñable el asesoramiento del Dr. Javier Muñiz en el planteamiento del método de validación estadística de las herramientas.

También deseo dar las gracias a todos los compañeros del Laboratorio de Redes de Neuronas Artificiales y Sistemas Adaptativos (RNASA) de la Facultad de Informática, especialmente a Mónica y Elena, que han hecho que me sienta en el laboratorio como en casa. Gracias especialmente a las dos por hacer grupo y por ayudarme a entrar en él.

Además, deseo mostrar mi gratitud a mis compañeros de Grupo Academia Postal por su colaboración y su comprensión durante la realización de este trabajo, especialmente a Manuel Bustabad que nunca ha tenido inconveniente en “cubrirme” haciendo una labor encomiable y dándome la tranquilidad y confianza que he necesitado en cada momento.

El mayor agradecimiento por el apoyo en la realización de este trabajo es para mis padres, Mercedes y Paco. Gracias por los años de paciencia, gracias por preguntarme “¿cómo va la tesis?” todos los fines de semana, gracias por confiar en todo momento en que llegaría hasta el final, gracias por vuestro cariño y apoyo en los momentos más complicados, gracias por no dejar que nunca me viniese abajo y por alegraros, tanto o más que yo, de estar tan cerca de alcanzar la consecución de este objetivo que “nos” marcamos hace años. También quiero mencionar a mis hermanos: Marta, gracias por tener un hueco siempre para preocuparte siempre por mí y facilitarme las cosas; Ruth, gracias por decir siempre la frase adecuada para “motivarme”; y Jacobo, gracias por verme siempre mejor de lo que soy.

Tampoco puedo olvidarme de la ayuda de mis amigos de siempre, “Pitu”, Marcos, Alfonso y Luis, que han seguido siéndolo a pesar de mi olvido en muchas ocasiones. Gracias por aparecer siempre en mis malos momentos y buscarme en vuestros momentos buenos. Quiero agradecer especialmente a Costa su amistad sincera y directa. Gracias por todas nuestras conversaciones y todos nuestros silencios. También quiero agradecer a Noha todos los momentos especiales que hemos compartido. Un recuerdo con especial cariño a María Jesús, que recorrió conmigo gran parte del camino. En fin, gracias a todos mis amigos porque ellos me han ayudado a encontrar mi perspectiva y mi manera de afrontar las cosas importantes.

Carmen, gracias por acompañarme en la última fase, la más ardua, de este reto; gracias por haberme comprendido a mí y mis circunstancias, y aceptarnos tal y como somos.

Finalmente, quiero dar las gracias al profesor José Fidalgo por estimular la inquietud científica de sus alumnos. Su carisma está en el germen de este trabajo.



## ***A MIS PADRES***

*"I went to the woods because I wished to live deliberately, to front only the essential facts of life, and to see if I could not learn what it had to teach, and not, when I came to die, discover that I had not lived."*

*"Fui a los bosques porque deseaba vivir intensamente, enfrentarme a la esencia misma de la vida y comprobar si era capaz de aprender todo lo que podían enseñarme. No quería descubrir, en el momento de mi muerte, que no había vivido."*

*(Walden. H.D. Thoreau.)*



# RESUMEN

Las patologías asociadas al corazón constituyen uno de los mayores problemas de salud en el mundo occidental. De entre ellas, la oclusión coronaria es una de las enfermedades de mayor relevancia, debido a su índice de mortalidad y morbilidad.

Ante síntomas evidentes de problemas cardiovasculares, la técnica de diagnóstico más utilizada es la angiografía. Dicho estudio permite al clínico observar el flujo sanguíneo en las arterias coronarias, detectando los estrechamientos acusados o “estenosis”. En función de la severidad, extensión y ubicación de las estenosis, el clínico realiza el diagnóstico del paciente, define un tratamiento y establece el pronóstico de la enfermedad. Actualmente, los clínicos observan las secuencias de imágenes y, en función de su conocimiento empírico, toman las decisiones oportunas.

La implantación de la radiología digital, la información asociada a los pacientes, el creciente número de estudios de imagen que se realizan y la necesidad de disponer de un acceso rápido y eficaz a esta información de forma ubicua ha puesto de manifiesto la importancia de los sistemas de información en el ámbito clínico, como pueden ser los Sistemas de Archivo y Comunicación de Imágenes Médicas. En este trabajo, se presenta un sistema de información de apoyo a la toma de decisión clínica de cardiopatías basado en estudios de angiografía. Además, el sistema desarrollado proporciona al usuario varias herramientas de adquisición, almacenamiento y acceso remoto a los estudios angiográficos, la posibilidad de realizar una o varias segmentaciones de los vasos coronarios desde las diferentes perspectivas de las imágenes digitales, y la posibilidad de construcción de un modelo arterial artificial que permite cuantificar la información angiográfica, permitiendo de este modo el establecimiento de un diagnóstico y una prognosis más precisos, ya que el sistema:

- Facilita el acceso a dichos estudios, puesto que se almacenan de forma organizada y permite fácilmente controles de evolución.
- Establece un criterio objetivo en base a la información extraída de los estudios angiográficos.

- Reduce el tiempo de estudio de los casos complejos, gracias a las herramientas añadidas.
- Proporciona la posibilidad de realizar estudios epidemiológicos.

Como conclusión, se puede afirmar que la principal innovación que aporta este trabajo es proporcionar al clínico un marcador (“score”) que no está basado en la experiencia del especialista, ya que a partir de la información cuantitativa extraída de las angiografías, se facilita un nuevo e importante criterio a tener en cuenta en el momento de la toma de decisión clínica.

# I. Introducción

---

Antes de dar comienzo con la descripción del trabajo realizado, es necesario hacer una descripción de los diferentes ámbitos de investigación en los que se enmarca. Debido a su marcado carácter interdisciplinar, dado que se involucran diferentes campos ubicados dentro de la Informática y la Medicina, se hará una breve descripción de cada uno de ellos.

Dentro de la Informática, la Informática Médica se define como el campo científico que se encarga de los datos, las informaciones y los conocimientos biomédicos, de su almacenamiento, recuperación y uso óptimo para la resolución de problemas y la toma de decisiones [SHOR-01]. Una de las disciplinas que dimana de la Informática Médica es la Imagen Médica Digital [GREE-01], que fue definida por Kulikowski como el conjunto de técnicas comunes que se pueden aplicar a todas las modalidades y aplicaciones de imagen en formato digital [KULI-97].

Las diferentes tecnologías desarrolladas en el ámbito de la imagen médica han evolucionado rápidamente en los últimos años. Estos avances han provocado profundos cambios en la forma de entender la imagen como elemento diagnóstico.

Pese a que ya se ha producido una gran generalización en la aplicación de la imagen médica digital en la práctica clínica diaria, todavía queda un largo camino por recorrer hasta que el aprovechamiento de todas las ventajas que aporta la informática médica y, en concreto, las técnicas de imagen digital repercutan completamente en el paciente.

La aplicación de estas técnicas de diagnóstico basadas en imagen genera una gran cantidad de información que tiene que ser debidamente gestionada para que su utilización sea eficiente. Con el objeto de adquirir, almacenar y gestionar imágenes médicas se han desarrollado los Sistemas de Archivo y Comunicación de Imágenes Médicas (PACS). Un PACS es un conjunto de dispositivos y elementos informáticos, tanto hardware como software, que interactúan con los aparatos de generación de imágenes médicas.

Sin embargo, la implantación de las soluciones comerciales en los centros hospitalarios ha sido lenta debido a factores económicos y tecnológicos. Con respecto de los problemas económicos [BASH-97] se han realizado multitud de estudios en los que se analiza la rentabilidad y el impacto económico de la implantación de un PACS en una organización sanitaria, con diferentes resultados. Es importante resaltar que un elemento común que presentan todos estos estudios es la necesidad de realizar una fuerte inversión inicial, lo que provoca que estos sistemas se hayan implantado fundamentalmente en grandes corporaciones [BECK-94], [PRAT-98], [MORG-04].

Los primeros fabricantes de PACS (décadas 1980 y 1990) desarrollaron soluciones monolíticas propietarias basadas en hardware, software y protocolos no estandarizados. Esto implicaba que dispositivos de diferentes fabricantes no se podían integrar ni utilizar en conjunto, lo que limitaba su escalabilidad y producía reticencias en los administradores, debido a que la compra de un PACS de un determinado fabricante obligaba a la adquisición de dispositivos generadores de imágenes del mismo fabricante y viceversa.

Para superar los desafíos tecnológicos planteados por las primeras implementaciones de los PACS, el ACR (American College of Radiology) y la NEMA (National Electrical Manufacturers Association) formaron un comité en 1983. Fruto de los trabajos de este comité, en 1993 se hace público el estándar DICOM 3 (Digital Imaging and COmmunications in Medicine), que es actualizado y revisado regularmente [COHE-05], [NEMA-01].

En la actualidad, cualquier sistema de información que se ubique en un hospital y utilice imágenes médicas debe implementar el estándar DICOM 3 [CLUN-06] para ser compatible con la mayor parte de dispositivos de generación de imagen. Además, debe tener la capacidad de integración con el Sistema de Información Hospitalaria y el Sistema de Información Radiológica [BASH-97].

Una de las áreas médicas en la que la utilización de la imagen es un elemento fundamental es la Cardiología. Además, las patologías asociadas al corazón constituyen uno de los mayores problemas de salud en el mundo occidental. De entre ellas, las enfermedades cardiovasculares, entre las que se encuentra la oclusión coronaria severa, son las de mayor relevancia debido a que representan el 53% del total de las enfermedades cardíacas,

presentan un alto índice de mortalidad (1 de cada 5 muertes producidas por enfermedad) y morbilidad elevados, según un estudio realizado, por T. Thom en EE.UU. en el año 2003 [THOM-06].

La observación de estas arterias es de vital importancia en la elaboración del diagnóstico de estas enfermedades. Para ello, se realizan estudios que permiten al clínico observar el flujo sanguíneo en las arterias coronarias, detectando las estenosis. En función de la severidad, extensión y ubicación de los estrechamientos, el clínico realiza el diagnóstico del paciente, define un tratamiento y establece el pronóstico de la enfermedad [SCAN-99].

En la actualidad, existen múltiples técnicas basadas en imagen que facilitan la realización de los diagnósticos en este tipo de dolencias, como por ejemplo la fusión entre la angiografía y los ultrasonidos intravasculares [PUJO-99] [ROTG-01] [WAHL-99] o la resonancia magnética de alta velocidad. Sin embargo, la técnica de diagnóstico más implantada en este momento y la que se utiliza ante síntomas evidentes de problemas cardiovasculares es la angiografía obtenida mediante cateterismo.

Un estudio angiográfico contiene una secuencia de imágenes radiográficas del corazón, obtenidas desde diferentes proyecciones, después de haber introducido un líquido de contraste en las arterias coronarias. Este estudio permite que el clínico observe el flujo sanguíneo en dichas arterias, detectando los estrechamientos acusados existentes en las mismas, que se denominan estenosis [SCAN-99] (ver Figura 1).

Este tipo de estudios de imagen médica presentan una serie de peculiaridades que hacen que la extracción de información útil de estas imágenes sea una labor realmente compleja.

Los servicios médicos que tratan este tipo de enfermedades son los servicios de hemodinámica. El Complejo Hospitalario Universitario Juan Canalejo es el hospital público más importante de la ciudad de A Coruña, siendo el centro de referencia para un área geográfica en la que viven alrededor de 500.000 habitantes. Su servicio de hemodinámica realiza una media de 3.000 cateterismos anuales [MEMO-03] por lo que es un entorno ideal para instalar y validar el funcionamiento de cualquier aplicación desarrollada en esta temática.

Actualmente, dispone de tres salas para la realización de angiografías mediante cateterismo. Dos de los dispositivos de angiografía, de los fabricantes Siemens y Philips, cumplen el estándar DICOM 3 y están conectados a la red de comunicaciones del hospital, con lo que es factible programar dichos dispositivos para que envíen las imágenes generadas a un PACS, para que puedan ser accedidas y procesadas con posterioridad.

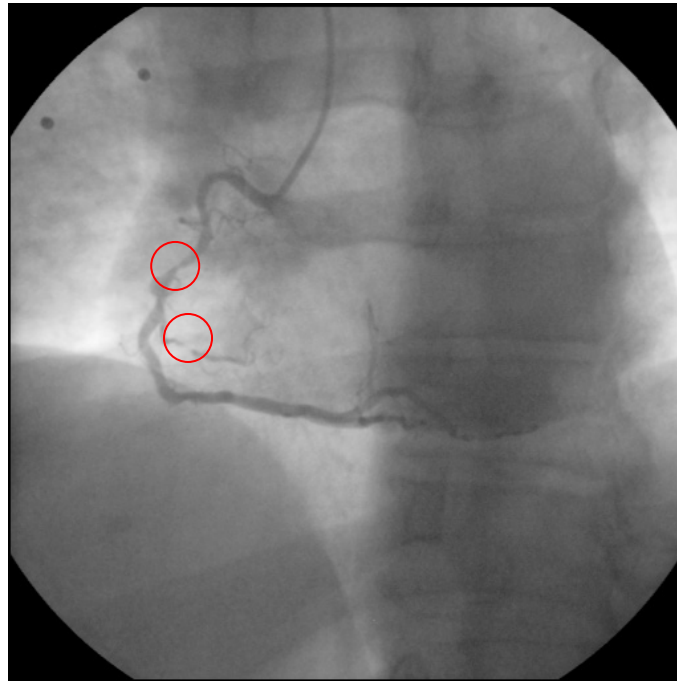


Figura 1. Estrechamientos en las arterias coronarias.

Para el éxito en el proceso de implantación del sistema, fue necesaria la estrecha colaboración del equipo médico, desde la fase de análisis de requisitos hasta el diseño de las interfaces, pasando por las fases de desarrollo, verificación y validación del sistema. Esta colaboración proporcionó un mejor análisis funcional del sistema y una interfaz adaptada a las características de los usuarios, disminuyendo de esta forma el tiempo de entrenamiento necesario para usar las diferentes herramientas del sistema.



## II. Fundamentos

---

A continuación, se describen las bases médicas y tecnológicas que se utilizan en el desarrollo de esta tesis, así como el ámbito de aplicación clínica de la misma. Se comienza por ubicar la importancia de la imagen radiológica dentro de la medicina, su utilidad clínica y su ciclo de vida. Posteriormente, dentro del ámbito de la informática y las tecnologías de la información y las comunicaciones, se definen los diferentes sistemas de información que coexisten en el ámbito clínico, prestando especial atención a los PACS, se justifica su existencia y se explica la importancia de su integración con otros sistemas de información hospitalaria. El estándar DICOM es tratado en el siguiente punto, donde se explican las causas que estimularon su desarrollo, su evolución histórica, su estructura y elementos básicos.

Una vez establecidos estos fundamentos tecnológicos se define el ámbito del problema clínico, lo que facilita la comprensión de la importancia del problema a tratar y la relevancia científica y socioeconómica que supone cualquier aportación que se pueda realizar en este tipo de enfermedades.

### 1. La Imagen Radiológica

Los descubrimientos de fenómenos físicos tales como los rayos X, los ultrasonidos, la radiactividad o la resonancia magnética, así como el desarrollo de instrumentos que permiten la generación de imágenes médicas utilizando los principios físicos de tales fenómenos, han proporcionado algunas de las herramientas de diagnóstico más eficaces en medicina. Esto ha permitido la exploración de la estructura, función y patología del cuerpo humano con una gran diversidad de sistemas de imágenes (modalidades), así como también la planificación de tratamientos y cirugías por parte de los especialistas.

Los sistemas basados en imagen tienen la capacidad de generar conjuntos de datos en dos, tres o más dimensiones, los cuales representan información detallada para aplicaciones tanto clínicas como de investigación. El objetivo final de los estudios por imágenes es el de realizar una interpretación cuantitativa y, o, cualitativa de los datos integrando incluso imágenes anatómicas con imágenes funcionales. Para ello, es necesario cumplir con un conjunto de etapas tales como la mejora o realce de la calidad de los datos, identificación de las estructuras anatómicas de interés con ayuda de técnicas de segmentación, extracción de la información esencial para el diagnóstico, visualización y, por último, compresión, almacenamiento y transmisión.

En general, en cuanto a la aplicación de la informática al tratamiento de las imágenes médicas, se pueden considerar las siguientes áreas [TELE-07]:

- Adquisición de imágenes médicas: Trata los sistemas “hardware” de adquisición de imágenes médicas, los protocolos de comunicaciones y los algoritmos asociados.
- Tratamiento y análisis de imágenes: Se estudian las técnicas de filtrado y mejora de las imágenes médicas, para eliminar el ruido y señales no deseadas, así como los métodos de segmentación que permiten separar y extraer las estructuras de interés dentro de una imagen. Según la naturaleza de las imágenes y de la aplicación, éstas se procesan en dos o tres dimensiones.
- Visualización: Esta disciplina se ocupa de la exploración, representación y manipulación de los datos. La gran cantidad de datos médicos en forma de imágenes, así como su naturaleza predominantemente tridimensional, hacen que la visualización tenga en medicina uno de sus campos de aplicación más naturales para facilitar al especialista el manejo y aprovechamiento de la información.
- Sistemas de acceso y almacenamiento: Los Sistemas de Archivo y de Comunicación de Imágenes Médicas, PACS, almacenan las imágenes médicas digitalizadas en conexión con los Sistemas de Información de los Servicios de

Radiología (RIS) y permiten su acceso en red. Las imágenes se estructuran en estudios siguiendo, habitualmente, el estándar DICOM.

## **2. Los Sistemas de Información Hospitalaria**

Hoy en día existen tres tipos sistemas de información en la mayor parte de las organizaciones hospitalarias. Estos tres sistemas están integrados y colaboran entre sí para gestionar el flujo de información de forma óptima.

El primero de ellos es el “Sistema de Información Hospitalaria” (Hospital Information Systems, HIS), que es un conjunto de dispositivos informáticos diseñados y configurados para administrar toda la información administrativa y médica del hospital, con el fin de permitir que los profesionales sanitarios puedan realizar su trabajo de forma efectiva y eficiente.

Los primeros HIS fueron desarrollados en los años 60 y desde entonces se han convertido en una parte esencial de la gestión y administración de un hospital. Estos sistemas se utilizan para administrar, además, la información financiera de los pacientes y el inventario del hospital.

Un Sistema de Información Radiológica (Radiology Information System, RIS) es un sistema informático que facilita a los servicios de radiología el almacenamiento, manipulación y obtención de información. Los primeros RIS fueron desarrollados en los años 70 y su objetivo principal era administrar y almacenar la información radiológica.

Sin embargo, con la introducción en el ámbito de la computación de la arquitectura “cliente – servidor”, la mejora de las técnicas de imagen médica, la implantación de las redes de comunicaciones, así como la aparición del estándar DICOM y HL7, los PACS se convirtieron en el complemento ideal de los RIS, siendo un sistema especializado solamente en manejar imágenes radiológicas. Los RIS continúan realizando tareas de gestión de los informes de los estudios realizados, la planificación de trabajos, el seguimiento de paciente y la generación de informes de resultados.

El conjunto de equipos informáticos dedicados a la adquisición, almacenamiento, procesado y comunicación de imágenes radiológicas digitales e información asociada se

denominan IMACS (*Image Management and Communication System*) o más comúnmente, PACS [TORR-00].

Estos sistemas son una herramienta informática que aporta nuevos modos de trabajo a la radiología diagnóstica. El objetivo final de un PACS es permitir el funcionamiento de un servicio de radiología sin necesidad de imágenes en película ni documentos en papel, integrando las imágenes y la información clínica. Alrededor de un sistema central de gestión y archivo se disponen diferentes sistemas de adquisición, visualización y archivo de imágenes, unidos por redes de comunicaciones.

La tecnología de PACS se introdujo a mediados de los años 80, pero no fue realmente hasta el inicio de los años 90 cuando se consolidó realmente. La primera instalación operativa se efectuó en los servicios de diagnóstico por imagen de la Universidad de California (UCLA), en Los Ángeles, a lo largo de la década de los años 80. En aquella época UCLA se convirtió en el principal centro de desarrollo y experimentación en PACS. Ya el año 1992, se podían contar alrededor de 20 PACS instalados en Europa con distintos niveles de implantación, pero se deben citar especialmente los trabajos teóricos y de estandarización realizados en el Hospital de la Universidad Libre de Bruselas (Bélgica).

En Noviembre de 1997, la Sociedad Norteamericana de Radiología (*Radiological Society of North America - RSNA*) [PUJO-99] [PRAT-98] [RSNA-04] celebró su 83ª reunión anual en la que se presentaron más de 1.700 comunicaciones científicas, 1.051 exhibiciones científicas, 264 cursos y 600 exhibiciones técnicas. En esta reunión se mostró una representación precisa del “estado del arte” real de la tecnología informática y la representación comercial de los nuevos productos y servicios del sector, concluyendo que los PACS eran ya una realidad y que, junto a la presencia del entorno de Internet y la disponibilidad de comunicaciones de banda ancha, los fabricantes habían desarrollado un variado nivel de soluciones con gran potencial futuro.

Sin embargo, los PACS no son sistemas aislados, tal y como se comentaba anteriormente, si no que conviven con otros sistemas de información dentro del hospital [CAST-02]. Para que todo funcione adecuadamente es necesario que exista una comunicación de datos entre el PACS, el HIS, el RIS y las diferentes modalidades de imagen, tal y como se muestra en la Figura 2.

En el RIS, se almacenan los datos sobre los turnos, exámenes, listas de trabajo o datos sobre los pacientes a examinar y se dice habitualmente que forma parte del HIS. El HIS normalmente gestiona las operaciones administrativas del hospital y los datos demográficos de los pacientes. El HIS, por definición, es el encargado de la distribución de información por el hospital; por lo tanto, es fundamental que el HIS y el PACS puedan comunicarse adecuadamente.

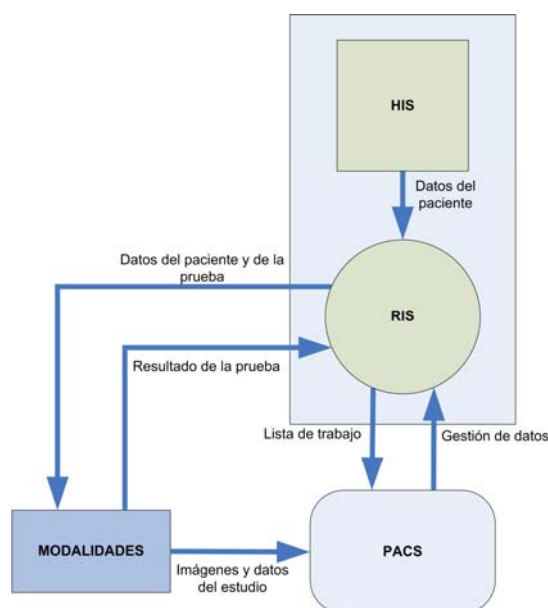


Figura 2. Relación entre HIS, RIS y PACS

### 3. El Estándar DICOM

#### 3.1 Introducción

En 1983, en un esfuerzo por desarrollar un estándar por el que los usuarios de equipos de imagen médica digital (como el angiógrafo, TAC, Resonancia Magnética, Medicina Nuclear o Ultrasonidos) pudieran intercambiar imágenes y compartir recursos, el ACR y la NEMA formaron un comité cuya labor consistía en elaborar un estándar que permitiera la comunicación de información acerca de imágenes digitales independientemente del fabricante del equipo, facilitar el desarrollo y la expansión de los PACS para que pudieran integrarse con otros sistemas de información hospitalaria y permitir la creación de bases de datos de información diagnóstica que pudieran ser consultadas por una larga variedad de equipos distribuidos geográficamente.

Después de dos años de trabajo, la primera versión del estándar, llamada ACR-NEMA v.1.0, fue publicada en el número 300 de la ACR-NEMA Standards Publication. A esta versión le siguieron dos revisiones, una en octubre de 1986 y otra en enero de 1988. Ya a finales de 1988 fue elaborada la versión 2.0 que incluía las revisiones anteriores y la versión 3.0 fue finalizada en 1993. Esta versión, vigente en la actualidad, ha sido modificada por las revisiones realizadas en 1998, 2000, 2001, 2003, 2004, 2006 y 2007 [DICO-07].

El estándar DICOM proporciona interoperabilidad entre equipos de imágenes médicas especificando:

- Un conjunto de protocolos que deben implementar los dispositivos para las comunicaciones por red.
- La sintaxis y la semántica de los comandos e información asociada que pueden ser intercambiados en el protocolo.
- Información que deba ser tenida en cuenta en la implementación.

Dicho estándar DICOM debe incluirse en el campo de la Informática Médica. Dentro de este campo, trata sobre el intercambio de información digital entre modalidades de imágenes, sistemas PACS, estaciones de visualización de imágenes y equipos de impresión.

En DICOM 3 (revisión de 2007) se definen las siguientes partes:

- Parte 1: Introducción y Visión General
- Parte 2: Conformidad
- Parte 3: Definición de los Objetos de Información
- Parte 4: Especificaciones de las Clases de Servicio
- Parte 5: Estructura de Datos y Semántica
- Parte 6: Diccionario de Datos
- Parte 7: Intercambio de Mensajes

- Parte 8: Soporte de Comunicación de Red para el Intercambio de Mensajes
- Parte 9: Retirada (obsoleta)
- Parte 10: Medios de Almacenamiento y Formato de Ficheros
- Parte 11: Perfiles de Aplicación
- Parte 12: Funciones de Almacenamiento y Formato de los Medios Físicos
- Parte 13: Retirada (obsoleta)
- Parte 14: Función de Presentación Estándar en Escala de Grises
- Parte 15: Perfiles de Administración del Sistema y Seguridad
- Parte 16: Códigos de Mapeo de Contenidos y Recursos
- Parte 17: Información Explicativa
- Parte 18: Acceso Web a Objetos Persistentes DICOM

Cada una de las diferentes partes que componen el estándar se relacionan entre sí. En la Figura 3 puede observarse la interacción entre las diferentes partes del estándar en la revisión de DICOM 3.0 llevada a cabo en 2001.

Además, es necesario remarcar que el funcionamiento del protocolo DICOM se basa en la arquitectura de procesos distribuidos.

La combinación de un contexto, relaciones entre procesos, operaciones e información es la piedra angular del procesamiento distribuido y de DICOM. Dicha combinación debe ser definida antes de que una aplicación pueda ser realizada.

Un proceso distribuido consta al menos de dos procesos que comparten información. Cada uno realiza procesamientos internos, pero la funcionalidad global depende de todos. Antes de que los procesos puedan actuar de forma conjunta, deben intercambiar información acerca del dominio. Primero, se debe definir que rol jugará el proceso: cliente o servidor. El proceso que utilice la funcionalidad de otro tomará el rol cliente. Después, debe

especificarse la semántica de la información. Todos los procesos que formen parte del servicio deben tener la misma visión de la información que puede ser intercambiada. Por último, se deben describir las operaciones que cada proceso llevará a cabo durante el servicio. La operación define cómo debe ser procesada la información intercambiada como por ejemplo almacenarla, devolver un resultado, etc.

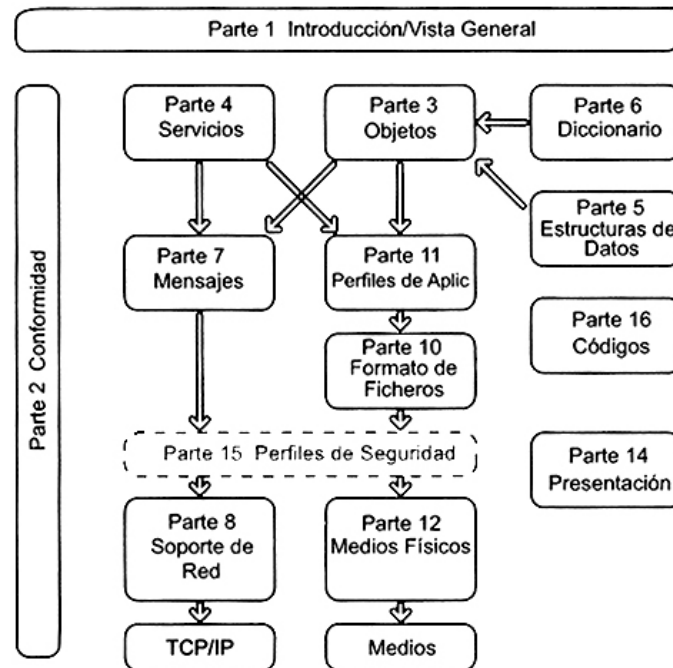


Figura 3. Relación entre las partes principales del estándar DICOM [OOST-01].

### 3.2 Information Object Definition

Un Information Object Definition (IOD) es un modelo de datos abstracto y orientado a objetos que DICOM utiliza para especificar información acerca de los objetos del mundo real: un paciente, una imagen, etc. Un IOD proporciona una vista común de la información que va a ser intercambiada entre dos entidades de aplicación DICOM.

Si el IOD representa una única clase de un objeto del mundo real se denomina “*Normalized Information Object*”, si incluye información sobre varios objetos del mundo real relacionados se denomina “*Composite Information Object*” (Ver Figura 4).

Los objetos de mundo real proporcionan un contexto completo para el intercambio de información. Cuando es necesario enviar una instancia de un “*Composite IOD*”, se intercambia este contexto completo entre las entidades de aplicación.



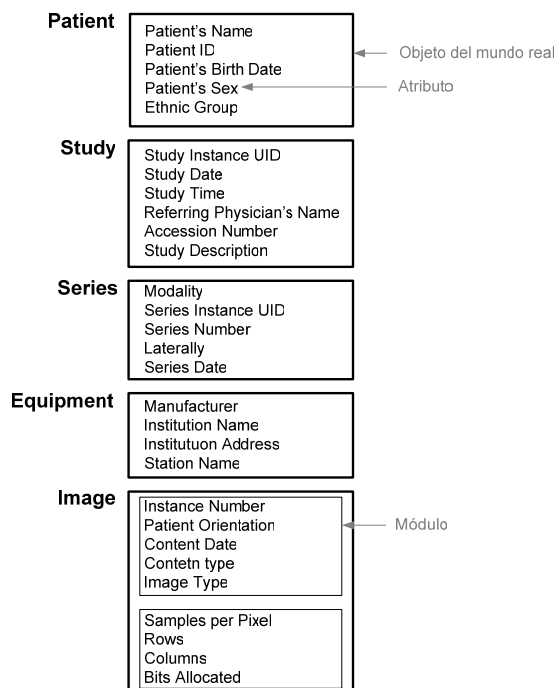


Figura 4. Ejemplo de un IOD imagen compuesto [OOST-01]

### 3.3 Elementos de Servicio

La parte 4 del estándar DICOM define una serie de servicios que pueden ser utilizados sobre los objetos:

- Verificación (Verification)
- Almacenamiento (Storage)
- Consulta/Recuperación (Query/Retrieve)
- Notificación del contenido del estudio (Study Content Notification)
- Gestión del paciente (Patient Management)
- Gestión del estudio (Study Management)
- Gestión de resultados (Results Management)
- Gestión de la impresión (Print Management)

- Compromiso de almacenamiento (Storage Management)
- Almacenamiento en medio físico (Media Storage)

Estos servicios pueden ser divididos según su funcionalidad en distintas dimensiones [OOST-01], tal y como se puede observar en la Figura 5:

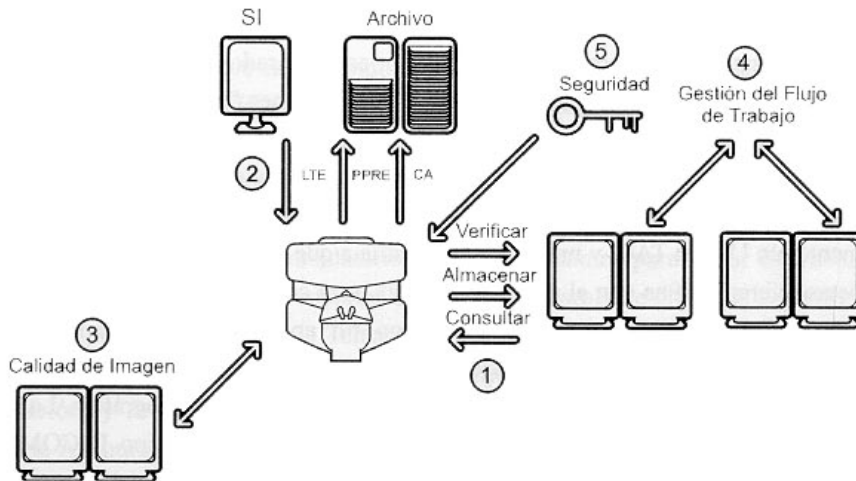


Figura 5. Servicios DICOM [OOST-01]

- La primera dimensión está formada por los servicios de *Verificación, Almacenamiento y Consulta*. La verificación permite comprobar la presencia de un dispositivo, el servicio de almacenamiento permite intercambiar objetos para ser almacenados y la consulta permite recuperar los datos almacenados.
- La segunda dimensión la forman los servicios de *Gestión del Estudio* y de la *Información del Paciente* y el *Compromiso de Almacenamiento*. Dentro de la gestión del estudio se distinguen el “Modality Worklist” o Lista de Trabajo del Equipo y el “Modality Performed Procedure” que define el examen realizado frente al planificado.
- La siguiente dimensión contiene referencias a la Calidad de la Imagen donde se define un estándar de escala de grises para la presentación estándar de las imágenes en monitores de diferentes fabricantes.

- En la cuarta dimensión se encuentra la Gestión del Flujo de Trabajo que proporciona un formato estándar para suministrar una lista de trabajo o carpetas de lectura a una estación de trabajo.
- La última dimensión se encarga de la seguridad. Incluye los mecanismos de confidencialidad, autenticidad y control de acceso.

A estos servicios habría que añadir la notificación del contenido del estudio (notificaciones entre Entidades de Aplicación de la existencia, contenido y localización de las imágenes de un estudio), la gestión de resultados (creación y seguimiento de resultados e interpretaciones diagnósticas asociadas), la gestión de impresión (impresión de imágenes e información relacionada), la gestión de colas, el almacenamiento en medio físico y la gestión de lista de trabajo básica (simplificación del acceso a las listas de trabajo).

Estos siete tipos de servicio se ven ampliados por los Servicios de Capa Superior (“Upper Layer Services”) encargados de la comunicación entre entidades de aplicación. Estos servicios son:

- A-ASSOCIATE para el establecimiento de una asociación.
- A-RELEASE para la finalización de una asociación.
- A-ABORT para la finalización anormal de la asociación.
- A-P-ABORT para la finalización de la asociación debida a problemas en la capa de presentación.
- P-DATA para la transmisión de mensajes DICOM durante la asociación.

### **3.4 La Asociación DICOM**

Una asociación DICOM se compone de tres fases: establecimiento de la conexión, realización de servicio y finalización o desconexión.

Durante el establecimiento de la conexión, las entidades de aplicación especifican los servicios y objetos que pueden manejar. Para ello, intercambian pares del tipo (servicio, objeto), llamados “Service Object Pairs” (SOPs), que indican las funciones que se pueden

realizar sobre un determinado objeto. Al mismo tiempo, las entidades participantes en la asociación deben intercambiar mensajes acerca de que rol pueden tomar en cada servicio, esto es: proveedor “Service Class Provider” (SCP) o cliente “Service Class User” (SCU) y otro tipo de información como la sintaxis que va a ser utilizada en los mensajes.

En la segunda fase, el SCU solicita la realización de un servicio sobre una “SOP Instance”, instancia de una de las clases SOP anteriormente pactadas. El SCP aceptará o rechazará la solicitud y responderá adecuadamente al cliente.

Una vez realizado el servicio, el SCU o el SCP pueden solicitar la finalización de la asociación. En la Figura 6, se muestra un diagrama que representa este proceso.

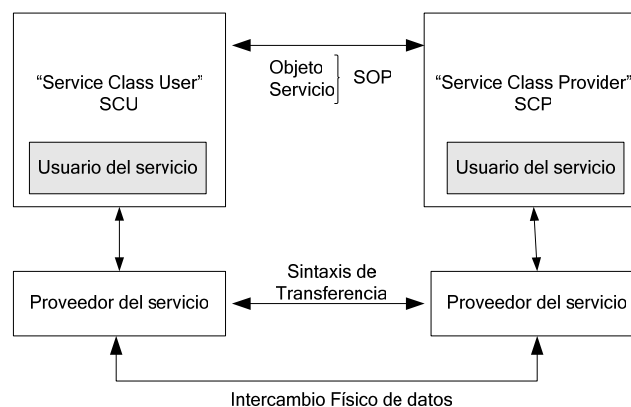


Figura 6. Proceso distribuido en DICOM.

### 3.5 La Estructura de los Mensajes

Una vez establecida la asociación entre dos aplicaciones DICOM puede comenzar el intercambio de mensajes. Los mensajes están compuestos por un conjunto de comandos o “*Command Set*” y un conjunto opcional de datos o “*Data Set*”.

El conjunto de comandos es utilizado para indicar que operación se quiere realizar con los datos.

El conjunto de datos está formado por una serie ordenada de “*Command Elements*” que son pares del tipo (etiqueta, valor) dependientes del servicio que se quiera invocar o efectuar. En la Figura 7, se puede observar la estructura de los mensajes DICOM.

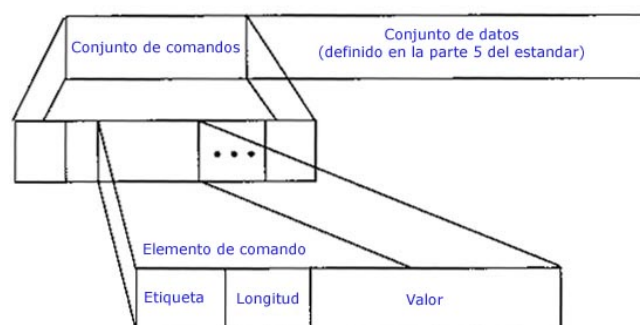


Figura 7. Estructura del mensaje DICOM.

### 3.6 Las Comunicaciones

Para comprender el estándar DICOM, en lo que se refiere a la parte de comunicación en red e intercambio de mensajes (Partes 7 y 8) es importante conocer el modelo de referencia OSI y su “suite de protocolos”. El estándar DICOM sigue la estructura de capas que OSI define en su modelo de referencia; sin embargo, utiliza su propia terminología sin exponer a qué conceptos OSI se están refiriendo. Es por ello que, para comprender cómo se deben comunicar los equipos DICOM es imprescindible conocer a fondo las capas superiores del modelo de referencia OSI.

#### 3.6.1 El Modelo de Referencia OSI

El Modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) es un modelo conceptual desarrollado por la “International Organization for Standardization” (ISO) y la “International Telecommunication Union – Telecommunications Standards Sector” (ITU-T) a finales de la década de los setenta, debido a la necesidad de creación de un protocolo que permitiera la comunicación entre computadores heterogéneos en un entorno de aplicaciones distribuidas. En 1984, el modelo OSI se convirtió en el estándar internacional para las comunicaciones en red [ISO-00].

El objetivo principal del modelo OSI era establecer las bases para la creación de un conjunto de protocolos que pudieran ser utilizados internacionalmente para la interconexión de equipos. A este conjunto de protocolos se le denominó “OSI Protocol Suite”. El rápido crecimiento de Internet y de los protocolos TCP/IP hizo que OSI sea utilizado simplemente para uso educativo.

El modelo OSI divide el proceso de transmisión de información en 7 niveles o capas conceptuales (ver Figura 8) que pueden ser divididos en dos categorías: capas superiores y capas inferiores.

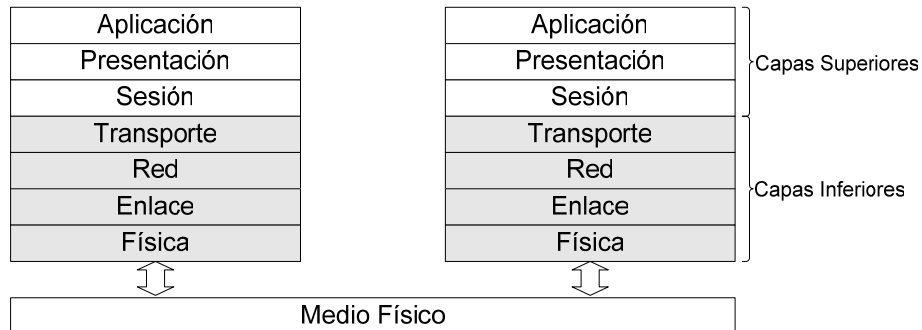


Figura 8. Estructura de los niveles OSI.

Antes de exponer las funciones de cada uno de los niveles del modelo OSI, es importante definir algunos conceptos:

- **Servicio:** Conjunto de primitivas (operaciones) que un nivel proporciona al nivel superior, sin especificar su formato. Hay tres elementos envueltos en los servicios de nivel, tal y como se puede observar en la Figura 9:
  - Usuario del servicio “Service User”: Nivel OSI que solicita un servicio de una capa adyacente.
  - Proveedor del servicio “Service Provider”: Nivel OSI que proporciona un servicio a los usuarios del servicio.
  - Punto de acceso al servicio “Service Access Point” (SAP): Interfaz de servicio entre dos niveles OSI.

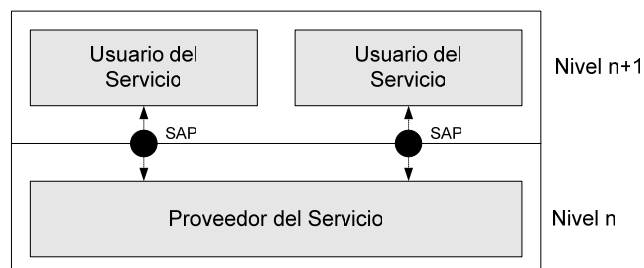


Figura 9. Servicios OSI.

- **Protocolo:** Conjunto de reglas que definen el formato y significado de las unidades de datos del protocolo que son intercambiados por las entidades de una capa. Las entidades utilizan protocolos para implementar la definición de sus servicios.
- **“Interface Data Unit” (IDU):** Unidad de datos de la interfaz.
- **“Protocol Data Unit” (PDU):** Paquetes intercambiados entre entidades pares.
- **“Service Data Unit” (SDU):** Paquetes entregados a un nivel por el nivel superior.
- **“Interface Control Information” (ICI):** Información de control para el nivel inferior. La relación entre estos últimos cuatro elementos se puede observar en la Figura 10.

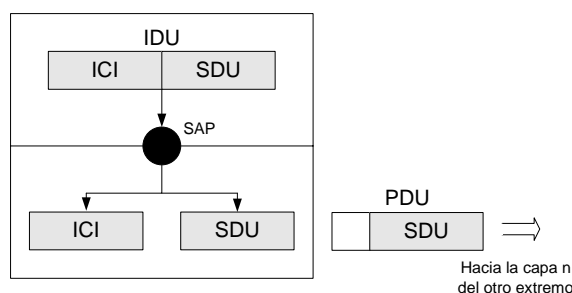


Figura 10. Elementos de una capa OSI.

- **Primitiva:** El diálogo entre las diferentes capas se realiza a través de la interfaz que existe entre ellas. Esta comunicación está normalizada en forma de un sistema de llamadas y respuestas llamadas “primitivas”. OSI define cuatro tipos fundamentales de primitivas: *request*, *indication*, *response* y *confirmation*.

### 3.6.2 Modelo de Implementación en las Capas Superiores del Modelo OSI

La implementación del **nivel de aplicación** de la pila de protocolos OSI está formada por “Entidades de Aplicación” (Application Entities, AE). Una AE es aquella parte del “Proceso de Aplicación” que reside dentro de la estructura de OSI (véanse Figura 11 y

Figura 12). Está compuesta por un “Elemento de Usuario” (User Element, UE) y por un “Elemento de Servicio de Aplicación” (Application Service Element, ASE).

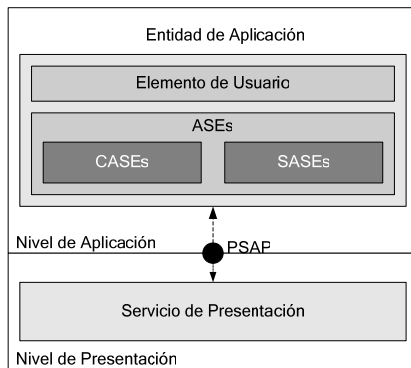


Figura 11. Estructura del nivel de aplicación

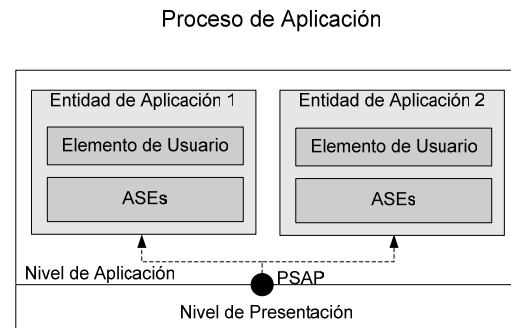


Figura 12. Estructura del proceso de aplicación

El Elemento de Usuario es la parte de la Entidad de Aplicación que utiliza los “Elementos de Servicio de Asociación” para satisfacer las necesidades de comunicación de los Procesos de Aplicación. El ASE es la parte de la Entidad de Aplicación que proporciona servicios a los UE y, por tanto, a los Procesos de Aplicación. Los ASEs también proporcionan una interfaz a las capas inferiores de OSI. Los ASEs pueden ser de dos tipos: “*Common-Application Service Elements*” (CASEs) y “*Specific-Application Service Elements*” (SASEs)

Los CASEs son los elementos de servicio de uso común. Aquellos que pueden ser utilizados por distintos procesos de aplicación. En muchos casos, una AE utiliza varios CASEs. En la especificación de OSI se definen cuatro elementos de servicio de este tipo:

- “*Association Control Service Element*” (ACSE): Establece asociaciones entre la “Entidad de Aplicación” y otra “Entidad de Aplicación” de un sistema remoto.
- “*Remote Operations Service Element*” (ROSE): Proporciona un mecanismo consulta/respuesta que permite diversas operaciones remotas durante el establecimiento de una asociación.
- “*Reliable Transfer Service Element*” (RTSE): Permite a las ASEs una transferencia de mensajes fiable.



- “*Commitment, Concurrent and Recovery Service Element*” (CCRSE): Coordina los diálogos que se producen entre distintas Entidades de Aplicación.

Los SASEs son los elementos de servicio que son únicamente utilizados por procesos de aplicación específicos, como por ejemplo transferencia de ficheros o acceso a bases de datos.

La implementación del **nivel de presentación** consiste en un protocolo que permite a los usuarios del servicio de presentación comunicarse a través del punto de acceso PSAP (“Presentation Service Access Point”). El servicio es el encargado de negociar el formato de los datos de forma que entidades dispares puedan comunicarse.

Para conseguir esta independencia de representación de los datos, las APDUs (PDU de nivel de Aplicación) definidas por los protocolos de aplicación utilizan una notación abstracta. El conjunto de todas las APDUs de una determinada capa de aplicación forma el “Abstract Syntax” del protocolo.

### 3.6.3 Soporte para la Comunicación DICOM en Red

Para modelizar la interconexión de equipos de imágenes médicas se emplea el modelo de referencia OSI. DICOM utiliza el servicio de capa superior de OSI para separar el intercambio de mensajes del nivel de aplicación del soporte de la comunicación proporcionado por las capas inferiores. Esta frontera permite que dos “*Application Entities*” establezcan una asociación, se envíen mensajes y luego terminen la asociación. Para implementar esta división, DICOM ha adoptado los estándares OSI.

Sin embargo, DICOM utiliza para la comunicación en red los protocolos TCP/IP aunque su modelo esté basado en OSI. Es por esto que se deben combinar el Servicio de Presentación y ACSE de OSI en un nuevo protocolo dentro del nivel de aplicación de TCP/IP. Este protocolo se llama “*DICOM Upper Layer*”, tal y como se puede observar en el diagrama de la Figura 13.

### 3.6.4 La Entidad de Aplicación DICOM (DICOM AE)

Como se ha visto anteriormente, una “Application Entity” en OSI estaba formada por un “User Element “ (UE) y por un conjunto de “Application Service Elements” (ASEs).

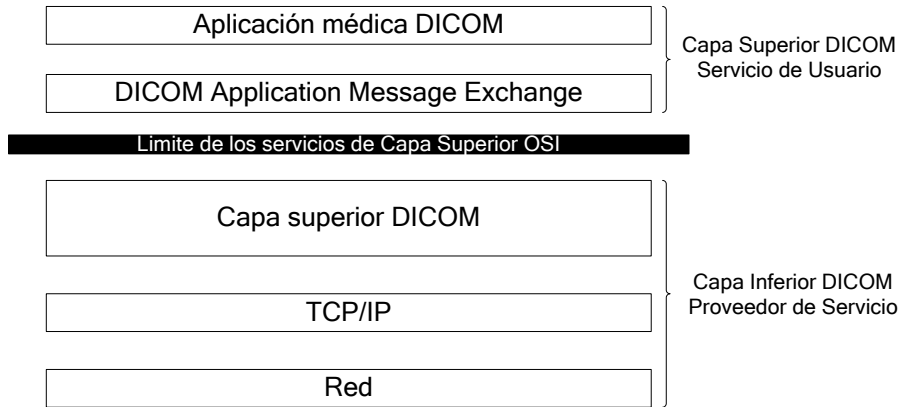


Figura 13. Arquitectura del protocolo de red DICOM.

DICOM especifica en el estándar que, para el establecimiento y terminación de las asociaciones, se debe utilizar el elemento de servicio para el control de asociación (ACSE), definido en OSI como un “Common-ASE” y el servicio de presentación. Estos dos servicios deben ser implementados en el “Dicom Upper Layer” para TCP/IP (ver Figura 14).

Para que el intercambio de mensajes sea posible, DICOM define un servicio específico denominado DIMSE (DICOM Message Service Element), que en OSI correspondería a un “Specific-ASE” (SASE). Este servicio es ubicado en el estándar por encima de la frontera de los servicios de capa superior por lo que no debe ser implementado en el “DICOM Upper Layer” (ver Figura 15).

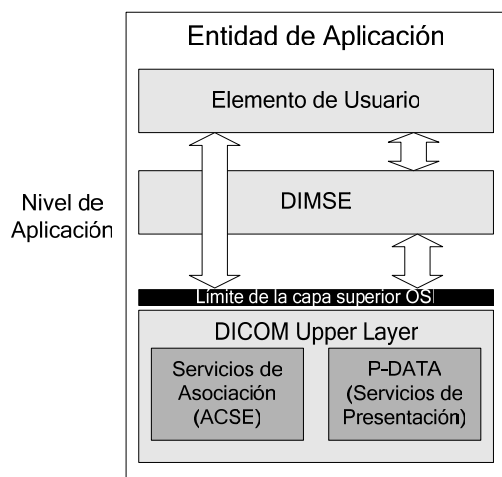


Figura 14. Estructura de DICOM en TCP/IP.

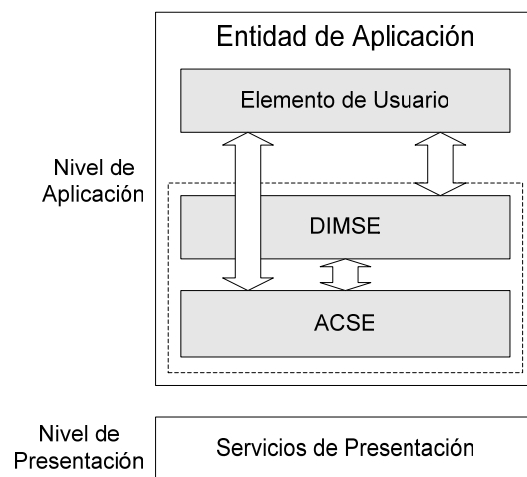


Figura 15. Estructura de DICOM bajo el modelo de referencia OSI.

### 3.6.5 La Asociación DICOM

La conexión para el intercambio de información entre dos aplicaciones DICOM se denomina Asociación. Para que la asociación pueda llevarse a cabo, es necesario intercambiar información acerca del contexto en el que va a tener lugar. Este contexto se denomina “Application Context” y está definido en el estándar como: *“Un Application Context define explícitamente el conjunto de elementos del servicio de aplicación, opciones relacionadas e información necesaria para que se pueda llevar a cabo la asociación de dos Application Entities; en particular, especifica el Protocolo DIMSE utilizado por la capa de Aplicación”*.

Dos AE establecen una asociación aceptando un “Application Context”. El solicitante de la asociación propone un nombre, el “Application Context Name”, y el receptor devuelve o bien el mismo nombre de contexto u otro. El nombre devuelto especifica el Contexto de Aplicación que va a ser utilizado en dicha asociación.

El Contexto de Aplicación cubre la funcionalidad global para el intercambio de información. El tipo de información que se va a intercambiar en la asociación será definida por las “Clases SOP” y las “Clases de Servicio” de dichas “Clases SOP”. El solicitante de la Asociación propone las clases SOP que puede utilizar (*Abstract Syntax*), la forma de representación de la información (*Transfer Syntax*) y el rol SCP/SCU para cada una de las clases y, dependiendo de las capacidades de la otra parte de la asociación, cada clase SOP será aceptada o rechazada.

Después de este proceso de negociación, ambas partes conocen las limitaciones y las capacidades de la otra parte. El intercambio real de información tendrá lugar de acuerdo a las reglas que ambos hayan definido.

### 3.6.6 Servicios de Capa Superior

En esta sección se hará una descripción de como se debe utilizar el elemento de servicio para el control de asociación (ACSE) y los servicios del nivel de presentación para proporcionar el servicio de capa superior “Upper Layer Service”, necesario para el soporte de comunicación entre entidades de aplicación DICOM. Posteriormente, se describirá el protocolo del “DICOM Upper Layer”. Este protocolo proporciona los mismos servicios que ACSE y el P-DATA del nivel de presentación.

### 3.6.6.1 Servicio de Capa Superior OSI

Los servicios proporcionados por la capa superior OSI y que DICOM utiliza son: A-ASSOCIATE, A-RELEASE, A-ABORT, y A-P-ABORT de ACSE y P-DATA del nivel de Presentación.

El establecimiento de la asociación entre dos entidades de aplicación DICOM se realiza mediante las primitivas ACSE **A-ASSOCIATE**: “request”, “indication”, “response” y “confirmation”. Es un servicio confirmado (ver Figura 16).

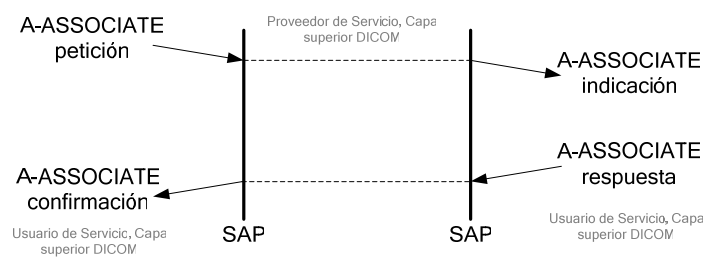


Figura 16. Establecimiento de la asociación [DICO-07].

Una entidad DICOM que quiera establecer comunicación con otra entidad debe enviar una petición “A-ASSOCIATE request” al proveedor del servicio de capa superior indicando los parámetros necesarios para que se pueda llevar a cabo. Estos parámetros incluyen las direcciones de nivel de presentación, los nombres lógicos de las entidades de aplicación y una lista de uno o más contextos de presentación, que como se ha visto anteriormente están formados por un identificador de contexto, las “clases SOP” que puede utilizar “Abstract Syntax Name” y una o más sintaxis de transferencia posibles “Transfer Syntax”.

La entidad receptora del mensaje debe evaluar la petición que ha recibido y devuelve una respuesta que contiene una lista con igual número de contextos de presentación que los que ha recibido, indicando si han sido o no aceptados y bajo qué sintaxis de transferencia.

El servicio **A-RELEASE** permite la terminación normal de una asociación entre dos entidades DICOM. Es un servicio confirmado y, al igual que para el establecimiento, se utilizan las primitivas “request”, “indication”, “response” y “confirmation” (ver Figura 17).

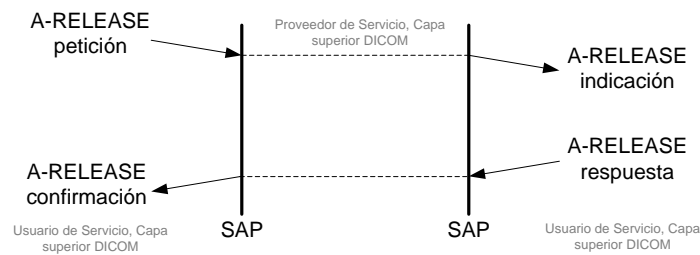


Figura 17. Terminación normal de la asociación [DICO-07].

Con el servicio **A-ABORT** se conseguirá la terminación anormal de la asociación y, a diferencia de las anteriores, no es un servicio confirmado (ver Figura 18).



Figura 18. Terminación anormal de la asociación [DICO-07].

El servicio **A-P-ABORT** es utilizado por el proveedor de servicio de capa superior “DICOM UL Service Provider” para informar a los usuarios de que se ha producido una terminación anormal de la asociación debida a problemas en los servicios que se encuentran en el nivel de Presentación o niveles inferiores (ver Figura 19).



Figura 19. Terminación anormal producida por el “DUL Service Provider” [DICO-07].

El último servicio de capa superior es el servicio de presentación **P-DATA**. Es utilizado por las entidades de aplicación para intercambiar mensajes DICOM. Dentro de las primitivas se incluyen uno o más “Presentation Data Values” (PDVs) que están formados por un indicador de contexto de presentación y valores de datos de usuario, que son tomados de un “Abstract Syntax” y codificados según el “Transfer Syntax” acordado por las entidades durante la fase de asociación (ver Figura 20).



Figura 20. Transferencia de información sobre una asociación establecida [DICO-07].

### 3.6.6.2 Protocolo de Capa Superior para TCP/IP, “DICOM Upper Layer”

Este protocolo se ha diseñado para proporcionar una capa a nivel de aplicación que implemente los servicios definidos en las capas superiores de OSI a los equipos DICOM que utilizan TCP/IP.

Antes de establecer una asociación DICOM es necesario establecer una conexión de red; para ello, la entidad cliente envía una primitiva de petición de conexión a la entidad servidora. El par “dirección IP – puerto” identificará unívocamente en la red a cada una de las entidades.

Cuando la conexión se ha establecido, las entidades DICOM están preparadas para intercambiar mensajes a través de PDUs. Este es el mecanismo que debe ser utilizado para suplir la ausencia de las primitivas de servicio definidas en OSI. Por ende, existirá un tipo de PDU por cada primitiva de OSI. El estándar DICOM define en su parte 8 la estructura y la codificación de las distintas PDUs .

Para facilitar la implementación de los servicios de capa superior, el estándar define una serie de estados para el “DICOM Upper Layer” que indican el estado de la conexión y el de la asociación. También se especifica una máquina de estados que muestra los cambios que se deben producir en el “DICOM Upper Layer” tras producirse alguno de los 19 eventos que define.

#### **Servicios DIMSE**

Por encima de la nueva capa “DICOM Upper Layer” se sitúa el elemento de servicio para el intercambio de mensajes DIMSE, que proporciona dos tipos de servicios a las Entidades de Aplicación para la transferencia de información:

- Servicios de Notificación: Suministra a una “Entidad de Aplicación DICOM” un mecanismo para notificar a otra “Entidad de Aplicación DICOM” la ocurrencia de algún evento o cambio de estado.
- Servicios de Operación: Permite que una “Entidad de Aplicación DICOM” solicite a otra “Entidad de Aplicación DICOM” la realización de una operación sobre una instancia SOP.

Las notificaciones y las operaciones son implementadas como peticiones/respuesta dentro de un contexto de aplicación y con la asociación ya establecida al igual que cualquier proceso distribuido. Normalmente, un equipo DICOM hace una petición a otro equipo a través de una primitiva “*request*” para que realice una operación. El otro equipo intentará realizarla y después comunicará el resultado, tal y como se puede observar en la Figura 21.

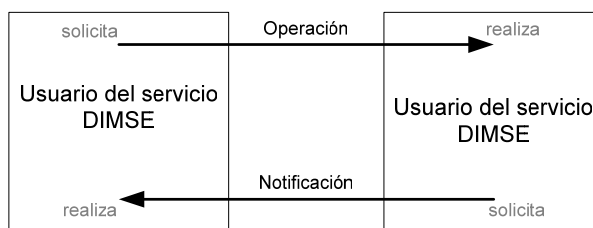


Figura 21. Flujo de operaciones y notificaciones DIMSE.

Anteriormente, se había visto que los “IODs” hacían referencia a varios objetos del mundo real, a los que se llamaban “Composite-IODs”, o a un único objeto, “Normalizad-IOD”.

Se pueden clasificar las “clases SOP” en dos grupos según contengan uno u otro tipo de IOD. Así, se tienen las “Composite SOPs” y “Normalizad SOPs”.

Las operaciones que se pueden realizar sobre las instancias de una clase SOP compuesta difieren de las operaciones y notificaciones que pueden ser aplicadas sobre las instancias de las “clases SOP normalizadas”. Por ello, el estándar DICOM define dos grupos de servicios DIMSE:

- **DIMSE-N:** Servicios aplicables a las instancias de las clases Normalized-SOP.
  - N-EVENT-REPORT: Servicio de *notificación* para informar que ha ocurrido un evento en una “SOP Instance”.

- N-GET: Servicio de operación para solicitar cierta información.
- N-SET: Servicio de *operación* para solicitar la modificación de información.
- N-ACTION: Servicio de *operación* para solicitar la realización de una acción.
- N-CREATE: Servicio de *operación* para solicitar la instanciación de una “clase SOP”.
- N-DELETE: Servicio de *operación* para solicitar la eliminación de una instancia de una “clase SOP”.
- **DIMSE-C:** Servicios aplicables a las instancias de las clases “Composite-SOP”.
  - C-STORE: Servicio de *operación* para solicitar el almacenamiento de una “Composite SOP Instance”.
  - C-GET: Servicio para obtener la información de una o más “Composite SOP Instantes”.
  - C-MOVE: Servicio de *operación* para trasladar la información de una o más “Composite SOP Instantes” desde un “DIMSE-Service-User” a otro.
  - C-FIND: Servicio de *operación* para emparejar un conjunto de atributos con los atributos de un conjunto de “SOP Instantes” y obtener una lista con los emparejamientos atributo-valor.
  - C-ECHO: Servicio de *operación* para verificar la comunicación extremo-a-extremo con un “DIMSE-Service-User”.

Al igual que ocurría en el “DICOM Upper Layer”, se definen primitivas “*request*”, “*indication*”, “*response*” y “*confirmation*” para solicitar la realización de un servicio DIMSE al proveedor. En este caso, el “DIMSE Protocol machine” compondrá el mensaje de petición o respuesta, según sea el caso, y se lo hará llegar a la entidad par utilizando los servicios de capa superior.

En el caso en el que una modalidad de radiología digital que desea almacenar una instancia de una imagen CR en otro equipo DICOM, se realizarán los siguientes paso: Una vez



creada la asociación con el equipo, la aplicación debe enviar al proveedor de servicios DIMSE una “primitiva C-STORE request” (Identificador, instancia de la clase SOP, Data Set,...). Cuando la máquina de protocolo DIMSE recibe la petición, construye un mensaje DICOM de tipo “C-STORE” y lo remite al servicio de presentación de “DICOM Upper Layer” mediante “primitivas P-DATA request”, para que sean enviadas al equipo del otro extremo de la asociación (ver Figura 22).

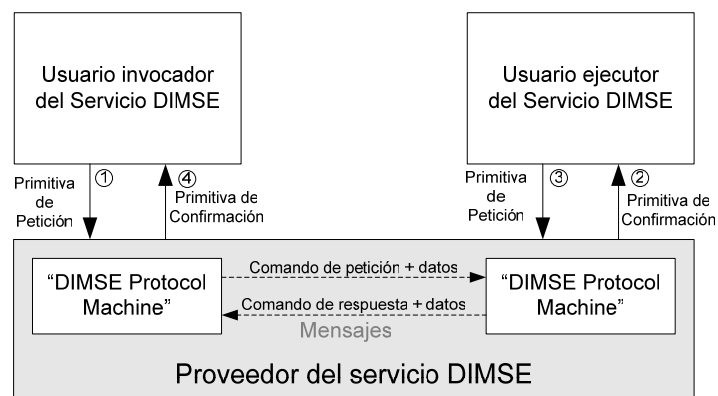


Figura 22. Primitivas y mensajes DIMSE.

## 4. La Seguridad de la Información

A medida que la Tecnología de la Información y de las Comunicaciones se ha ido consolidando en la sociedades avanzadas, las administraciones públicas han empezado a ser conscientes de la necesidad de regular el tratamiento de la información de carácter personal y ha establecido la legislación para regular dicho tratamiento. En el caso de los datos médicos personales, existe una especial sensibilidad a la hora de garantizar los derechos fundamentales de los pacientes.

A día de hoy, dos documentos han de ser tomados como referencia sobre la protección de datos médicos en España, el Real Decreto 994/1999 y la Ley Orgánica 15/1999 de Protección de Datos de carácter personal [LOPD-99][RD99-99]. A continuación, se entra en cierto detalle sobre sus particularidades.

### 4.1 El Real Decreto 994/1999

Este Real Decreto, publicado el 11 de Junio de 1999, vino a suplir las carencias que impedían el cumplimiento de los artículos 9 y 43.3.h. de la Ley Orgánica de 5/1992, de 29

de Octubre, de Regulación del Tratamiento Automatizado de Datos de carácter personal (LORTAD)[LORT-92]. Estos artículos explicaban las medidas a adoptar por los responsables de los ficheros para garantizar la seguridad de los datos de carácter personal y las consecuencias de no cumplirlas. En él, se aprueba el Reglamento de medidas de seguridad de los ficheros automatizados que contengan datos de carácter personal. Este Reglamento determina las medidas de índole técnica y organizativa que garantizan la confidencialidad e integridad de la información con la finalidad de preservar el honor, la intimidad personal y familiar y el pleno ejercicio de los derechos personales frente a su alteración, pérdida, tratamiento o acceso no autorizado.

Los plazos de implantación de las medidas de seguridad indicadas varían en función de su nivel, que puede ser básico, medio o alto. A día de hoy, los plazos de implantación ya han sido sobrepasados.

Los aspectos que atañen al desarrollo de este trabajo son:

- Los datos médicos deben reunir las medidas de nivel alto (artículos 3 y 4).
- Las medidas de seguridad exigibles a los accesos de datos de carácter personal a través de redes de comunicaciones deberán garantizar un nivel de seguridad equivalente al correspondiente a los accesos en modo local (artículo 5).
- Los ficheros temporales deberán cumplir el nivel de seguridad que les corresponda con arreglo a los criterios establecidos en el Reglamento. Todo fichero temporal será borrado una vez haya dejado de ser necesario para los fines que motivaron su creación (artículo 7).
- Las pruebas anteriores a la implantación o modificación de los sistemas de información que traten ficheros con datos de carácter personal no se realizarán con datos reales, salvo que se asegure el nivel de seguridad correspondiente al tipo de fichero tratado (artículo 22).
- La transmisión de datos de carácter personal a través de redes de telecomunicaciones se realizará cifrando dicho datos o bien utilizando cualquier otro mecanismo para que la información no sea inteligible ni pueda ser manipulada por terceros (artículo 26).

## 4.2 La Ley Orgánica 15/1999 de Protección de Datos de carácter personal

Esta Ley deroga la LORTAD, pero no así el Real Decreto anteriormente mencionado. Se publica el 13 de Diciembre de 1999 bajo el nombre de Ley Orgánica de Protección de Datos de carácter personal (LOPD). En la LOPD se establece cuales son los datos a los que estarán sujetos las medidas de seguridad establecidas en el Real Decreto, así como sus sanciones.

## 4.3 Arquitectura de Seguridad

Con la finalidad de cumplir la normativa vigente, se recurre a una solución estándar de índole internacional, la “Recomendación X.800: Arquitectura de Seguridad de la Interconexión de Sistemas Abiertos” del ITU-T [X.800], en la que definen los elementos arquitectónicos relacionados con la seguridad que pueden aplicarse en aquellas circunstancias en las que se requiera la protección entre sistemas abiertos. Más recientemente, la “Recomendación X.805: Arquitectura de Seguridad para Sistemas que proporcionan Comunicación extremo a extremo” [X.805], ofrece una aproximación a la seguridad en lo que respecta al mantenimiento, control y uso de la infraestructura de red. Dicha arquitectura proporciona una perspectiva exhaustiva y “extremo a extremo” de la seguridad y puede ser aplicada a los elementos de red, servicios y aplicaciones con el fin de detectar, predecir y corregir las vulnerabilidades de un sistema.

La arquitectura que se especifica en la “Recomendación ITU-T X.800” se centra en tres elementos principales: los ataques a la seguridad, los servicios y los mecanismos de seguridad.

### 4.3.1 Ataques a la Seguridad

El “RFC 2828” [RFC2828] define ataque como “Un asalto a la seguridad del sistema derivado de una amenaza inteligente; es decir, un acto inteligente y deliberado (especialmente en el sentido de método o técnica) para eludir los servicios de seguridad y violar la política de seguridad de un sistema”

Dentro del mismo “RFC” también puede encontrarse una clasificación de los distintos tipos de ataques.

### 4.3.2 Servicios de Seguridad

Un servicio de seguridad es un conjunto de servicios de procesamiento o de comunicación proporcionado por un sistema con el fin de dar un tipo especial de protección a sus recursos. Se pueden citar los siguientes:

- Autenticación: Este servicio se encarga de confirmar las identidades de las entidades en una comunicación. También pretende garantizar que una entidad no esté tratando de suplantar la identidad de otra entidad o de emitir una respuesta no autorizada a una comunicación previa. Existen dos tipos particulares de autenticación:
  - Autenticación de entidades origen/destino, que asegura la identidad de las entidades que participan en la comunicación. Podría realizarse mediante contraseñas, tarjetas inteligentes, biometría, etc.
  - Autenticación de origen de datos, que asegura que un mensaje ha sido emitido por la entidad que dice que lo ha emitido. Utilizando, por ejemplo, Certificados Digitales
- Control de Acceso: Garantiza que únicamente las entidades autorizadas tendrán acceso a los recursos del sistema. Controla quién puede tener acceso al recurso, bajo qué condiciones y qué uso se les ha permitido.
- Confidencialidad de los Datos: La confidencialidad trata de proteger los datos transmitidos de los ataques pasivos de observación de la información y de análisis de tráfico.
- No repudio: Elimina la posibilidad de que una entidad niegue haber mantenido comunicaciones con otra entidad mediante el uso de un conjunto de evidencias irrefutables que permitan la resolución de cualquier tipo de disputa posterior. El mecanismo más utilizado actualmente es la utilización de las Firmas Digitales.

- Integridad de los Datos: Garantiza que los mensajes enviados son recibidos sin ninguna modificación, duplicación, inserción, eliminación ni reordenación y proporciona una indicación si se produce alguna de dichas actividades.
- Disponibilidad: Consiste en mantener en funcionamiento los sistemas y que éstos puedan ser utilizados en el momento en que se requiera. La recuperación frente a desastres también está incluida en esta categoría.

### 4.3.3 Mecanismos de Seguridad

Una vez definidos los distintos tipos de servicios de seguridad y se han estructurado los posibles ataques, es el momento de definir qué mecanismos de seguridad pueden ser aplicados.

- Cifrado: Consiste en transformar un texto inteligible en uno ininteligible, de tal forma que no pueda ser entendido por entidades que no estén autorizadas para ello. El texto inteligible se transforma mediante un proceso de cifrado en un texto cifrado utilizando una “clave de cifrado”. Este mecanismo de seguridad implementa la dimensión de confidencialidad.
- Integridad de los datos: Mecanismo que consiste en cifrar una cadena comprimida de datos, llamada valor de comprobación de integridad (ICV). De esta forma, es posible detectar fallos en la integridad de los datos debido a que cualquier modificación que se realice en la cadena producirá un texto cifrado distinto al original.
- Firma Digital: Transformación criptográfica de una unidad de datos que es añadida a la misma y que permite al receptor de los datos comprobar el emisor y la integridad del mensaje. Este mecanismo juega un papel esencial en la dimensión del no repudio.
- Control de acceso: Mecanismos que impiden que usuarios no autorizados accedan a los recursos del sistema. Implementa las dimensiones de control de acceso y de autenticación.

- Intercambio de autenticación: Diseñado para comprobar la identidad de una entidad (origen o destino) por medio del intercambio de información. Implementa la dimensión de autenticación.
- Tráfico de relleno: Inserción de bits sin información en espacios de un flujo de datos con el fin de frustrar los ataques pasivos de análisis de tráfico. Este mecanismo se utiliza en la dimensión de confidencialidad.
- Control de encaminamiento: Permite seleccionar las rutas seguras para el intercambio de datos, realizando cambios de enrutamiento si se sospecha de una violación en la seguridad.
- Confianza en terceras partes: Consiste en la utilización de terceras partes confiables para asegurar determinadas propiedades de un intercambio de datos. Puede utilizarse para implementar el no repudio.

## 5. Las Patologías Coronarias

El miocardio está irrigado por dos arterias que nacen de la aorta, justo por encima de la válvula aórtica, y que se extienden por el epicardio, dando ramas que penetran en el miocardio. Éstas son: la arteria coronaria izquierda y la arteria coronaria derecha. La coronaria izquierda se conoce como tronco común izquierdo desde su nacimiento hasta que se bifurca en dos ramas que se llaman descendente anterior y circunfleja. A efectos prácticos se considera que hay 3 vasos coronarios: la arteria descendente anterior, la arteria circunfleja y la arteria coronaria derecha, tal y como se puede observar en la Figura 23.

Se determina que existe una patología en los vasos en los que existe una desviación significativa respecto al diámetro de una arteria sana, usualmente llamado “diámetro de referencia”. En particular, una estenosis está asociada con un estrechamiento significativo y se cuantifica con parámetros como el grado de estenosis, usualmente estimado por el radio entre la porción más estrecha de la arteria y el diámetro de referencia, o su localización en el árbol coronario. Sin embargo, la valoración visual del grado de estenosis es complicada y está sujeta a una gran variabilidad; una de las dificultades proviene de la incapacidad de calcular el valor real del diámetro de referencia, información desconocida “*a priori*”. Por este motivo, se ha discutido que los métodos de cuantificación de lesiones que estandarizan la

descripción de una lesión arterial y la cuantifican, son necesarios para reducir dicha variabilidad en la estimación [CHER-97].

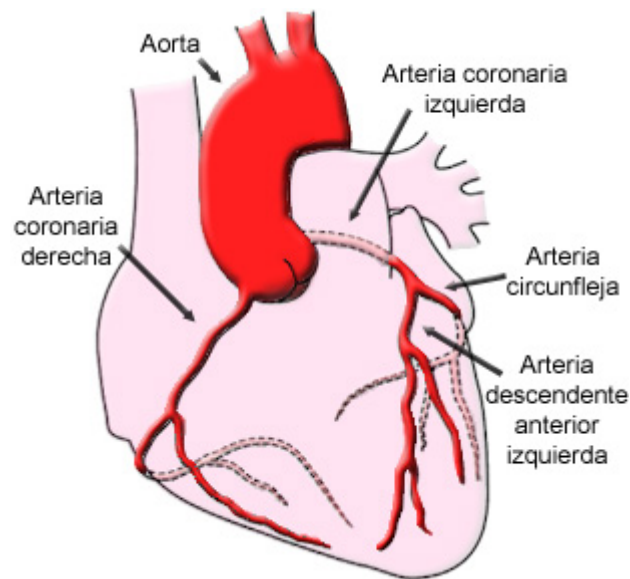


Figura 23. Arterias principales del árbol coronario [PMED-07].

## 6. La Angiografía Coronaria

Una angiografía es un procedimiento en el que se utiliza un contraste y rayos X para observar como fluye la sangre por las arterias y, en el caso de la angiografía coronaria, las arterias que irrigan el corazón. Habitualmente, la angiografía coronaria se efectúa conjuntamente con un cateterismo cardíaco [ENCI-06], que se define como una intervención que involucra la introducción de un catéter (un tubo fino y flexible) dentro del lado derecho o izquierdo del corazón (ver Figura 24). Generalmente, este procedimiento se realiza para obtener información diagnóstica sobre el corazón o los vasos sanguíneos, o para brindar tratamiento en ciertos tipos de enfermedades cardíacas [ENCI-06].

El cateterismo cardíaco se puede emplear para determinar la presión y el flujo sanguíneo en las cámaras del corazón, tomar muestras de sangre dentro del mismo y examinar las arterias por medio de una técnica de rayos X llamada fluoroscopia. La fluoroscopia permite la visualización inmediata ("en tiempo real") de las imágenes de rayos X en una pantalla y suministra un registro permanente del procedimiento.

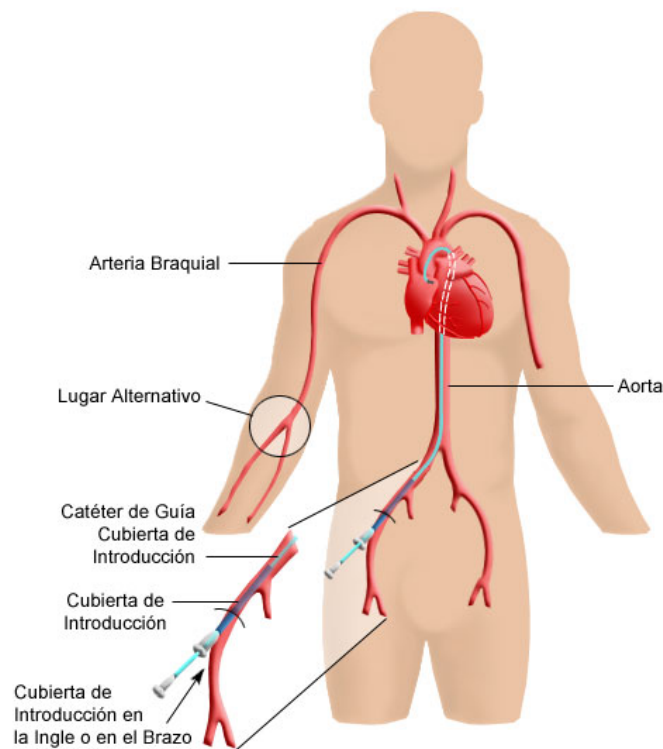


Figura 24. Procedimiento de realización de un cateterismo [UVIR-07].

El resultado es una rápida secuencia de imágenes radiográficas del corazón, obtenidas desde diferentes proyecciones. Dicho estudio permite que el clínico observe el flujo sanguíneo en las arterias coronarias, detectando los estrechamientos acusados existentes en las mismas o estenosis.

En esta sección se comentarán algunas cuestiones básicas acerca de las angiografías digitales con rayos X. En primer lugar, se relatará el descubrimiento de los rayos X y se comentarán las propiedades de este tipo de radiación. Después, se describirá como se aplican los rayos X en las angiografías coronarias. Finalmente, se describirá un dispositivo de angiografía coronaria, como funciona y los problemas que presenta su utilización.

## 6.1 La Historia de los Rayos X

Wilhelm Conrad Roentgen descubrió los rayos X mientras estudiaba los rayos catódicos. Para facilitar sus observaciones, envolvía el tubo para la descarga del gas en papel negro, y trabajaba en una habitación a oscuras. Cuando manejaba el tubo durante uno de los



experimentos, observó que una pantalla fluorescente de platinocianuro de bario, que estaba por casualidad cerca del tubo, se iluminaba.

Esta es la primera observación documentada de rayos X, y fechada el 8 de Noviembre de 1895. Inmediatamente se dio cuenta de la importancia del descubrimiento y se encerró en el laboratorio durante siete semanas. Durante este tiempo, descubrió y analizó prácticamente todas las propiedades de los rayos X relevantes para la obtención de imágenes, e incluso produjo algunas radiografías de manos en placas fotográficas, las primeras imágenes de rayos X de la anatomía humana.

Durante sus primeros experimentos con rayos X (ver Figura 25), Roentgen identificó como la fuente de los rayos X el área del tubo de cristal que era alcanzado por los rayos catódicos; en concreto, por electrones libres acelerados. La nube de electrones era producida por un pequeño voltaje y acelerado por uno mayor en el cátodo. Cuando golpeaban el cristal a alta velocidad, podían liberar electrones de las capas de alta energía de los átomos del cristal, y con ello producir radiación electromagnética de alta energía.



Figura 25. Radiografía de la mano de Anna Roentgen [GARC-05].

Así, los rayos X descubiertos por Roentgen resultaron ser otro tipo de radiación electromagnética como las ondas de radio, el infrarrojo, o la luz visible, pero con mucha mayor frecuencia o energía que, por ejemplo, la ultravioleta y, por lo tanto, con un

comportamiento totalmente diferente en su interacción con la materia. En particular, los rayos X tienen la cualidad de atravesar objetos sólidos. Su capacidad de penetración depende de su energía y del grosor y densidad del objeto. Por ello, los rayos X se han convertido en una herramienta de gran utilidad para la toma de imágenes médicas e industriales en pruebas no destructivas. En la Figura 26, se puede observar la estructura básica de un tubo de rayos X

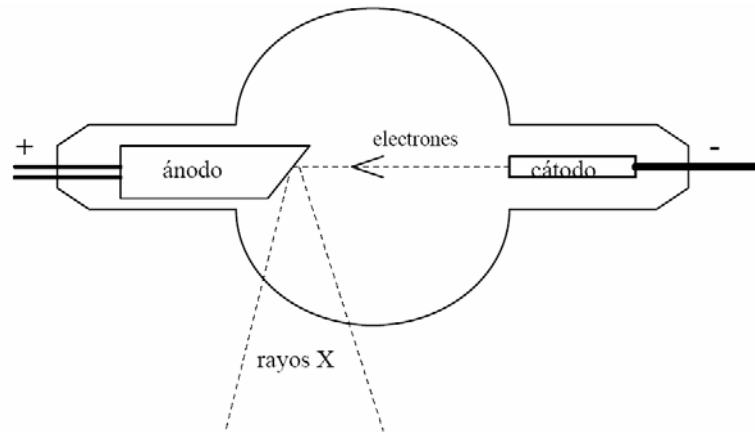


Figura 26. Tubo de rayos X.

## 6.2 El Desarrollo de la Angiografía Cardíaca

La primera angiografía fue obtenida en enero de 1896 (Figura 27), mediante una inyección post-mortem de componentes de mercurio en los vasos sanguíneos de una mano. Este componente era necesario para realzar el contraste de los vasos, dado que la sangre es casi radio-transparente. Como el mercurio es altamente radio-opaco es un buen contraste, pero su única aplicación posible es sobre cadáveres puesto que es una sustancia altamente tóxica y su inyección en el torrente sanguíneo es mortal. Afortunadamente, para las aplicaciones médicas de las angiografías, posteriormente se han desarrollado componentes inocuos para realizar el contraste. Actualmente, el contraste más usado es una solución de yodo a 36,5°C, aunque puede provocar rechazo en algunos pacientes con alergia a este componente.

Sin embargo, las angiografías coronarias aparecieron mucho más tarde, dado que la técnica requería la inyección de un contraste en los vasos sanguíneos para tomar la imagen. En 1929, un estudiante de la Universidad de Berlín, llamado Werner Forssmann, usó un catéter urológico de 60 centímetros para llegar al corazón introduciéndolo a través de las arterias. Estaba tan convencido de la fiabilidad del sistema que decidió probar la técnica en sí mismo. Para ello, se hizo un corte en el antebrazo y abrió una arteria por la que introducir

el catéter. Después de introducir el catéter en su cuerpo, decidió que tenía que comprobar si había tenido éxito fotografiando el catéter con rayos X. Para fotografiarse, fue al piso de arriba, al laboratorio de rayos X, con el catéter introducido en su cuerpo. Allí vio que podía llegar con el catéter al corazón: el cateterismo cardíaco había nacido. A pesar de que fue expulsado por los riesgos de sus experimentos, en 1956 compartió con André Cournand y Dickinson Richards el Premio Nóbel por su contribución al desarrollo del cateterismo cardíaco.



Figura 27. Imagen de la primera angiografía [MDIN-07].

Hoy en día, no es necesario realizar este corte al paciente, ya que es suficiente con realizar una punción. Esta punción se realiza en el antebrazo si es posible, y si no en la arteria femoral. Es preferible en el antebrazo porque reduce notablemente las molestias posteriores a la exploración.

### **6.3 Los Dispositivos de Realización de Angiografías Cardíacas**

Un sistema típico de realización de angiografías cardíacas de rayos X está compuesto por: Un tubo generador de rayos X o fuente de Rayos X, un intensificador de imágenes que convierte la señal de rayos X en imagen visible, un mecanismo para mover la fuente de rayos X para obtener distintas vistas de la anatomía del paciente y un sistema de adquisición de imágenes.

### 6.3.1 La Fuente de Rayos X

Teniendo en cuenta que las aplicaciones como la tomografía computerizada usan una fina ráfaga de rayos X para obtener imágenes de alta resolución, la angiografía cardiaca por rayos X debe encontrar un equilibrio entre una alta resolución espacial y una alta resolución temporal.

Por una parte, se necesita una alta resolución espacial, dado que los vasos coronarios deben ser fotografiados con la suficiente precisión para determinar la gravedad de la obstrucción arterial o estenosis. Por otra, se necesita una alta resolución temporal para que el movimiento del corazón no haga que la imagen se vea borrosa.

El problema es que los tubos de rayos X tienen sus limitaciones. Para proporcionar una máxima resolución, tanto espacial como temporal, los sistemas angiográficos usan fuentes de rayos X en abanico, que permiten reducir el tiempo de exposición a expensas de una distorsión mínima. No obstante, últimamente han surgido otras técnicas no invasivas para el estudio de las lesiones en los vasos sanguíneos, como la Angiografía por Resonancia Magnética (ARM), que, si bien no son tan precisas, no presentan los riesgos del cateterismo.

### 6.3.2 El Intensificador de Imagen

La adquisición de la imagen está basada en una propiedad llamada fluorescencia. Esto consiste en la capacidad de transformar una radiación que incide sobre una superficie en otra radiación de diferente longitud de onda. Por lo tanto, una pantalla cubierta por una sustancia que absorba los rayos X y los devuelva como luz visible permitirá obtener una imagen.

No obstante, para obtener una imagen directamente visible para el ojo humano, la radiación debe ser intensa. El problema es que una exposición muy grande a los rayos X puede producir tumores, problema que los primeros investigadores, como Mihran Kassabian (1870-1910) que perdió sus dos manos, tuvieron la desgracia de comprobar. Por ello, en las aplicaciones médicas es crucial minimizar la exposición que sufre el paciente. Una alternativa consiste en la utilización de técnicas para intensificar la imagen, camino que llevó a la aplicación del intensificador de imagen.

Un intensificador de imagen consiste en una pantalla de entrada fluorescente montada en la base fina y transparente de un tubo, en el que se ha hecho el vacío (ver Figura 28).

Los rayos X colisionan con la pantalla de entrada fluorescente, convirtiendo la emisión en luz visible. Esta luz es entonces transformada en un haz de electrones por medio del fotocátodo. Un ánodo situado en el otro extremo del tubo acelera los electrones y los concentra en un orificio. Los electrones atraviesan el orificio y colisionan con una segunda pantalla fluorescente que los transforma de nuevo en luz visible, pero alrededor de 10.000 veces más brillante que la original.

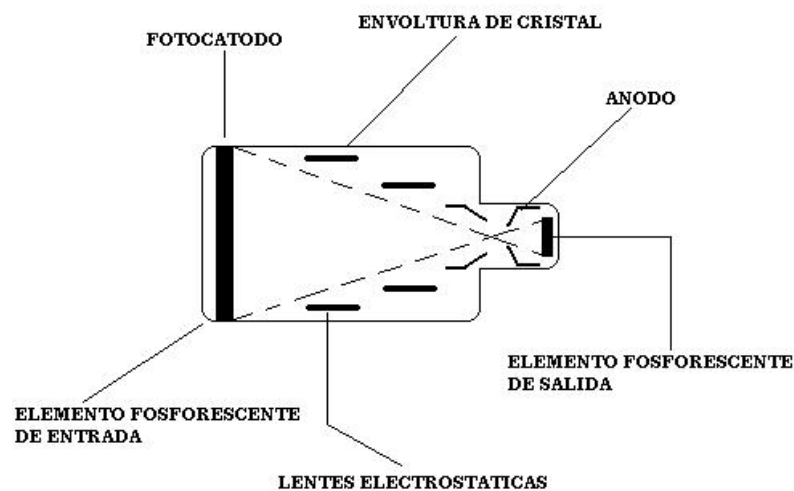


Figura 28. Intensificador de imagen [MDSP-07].

El principal problema de los intensificadores de imagen es que producen una cierta distorsión en la imagen, producto de dos factores fundamentalmente [SEPR-07]:

- Distorsión de cojinete (“pincushion”): Es debida a la forma convexa de la pantalla de entrada del intensificador de imagen frente a la forma plana de la pantalla de salida. Esto da lugar a diferencias entre la longitud de las trayectorias que siguen los electrones en el centro y en los bordes del tubo intensificado, provocando que los bordes de la imagen se curven ligeramente hacia adentro (Ver Figura 29).

- Distorsiones geométricas de tipo S: Debidas a la modificación que sufre la trayectoria de los fotoelectrones dentro del intensificador de imagen bajo la acción de campos magnéticos externos (como el terrestre). Este tipo de distorsión puede estar asociada con la rotación que se observa en la imagen final cuando el conjunto “mesa/intensificador” de imagen está inclinado. Puede visualizarse cuando se coloca una retícula en el plano de entrada del intensificador de imagen y se observa como la mitad superior de la imagen está desplazada con respecto a la inferior (Ver Figura 29).

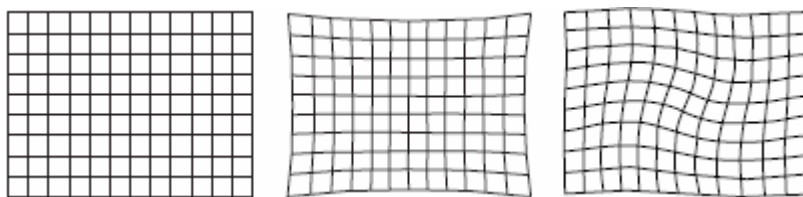


Figura 29. Efecto de las distorsiones “pincushion” y S, sobre una cuadrícula.

Para minimizar los errores debido a un uso inadecuado de estos sistemas y a las propias características de los mismos, la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) ha desarrollado el “Protocolo español de control de calidad en radiodiagnóstico”. Este documento detalla los procedimientos y los requisitos de calidad que se deben seguir para la toma de imágenes radiológicas.

### 6.3.3 El Sistema de Adquisición de Imagen

En los sistemas de adquisición de imagen tradicionales, como el que se puede observar en la Figura 30, se sitúa un mecanismo frente a la pantalla de salida para dividir el haz, de forma que tanto la videocámara como la película de 35 milímetros reciben la imagen. Esta configuración permite la visualización en tiempo real de la angiografía, y además guardar la secuencia en un soporte de alta resolución que permitía su almacenamiento y transporte.

En los sistemas angiográficos modernos, ambos soportes han sido reemplazados por un soporte único: la imagen digital. Las imágenes pueden seguir siendo examinadas en tiempo real, pero son almacenadas en un CD-ROM o en una base de datos usando el protocolo DICOM. Típicamente, lo que se obtienen son secuencias con una resolución de 512 x 512 píxeles, con 256 niveles de gris y 12,5 imágenes por segundo. A pesar de que la resolución

no es tan alta como la obtenida por la película de 35 milímetros, son numerosas las ventajas del formato digital, como la posibilidad de almacenar información adicional acerca de las condiciones de la exposición (ángulo de la toma, tipo de contraste, etc.), del paciente (nombre, edad, peso, etc.) y sobre los resultados de la prueba, todo de forma conjunta con la secuencia de la angiografía.

El nuevo estándar DICOM incluye la posibilidad de almacenar imágenes a una resolución de 1024x1024 píxeles con 12 bits de niveles de gris, lo que aumenta notablemente la resolución a la que se pueden almacenar las imágenes [DICO-07]].

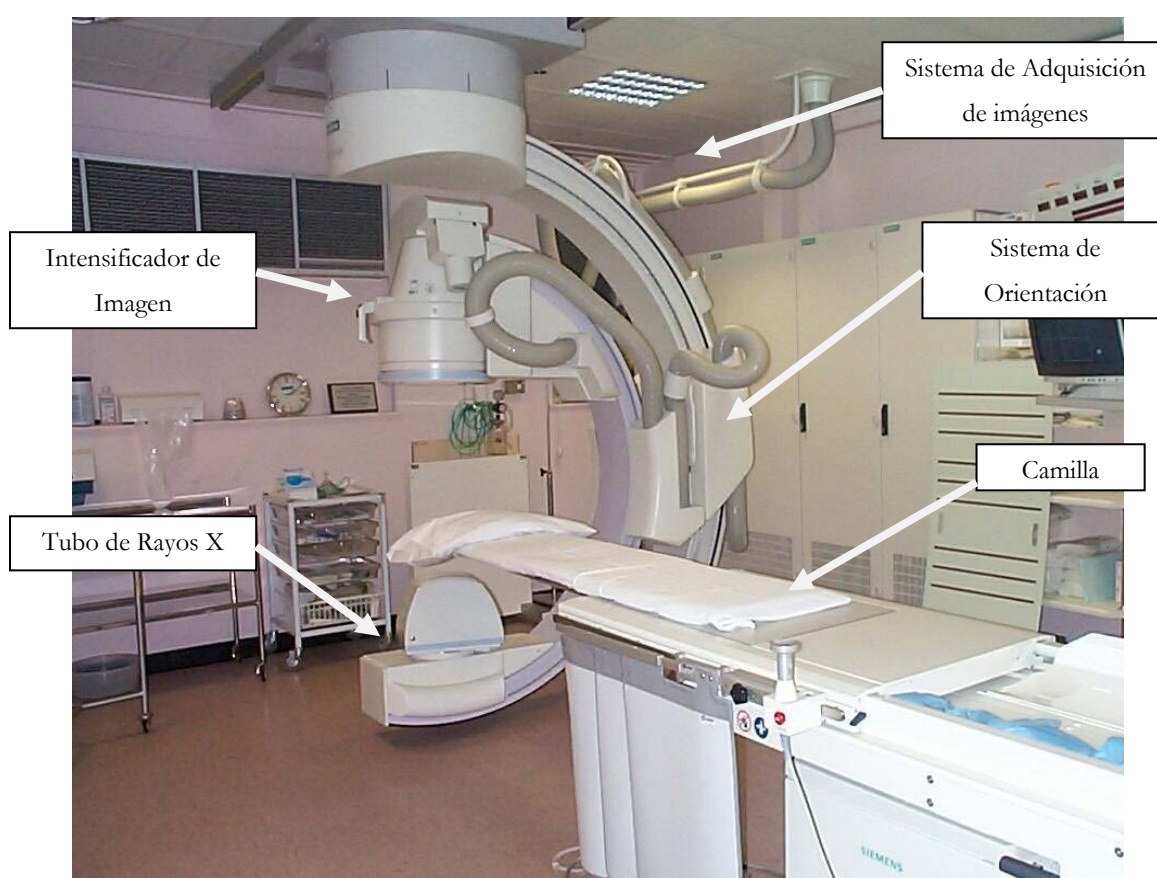


Figura 30. Sistema de adquisición de imagen [RCHO-07] .

#### 6.3.4 Los Estudios Angiográficos Digitales

Un estudio angiográfico digital se obtiene como resultado de la realización de un cateterismo cardíaco acompañado de una fluoroscopia. Estos estudios contienen un conjunto de secuencias de imágenes radiográficas obtenidas desde diferentes ángulos, a una velocidad constante, habitualmente 12,5 fotogramas por segundo. El tiempo de adquisición

de cada una de las secuencias es de aproximadamente 6 segundos, lo que genera aproximadamente 75 imágenes por secuencia. Habitualmente se suelen tomar alrededor de 15 secuencias de imágenes por estudio.

En la Figura 31, se puede observar el aspecto que presenta un estudio angiográfico convencional. Se ve, para cada secuencia, la imagen inicial de la secuencia, el número de secuencia y la proyección desde la que se ha realizado. En la Figura 32, se puede ver parte de las imágenes asociadas a una secuencia concreta.

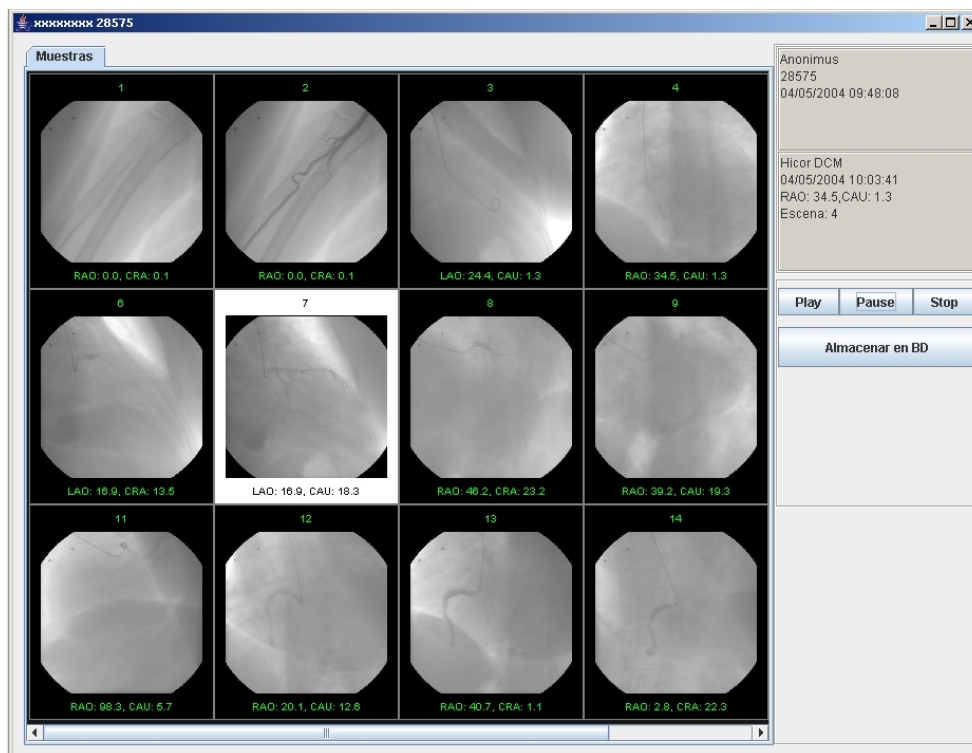


Figura 31. Conjunto de secuencias de imágenes que componen un estudio angiográfico.

No todas las imágenes de una secuencia son de interés. Las primeras imágenes, debido a que el contraste todavía no ha sido inyectado y, en las últimas, debido a que se ha perdido el efecto del contraste, no aportan habitualmente ningún tipo de información. Estas imágenes pueden ser eliminadas de dicha secuencia, en el sistema de información.

Actualmente, los dispositivos de angiografía que cumplen el estándar DICOM 3.0 generan como resultado de la realización del cateterismo un estudio angiográfico digital DICOM 3.0. Dicho estudio se compone de un conjunto de ficheros, por secuencia, que pueden ser



almacenados en un CD-ROM o ser transmitidos a un PACS DICOM (SCU-Servidor de Almacenamiento DICOM).

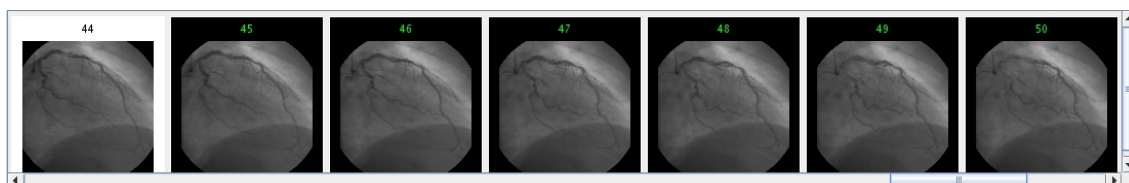


Figura 32. Imágenes pertenecientes a una misma secuencia de un estudio angiográfico.

La información de cada fichero se puede agrupar en las siguientes categorías:

- a. Información sobre el estudio angiográfico en concreto.
- b. Información acerca de la serie dentro del estudio.
- c. Información acerca de la implementación concreta del estándar DICOM.
- d. Información sobre el paciente:
- e. Datos en formato texto.
- f. Información sobre las imágenes asociadas.
- g. Serie de imágenes
- h. Imagen en formato mapa de bits.
- i. Información técnica acerca de la interpretación del mapa de bits.
- j. Curva del electrocardiograma (ECG):
- k. Descripción de dicha curva.
- l. Información técnica acerca de la interpretación del ECG.

Cada imagen puede ser analizada individualmente o la secuencia puede ser visualizada como una animación o secuencia de vídeo.

El análisis de los fotogramas individuales que componen las secuencias de un estudio angiográfico es una labor realmente compleja que requiere conocimientos de anatomía,

entrenamiento y experiencia en la observación de las imágenes. Las principales dificultades que presentan estas imágenes son [SCAN-99]:

- Efecto “foreshortening”: Debido a que se utilizan imágenes bidimensionales obtenidas desde diferentes proyecciones para representar una estructura tridimensional, la percepción de los segmentos arteriales será dependiente de dicha proyección, provocando que estos vasos aparezcan en la imagen ocupando una superficie diferente desde cada perspectiva, siendo por lo tanto diferentes también los volúmenes estimados de una misma arteria.
- Solapamiento de los diferentes vasos y otras estructuras: En una angiografía pueden observarse, además del árbol coronario, múltiples estructuras anatómicas, elementos externos (catéter) que dificultan el análisis automático de dicho árbol. Además, las arterias se entrecruzan en las imágenes, siendo necesario conocer “*a priori*” la estructura a segmentar, incluso en el caso de una segmentación manual.
- Movimiento y rotación del corazón: Los movimientos producidos en el corazón durante el latido provocan que existan diferencias de posición y tamaño de las arterias coronarias en los distintos instantes en los que se van capturando las imágenes que componen la angiografía. Esto implica que los volúmenes arteriales calculados serán dependientes del momento del tiempo en el que se tomen las imágenes. La naturaleza de este movimiento provoca también que sea difícil aplicar con éxito técnicas de mejora de la imagen como la substracción digital.
- Problemas de calibración: Los angiógrafos cuentan entre sus componentes con un elemento, ya citado anteriormente, denominado “intensificador de imagen”, cuyo objeto es obtener imágenes de alta calidad utilizando dosis bajas de radiación. Este elemento produce una distorsión geométrica en la imagen denominada “pincushion” [LAW-03], que es variable según el ángulo de la proyección y la distancia al paciente. El calibrado de la imagen permite corregir los efectos de la distorsión geométrica causada por el intensificador. También

facilita la realización de cálculo de volúmenes, estableciendo la relación entre píxeles y milímetros cuadrados.

- Discontinuidad en las arterias debido a la existencia de estenosis: Si una arteria contiene una estenosis con un alto grado de oclusión, en la imagen se producirá una discontinuidad entre dos segmentos arteriales, debido a que la cantidad de sangre que circula a través de la misma es mucho menor, haciendo que en casos extremos la imagen de la arteria desaparezca. Este comportamiento provoca que un algoritmo de segmentación completamente automático no sea capaz de identificar los dos segmentos como parte de la misma arteria.
- Imágenes con una baja proporción señal/ruido: Las imágenes suelen presentar fondos no homogéneos que dificultan la extracción automática de estructuras. Estas características son especialmente nocivas en este tipo de imágenes, debido, entre otros factores, al reducido tamaño de las arterias a segmentar [GONZ-96].



### III. Estado del arte

---

El pronóstico de la enfermedad coronaria depende en gran medida de la severidad y de la afectación arterial coronaria. La angiografía coronaria constituye, junto con la determinación de la función ventricular izquierda, el factor de predicción más potente para realizar el pronóstico a largo plazo en pacientes con enfermedades coronarias.

A finales de los 70, se realizaron una serie de estudios para comparar el tratamiento farmacológico con la revascularización quirúrgica [EMON-94] [GROU-79] [TAKA-76], que utilizaban como criterio para establecer el pronóstico del paciente el número de vasos y la porción de estos que estaba afectada por estenosis. Estos estudios aportaron una excelente información acerca del valor pronóstico de la extensión de la enfermedad coronaria, estableciendo el número de vasos enfermos como uno de los factores clave para decidir el pronóstico a largo plazo y por lo tanto decidir que tratamiento aplicar al paciente.

La clasificación de los pacientes con enfermedad coronaria según el número de vasos afectados es útil en la práctica clínica, pero no refleja fielmente la cantidad de miocardio isquémico. Así, un paciente con enfermedad de 3 vasos puede presentar las estenosis en las porciones distales mientras que otro puede tener afectadas las porciones proximales y en ambos casos la cantidad de miocardio en riesgo es muy distinta aunque los dos presenten enfermedad de tres vasos. Tampoco tiene el mismo significado una estenosis en una arteria muy grande que en otra poco desarrollada; por ejemplo, una estenosis en la arteria coronaria derecha afecta a distinta proporción de miocardio si la arteria es dominante que si no lo es. Se conoce bien que la severidad y localización de las estenosis son marcadores pronósticos, asociándose a una peor supervivencia las estenosis más severas y localizadas en las porciones proximales de las arterias coronarias [ACC-99]; es decir, a mayor cantidad de miocardio en riesgo, peor pronóstico.

Se han propuesto sistemas de puntuación de riesgo que valoran la localización de las estenosis, puntuándose más las estenosis localizadas proximalmente en un intento de

discriminar mejor el riesgo que con la clasificación basada en el número de vasos. Se observó que el sistema de puntuación ofrecía más información sobre el pronóstico en comparación con el número de vasos enfermos [CALI-99]. Este sistema de puntuación, aunque más refinado, adolece de las mismas limitaciones que la clasificación basada en el número de vasos afectados, ya que el desarrollo de las arterias y sus ramas es diferente en cada paciente. Sin embargo, este es el método de valoración más extendido y el utilizado en el hospital de referencia, por no existir otro método más adecuado.

El sistema ideal sería aquel que pudiera determinar que proporción del árbol coronario (porcentaje coronario “en riesgo”) se encuentra distal a las estenosis hemodinámicamente significativas ( $>70\%$ ). Consistiría en medir el volumen total del árbol coronario y después el volumen distal a las estenosis severas, incluyéndose de este modo en el análisis el desarrollo de cada arteria o cada rama y consiguiéndose un valor directamente relacionado con el tejido miocárdico que se verá afectado y con la consiguiente afectación cardiaca.

El sistema de información que se obtiene como resultado de la realización de este trabajo proporciona este marcador pronóstico (porcentaje coronario “en riesgo”) a partir del estudio angiográfico practicado al paciente. Para obtener el “score” es necesario adquirir los estudios angiográficos, almacenarlos de forma eficiente, disponer de un software de visualización, segmentación y etiquetado, construir el modelo arterial con los datos extraídos de las segmentaciones realizadas desde diferentes proyecciones y, finalmente, determinar la posición y la severidad de las estenosis existentes.

Tecnológicamente, hoy en día existen muchas soluciones que realizan algunas de estas funcionalidades. Los PACS permiten la adquisición, almacenamiento y visualización de estudios DICOM que pueden contener imágenes de diferentes modalidades. Sin embargo, dada su orientación generalista no proporcionan herramientas de segmentación desde diferentes proyecciones, ni etiquetado, por lo que es imposible construir con ellos ningún modelo que proporcione marcador alguno basado en las características anatómicas del paciente. Además, los PACS instalados en los hospitales son soluciones cerradas, desarrolladas habitualmente por los fabricantes de los equipos de generación de imagen, con lo que tratar de extender su funcionalidad es una tarea difícilmente abordable.

Con respecto a las herramientas de segmentación existe un extenso trabajo realizado en este campo. Ya en 1999, Ezquerro [EZQU-99] publicó un extenso artículo en el se exponía el estado del arte en esta materia. Sin embargo, no se han encontrado referencias a publicaciones que relaten la implantación con éxito de estas herramientas en entornos clínicos reales. Es más, de los múltiples trabajos realizados para la reconstrucción 3D utilizando otras técnicas, como las angiografías biplanares complementadas con ultrasonidos intravasculares, no se han extraído resultados aplicables a la determinación de factores pronósticos en base al procesamiento de dichas imágenes.

Otro elemento clave del que no se han encontrado referencias es del almacenamiento de datos obtenidos de las imágenes procesadas, que en este caso es un elemento clave a la hora de realizar los cálculos necesarios para extraer y validar nuevos factores pronósticos basados en la anatomía y en la funcionalidad coronaria que en cierta medida depende de la velocidad del agravamiento o del incremento del tejido miocárdico afectado.

A continuación, se detallan las características de las principales técnicas de segmentación vascular.

## **1. Segmentación Vascular**

Los algoritmos de segmentación aplicados a las imágenes angiográficas para extraer los vasos coronarios son componentes clave en cualquier sistema de radiodiagnóstico automatizado, total o parcialmente. La segmentación de vasos sanguíneos en imágenes médicas constituye, por lo tanto, un elemento clave en el trabajo llevado a cabo durante el desarrollo de esta tesis doctoral.

En la actualidad, no existe ningún método de segmentación capaz de extraer el árbol vascular del corazón de forma adecuada o eficiente desde el punto de vista clínico y completamente automática, debido fundamentalmente a que estas imágenes presentan morfologías complejas y el fondo de la imagen no es homogéneo por la presencia de otros elementos anatómicos y artefactos como el catéter. Además, también es necesario tener en cuenta los diferentes movimientos (respiratorio, latido del corazón, etc.) que realiza de forma fisiológica la estructura anatómica en estudio.

Se pueden encontrar métodos de extracción del árbol coronario muy diversos en la literatura. Mientras algunos métodos emplean técnicas de reconocimiento de patrones basadas en la intensidad pura, como la umbralización seguida de un análisis de componentes conexas, otros métodos aplican modelos de vasos explícitos.

Además, dependiendo de la calidad de la imagen y del ruido presente en la misma, algunos métodos de segmentación pueden requerir un preprocesado de la imagen previo al algoritmo de segmentación, mientras que otros pueden necesitar operaciones de postprocesado para eliminar los efectos de una posible sobresegmentación.

Una posible categorización de las técnicas y algoritmos de segmentación vascular podría ser la siguiente [KIRB-04]:

- Técnicas de “pattern-matching” o reconocimiento de patrones
- Técnicas basadas en modelos
- Técnicas basadas en seguimiento (“tracking”)
- Técnicas basadas en la inteligencia artificial
- Técnicas generales de detección de objetos tubulares

Los algoritmos utilizados durante el desarrollo de esta tesis pueden encuadrarse dentro de las técnicas basadas en “tracking” o seguimiento y técnicas de “pattern-matching” o de reconocimiento de patrones, concretamente crecimiento de regiones.

A continuación, se exponen de forma resumida las características generales de cada uno de los tipos de técnicas mencionados.

### **1.1 Técnicas basadas en reconocimiento de patrones.**

Estas técnicas tratan de la detección automática de objetos y sus características. Es una tarea sencilla e inmediata para los humanos, pero extremadamente compleja para los sistemas computacionales artificiales [GONZ-96]. Las aproximaciones basadas en reconocimiento de patrones se pueden clasificar en:



### 1.1.1 Métodos multiescalares

La aproximación multiescalar pretende la extracción de los modelos de vasos mediante imágenes de distintas resoluciones. La mayor ventaja de estas técnicas estriba en la alta velocidad de proceso. Las estructuras mayores, las arterias más importantes en este caso, se extraen segmentando imágenes de baja resolución mientras que las estructuras más pequeñas, se obtienen mediante imágenes de alta resolución.

### 1.1.2 Métodos basados en esqueletos (detección de ejes centrales)

El objetivo de estos métodos es conseguir un esqueleto del árbol coronario. Un esqueleto es una estructura de menor dimensión que la original, que preserva las propiedades topológicas y la forma general de dicho objeto. En general, los esqueletos basados en curvas son muy empleados para la reconstrucción de estructuras vasculares [NYST-01]. Los algoritmos de esqueletización también se denominan “algoritmos de adelgazamiento”.

En primer lugar, se detecta el eje central de los vasos, habitualmente denominados “centerlines”. Este eje es una línea imaginaria que atraviesa cada uno de estos vasos por su eje central; es decir, dos segmentos normales al eje y sentido contrario deberían presentar la misma distancia a los bordes del vaso. El conjunto de dichas líneas constituye el esqueleto del árbol coronario.

Los métodos empleados para la detección de los ejes centrales pueden ser clasificados en tres categorías:

- Umbralización seguida de métodos de conectividad de objetos
- Umbralización seguida de técnicas de adelgazamiento
- Extracción basada en descripciones en forma de grafo.

### 1.1.3 Métodos basados en crestas

Uno de los primeros métodos desarrollados para la segmentación de imágenes angiográficas basado en crestas fue el propuesto por Guo y Richardson [GUO-98]. Este método trata las angiografías como mapas topográficos y las crestas detectadas en el mismo constituyen los ejes centrales de los vasos.

La imagen es preprocesada utilizando un filtro de mediana y posteriormente suavizada con un método de difusión no lineal (suavizado anisotrópico). A continuación, la región de interés es seleccionada mediante umbralización. Este proceso elimina las crestas que no se corresponden con los ejes centrales. Finalmente, los ejes centrales candidatos se unen mediante técnicas de relajación de curvas.

#### **1.1.4 Métodos basados en crecimiento de regiones**

Partiendo de un punto conocido como semilla, estas técnicas segmentan imágenes mediante la inclusión incremental de píxeles en una región basándose en un criterio establecido a priori. Existen dos criterios especialmente importantes: la similitud en el valor y la proximidad espacial [JAIN-95]. Se establece que los píxeles suficientemente próximos a otros con niveles de gris similares pertenecen al mismo objeto. El mayor inconveniente que presenta este método es que requiere la intervención del usuario para determinar los “puntos semilla”.

O'Brien y Ezquerro [OBRI-94] proponen la extracción automática de los vasos coronarios en angiogramas en base a restricciones temporales, espaciales y estructurales. El algoritmo comienza con un “filtro paso bajo” y la definición por parte del usuario de un “punto semilla”. Entonces, el sistema comienza la extracción de los ejes centrales utilizando el mecanismo denominado “test del globo”. Posteriormente, se enlazan las regiones detectadas mediante teoría de grafos. El test empleado permite descartar también aquellas regiones detectadas incorrectamente y que, por lo tanto, no pertenecen al árbol vascular.

#### **1.1.5 Métodos basados en geometría diferencial**

Los métodos basados en geometría diferencial tratan las imágenes como hipersuperficies y extraen las características de ellas utilizando la curvatura y las crestas de superficie. Los puntos de una cresta de la hipersuperficie se corresponden con el eje central de la estructura de un vaso. Este método es aplicable tanto a imágenes bidimensionales como tridimensionales. En el caso de los angiogramas, al ser imágenes bidimensionales, se modelan como hipersuperficies tridimensionales.

Se pueden encontrar ejemplos de reconstrucciones efectuadas con este método en Prinnet et al [PRIN-95], en el que se tratan las imágenes como superficies paramétricas y se extraen

características de ellas usando curvaturas de superficie y crestas. Debido a que mediante la unión de los puntos de las crestas se crean esqueletos, esta técnica también podría ser incluida dentro de las técnicas basadas en esqueletos.

### **1.1.6 Métodos de filtros de correspondencia**

La aproximación mediante filtros de correspondencia convolucionada la imagen con múltiples filtros de correspondencia para la extracción de las regiones de interés. Para ello, se diseñan una serie de filtros que permiten detectar los de diferentes tamaños y orientaciones. Generalmente, estos métodos precisan de una serie de pasos de preprocesado, como umbralizaciones y análisis de conexiones para obtener los contornos definitivos de los vasos.

Como ejemplo de aplicación de esta técnica, se puede destacar el trabajo de Poli y Valli [POLI-97], donde se describe un algoritmo basado en una serie de filtros lineales multiorientación, obtenidos como combinaciones lineales de “kernels” Gaussianos. Estos filtros son sensibles a diferentes anchuras y orientaciones de los vasos. Posteriormente, se aplica una umbralización con “histéresis de Canny” para lograr la segmentación completa. Este método también crea un esqueleto, por lo que también podría ser clasificado como un método basado en esqueletos.

En Mao et al [MAO-92] también se puede apreciar la utilización de este tipo de filtros. Se define un algoritmo basado en modelos de percepción visual que afirman que las partes relevantes de los objetos en imágenes con ruido aparecen normalmente agrupadas. Este algoritmo construye también un esqueleto utilizando la información de las características estructurales obtenidas de la imagen, pero tiene como deficiencia que no resuelve ambigüedades como cruces o el surgimiento de nuevas ramas en una arteria.

### **1.1.7 Métodos matemáticos morfológicos**

La morfología matemática define una serie de operadores que aplican elementos estructurales a las imágenes de forma que se preservan las características morfológicas de los visualizado y se eliminan los elementos irrelevantes. Las operaciones morfológicas principales son:

- Dilatación: Expande objetos, rellenando huecos y uniendo regiones disjuntas.

- Erosión: Contrae objetos, separando regiones.
- Cierre: Dilatación + Erosión.
- Apertura: Erosión + Dilatación.
- Transformación “top hat”: Extrae las estructuras con forma lineal.
- Transformación “watershed”: “Inunda” la imagen tomada como un mapa topográfico y extrae las partes no “anegadas”.

Figueiredo y Leitao [FIGU-95] describen un algoritmo para la estimación de contornos de vasos en angiogramas. En primer lugar se utiliza un operador morfológico de búsqueda de bordes en imágenes en niveles de gris. Todos los máximos locales de las distintas secciones transversales de los vasos son considerados candidatos a bordes. En este punto, se emplea la programación dinámica para encontrar el camino del mínimo coste entre los candidatos en una estructura de grafo.

Otro ejemplo, se encuentra en Eiho y Qian [EIHO-97]. En este caso, las autores adoptan una aproximación puramente morfológica, definiendo un algoritmo que consta de los siguientes pasos:

1. Aplicación del operador “top hat” para resaltar los vasos
2. Erosión para eliminar las zonas que no se corresponden con vasos
3. Extracción del árbol a partir de un punto proporcionado por el usuario basándose en niveles de gris.
4. Operación de adelgazamiento del árbol
5. Extracción de bordes mediante la transformación “watershed”

Se puede encontrar una tabla resumen de estos y otros métodos de reconstrucción de vasos, aplicables a otro tipo de imágenes en Kirbas y Quek [KIRB-04]

## 1.2 Técnicas basadas en modelos

Estas aproximaciones emplean modelos explícitos de vasos para extraer el árbol vascular. Se pueden dividir en cuatro categorías: modelos deformables, modelos paramétricos, modelos de correspondencia de plantillas y cilindros generalizados.

### 1.2.1 Modelos deformables

Las estrategias basadas en modelos deformables pueden, a su vez, ser clasificadas con más detalle, usando como referencia el estudio de McInerney y Terzopoulos [MCIN-97].

Los algoritmos que utilizan modelos deformables [MERL-97] se basan en el refinamiento progresivo de un esqueleto inicial construido mediante curvas a partir de una serie de puntos conocidos con el nombre de puntos de referencia. Estos puntos son:

- Puntos raíz: Puntos desde los que parte el árbol coronario.
- Puntos de bifurcación: Puntos de una rama principal donde surge una rama secundaria.
- Puntos de fin: Puntos donde termina una rama del árbol.

Dichos puntos deben ser marcados de forma manual.

#### 1.2.1.1 Modelos paramétricos deformables. Contornos activos (“Snakes”).

Estos modelos utilizan un conjunto de curvas paramétricas que se van ajustando a los bordes de los objetos, adaptándose por la influencia de fuerzas externas, que fomentan la deformación, y fuerzas internas, que se resisten al cambio. En particular, los modelos de contornos activos o “snakes” son un caso especial de una técnica más general que pretende el ajuste de modelos deformables mediante la minimización de energía.

Físicamente, una “snake” es un conjunto de puntos de control llamados “snaxels” que se encuentran conectados entre ellos. Cada “snaxel” lleva asociada una energía que aumenta o disminuye dependiendo de las fuerzas que actúen sobre ella. Estas energías son las energías externas que le impone la imagen y las energías internas que hacen que la “snake” mantenga una forma suave.

Estos métodos suelen ser muy robustos al ruido, aunque como contrapartida suelen necesitar la interacción humana para inicializar la “snake”.

Este tipo de técnicas se utiliza habitualmente para realizar reconstrucciones tridimensionales. Merle et al. [MERL-97], proponen un algoritmo cuyos pasos principales son:

1. Reconstrucción inicial 3D de cada vaso: Se calcula la posición 3D de cada uno de los puntos de referencia. La curva 3D inicial que representa a cada vaso es una “B-spline” de tercer orden, interpolada a partir de los puntos de referencia.
2. Modelado de las bifurcaciones: Para todas aquellas ramas que no sean la principal, se suprime la parte común con dicha arteria principal, de forma que las arterias secundarias parten de los puntos de bifurcación sin intersecarse. La unión entre el vaso principal y el secundario debe preservar cierto criterio de continuidad.
3. Optimización del modelo 3D. En este punto actúa el modelo deformable, para la reconstrucción de un esqueleto tridimensional.

Otra aplicación del uso de “snakes” 3D es el propuesto por Molina et al. [MOLI-98] para la reconstrucción 3D de rutas para la introducción de catéteres. Este método utiliza angiografías biplanares; es decir, angiografías para las que se obtienen dos imágenes simultáneas desde diferentes puntos de vista. Tras un preprocesado de la imagen que elimina las aberraciones causadas por las proyecciones, se procede a la inicialización de la “snake”. Para ello, el usuario define la posición aproximada de un conjunto de pares de puntos, ubicando cada elemento del par en su proyección correspondiente. Dichos puntos deben encontrarse lo más cerca posible de los ejes centrales que se pretenden segmentar. Para cada pareja de puntos se obtiene un punto tridimensional. Una vez realizadas estas operaciones, la “snake” evoluciona hasta que sus dos proyecciones ortogonales coinciden con el camino imaginario trazado entre los puntos de referencia.

De esta forma, la “snake” evoluciona utilizando simultáneamente información geométrica proveniente de las dos proyecciones como energía externa. Esto hace posible que todas las configuraciones intermedias que va adoptando la “snake” son posibles soluciones para la reconstrucción, con lo que nunca se evalúan formas o posiciones inaceptables.

Klein et al. [KLEI-97] proponen un algoritmo que utiliza “snakes” para la reconstrucción 4D, ya que se pueden utilizar para trazar la posición de cada uno de los puntos del eje central de un esqueleto en una secuencia de angiogramas.

Más recientemente, se ha propuesto un método de visión artificial para el seguimiento de arterias coronarias en angiogramas biplanares. Esta aproximación emplea un modelo de

contorno 3D basado en descriptores 3D de Fourier y una serie de restricciones extraídas de la “geometría epipolar” [SARR-01]. Estos descriptores 3D se extraen de los descriptores 2D de las proyecciones. A continuación, se utiliza un modelo deformable 3D para el seguimiento del contorno de las arterias. Este método es comparable al método clásico de seguimiento de contornos 2D para cada proyección seguida de una reconstrucción 3D usando geometría epipolar. Este mismo estudio concluye que la precisión del seguimiento 3D es mayor que la del método clásico además de presentar una convergencia más rápida.

#### **1.2.1.2 Modelos geométricos deformables.**

Los modelos geométricos deformables se basan en modelos topográficos adaptados al reconocimiento de formas. En Malladi et al. [MALL-95] por ejemplo, se usa la aproximación conocida como “Level Set Method” (LSM) adaptada al reconocimiento de formas. La idea fundamental de este método consiste en representar un borde como un conjunto de nivel cero de una hipersuperficie de orden superior, y el modelo evoluciona para reducir al mínimo una métrica definida por las restricciones de borde y curvatura, pero de forma menos rígida que en el caso de las “snakes”. El borde inicial, que constituye el nivel cero de la hipersuperficie, evoluciona ajustándose a los bordes de los vasos, que es lo que se pretende detectar.

#### **1.2.1.3 Métodos de propagación**

Quek y Kirbas [QUEK-01] desarrollan un sistema de propagación de ondas combinado con un mecanismo de retro-trazado para extraer los vasos de imágenes angiográficas. Básicamente, este método etiqueta cada píxel según la verosimilitud de su pertenencia a un vaso. Posteriormente, se propaga una onda por los píxeles etiquetados como pertenecientes al vaso, que es la que extrae definitivamente los vasos en función de las características locales que encuentra la onda.

#### **1.2.1.4 Aproximaciones mediante correspondencia de plantillas deformables**

Esta aproximación intenta reconocer modelos estructurales (plantillas) en una imagen. Para ello emplea la plantilla como contexto; es decir, como un modelo “*a priori*”. Esta plantilla generalmente se representa por un conjunto de nodos conectados por segmento. La

estructura inicial se deforma hasta que se ajusta de manera óptima a las estructuras observadas en la imagen.

Petrocelli et al. [PETR-93] describen un método basado en plantillas deformables. Además de las plantillas, se incorpora conocimiento previo adicional para el proceso de deformación. Este está descrito por un modelo de Markov oculto, que permite la reconstrucción 3D al ser aplicable a imágenes tridimensionales si bien también es aplicable a proyecciones 2D seguido de un proceso de reconstrucción 3D clásico a partir de las formas encontradas.

### **1.2.2 Modelos paramétricos**

Estos se basan en conocimiento “*a priori*” de la forma de la arteria. Mediante ese conocimiento se construyen modelos cuyos parámetros dependen de los perfiles de todo el vaso y, por tanto, tienen en cuenta la información global de toda la arteria y no solo la local. El valor de estos parámetros se establece tras un proceso de aprendizaje.

Se han utilizado tanto modelos con secciones circulares [SHMU-83] como en espiral [PAPP-84]. Esto es debido a que diferentes estudios [BROW-77] [BROW-82] muestran que las secciones de las arterias sanas suelen ser circulares y las secciones con estenosis suelen ser elípticas. Sin embargo, tanto las formas circulares como las elípticas fallan a la hora de aproximar formas irregulares causadas por patologías o bifurcaciones.

Se han reconstruido estructuras vasculares a partir de dos angiogramas mediante este modelo [PELL-94]. Para ello, tanto las secciones sanas como las estenóticas de los vasos se modelan mediante elipses. Este modelo se deforma posteriormente hasta que se corresponde con la forma asociada al nacimiento de una nueva rama o a una patología.

### **1.2.3 Modelos de cilindros generalizados.**

Un cilindro generalizado (CG) es un sólido que posee como eje central una curva 3D. En cada punto de dicho eje existe una sección limitada y cerrada perpendicular a dicho eje. Por tanto, un CG queda definido en el espacio por una curva espacial o eje y una función que define la sección en ese eje. Habitualmente la sección es una elipse. Técnicamente los GC podían estar incluidos dentro de la sección de métodos paramétricos, pero el trabajo desarrollado en este campo es tan extenso por si mismo que justifica una categoría propia.



Se debe tener en cuenta que el plano que contiene una sección de un vaso no tiene por qué ser paralelo al plano determinado por el haz de rayos X (suponiendo un haz paralelo). A pesar de eso, si se supone que cualquier sección del vaso es elíptica, cualquier sección determinada por el corte de cualquier plano también será elíptica. Con esta suposición, y sabiendo que cada línea registrada en una imagen de rayos X de una arteria representa el perfil densitométrico de dicha arteria, es posible la determinación de los parámetros que definen la elipse correspondiente a dicha sección.

La construcción del modelo del árbol coronario precisa una única vista para la construcción de un árbol 2D y para la estimación de las secciones. Sin embargo, no proporciona información de profundidad ni tampoco del área de dichas secciones. Para ello, es necesario una segunda proyección.

### **1.3 Tracking o seguimiento arterial.**

Las técnicas basadas en seguimiento arterial, al contrario que las aproximaciones basadas en el reconocimiento de patrones donde se aplican operadores locales a todo el conjunto de la imagen, se basan en la aplicación de operadores locales en una zona que, presumiblemente, pertenece a un vaso para luego recorrerlo. A partir de un punto de inicio, se procede a la detección del eje central y, analizando los píxeles ortogonales a la dirección de rastreo, los bordes del vaso. Existen distintos métodos para determinar el eje central y los bordes.

Algunos realizan un rastreo secuencial con la incorporación de información de conectividad después de una sencilla operación de detección de bordes. Otros emplean información del paso previo para trazar secuencialmente los contornos. Existen aproximaciones basadas en la intensidad de crestas, en conjuntos difusos o en la representación de grafos, donde el objetivo es encontrar el camino óptimo en el grafo que representa la imagen.

Park [PARK-97] describe un sistema que permite extraer características y perfilar vasos estrechos en angiografías. Se utiliza un criterio de estimación de máxima verosimilitud en píxeles adyacentes para la detección de bordes y un algoritmo adaptativo de seguimiento para determinar la dirección. Posteriormente, se determina el eje central como vector de dirección empleado en cada punto utilizado por el algoritmo de seguimiento. Este método,

sin embargo, presenta el inconveniente de realizar el seguimiento solamente de arterias individuales.

Lu y Eiho [LU-93] han descrito otro algoritmo de seguimiento de los bordes vasculares en angiografías que sí contempla la inclusión de ramas. Consta de tres etapas:

1. Detección de bordes
2. Búsqueda de ramas
3. Trazado secuencial de contornos

El usuario debe proporcionar el punto de origen, su dirección y el rango de búsqueda. Los puntos de los bordes son evaluados mediante un operador diferencial de suavizado en la línea perpendicular a la dirección del vaso. Este operador sirve también para detectar las ramas.

Estas técnicas presentan el inconveniente de que son muy sensibles a la calidad de la imagen. Determinadas situaciones típicas en las angiografías, como bordes inconexos o vasos que se superponen, pueden provocar problemas en el proceso de seguimiento. Además, no son totalmente automáticos, ya que requieren que el usuario introduzca el punto inicial y la dirección del vaso sanguíneo. Y, en algunos casos, es necesario que aporte información adicional sobre la imagen y, o, sobre la estructura del árbol coronario.

#### **1.4 Técnicas Basadas en Inteligencia Artificial.**

Las aproximaciones basadas en Inteligencia Artificial emplean conocimientos de alto nivel para guiar el proceso de segmentación y delineación de las estructuras vasculares. Existen distintas aproximaciones que emplean a su vez distintos tipos de conocimiento proveniente de varias fuentes.

Una posibilidad [SMET-88] es emplear reglas que codifiquen conocimiento acerca de la morfología de los vasos sanguíneos (por ejemplo: los vasos son más oscuros cuanto más cerca del eje central). Con estas reglas, se formula una jerarquía con la que crear el modelo. Este tipo de sistema no ofrece buenos resultados en las bifurcaciones de arterias y en arterias que presentan oclusiones.

Otra aproximación [STAN-86] consiste en implementar un Sistema Experto basado en reglas para la identificación de las arterias. En la primera fase, se procesa la imagen sin utilizar conocimiento del dominio para extraer segmentos de los vasos. En la segunda fase es donde se emplearía conocimiento del dominio de la anatomía cardiaca y conocimientos fisiológicos.

La segunda aproximación es más robusta frente al ruido que la primera, pero presenta el problema de que no combina los distintos segmentos en una única estructura vascular.

Una tercera opción es utilizar Redes de Neuronas Artificiales (Artificial Neural Networks, en adelante ANN). En el campo de la imagen médica se usan fundamentalmente como método de clasificación. La red es entrenada con un conjunto de imágenes y la imagen objetivo es segmentada usando la ANN, una vez que esta ha sido entrenada. Una de las ventajas que hacen atractivas a las ANN para la segmentación es su habilidad para usar límites de clasificación no lineales obtenidos durante el entrenamiento de la red. Otro atractivo es su habilidad para aprender. Así, si se selecciona un buen conjunto de entrenamiento que incluya todas las posibles características u objetos, la red puede aprender los límites de clasificación en su espacio de características. Por otra parte, algunas de sus limitaciones son su necesidad de entrenar cada vez que se añade una característica a la red o la dificultad de comprobar, y corregir el funcionamiento de la misma, y explicar el “motivo” de sus decisiones.

### **1.5 Técnicas generales de detección de objetos tubulares.**

Estas técnicas no han sido diseñadas específicamente para la detección de vasos sanguíneos, pero se aplican al ámbito de la extracción de las estructuras vasculares debido a que éstas son estructuras tubulares.

Huang y Stockman [HUAN-93] desarrollaron un algoritmo para la reconstrucción de raíces de árboles que podría ser aplicable al reconocimiento de las arterias coronarias. Dicho algoritmo consta de dos fases: una primera de reconocimiento local y una segunda de reconocimiento global. En la primera fase, se construyen una serie de primitivas que indican la posición de los bordes. Dichas primitivas sirven como base para la definición de tubos en aquellos lugares en donde se han detectado bordes. En la siguiente etapa se

expanden los tubos hasta que confluyen en una sola estructura, preservando ciertas restricciones de suavidad en la forma.

Esta aproximación fue también la elegida por Kompatsiaris et al. [KOMP-00] para desarrollar un algoritmo para la detección de “stents” en el árbol coronario.

## **2. Soluciones Software Comerciales**

Tal y como se ha descrito en la Introducción, el Servicio de Hemodinámica del Complejo Hospitalario Universitario “Juan Canalejo” de A Coruña es un centro de referencia a nivel mundial dentro de esta área clínica. Actualmente, en su práctica clínica diaria utilizan la siguientes herramientas software.

### **2.1 BioImage PC.**

El BioImage PC es un sistema de adquisición de imágenes angiográficas de alta resolución. Está compuesto por un ordenador PC compatible al que se le asocian placas especiales, para poder realizar la digitalización y el procesamiento en tiempo real y en diferentes formatos de video.

Por medio de una interfaz con el angiógrafo, el BioImage PC adquiere las imágenes en modo cine o en modo digital y, además, permite visualizar los procedimientos realizados durante la fluoroscopia.

BioImage PC puede operarse desde una sala de hemodinámica o desde la sala de control. En hemodinámica los comandos se introducen con un teclado especial de funciones directas, mientras que en la sala de control las funciones se envían por medio de un teclado o un ratón.

Este software es el utilizado en el servicio de referencia para visualizar los estudios, tanto desde la sala de hemodinámica como desde la sala de control, y generar los CDs que almacena de forma persistente dicho estudio.

Especificaciones:

- Adquisición en distintos formatos: Alta resolución (1024 x 1024 píxeles) o adaptable a la resolución de la cadena de TV existente.

- Procesamiento en tiempo real: “zoom”, filtrado, sustracción y “road mapping”.
- Base de datos. Capacidad de almacenamiento correspondiente a más de 40 estudios (40.000 imágenes).
- Grabación en CD-R bajo formato DICOM. Incluyendo un programa visor para el estudio.
- Visor DICOM para la revisión de estudios grabados. Permite realizar:
  - Capturas de Imágenes
  - Mediciones de calibre y extensión de lesiones de forma manual o automática.
  - Cálculo de fracción de eyección. Motilidad parietal. Fracción de acortamiento.
  - Procesamientos: “zoom”, diferentes filtrados, brillo, contraste, imágenes invertidas y sustracción.
  - Grabación en formato AVI y JPEG, haciendo posible el envío de los estudios a través de Internet.

## 2.2 VEO Sistema de diagnóstico DICOM 3.0

VEO es un visualizador DICOM (véase Figura 33), desarrollado por Gate Systems, específico para el diagnóstico radiológico. Puede ser utilizado tanto en un entorno de trabajo intrahospitalario como interhospitalario.

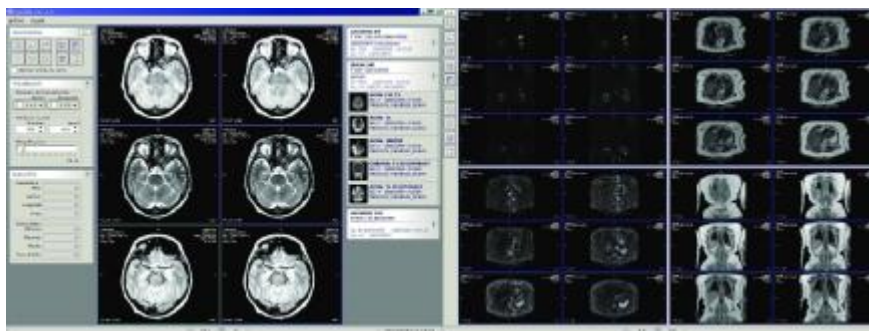


Figura 33. Capturas del sistema VEO.

Debido a su orientación general de visualizador DICOM, esta herramienta no proporciona las funcionalidades específicas y propias del Servicio de Hemodinámica, por lo que, a pesar de disponer de la versión libre de esta herramienta, prácticamente no es utilizada.

VEO, junto con GATEstore, IRIX y GATEview, componen una solución DICOM para la gestión de imágenes en red..

Actualmente, es posible descargar vía Web la versión Lite de VEO, que incluye las siguientes funcionalidades:

- Lectura y manipulación de DICOMDIR
- Información de campos DICOM (TAG's) básica, de cualquier serie o imagen.
- Visualización de todos los formatos DICOM 3.0 (jpeg 2000, jpeg lossless...) y ACR-NEMA 2.0.
- Visualización cine: especialmente indicado para estudios con imágenes dinámicas, donde la visualización secuencial es de alto interés por el control de la velocidad entre imágenes.
- Windows/Level, modificación y gestión para cada imagen o toda la serie, para mayor comodidad puede predefinir los ajustes de W/L para cada una de las técnicas.
- Zoom/Magnificación, con interpolación según sus preferencias para una calidad de imagen óptima.
- Lupa dinámica o herramienta de magnificación por zonas.
- Medición de áreas: estas se calculan directamente sobre la imagen.
- ROI, regiones de interés (datos de geometría y densidades).
- Interpolación de la imagen, puede seleccionar en preferencias entre: ninguna, media (Bspline) y alta (Cubic Bspline).

- Copiar/Pegar: puede copiar imágenes al portapapeles de Windows para utilizarlas en otras aplicaciones. Podrá exportar sus imágenes DICOM para preparar sus presentaciones.

Además, está en desarrollo una versión profesional, actualmente en fase Beta, y que añadirá las siguientes funcionalidades:

- Base de Datos. En esta versión el sistema dispone de su propia base de datos.
- Lectura, creación y manipulación de DICOMDIR: el sistema gestiona la generación de CD-ROM al formato DICOM 3.0. Permite acceder a cualquier medio generado según la norma (CD-ROM, MOD de RAM, TAC, etc.)
- Transformación de cualquier imagen en “DICOM secondary capture”, esto permitirá integrar cualquier imagen no estandarizada a la norma DICOM 3.0. Basado sobre la implementación de los servicios de capturas Secundarias, convertirá cualquier tipo de imagen al formato DICOM 3.0, permitiendo así su uso en cualquier red o dispositivo moderno.
- Captura TWAIN. Desde el escáner convertirá la imagen al formato DICOM 3.0 (Captura Secundaria). Esta estación de captura se integrará perfectamente en su red DICOM.
- DICOM Query/Retrieve Service Class User(SCU): Es un cliente para la interrogación y recuperación de datos mediante el protocolo DICOM 3.0.

### 2.3 QAngio XA

QAngio XA es una solución desarrollada por Medis para el análisis de arterias coronarias y periféricas en angiogramas.

Esta herramienta permite cuantificar la severidad de una estenosis indicando el grado de oclusión arterial estimado.

Las funcionalidades que proporciona son:

- Cuantificación de lesiones coronarias (véase Figura 34).

- Métodos automáticos de calibración, incluyendo catéter, catéter marcador, rejilla y calibración con esferas.
- Sistema de detección de contornos.
- Cálculo del diámetro de la estenosis, grado de obstrucción y longitud arterial afectada.
- Exclusión de segmentos arteriales específicos para realizar los cálculos.
- Cálculo del volumen muscular afectado.
- Soporte para la visualización de electro-cardiogramas.

Sin embargo, esta herramienta adolece de características clave como son la integración con un sistema de base de datos, etiquetado arterial, integración de la información obtenida desde diferentes vistas y almacenamiento persistente de los datos obtenidos en el análisis.

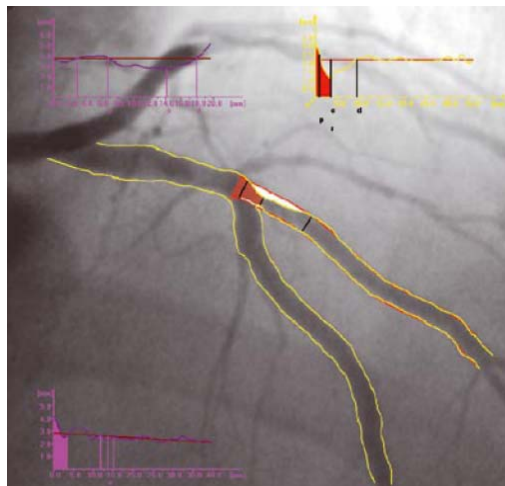


Figura 34. Captura de QAngio XA [QANG-07].



## IV. Hipótesis y Objetivos

---

La hipótesis de partida de esta tesis es que es posible diseñar un sistema de información de asistencia a la toma de decisiones clínicas en el ámbito de la estenosis coronaria. Cada una de las partes que componen el sistema serán evaluadas mediante la realización de pruebas de validación y rendimiento en un entorno real. La implantación del sistema de información en el servicio de hemodinámica de un hospital de referencia avalará la consecución de la hipótesis.

Los objetivos específicos son:

- Adquisición de estudios angiográficos mediante el estándar DICOM 3, para que el sistema almacene de forma estructurada la información de los estudios procedentes de diferentes dispositivos de angiografía y utilizando para la transmisión de datos diferentes soportes.
- Acceso a los estudios angiográficos almacenados, incorporando funciones de visualización avanzada, para que los clínicos puedan seleccionar las proyecciones y fotogramas adecuados para trabajar.
- Segmentación interactiva del árbol coronario, usando fotogramas pertenecientes a distintas proyecciones de un mismo estudio y utilizando diferentes mecanismos de segmentación de imágenes. La segmentación permite cuantificar la información contenida en las angiografías, de forma que el sistema pueda utilizar esta información para calcular y validar los marcadores pronósticos.
- Etiquetado manual de cada una de las arterias que componen el árbol coronario, que hace posible la reconstrucción desde el modelo arterial artificial

- Construcción del modelo arterial artificial a partir de las arterias segmentadas desde diferentes proyecciones.
- Determinación del “score” mediante la estimación del volumen coronario y del porcentaje afectado por las posibles estenosis. En función de estos dos factores se calcula un valor numérico que indica al médico la gravedad de la situación del enfermo. El “score” es un resultado objetivo que aconseja al médico a la hora de realizar el diagnóstico y el pronóstico.
- Implantación del sistema de información en el servicio de hemodinámica de un hospital de referencia, para avalar su funcionamiento.

Con la consecución de estos objetivos se facilitará la toma de decisiones del hemodinamista, debido a que el sistema de información le proporciona el valor de un “score”, que es un criterio objetivo que permite valorar el estado global del árbol coronario del paciente, en función de la información extraída de las imágenes del estudio angiográfico realizado, lo que validará la hipótesis planteada.

Para alcanzar la consecución de estos objetivos se sigue la metodología que se describe en el siguiente apartado.

## V. Metodología y Material

---

El desarrollo de un sistema de información basado en imagen para un servicio de hemodinámica es, tal y como afirma H. Baetjer [BAET-98] para el software en general, “*un proceso de aprendizaje social*”. Cuando se trata de realizar un sistema orientado al apoyo en la toma de decisión clínica que trata problemas tan complejos como los comprendidos en este ámbito y además presenta, habitualmente, una carga de trabajo asistencial fuerte, esta afirmación cobra especial relevancia y ha de presidir todo el proceso de construcción del software, desde las primeras entrevistas hasta la fase de pruebas y mantenimiento [PRES-04].

Para alcanzar los objetivos propuestos es fundamental que el sistema se adapte a los requisitos especificados por los clínicos y que la interacción con el mismo sea intuitiva. Es por esto que se ha pretendido que el proceso de desarrollo del software fuese un proceso iterativo en el que las herramientas en evolución sirviesen como un medio de comunicación en el cual, cada nueva etapa del diálogo proporcionase conocimiento útil a las personas implicadas [BAET-98].

Ambler [AMBL-98] define el proceso de software como “*una colección de actividades, acciones, tareas de trabajo o comportamientos relacionados que requiere el desarrollo de un software de computadora*”. Jacobson, Booch y Rumbaugh [JACO-00] definieron el Proceso Unificado (PU) de desarrollo de software que establece un marco de trabajo para la ingeniería del software orientada a objetos. El PU propone un modelo de proceso iterativo e incremental, que puede adaptarse al desarrollo de este trabajo y permite definir, identificar y aplicar detalladamente las actividades, acciones y tareas de trabajo relacionadas con el desarrollo del software. El proceso unificado utiliza como lenguaje de modelado el “*Unified Modeling Language (UML)*”.

Estos mismos autores establecen una analogía entre las diferentes iteraciones del PU y “mini-proyectos” utilizando el ciclo de vida en cascada; es decir, afirman que cada una de

las iteraciones que se efectúan aplicando el PU de desarrollo de software sería el proceso equivalente a realizar varios proyectos de menor dimensión relacionados entre sí.

Por lo tanto, para detallar la funcionalidad y explicar la arquitectura del sistema de información se utilizarán los artefactos más relevantes del PU, asociados a su flujo de trabajo (especificación, análisis y diseño), en la última iteración efectuada.

## **1. Especificación de requisitos.**

Para desarrollar un sistema de información que asesore a los clínicos del ámbito de hemodinámica en el diagnóstico de un paciente, es necesario recoger todas las acciones y detallar las informaciones que manejan a la hora de tomar la decisión diagnóstica. De esta forma, se puede definir claramente cuál es el proceso que siguen y diseñar e implementar un sistema adecuado.

Por lo tanto, como primer paso del análisis se realizaron las tareas de especificación y análisis de requisitos en colaboración con el equipo médico del Servicio de Hemodinámica del Hospital Juan Canalejo de A Coruña. Para ello, se estudiaron pormenorizadamente las tareas asociadas a la realización de una angiografía y su posterior estudio, relacionadas con los objetivos de esta tesis.

El objetivo final de este trabajo es proporcionar un “score” que ayude a los hemodinamistas a pronosticar un problema de estenosis en un enfermo a partir de la información extraída de la angiografía o angiografías practicadas al paciente. Por ello, el sistema de información que se va a utilizar para obtener el “score” ha de ser capaz de adquirir y almacenar las imágenes que componen los estudios angiográficos. A partir de las imágenes almacenadas en el sistema, los clínicos podrán realizar las operaciones pertinentes para calcular el valor del score.

Para determinar como se van a realizar estas funciones, se llevó a cabo un estudio del entorno hospitalario donde posteriormente se instaló el sistema, analizando las infraestructuras, sistemas de información existentes y los requisitos específicos de dicho entorno. Esta información se obtuvo a partir de la realización de entrevistas con el personal de distintos servicios del centro y mediante la documentación técnica proporcionada.

## 1.1 Descripción del proceso de intervención

Un paciente es enviado al Servicio de Hemodinámica para que su árbol coronario sea estudiado (y en muchos casos también tratado) o bien por un cardiólogo o bien por el Servicio de Urgencias. En ambos casos la Historia Clínica del paciente se encuentra almacenada en el HIS del hospital.

Antes de realizar la intervención, el médico genera la información referente a los datos del paciente que se va almacenar en el estudio angiográfico DICOM, a partir de datos extraídos automáticamente del HIS. Para cada intervención o cateterismo se genera un código único, denominado “Número de Cateterismo” que identificará de forma inequívoca dicho estudio. Además, el estudio queda vinculado al Número de Historia Clínica del paciente en el HIS.

A continuación, selecciona el catéter que será utilizado para introducir el contraste en las arterias coronarias. Existen múltiples tipos y fabricantes de catéteres que, por lo tanto, presentan diferentes propiedades. Sin embargo, para el sistema de información a modelar solamente es necesario conocer el tipo de catéter según la “escala francesa” (French Scale), que determina el diámetro de dicho catéter. Es relevante conocer esta característica y almacenarla en el sistema de información, puesto que se utilizará en el proceso de calibrado de la imagen, debido a que el catéter es el único elemento físico del que se conocen sus dimensiones “*a priori*”.

Ya en el quirófano, y una vez colocado insertado el catéter, el médico introduce el contraste y realiza una secuencia de radiografías a una velocidad constante, que oscila entre de 12,5 y los 25 fotogramas por segundo según el dispositivo de adquisición, lo que permite en la práctica verlas de forma continua en formato vídeo.

Con el fin de visualizar completamente el árbol coronario, estas secuencias se toman desde diferentes proyecciones o ángulos. Mientras se efectúan estas radiografías el médico las observa, pudiendo apreciar el flujo sanguíneo que fluye por las arterias, lo que le permite tomar decisiones instantáneas, basadas en sus conocimientos y experiencia, en muchos casos.

Cuando ha finalizado la intervención, todo el estudio es almacenado en un CD y guardado en un archivo (armario físico), quedando a disposición del servicio para ser consultado de nuevo en casos complejos o para realizar labores de seguimiento del enfermo.

Tal y como se ha comentado anteriormente, la mayor parte de los dispositivos de generación de angiografías actuales implementan el estándar DICOM 3, (Storage SCU), con lo que poseen la capacidad de enviar estos estudios a un servidor de almacenamiento DICOM (Storage SCP). Por facilitar la práctica diaria de los clínicos, el sistema debería adquirir los estudios directamente desde los dispositivos de angiografía.

## 1.2 Análisis Preliminar

La información recogida en las intervenciones anteriormente descrita supone la base para la consecución de los objetivos del sistema desarrollado. Se definen, por tanto, como casos de uso básicos del sistema los mostrados en la Figura 35.

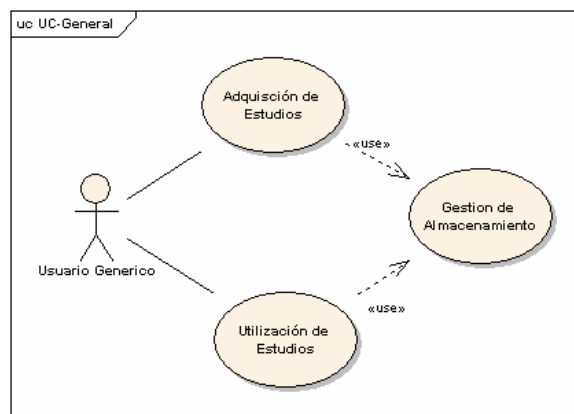


Figura 35. Casos de uso generales

Estos casos de uso están definidos al más alto nivel de abstracción. Esto nos permite especificar las necesidades básicas del sistema en el momento de establecer los cimientos de la fase de diseño. Este boceto está formado por tres subsistemas principales: Adquisición, Acceso y Explotación de los datos. La arquitectura que estos conforman se representa gráficamente en la Figura 36.



Figura 36. Arquitectura básica del sistema.

Estos 3 subsistemas básicos están conformados a su vez por componentes independientes. En las próximas secciones se detalla el análisis pormenorizado de cada uno de ellos.

## 2. Análisis.

### 2.1 Acceso a Datos.

El objetivo de este subsistema (véase Figura 37), denominado SMIS (Secure Medical Information Service), es aportar al sistema una interfaz común de acceso a los datos almacenados, de forma que, la información adquirida desde diferentes orígenes heterogéneos, pueda ser accedida desde todas las herramientas del subsistema de explotación.

Desde el punto de vista del subsistema de adquisición, el subsistema de acceso proporciona una interfaz de entrada única que permite homogeneizar la información recibida desde diferentes dispositivos y soportes. La única restricción que debe cumplirse es que la información proporcionada a este subsistema cumpla el estándar DICOM. El subsistema obtiene estos archivos DICOM y despliega su contenido en una base de datos estructurada.

Como se ha relatado anteriormente, la información generada por los dispositivos médicos debería poder ser adquirida desde diferentes orígenes, planteándose la única restricción de que los ficheros que contienen la información cumplan el estándar DICOM.

Desde el punto de vista del subsistema de explotación, este subsistema permite un acceso rápido y eficiente a los datos almacenados y evita que las herramientas de explotación tengan que obligatoriamente interpretar el estándar DICOM. Este subsistema facilita el

desarrollo de nuevas aplicaciones de explotación, brindando los servicios de acceso a datos que éstas podrían necesitar.

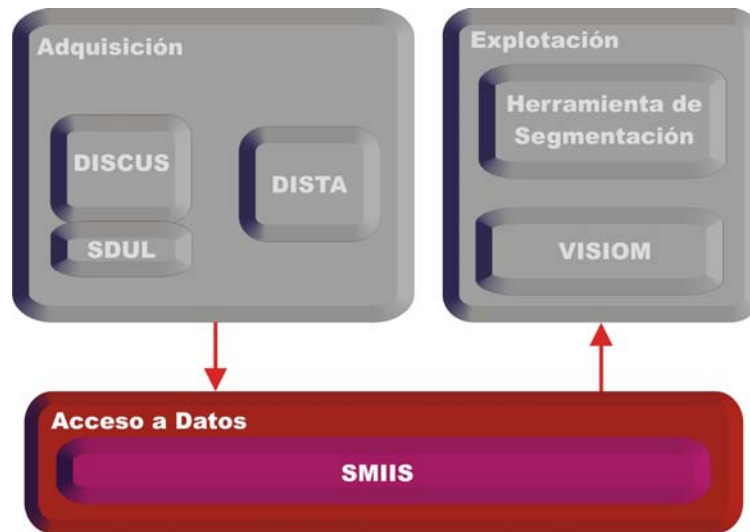


Figura 37. Subsistema de Acceso a Datos.

### Requisitos Funcionales

- **Interpretar Archivos DICOM.** Debe leer, “parsear” e interpretar archivos DICOM, desplegando su contenido en un sistema de almacenamiento flexible, rápido y eficiente. De esta forma, se añaden nuevos datos al sistema de información.
- **Almacenar, de forma eficiente y transparente, el contenido de los archivos DICOM.** Debe almacenar de forma centralizada la información adquirida de los archivos DICOM, manteniendo los archivos originales para conservar la compatibilidad DICOM.
- **Proporcionar el acceso a la información contenida en los archivos DICOM, previamente desplegada.** Debe proporcionar una interfaz de acceso única y eficiente a la información almacenada para las diferentes aplicaciones de explotación que puedan desarrollarse.



**Actores del subsistema:**

A continuación, se realiza una breve descripción de las diferentes entidades externas que van a interactuar con el subsistema de Acceso a Datos o SMIIS (ver Tabla I). Se define en primer lugar un usuario genérico (Cliente) y, a continuación, se especializa dicho usuario definiendo un usuario especializado en el uso de los servicios de almacenamiento de datos (Adquisición) y otro especializado en el acceso a los datos ya almacenados para realizar diferentes procesos (Explotación).

Tabla I: Actores del Subsistema de Acceso a Datos.

<b>Nombre</b>	CLIENTE
<b>Descripción</b>	Software que necesita almacenar o acceder a la información sobre estudios angiográficos
<b>Objetivos</b>	Almacenamiento o acceso a información médica.
<b>Nombre</b>	ADQUISICIÓN
<b>Descripción</b>	Software que adquiere, de orígenes heterogéneos, estudios DICOM de otros sistemas. Solicita el servicio de almacenamiento.
<b>Objetivos</b>	Almacenamiento de los datos médicos en este sistema
<b>Nombre</b>	EXPLOTACIÓN
<b>Descripción</b>	Software que necesita acceder a la información médica almacenada para realizar sus funciones
<b>Objetivos</b>	Acceder a la información almacenada para procesarla y obtener nueva información relevante.

## Identificación de los Casos de Uso

Mediante los diagramas de casos de uso y su descripción detallada se relata cuales son las acciones que los actores pueden llevar a cabo con el subsistema de Acceso a Datos. En primer lugar, se muestra el diagrama de casos de uso, que enumera los casos existentes y como se relacionan entre sí (ver Figura 38).

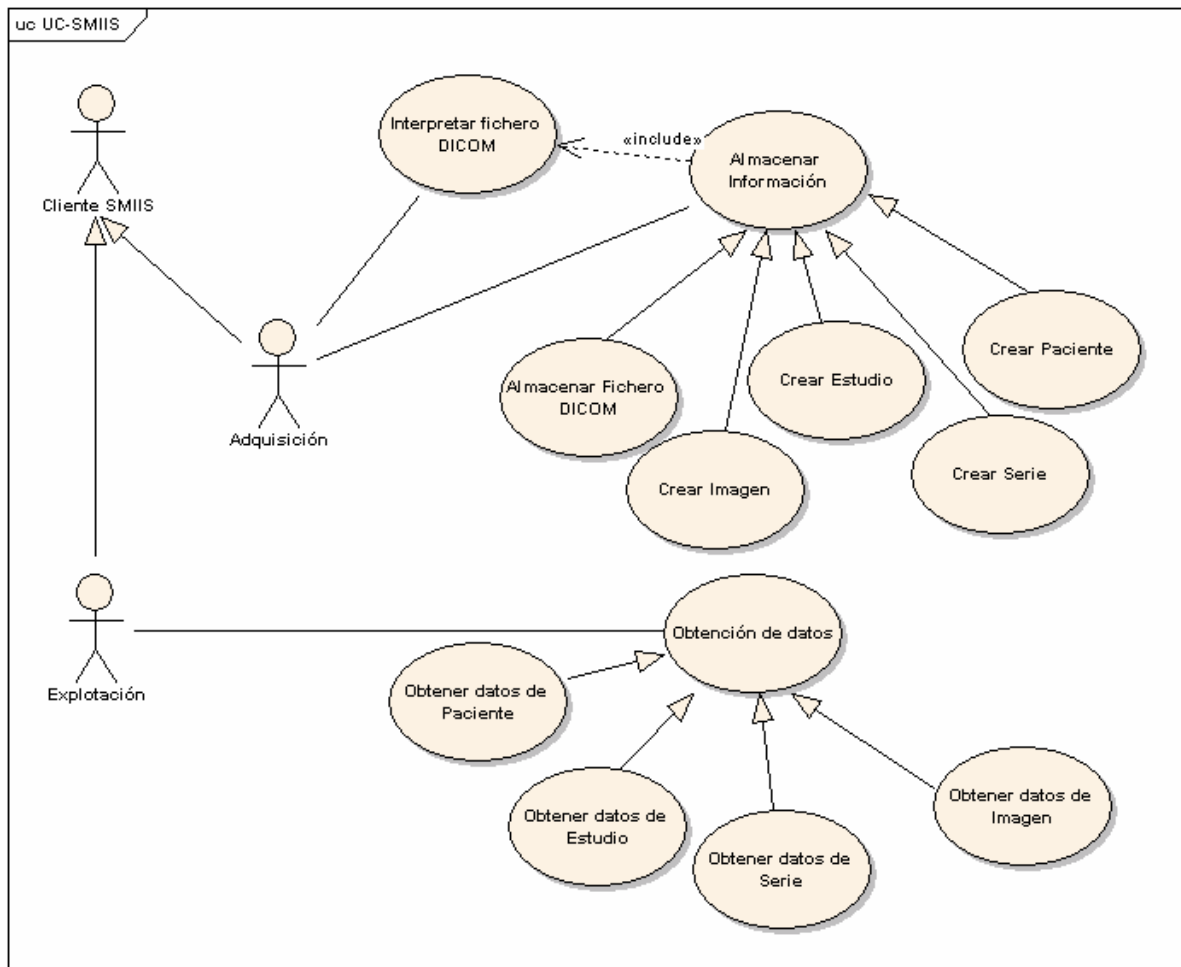


Figura 38. Diagrama de casos de uso del subsistema de acceso.

En la descripción detallada de cada uno de los casos de uso enumerados en el diagrama se realiza una breve descripción de los mismos, se identifica a los actores que intervienen en dicho caso y, opcionalmente, se establecen cuales son las precondiciones que han de cumplirse para que se pueda realizar el caso de uso, así como si el citado caso se efectúa progresando a través de diferentes pasos.

**Casos de Uso detallados**

Los casos de uso detallados de este subsistema se encuentran en la Tabla II

Tabla II: Casos de uso del Subsistema de Acceso a Datos (SMIIS).

<b>Nombre</b>	INTERPRETAR FICHERO DICOM
<b>Descripción</b>	Se extrae del fichero DICOM recibido la información del estudio: los datos del paciente, datos del estudio, característica de las imágenes, secuencias de imágenes, entre otros.
<b>Actores</b>	Adquisición
<b>Precondiciones</b>	Los ficheros que contienen la información del estudio cumplen el estándar DICOM 3
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Leer el contenido del fichero DICOM.</li> <li>2. “Parsear” el archivo DICOM: Comprobar su estructura.</li> <li>3. Extraer la información según la estructura DICOM</li> <li>4. Guardar los datos en un sistema de almacenamiento eficiente</li> </ol>
<b>Nombre</b>	ALMACENAR INFORMACIÓN
<b>Descripción</b>	Almacenar la información leída de forma que garantice un acceso eficiente
<b>Actores</b>	Adquisición
<b>Precondiciones</b>	Se ha comprobado y leído un estudio DICOM
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Extraer los datos del archivo</li> <li>2. Crear las entidades de almacenamiento correspondientes</li> <li>3. Almacenar la información de las entidades creadas</li> </ol>

---

**Nombre**            CREAR PACIENTE

**Descripción**    Se crea un nuevo paciente con los datos que previamente se han extraído del fichero DICOM. En el caso de que el paciente esté ya incluido en la base de datos, la información no será añadida de nuevo.

**Actores**            Adquisición

**Precondiciones** Se ha comprobado y leído un estudio DICOM

---

---

**Nombre**            CREAR ESTUDIO

**Descripción**    Se crea un nuevo estudio con los datos que previamente se han extraído del fichero DICOM. En el caso de que el estudio esté ya incluido en la base de datos, esta información no será duplicada.

**Actores**            Adquisición

**Precondiciones** Se ha comprobado y leído un estudio DICOM

---

---

**Nombre**            CREAR SERIE

**Descripción**    Se crea una nueva serie con los datos que previamente se ha extraído del fichero DICOM. En el caso de que la serie esté ya incluido en la base de datos, esta información se descartará.

**Actores**            Adquisición

**Precondiciones** Se ha comprobado y leído un estudio DICOM

---

---

<b>Nombre</b>	CREAR IMAGEN
<b>Descripción</b>	Se crea una nueva imagen con los datos que previamente se extrajo del fichero DICOM. En el caso de que la imagen esté ya incluido en la base de datos, no se hará nada.
<b>Actores</b>	Adquisición
<b>Precondiciones</b>	Se ha comprobado y leído un estudio DICOM

---

---

<b>Nombre</b>	ALMACENAR ARCHIVO DICOM
<b>Descripción</b>	Se almacena en el repositorio de datos una copia del archivo DICOM original.
<b>Actores</b>	Adquisición
<b>Precondiciones</b>	No existen

---

---

<b>Nombre</b>	OBTENCIÓN DE DATOS
<b>Descripción</b>	El sistema recupera la información acerca de los estudios que tiene almacenados y sobre los que se ha solicitado información que tiene almacenados.
<b>Actores</b>	Explotación
<b>Precondiciones</b>	No existen
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Especificación de los criterios de búsqueda.</li><li>2. Búsqueda de datos</li><li>3. Retorno de los datos solicitados</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	OBTENCIÓN DE DATOS DE PACIENTE
<b>Descripción</b>	El sistema recupera la información acerca de un paciente especificado.
<b>Actores</b>	Explotación
<b>Precondiciones</b>	No existen
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Especificación de los criterios de búsqueda de paciente.</li><li>2. Búsqueda de datos de paciente</li><li>3. Retorno de los datos del paciente solicitado</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	OBTENCIÓN DE DATOS DE ESTUDIO
<b>Descripción</b>	El sistema recupera la información acerca del estudios solicitado, si está presente el sistema de almacenamiento
<b>Actores</b>	Explotación
<b>Precondiciones</b>	No existen
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Especificación de los criterios de búsqueda del estudio.</li><li>2. Búsqueda de los datos del estudio</li><li>3. Retorno de los datos del estudio solicitado</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	OBTENCIÓN DE DATOS DE SERIE
<b>Descripción</b>	El sistema recupera la información de las series.
<b>Actores</b>	Explotación
<b>Precondiciones</b>	No existen
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Especificación de los criterios de búsqueda de la serie de imágenes.</li> <li>2. Búsqueda de los datos de la serie.</li> <li>3. Retorno de los datos del paciente solicitado</li> </ol>

---

<b>Nombre</b>	OBTENCIÓN DE DATOS DE IMAGEN
<b>Descripción</b>	El sistema recupera la información de las imágenes.
<b>Actores</b>	Explotación
<b>Precondiciones</b>	No existen
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Especificación de los criterios de búsqueda de la imagen.</li> <li>2. Búsqueda de datos de la imagen</li> <li>3. Retorno de los datos de la imagen solicitada</li> </ol>

---

## 2.2 Adquisición de la Información Clínica.

El objetivo de este subsistema es adquirir los estudios angiográficos realizados a los pacientes. Los orígenes de datos pueden ser muy diferentes, desde dispositivos generadores de angiografías de diferentes fabricantes (Siemens, General Electric, AGFA), hasta PACS también de diferentes casas, o incluso información almacenada en soportes de almacenamiento secundario, como CDs. El único requisito clave que deben cumplir los estudios es que deben cumplir el estándar DICOM 3. Incluso aunque los estudios no sigan

el estándar, se ha trabajado con “pasarelas dicomizadoras” que convierten en compatibles con DICOM estudios que originalmente no lo son. Aunque este caso se ha dejado fuera del ámbito de interés de esta tesis.

Una vez obtenido el estudio, compuesto de uno o varios ficheros DICOM, sus datos se almacenan en el sistema utilizando para ello los servicios proporcionados por el subsistema de acceso a datos (ver Figura 39).

En el Servicio de Hemodinámica del CHUJC de A Coruña, que es el ámbito de implantación y prueba del sistema, se dispone de dos angiografos DICOM y de un gran archivo de estudios en soporte óptico, por lo que es necesario disponer de dos módulos dentro del subsistema de adquisición.

El primero de ellos debe permitir la adquisición de los estudios a través de una red de comunicaciones TCIP/IP de los estudios angiográficos. Para ello, este módulo debe proporcionar los servicios DICOM “Echo” y “Storage Server” como entidad “Service Class Provider”.

El segundo debe facilitar la adquisición de un estudio angiográfico a partir de los ficheros DICOM almacenados en un CD.

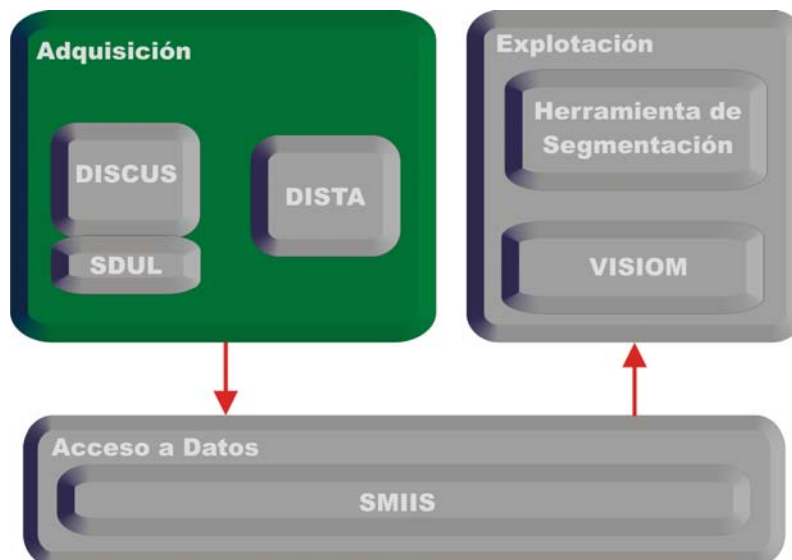


Figura 39. Subsistema de Adquisición.



### 2.2.1 Adquisición a través de dispositivos médicos

En un mismo hospital pueden encontrarse dispositivos angiográficos de diferentes características, instalados por diferentes fabricantes. Los equipos de angiografía actuales cumplen habitualmente el estándar DICOM, lo que posibilita la comunicación con dichos dispositivos a través de una red de comunicaciones de datos, utilizando protocolos estándar.

Por lo tanto, para adquirir estudios directamente desde los angiógrafos digitales, el sistema debe contar con un módulo que permita el establecimiento de comunicaciones DICOM y acepte el envío de las angiografías procedentes de los mismos. Una vez recibidos los estudios, éstos se pasan al subsistema de acceso a datos para que los almacene de forma persistente.

Para establecer la comunicación entre el subsistema de adquisición y los generadores de imágenes DICOM y obtener posteriormente los estudios, el módulo de adquisición por red de proporcionar los servicios DICOM de primera dimensión “Echo” y “Store”, como “Service Class Provider”. Los dispositivos de angiografía, si cumplen el estándar DICOM, implementarán como mínimo también estos servicios, pero en el rol de “Service Class User”.

Una vez almacenado el estudio en el “buffer” de entrada, el subsistema de acceso a datos es el responsable de procesar posteriormente esta información y almacenarla. La comunicación entre ambos subsistemas es asíncrona, lo que quiere decir que el subsistema de adquisición ubica los estudios en un área de almacenamiento temporal y estos son procesados *a posteriori* por el subsistema de acceso.

Se tomó la decisión de utilizar un mecanismo de comunicación asíncrono entre los subsistemas de adquisición y acceso a datos por diferentes razones. En primer lugar, para establecer un punto de entrada al sistema de información único que permita homogeneizar la estructura de los estudios adquiridos. En segundo lugar, se pretendió minimizar el retardo en la adquisición de las imágenes que podría provocar la expiración de los temporizadores que utilizan las entidades de capa de aplicación DICOM. Por último, al ser dos procesos independientes la recepción de los datos y la carga de datos para la

explotación, se puede configurar el momento del despliegue en función de las necesidades o posibilidades de cada organización.

Debido a que el punto por el que las imágenes entran en el sistema es único y está estandarizado, los nuevos equipos que lleguen al hospital se integrarán sin necesidad de adaptar el sistema existente.

### **2.2.1.1 Consideraciones de Seguridad**

Es importante señalar que, tal y como se explicó en el capítulo de Fundamentos, los datos que contienen los estudios angiográficos y que se transmiten entre los dispositivos de angiografía y el sistema de información son de carácter personal y, por lo tanto, están clasificados como “datos médicos”. El Reglamento de medidas de seguridad de los ficheros automatizados que contienen datos de carácter personal (Real Decreto 994/1999) [RD99-99], que regula la Ley Orgánica de Protección de Datos de Carácter Personal [LOPD-99], considera los datos médicos como objeto de medidas de protección de nivel superior. Así se desprende de su artículo 4, párrafo 3º, que hace referencia a datos sobre “salud o vida sexual”.

A estos datos se les deben aplicar las medidas de seguridad de nivel alto. Las medidas de seguridad de nivel alto requieren de una distribución de soportes que haga que la información sea ininteligible o manipulable durante su transporte. Además, exigen un registro de accesos, tal y como dispone el artículo 24 del reglamento, que señala que, de cada acceso se deberán de guardar tanto la identificación del usuario, como la fecha y hora, así como el tipo de acceso y si este fue autorizado. Estos mecanismos de registro, están bajo el control directo del responsable de seguridad, que se encarga de revisar periódicamente esta información y realizará informes sobre las revisiones realizadas y los problemas detectados. El periodo mínimo de conservación de estos datos es de dos años.

Se deben conservar, además, copias de respaldo y recuperación, en un lugar diferente de aquel en que se encuentren los equipos informáticos que desempeñen las medidas de seguridad que exige el reglamento.

Por último, en referencia a las telecomunicaciones, cabe mencionar los artículos 5 y 26 del reglamento. El artículo 5 dispone: “las medidas de seguridad exigibles a los accesos de

datos de carácter personal a través de redes de comunicaciones deberán garantizar un nivel de seguridad equivalente al correspondiente a los accesos en modo local”. El artículo 26 prevé que “la transmisión de datos de carácter personal a través de redes de telecomunicaciones se realizará cifrando dichos datos o bien utilizando cualquier otro mecanismo que garantice que la información no sea inteligible ni pueda ser manipulada por terceros”.

### 2.2.1.2 Estudio de las posibles soluciones para la transmisión de datos segura

El primer inconveniente que surge al plantear el problema de la seguridad consiste en determinar dónde es necesario tomar las medidas adecuadas para salvaguardar los datos. Dejando aparcada la aplicación de las medidas de carácter físico, que en cada caso corren a cargo del Servicio de Informática del centro hospitalario en cuestión, conviene plantearse en qué capa dentro de una pila de protocolos se deberían introducir los mecanismos de seguridad definidos en la Arquitectura de Seguridad de la Interconexión de Sistemas Abiertos [X.800]. Estos mecanismos, lejos de plantear una situación real, proporcionan una imagen abstracta de las posibles implementaciones de los servicios de seguridad (ver Tabla III). A la hora de buscar los métodos posibles para implementar los mecanismos de seguridad se observa cómo se solapan entre sí, involucran generalmente más de un algoritmo y aportan una fotografía difusa y difícil de segmentar.

Tabla III: Mecanismos de seguridad frente a los servicios.

	CF	INT	FD	CA	IA	TR	CE	C3
<b>Autenticación origen/destino</b>	X		X		X			
<b>Autenticación del origen</b>	X		X					
<b>Control de Acceso</b>				X				
<b>Confidencialidad</b>	X					X	X	
<b>No repudio</b>		X	X					X
<b>Integridad</b>	X	X	X					
<b>Disponibilidad</b>		X			X			

Como se observa en la Tabla IV, las capas más idóneas para situar los mecanismos de seguridad son la capa de Red, la capa de Transporte y la capa de Aplicación.

Las opciones disponibles son las siguientes:

- Capa de Aplicación: SSH, S/MIME
- Capa Transporte/Aplicación: TLS
- Capa Red: IPsec

Si se sitúan las medidas de protección en las capas inferiores de la pila se proporciona seguridad a las aplicaciones de forma transparente, de modo que no tienen que ser modificadas. Al tomar esta opción sería necesario modificar la parte inferior de la pila TCP/IP como hace, por ejemplo, IPsec. Siendo ésta la mejor elección si se decidiese crear un túnel o una red privada virtual.

Si las medidas de seguridad se ubican en las capas superiores, pueden personalizarse los requerimientos de seguridad para cada aplicación, siendo necesario modificar de forma individual cada una de ellas.

Tabla IV: Capas OSI y mecanismos de seguridad

	1	2	3	4	5	6	7
Autenticación origen/destino			X	X			X
Autenticación del origen			X	X			X
Control de Acceso			X	X			X
Confidencialidad	X	X	X	X		X	X
No repudio							X
Integridad			X	X			X
Disponibilidad							X

### 2.2.1.3 Red Privada Virtual (VPN)

Una de las opciones que se ha tenido especialmente en cuenta ha sido la de la creación de una red privada virtual utilizando como protocolo de red “IPSec”. A continuación, se verán sus ventajas, inconvenientes y posibilidades.

#### Ventajas:

- Proporciona integridad, confidencialidad, autenticación y control de acceso.
- La seguridad se proporciona en las capas inferiores por lo que las aplicaciones no deben ser modificadas.
- Un cliente VPN adquiere la condición de miembro de la red, por tanto se le podrán aplicar las políticas de seguridad y los permisos de la organización.
- El cliente VPN adquiere totalmente la condición de miembro de esa red, con lo cual se le aplican todas las directrices de seguridad y los permisos de un ordenador en esa red.
- El cliente VPN, al ser miembro de la red, podrá acceder a todos los recursos a los que tenga permiso.

#### Inconvenientes:

- Requiere que exista software o hardware compatible en los extremos de la red privada virtual.
- Los activos de red de la organización pueden no permitir la implantación.
- Es necesario realizar un estudio exhaustivo acerca de las implicaciones que conlleva su implantación.
- El coste que conlleva es menor que si se utilizase una red dedicada, pero sigue siendo alto.
- La configuración de los extremos de la comunicación es complicada.

- Un fallo en la seguridad puede comprometer a toda la organización.

Posibilidades:

Con la implantación de una Red Privada Virtual se lograría realizar una conexión segura entre dos extremos. Esta conexión estaría autenticada, sería confidencial, íntegra en el sentido de que los paquetes enviados no podrían ser modificados y se podría controlar el acceso a los recursos de cada extremo. De este modo, se estaría cumpliendo la legislación vigente en materia de protección de datos.

#### **2.2.1.4 Protocolo de Transporte Seguro (TLS)**

La siguiente posibilidad planteada para la consecución de los objetivos de seguridad es la utilización del protocolo **TLS**:

Ventajas:

- Proporciona integridad, confidencialidad, autenticación y control de acceso básico.
- Hace posible realizar distintas políticas de seguridad para cada aplicación de forma individual.
- El coste de implantación es mínimo, no es necesaria una nueva estructura de red.
- Ofrece un alto grado de compatibilidad y es independiente de la implementación, debido a que es un estándar IETF.
- Permite conexiones dinámicas de forma que la configuración de las partes se produce durante el protocolo de mutuo acuerdo.
- El estándar DICOM v.3 contempla en su parte 15 sobre políticas de seguridad la utilización de TLS para la transmisión de los datos entre equipos DICOM.

Inconvenientes:

- No está concebido para trabajar con otros protocolos de capa de transporte diferentes de TCP
- Entablar una sesión TLS es costosa en recursos.
- Una implementación con errores conlleva fallos en la seguridad de la aplicación.
- Si se quiere proporcionar seguridad a todas las aplicaciones, deben ser modificadas individualmente.

Posibilidades:

Al igual que con la red privada virtual se obtiene integridad, confidencialidad, autenticación y control de acceso por lo que se estaría cumpliendo la ley vigente en materia de protección de datos de carácter personal. El primer inconveniente que hace referencia a que sólo se permite TCP no supone ningún problema en este caso, ya que el estándar DICOM basa sus comunicaciones en TCP/IP, concretamente en el protocolo de capa de transporte TCP.

**2.2.1.5 Decisión acerca del mecanismo de implementación de comunicaciones seguras**

Una vez analizadas las distintas opciones con sus ventajas e inconvenientes, se tomó la decisión de utilizar el protocolo TLS. Tras observar detenidamente las posibilidades que ofrecían las redes privadas virtuales se llegó a la conclusión de que serían útiles para la creación de una “extranet” en la que se necesitase compartir recursos, ya fueran DICOM o no. Esta solución se plantearía en el caso de necesitar comunicaciones seguras en un escenario puntual en el que se pudiera realizar un análisis previo de los extremos que participarían en la comunicación. Además, el uso de una red privada virtual presenta un inconveniente insalvable en los dispositivos móviles, como por ejemplo un equipo de rayos-x portátil, debido a que éstos estarían obligados a implementar un software o hardware configurable y compatible con la VPN.

La utilización del protocolo TLS proporciona una solución global de comunicación segura entre equipos DICOM. Al mismo tiempo, la parte 15 del estándar hace referencia al uso de TLS para la transmisión segura de los datos entre dispositivos DICOM. En el siguiente apartado se verá qué es lo que plantea el estándar para la transmisión de datos de forma segura.

#### **2.2.1.6 Perfiles de Seguridad en DICOM**

El 18 de Febrero de 2000, el grupo de trabajo encargado de la seguridad en DICOM (WG14) publica la versión final del Suplemento 31, que lleva por título “*Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Security Enhancements One*”.

Este suplemento introduce un conjunto limitado de medidas que pueden ser utilizadas por las entidades DICOM para realizar un intercambio de datos de forma segura. Estas medidas no pretenden asegurar de forma exhaustiva los entornos DICOM, son un primer paso hacia la consecución de un contexto seguro en el que DICOM podría operar.

El conjunto de medidas que sugiere el suplemento se refieren únicamente a los servicios de seguridad de *autenticación, confidencialidad e integridad de los datos*.

La autenticación es realizada por verificación a través de un protocolo de negociación o “*handshake*” entre las entidades envueltas en el intercambio de instancias de DICOM. Este protocolo seguro debería realizarse durante el establecimiento de la asociación y durante el cual las entidades establecen un protocolo de cifrado e intercambian las claves de sesión que van a ser utilizadas durante la asociación.

Posteriormente, las entidades cifran los datos que van a ser intercambiados con las claves de sesión para asegurar la confidencialidad de los datos.

Los protocolos de cifrado utilizados deben incluir una “MAC” o “hash” para asegurar la integridad de los datos.

Para el intercambio seguro de datos a través de una red, el estándar propone que los servicios de capa superior (DICOM Upper Layer Services) estén situados sobre una conexión de transporte segura, proporcionando a las entidades de aplicación un canal de comunicación confiable.



La conexión de transporte propuesta debe proveer las funciones necesarias para que las entidades de aplicación se autentiquen entre sí, comprueben la integridad de los mensajes intercambiados y cifren sus mensajes para preservar la confidencialidad.

El suplemento 31 añade dos posibles mecanismos para implementar las conexiones de transporte seguro, TLS e ISCL.

Posteriormente, el 10 de Septiembre de 2001, se agregan un nuevo conjunto de medidas de seguridad al estándar DICOM introducidas en el Suplemento número 41: *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Digital Signatures*.

Mientras el suplemento 31 añadía medidas para permitir el intercambio de mensajes sobre una conexión de transporte segura, este nuevo documento amplía los mecanismos para añadir “Firmas Digitales” a las “instancias SOP” como un primer paso para la verificar su integridad. Las Firmas Digitales permiten autenticación o verificación de la entidad que ha creado, autorizado o modificado un conjunto de datos. Este suplemento añade secuencias de atributos a los “*Information Object Definitions*”, que permiten a los creadores o modificadores de las “instancias SOP” certificar su identidad.

Con motivo de esclarecer los conceptos introducidos en el estándar por los suplementos 31 y 41, el grupo de trabajo 14 de DICOM publicó un documento en el que se hacía una demostración de las extensiones. Para llevar a cabo la demostración se distinguen dos escenarios, en el primero se mostrará la ventaja de utilizar comunicaciones seguras y en el segundo la utilización de las “Firmas Digitales”.

El primer escenario (ver Figura 40) consiste en una red donde existen tres estaciones, en dos de ellas, la entidad A y la entidad B ejecutan aplicaciones software que le permiten cargar y visualizar tanto imágenes DICOM como informes estructurados, intercambiar ambos por la red usando transmisiones de red DICOM y editar los informes. El software permite el uso tanto de una comunicación convencional como de una comunicación segura, basada en el protocolo TLS (Transport Layer Security).

La tercera estación, C, encamina todas las transmisiones entre A y B tal y como haría un router en Internet. Cuando A y B transmiten informes con una comunicación DICOM *sin seguridad*, C podría obtener información confidencial de los informes o incluso modificar los

datos durante la transmisión sin que ni A ni B apreciaran dicha modificación. Además, C podría hacerse pasar por A y enviar informes falsos a B, que no percibiría la diferencia.

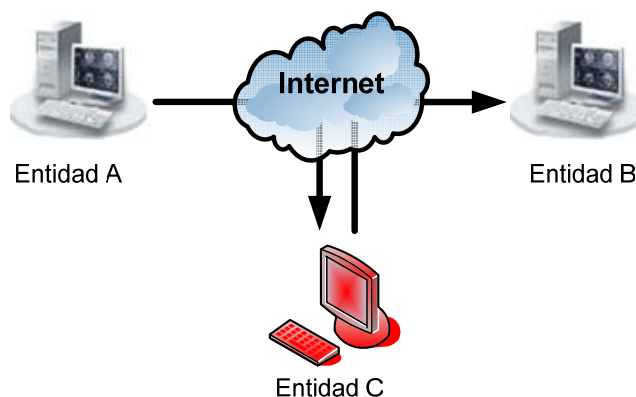


Figura 40. Escenario de seguridad DICOM.

Si A y B utilizaran una transmisión *segura sin cifrado*, C podría todavía obtener la información confidencial, pero cualquier modificación en los datos sería inmediatamente percibida por A y por B. De igual manera, C tampoco podría hacerse pasar por A, debido a que requeriría tener en su poder una copia de la clave secreta de A, que nunca es transmitida por la red.

Finalmente, si A y B utilizaran una transmisión *segura con cifrado*, C estaría completamente aislado, los datos serían confidenciales debido a que se encuentran cifrados y las claves de cifrado son únicamente conocidas por A y B.

El segundo escenario demuestra el uso de las Firmas Digitales. A crea un informe estructurado DICOM, y en ese momento le añade una firma. B verifica la firma y muestra el informe. A podría también añadir una firma después de hacer la revisión de alguna de las partes del informe. B detectaría que las modificaciones fueron autorizadas e informaría que el primer informe ya no sería válido. Si A no hubiera añadido la firma después de las modificaciones, sería mostrado un error en el ordenador de B.

### 2.2.1.7 Parte 15: Perfiles de Seguridad

La parte 15 del estándar DICOM especifica los perfiles de seguridad que deben proporcionar las implementaciones para cumplir con el estándar.

Sin embargo, no trata de imponer las políticas de seguridad que deben realizarse en todo el entorno en el que trabajan las entidades DICOM, simplemente proporciona los

mecanismos que deberían emplearse para implementar las políticas de seguridad en relación al intercambio de objetos entre entidades de aplicación. Por ejemplo, una política de seguridad podría dictar algún nivel de control de acceso. El estándar no considera dichas políticas pero proporciona los medios tecnológicos para que las entidades envueltas en la comunicación intercambien la suficiente información para implementar las políticas de control de acceso. De hecho, el estándar asume que las entidades envueltas en el intercambio de datos implementan las políticas de seguridad apropiadas, incluyendo, entre otras, el control de acceso, auditorías, protección física o el mantenimiento e integridad de los datos.

Esencialmente, cada entidad de aplicación debe asegurar que su propio entorno es seguro antes de establecer conexión con otras entidades de aplicación.

El estándar también asume que una entidad de aplicación que utilice TLS tiene un control de acceso seguro a los Certificados Digitales y los medios necesarios para su validación.

Una implementación que utilice TLS debe utilizar los mecanismos de negociación especificados en la versión 1.0. del protocolo. La Tabla V muestra los mecanismos de negociación que deben ser soportados si se utilizan los distintos servicios de seguridad de TLS. Este perfil no requiere que la implementación soporte todos los servicios (autenticación, cifrado y verificación de integridad) de TLS.

Tabla V: Mecanismos de negociación TLS en el estándar DICOM [DICO-07]

Servicios de Seguridad TLS	Mecanismos Básicos
Autenticación	RSA based Certificates
Intercambio de Claves	RSA
Integridad de los Datos	SHA
Privacidad	Triple DES, EDE, CBC

Durante la negociación TLS realizada por las entidades que forman parte de la comunicación, deben ser seleccionados el conjunto de algoritmos que van a ser utilizados.

En DICOM, se deben dar a elegir 2 conjuntos que determinan el mecanismo de autenticación, de intercambio de claves, de integridad de datos y de privacidad que pueden ser elegidos para realizar el intercambio de información segura. Estos son: TLS\_RSA\_WITH\_AES\_128\_CBC\_SHA o TLS\_RSA\_WITH\_3DES\_EDE\_CBC\_SHA.

Aunque la aplicación deba ofrecer ambas opciones, el estándar selecciona como preferible la opción que utiliza AES como algoritmo de cifrado.

Una implementación que utilice ISCL (Integrated Secure Communication Layer) debe utilizar los mecanismos de negociación especificados en la versión 1.00 (ver Tabla VI). Una entidad de aplicación, además, debe utilizar los mecanismos mínimos para la autenticación y verificación de la integridad de los datos, los mecanismos de privacidad son opcionales.

Tabla VI: Mecanismos de Negociación ISCL en el estándar DICOM [DICO-07].

Servicios de Seguridad ISCL	Mecanismos Básicos
Autenticación	Authentication three-pass-four-way (ISO/IEC 9798-2)
Integridad de los Datos	MD-5 con DES, DES-MAC (ISO 8730)
Privacidad	DES

### 2.2.2 Módulos funcionales

La funcionalidad de la comunicación y adquisición de los estudios angiográficos se divide en dos módulos: Secure DICOM Upper Layer y DISCUS.

#### 2.2.2.1 Secure DICOM Upper Layer (SDUL)

La relación de este módulo con el resto del sistema puede observarse en la Figura 41. Para realizar la especificación de requisitos ha sido necesario realizar un estudio del estándar DICOM, en especial de las partes 7, 8 y 15, del modelo de referencia OSI y los protocolos que lo implementan.

Los requisitos sobre la seguridad del sistema se han obtenido de la lectura de la legislación española vigente, el apartado 15 del estándar DICOM y de la recomendación de seguridad X.800.

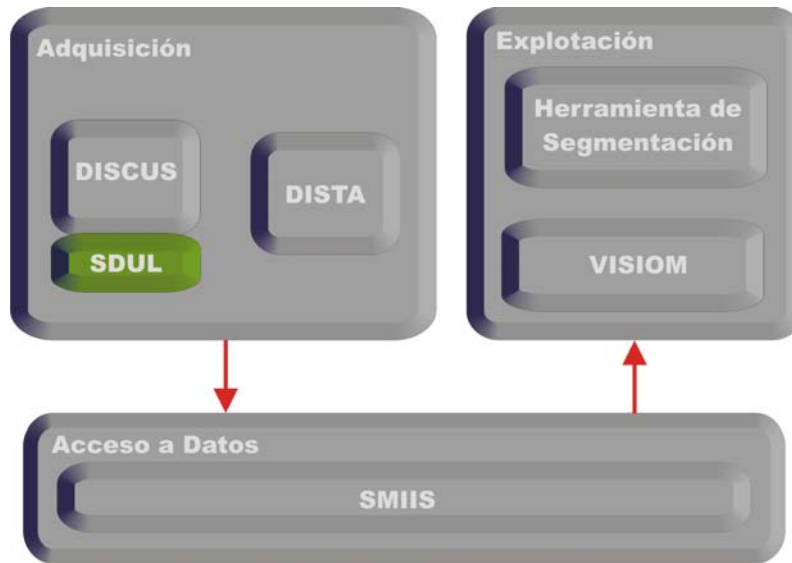


Figura 41. Módulo Funcional SDUL del Subsistema de Adquisición.

### Requisitos Funcionales:

- **Proporcionar los servicios de capa superior definidos en DICOM:** El módulo debe proporcionar los servicios de capa superior de OSI utilizados por el estándar DICOM:
  - A-ASSOCIATE: Establecimiento de la asociación.
  - A-RELEASE: Terminación de una asociación.
  - A-ABORT: Terminación abrupta de una asociación.
  - A-P-ABORT: Terminación debida a un fallo en el proveedor del servicio.
  - P-DATA: Intercambio de información.
- **Proporcionar un conjunto de primitivas para comunicarse con la interfaz:** Se deben facilitar un conjunto de primitivas que permitan el intercambio de mensajes entre el usuario y el proveedor del servicio.
  - Primitivas A-ASSOCIATE request, indication, response y confirmation.
  - Primitivas A-RELEASE request, indication, response y confirmation.

- Primitivas A-ABORT request e indication.
- Primitiva A-P-ABORT indication.
- Primitivas P-DATA request e indication.
- **Intercambiar datos con entidades DICOM:** El sistema debe proporcionar un conjunto de PDUs para el intercambio de datos entre entidades DICOM.
  - A-ASSOCIATE-RQ, A-ASSOCIATE-RJ y A-ASSOCIATE-RP.
  - A-RELEASE-RQ y A-RELEASE-RP.
  - A-ABORT
  - A-P-ABORT
  - P-DATA-TF
- **Seguridad:** Se deben proporcionar los mecanismos de seguridad necesarios para asegurar las transmisiones.

**Requisito no Funcional:**

- **Cumplimiento de la legislación vigente:** Se deben proporcionar los mecanismos necesarios para que no se vulnere la legislación vigente.

A continuación, se procederá a estudiar los casos de uso que debe proporcionar el sistema en base al análisis previo realizado.

**Actores del SubSistema**

A continuación, se realiza una breve descripción de las diferentes entidades que van a interactuar con el módulo SDUL (ver Tabla VII). Se define en primer lugar un actor “Usuario del Servicio”, que representa a todo aquel módulo de software que haga uso de los servicios de SDUL en el sistema local. El actor “Entidad DICOM Remota” hace referencia a un sistema que, mediante los protocolos definidos por el estándar DICOM, establece una conexión con SDUL.

Tabla VII: Actores SDUL: Usuario del Servicio

<b>Nombre</b>	USUARIO DEL SERVICIO
<b>Descripción</b>	Software que utiliza el sistema como API.
<b>Objetivos</b>	Utiliza los servicios de capa superior proporcionados por el sistema para comunicarse con una entidad DICOM
<b>Nombre</b>	ENTIDAD DICOM REMOTA
<b>Descripción</b>	Modalidad, software, equipo o cualquier elemento hardware o software que cumple el estándar DICOM. Existen dos roles para este actor: <i>Solicitante</i> si es la entidad emisora de la petición de asociación y <i>solicitado</i> si es la receptora.
<b>Objetivos</b>	Utiliza el sistema como interfaz de la entidad de aplicación DICOM y se comunica con ella a través de PDUs cuyo formato está definido en el estándar.

### Identificación de casos de uso

Mediante los diagramas de casos de uso y su descripción detallada se relata cuales son las acciones que los actores pueden llevar a cabo con el módulo SDUL. En primer lugar, se muestra el diagrama que recoge los casos relacionados con el actor “Entidad DICOM Remota” (ver Figura 42) y, a continuación, el diagrama de casos de uso relacionados con el actor “Usuario del Servicio” (ver Figura 43).

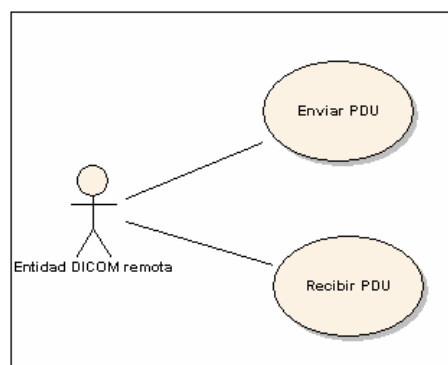


Figura 42. Identificación de casos de uso para la entidad DICOM remota.

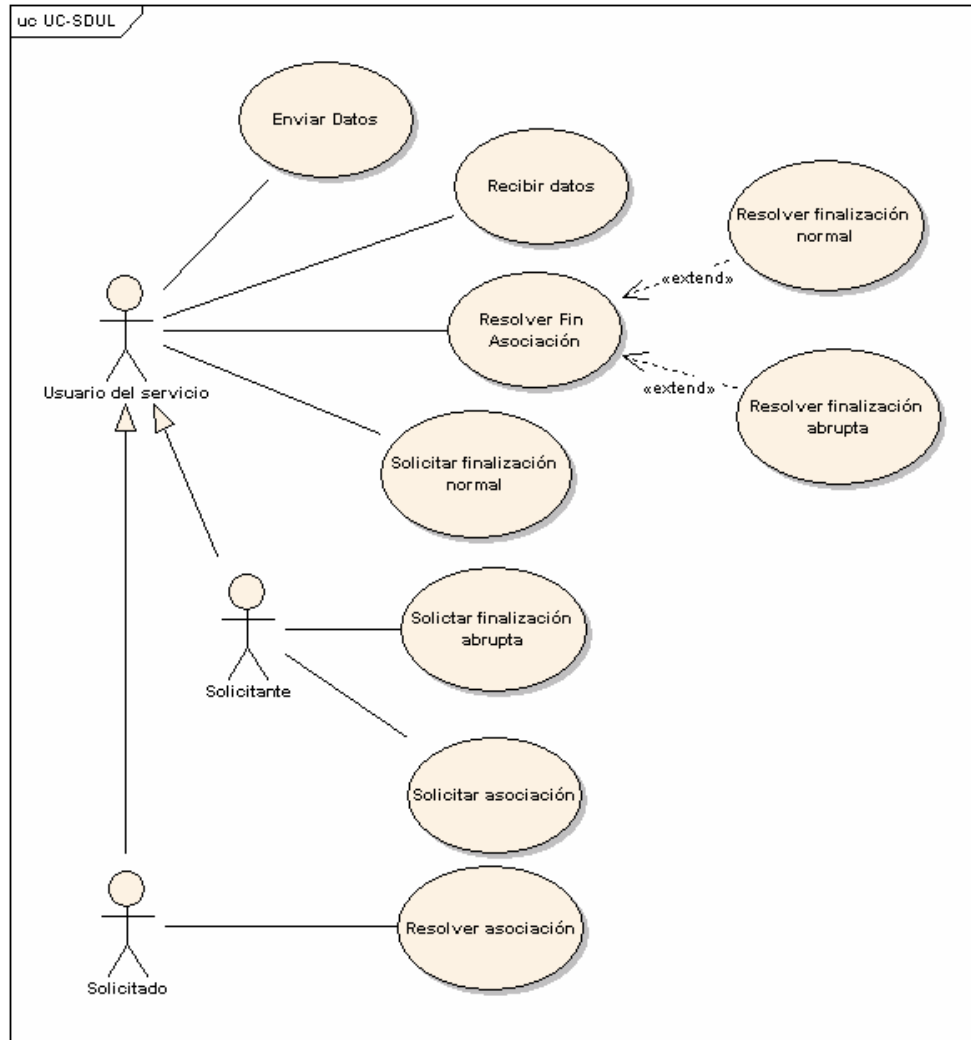


Figura 43. Identificación de los casos de uso de usuario del servicio.

### **Casos de Uso detallados**

Los casos de uso detallados de este módulo se encuentran en la Tabla VIII.



Tabla VIII: Casos de Uso de SDUL

<b>Nombre</b>	SOLICITAR ASOCIACIÓN
<b>Descripción</b>	Se solicita la asociación a una entidad de aplicación remota
<b>Actores</b>	Usuario del servicio (solicitante)
<b>Precondiciones</b>	El sistema no está conectado a ninguna entidad remota.
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario solicita asociación con una entidad remota.</li> <li>2. El sistema establece una conexión segura con la máquina remota y le envía una solicitud de asociación.</li> <li>3. El sistema recibe la respuesta de la máquina remota.</li> <li>4. El sistema responde al usuario con un mensaje de aceptación o rechazo.</li> </ol>
<b>Nombre</b>	RESOLVER ASOCIACIÓN
<b>Descripción</b>	El usuario debe decidir si se acepta la asociación y bajo qué circunstancias
<b>Actores</b>	Usuario del servicio (solicitado)
<b>Precondiciones</b>	El sistema no está conectado a ninguna entidad remota.
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El sistema recibe una petición de asociación de una entidad remota bajo una conexión segura.</li> <li>2. El sistema envía la petición al usuario para que sea resuelta</li> <li>3. El usuario indica la respuesta al sistema</li> <li>4. Si es aceptada se establece la asociación</li> <li>5. El sistema responde al usuario.</li> </ol>

---

<b>Nombre</b>	ENVIAR DATOS
<b>Descripción</b>	El usuario envía mensajes DICOM en distintos fragmentos.
<b>Actores</b>	Usuario del servicio
<b>Precondiciones</b>	Hay una asociación establecida entre el usuario y la entidad remota
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El actor envía los datos que quiere que sean entregados a la entidad remota.</li><li>2. El sistema envía los datos</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	RECIBIR DATOS
<b>Descripción</b>	El usuario del servicio recibe los datos enviados por una entidad remota
<b>Actores</b>	Usuario del servicio
<b>Precondiciones</b>	Hay una asociación establecida entre el usuario y la entidad remota
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El sistema recibe los datos de una entidad remota</li><li>2. El sistema envía los datos al usuario</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	SOLICITAR FINALIZACIÓN ABRUPTA
<b>Descripción</b>	El usuario del servicio informa de que va a finalizar la asociación
<b>Actores</b>	Usuario del servicio (solicitante)
<b>Precondiciones</b>	Existe una asociación entre las dos entidades de aplicación.
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario del servicio indica al sistema que desea finalizar la asociación con la entidad remota.</li><li>2. El sistema informa a la entidad remota y finaliza la asociación y la conexión.</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	SOLICITAR FINALIZACIÓN NORMAL
<b>Descripción</b>	El usuario del servicio solicita la finalización normal de la asociación
<b>Actores</b>	Usuario del servicio
<b>Precondiciones</b>	Existe una asociación entre las dos entidades de aplicación.
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El actor solicita al sistema que finalice la asociación con la entidad remota</li><li>2. El sistema envía la petición a la entidad asociada</li><li>3. La entidad remota responde la petición</li><li>4. El sistema finaliza la asociación y cierra la conexión con la entidad remota</li><li>5. El sistema informa al usuario de la terminación de la asociación.</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	RESOLVER FINALIZACIÓN ABRUPTA
<b>Descripción</b>	El usuario del servicio es informado de que la entidad remota va a finalizar la asociación.
<b>Actores</b>	Usuario del servicio
<b>Precondiciones</b>	Existe una asociación entre dos entidades DICOM.
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El sistema recibe información de la entidad remota que indica que va a finalizar la asociación.</li><li>2. El sistema informa al usuario de este hecho, finaliza la asociación y la conexión.</li></ol>

---

Una vez definidos los casos de uso de forma detallada, se muestra el diagrama de estados simplificado que define las transiciones (ver Figura 44) a través de las cuales pasa la conexión entre el módulo SDUL y una “Entidad DICOM Remota” desde el inicio de conexión (solicitud de asociación o resolución de una petición de asociación) hasta que finalmente se produce en el estado de la asociación del sistema.

#### 2.2.2.2 DICOM Secure Server (DISCUS)

El sistema a implementar debe proporcionar los mecanismos necesarios para la realización de los servicios DICOM de verificación, almacenamiento, Consulta/Recuperación y Listas de Trabajo de la Modalidad como SCP (proveedor de servicio). Debe ser capaz también de actuar como SCU (usuario de servicio) en el caso del almacenamiento, pues es un requisito del servicio de recuperación. Para proporcionar una mayor versatilidad al sistema, éste podrá utilizar diferentes estrategias en la implementación de determinados servicios. Así, se podrán realizar los servicios contra un sistema de ficheros o una base de datos. Estos mecanismos serán proporcionados por el módulo DISCUS ubicado dentro del Subsistema de Adquisición de Datos, tal y como se puede observar en la Figura 45.

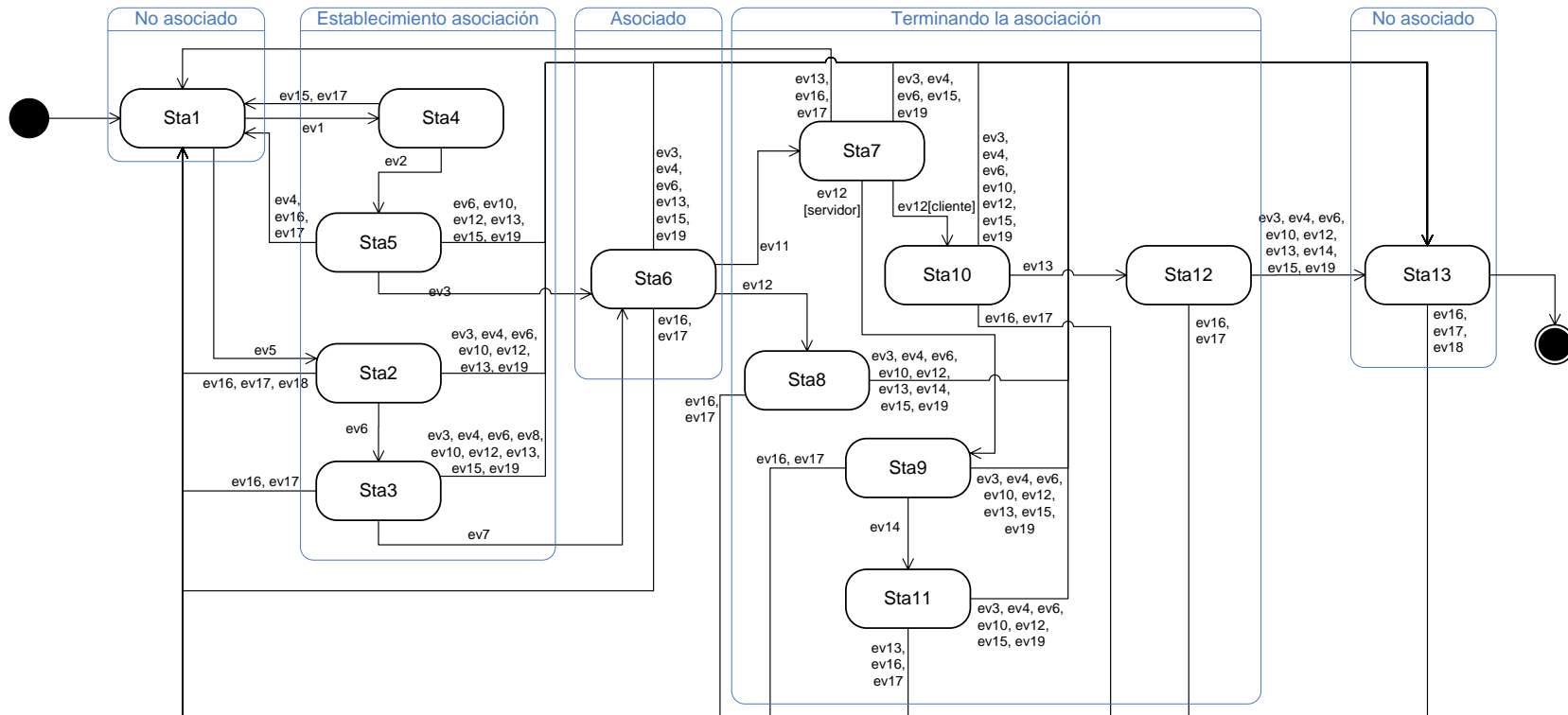


Figura 44. Diagrama de estados de la asociación del sistema.

ev1: A-ASSOCIATE request	ev8: Recibida una primitiva A-ASSOCIATE response (rechazada)	ev15: A-ABORT request
ev2: Confirmación conexión de transporte (local)	ev9: P-DATA request	ev16: Recibida PDU A-ABORT
ev3: Recibida PDU A-ASSOCIATE-AC	ev10: Recibida PDU P-DATA-IF	ev17: Indicación de finalización de conexión
ev4: Recibida PDU A-ASSOCIATE-RJ	ev11: A-RELEASE request	ev18: Expiración del tiempo ARTIM
ev5: Recibida indicación de conexión de transporte (local)	ev12: Recibida PDU A-RELEASE-RQ	ev19: Recibida una PDU no reconocida o inválida
ev6: Recibida PDU A-ASSOCIATE-RQ	ev13: Recibida PDU A-RELEASE-RP	
ev7: Recibida una primitiva A-ASSOCIATE response (aceptada)	ev14: A-RELEASE response	

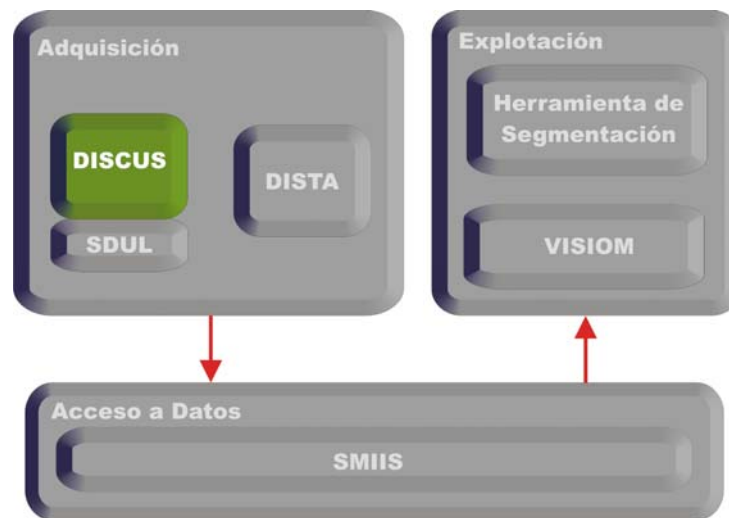


Figura 45. Módulo funcional DISCUS dentro del Subsistema de Adquisición.

A continuación, se especifican cuales son los requisitos, tanto funcionales como no funcionales, de este módulo

#### **Requisitos Funcionales:**

- **Proporcionar servicios de forma concurrente:** El servidor debe aceptar las conexiones y realizar los servicios de forma concurrente, basándose en la programación multi-hilo.
- **Proporcionar servicios de almacenamiento y de verificación:** Se deben proporcionar los mecanismos necesarios para la realización de los servicios DICOM C-ECHO, C-STORE (tanto SCP como SCU), QUERY/RETRIEVE y WORKLIST.
- **Proporcionar estrategias de almacenamiento:** El servidor debe ofrecer la posibilidad de realizar un almacenamiento en fichero o en base de datos.
- **Debe proporcionar seguridad en las transmisiones:** DISCUS debe utilizar el Protocolo de Transporte Seguro (TLS) para añadir seguridad en la transmisión de los datos, que por su carácter deben ser especialmente protegidos.

**Requisitos No Funcionales:**

- **Cumplimiento de la legislación:** Se deben proporcionar los mecanismos necesarios para cumplir la legislación vigente en materia de protección de datos.
- **Fácilmente extensible:** En un futuro puede ser necesario incorporar otros tipos de servicio DICOM, en cuyo caso el servidor no debe ser refactorizado.

A continuación, se procederá a estudiar los casos de uso que debe proporcionar el sistema en base al análisis previo realizado.

**Actores del Sistema**

Se realiza una breve descripción de las diferentes entidades que van a interactuar con el módulo DISCUS (ver Tabla IX).

Tabla IX: Actores de DISCUS.

<b>Nombre</b>	ADMINISTRADOR DEL SISTEMA
<b>Descripción</b>	Persona autorizada encargada de la administración de recursos de la red.
<b>Objetivos</b>	Inicia, para y configura el servidor. También es el encargado de visualizar los ficheros de registro para detectar fallos del sistema o en la seguridad.
<b>Nombre</b>	ENTIDAD DICOM REMOTA
<b>Descripción</b>	Modalidad, software, equipo o cualquier elemento hardware o software que cumple el estándar DICOM.
<b>Objetivos</b>	Inicia la asociación con el servidor y utiliza sus servicios DICOM.

### Identificación de casos de uso

Mediante los diagramas de casos de uso y su descripción detallada se relata cuales son las acciones que los actores pueden llevar a cabo con el módulo DISCUS. En primer lugar, se muestra el diagrama que recoge los casos relacionados con el actor “Administrador del Sistema” (ver Figura 46) y, a continuación, el diagrama de casos de uso relacionados con el actor “Entidad DICOM Remota” (ver Figura 47).

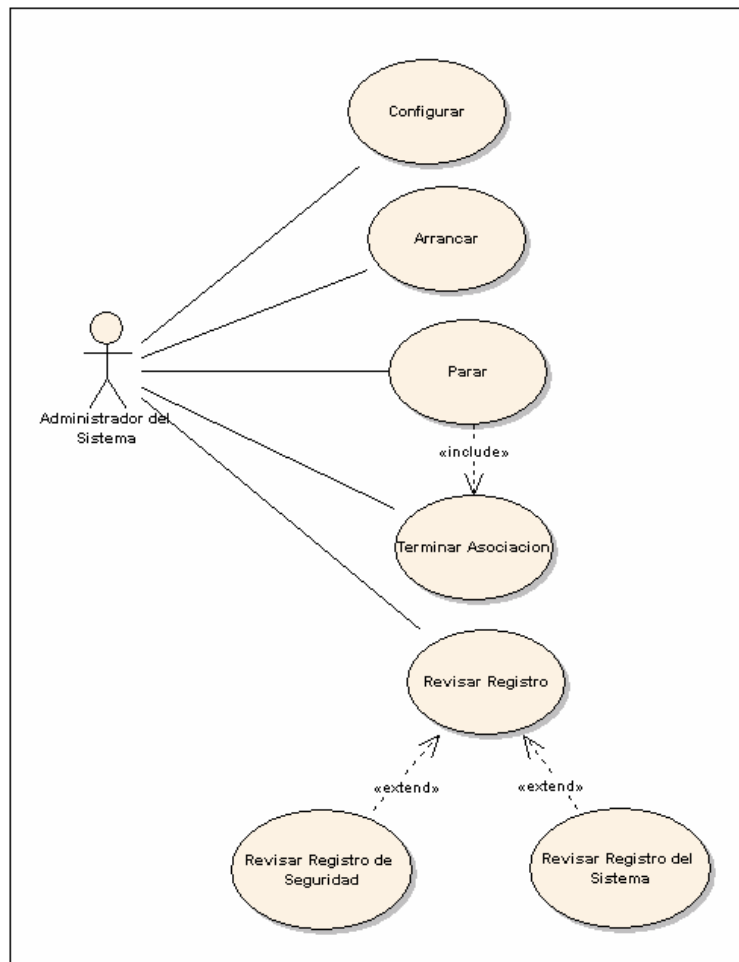


Figura 46. Identificación de casos de uso del servidor DISCUS para el usuario Administrador del Sistema.



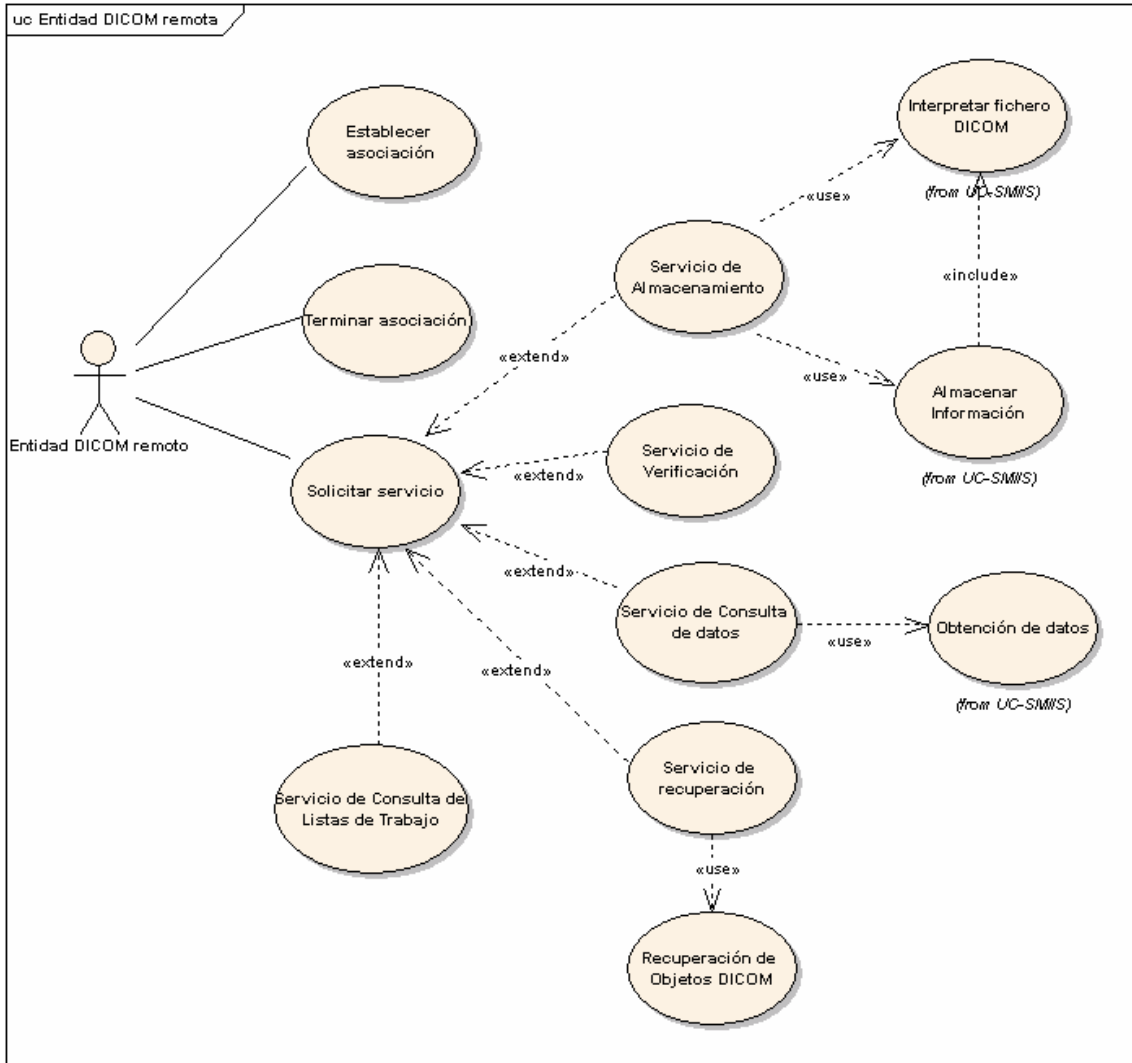


Figura 47. Identificación de casos de uso del servidor DISCUS, integrado con el subsistema de acceso, para el usuario Entidad DICOM remota.

### **Casos de uso detallados**

La descripción detallada de los casos de uso del módulo DISCUS se puede ver en la Tabla X.

Tabla X: Casos de Uso de DISCUS.

---

<b>Nombre</b>	CONFIGURAR
<b>Descripción</b>	Para utilizar el servidor es necesario configurar distintos parámetros DICOM y de seguridad (Certificados Digitales).
<b>Actores</b>	Administrador del sistema
<b>Precondiciones</b>	No existen
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Configurar parámetros DICOM</li><li>2. Configurar parámetros del servidor</li><li>3. Creación de Certificados Digitales</li><li>4. Elección de certificados de confianza</li></ol>

---

<b>Nombre</b>	ARRANCAR
<b>Descripción</b>	Comenzar la ejecución del servidor
<b>Actores</b>	Administrador del sistema
<b>Precondiciones</b>	El servidor está configurado
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Ejecutar el servidor en consola o bien ejecutar aplicación gráfica</li><li>2. El servidor comienza a aceptar conexiones</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	PARAR
<b>Descripción</b>	Para la ejecución del servidor
<b>Actores</b>	Administrador del sistema
<b>Precondiciones</b>	El servidor está activo.
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El administrador para la ejecución del servidor</li><li>2. El servidor deja de recibir peticiones de conexión</li><li>3. El servidor envía peticiones de finalización de asociación a las entidades DICOM que están asociadas.</li><li>4. Finaliza la ejecución del servidor</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	TERMINAR ASOCIACIÓN
<b>Descripción</b>	El servidor puede enviar una solicitud de finalización de asociación a una entidad DICOM que se encuentre asociada.
<b>Actores</b>	Administrador del sistema
<b>Precondiciones</b>	Existe una asociación con la entidad DICOM remota.
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El actor solicita finalizar la asociación con una entidad remota.</li><li>2. El sistema envía la solicitud y recibe la respuesta.</li><li>3. El sistema informa de la finalización de la asociación.</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	REVISAR REGISTRO DEL SISTEMA
<b>Descripción</b>	Se revisan los ficheros de registro de actividades del servidor para descubrir fallos de funcionamiento.
<b>Actores</b>	Administrador del sistema
<b>Precondiciones</b>	No existen
<b>Pasos</b>	El administrador lee el fichero con la ayuda de un editor de texto.

---

---

<b>Nombre</b>	REVISAR REGISTRO DEL SEGURIDAD
<b>Descripción</b>	Se revisa el fichero de registro de accesos al servidor
<b>Actores</b>	Administrador del sistema
<b>Precondiciones</b>	No existen
<b>Pasos</b>	El administrador lee el fichero de accesos y en base a los resultados toma las medidas oportunas.

---

---

<b>Nombre</b>	ESTABLECER ASOCIACIÓN
<b>Descripción</b>	El servidor recibe una petición de asociación de una entidad remota, produciéndose entonces una negociación de la asociación en la que se ponen de acuerdo servidor y entidad remota en el rol que cada uno de éstos jugará en las distintas clases SOP que tengan en común.
<b>Actores</b>	Entidad DICOM
<b>Precondiciones</b>	No existen
<b>Pasos</b>	No existen

---

---

<b>Nombre</b>	TERMINAR ASOCIACIÓN
<b>Descripción</b>	La entidad remota lanza una solicitud de finalización de la asociación al servidor, que la procesa cerrando la asociación.
<b>Actores</b>	Entidad DICOM
<b>Precondiciones</b>	Existen una asociación DICOM activa
<b>Pasos</b>	No existen

---

---

<b>Nombre</b>	SOLICITAR SERVICIO
<b>Descripción</b>	La entidad remota lanza al servidor una solicitud de un servicio DICOM.
<b>Actores</b>	Entidad DICOM
<b>Precondiciones</b>	Existe una asociación DICOM activa
<b>Pasos</b>	No existen

---

---

<b>Nombre</b>	SOLICITAR SERVICIO DE VERIFICACIÓN
<b>Descripción</b>	El servicio solicitado por la entidad remota es el servicio DICOM de Verificación, utilizado para comprobar la conectividad entre dispositivos.
<b>Actores</b>	Entidad DICOM
<b>Precondiciones</b>	Existe una asociación DICOM activa
<b>Pasos</b>	No existen

---

---

<b>Nombre</b>	SOLICITAR SERVICIO DE ALMACENAMIENTO
<b>Descripción</b>	El servicio solicitado por la entidad remota es el servicio DICOM de Almacenamiento. En el supuesto de que la estrategia de almacenamiento sea utilizando una base de datos, se procede a expandir y a almacenar el objeto DICOM recibido.
<b>Actores</b>	Entidad DICOM
<b>Precondiciones</b>	Existe una asociación DICOM activa.
<b>Pasos</b>	No existen

---

---

<b>Nombre</b>	SOLICITAR SERVICIO DE CONSULTA DE DATOS
<b>Descripción</b>	Se realiza una consulta al sistema por medio del servicio DICOM Consulta/Recuperación.
<b>Actores</b>	Entidad DICOM
<b>Precondiciones</b>	Existe una asociación DICOM activa.
<b>Pasos</b>	No existen

---

---

<b>Nombre</b>	SOLICITAR SERVICIO DE RECUPERACIÓN
<b>Descripción</b>	El servidor recibe una petición de recuperación por medio del servicio DICOM Consulta/Recuperación.
<b>Actores</b>	Entidad DICOM
<b>Precondiciones</b>	Existe una asociación DICOM activa.
<b>Pasos</b>	No existen

---

---

<b>Nombre</b>	SOLICITAR SERVICIO DE CONSULTA DE LISTAS DE TRABAJO
<b>Descripción</b>	Se realiza una consulta al sistema por medio del servicio DICOM Modality Worklist.
<b>Actores</b>	Entidad DICOM Remota
<b>Precondiciones</b>	Existe una asociación DICOM activa.
<b>Pasos</b>	No existen

---

<b>Nombre</b>	RECUPERACIÓN DE OBJETOS DICOM
<b>Descripción</b>	Se accede a la base de datos para recuperar objetos DICOM.
<b>Actores</b>	Entidad DICOM Remota
<b>Precondiciones</b>	Existe una asociación DICOM activa.
<b>Pasos</b>	No existen

---

### 2.2.3 Adquisición desde Soporte de Almacenamiento Secundario

Tal y como se ha comentado anteriormente, los Servicios de Hemodinámica de los hospitales suelen contar con una gran cantidad de información histórica almacenada en soportes externos de diferente tipo. Para introducir estos estudios angiográficos históricos en el sistema de información es necesario proporcionar una vía de entrada específica.

En este caso se requiere que el sistema proporcione la funcionalidad necesaria para que un usuario pueda examinar los estudios contenidos en el soporte de almacenamiento secundario y seleccionar la información que quiere introducir en el sistema. Estas tareas serán efectuadas por el módulo de adquisición a partir de soportes de almacenamiento secundario, cuya implementación recibe el nombre de DISTA, “Aplicación para el Almacenamiento DICOM” (**DI**com **ST**orage **A**pplication).

En el esquema mostrado en la Figura 48, se puede observar como se integra DISTA en el sistema general.

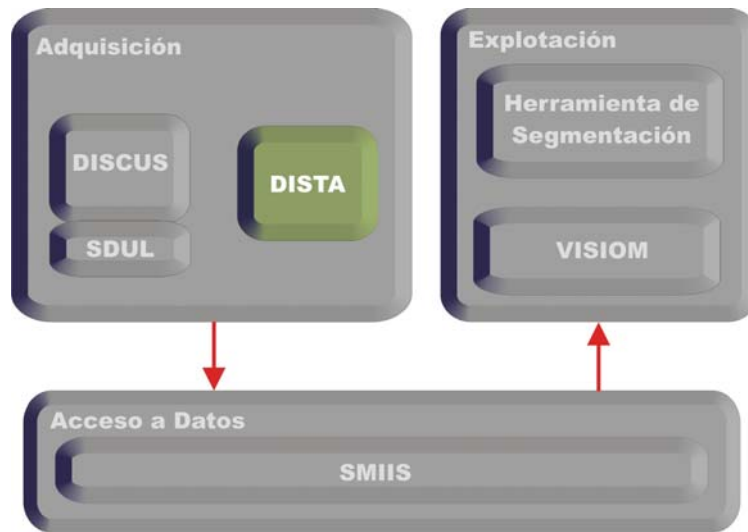


Figura 48. Módulo funcional DISTA dentro del Subsistema de Adquisición.

El usuario puede seleccionar un estudio concreto, examinar cada una de las proyecciones que contiene el estudio como vídeos individuales y, dentro de cada una de las proyecciones, los fotogramas de interés.

Además, la herramienta permite vincular la información del nuevo estudio con un paciente existente o facilita una interfaz para crear un nuevo paciente.

Como se ha indicado en las secciones previas del análisis, este módulo no almacena directamente la información sino que solicita los servicios proporcionados por el subsistema de acceso para almacenar los datos de forma persistente en el sistema.

En el caso concreto del Servicio de Hemodinámica del Hospital Juan Canalejo estos soportes externos son CDs. El clínico solicita al personal auxiliar el estudio indicando el número de cateterismo que lo identifica. Una vez que le han proporcionado dicho CD, lo introduce en el ordenador donde está instalada la herramienta de adquisición, a continuación examina el estudio, determina cuál es la información relevante y solicita que dicha información sea almacenada.



### Requisitos Funcionales:

- **Cargar la información DICOM contenida en un soporte de almacenamiento secundario.** El módulo debe leer e interpretar la información DICOM almacenada en el soporte externo. Esta información incluye tanto la información textual correspondiente al paciente y al estudio como las diferentes imágenes que pertenecen al estudio.
- **Visualizar la información DICOM.** El módulo debe mostrar la información de los diferentes tipos de forma adecuada. Este aspecto es especialmente relevante cuando se trata de visualizar las imágenes de las que consta un estudio. Estas deben aparecer agrupadas por proyección y debe ser posible su visualización tanto en modo vídeo como fotograma a fotograma.
- **Seleccionar información relevante.** En muchos de los estudios que se van introducir en el sistema por esta vía existe información no relevante, bien porque es redundante (información acerca del paciente, en el caso de que el paciente ya exista en el sistema) o bien porque no aporta información significativa (proyecciones erróneas, fotogramas en los que no se visualiza ninguna arteria porque el contraste no ha penetrado en el flujo sanguíneo todavía, entre otras). El modulo debe proporcionar mecanismos para que el usuario seleccione la información relevante.
- **Almacenar la información DICOM.** El módulo debe proporcionar mecanismos que permitan al usuario solicitar el almacenamiento de la información seleccionada. Como se ha comentado anteriormente esta tarea se hará en colaboración con el subsistema de acceso a datos.

### Requisitos No Funcionales

- **Integración en el sistema de información global.** Este módulo debe utilizar los servicios proporcionados por el subsistema de Acceso a Datos para almacenar la información seleccionada en el sistema.

- **Proporcionar un modo de interacción sencillo e intuitivo.** El sistema debe ser sencillo e intuitivo para que a los usuarios no les resulte difícil su utilización puesto que ello derivaría en el no uso de la herramienta. Para evitarlo es preciso que dicha interfaz les resulte familiar a las usadas habitualmente.

A continuación, se procederá a estudiar los casos de uso que debe proporcionar el sistema en base al análisis previo realizado.

### **Actores del Sistema**

Se realizará una breve descripción de la entidad que va a interactuar con el módulo DISTA (ver Tabla XI). Se define el actor “Clínico”, que representa al personal médico que cuenta con los privilegios necesarios para el acceso a los CD y a la información que ellos contienen.

Tabla XI: Actores del subsistema DISTA

---

<b>Nombre</b>	CLÍNICO
<b>Descripción</b>	Usuario encargado del almacenamiento de la información
<b>Objetivos</b>	Extraer la información relevante de un estudio angiográfico almacenado en un soporte de almacenamiento secundario e introducirla en el sistema de información

---

### **Identificación de los casos de uso**

Mediante el diagrama de casos de uso y su descripción detallada se relata cuales son las acciones que el actor puede llevar a cabo con el módulo DISTA. Como se puede ver en la Figura 49 los casos de uso abarcan desde la carga de la información del CD en memoria hasta su almacenamiento en base de datos, pasando por la elección que debe de hacer el actor de la información relevante entre toda la que almacena el CD.

En el diagrama de casos de uso se puede observar también la relación existente entre las tareas que realiza este módulo y los servicios que proporciona el subsistema de Acceso a Datos.



Figura 49. Identificación de los casos de uso del módulo DISTA.

### Casos de Uso detallados

La Tabla XII contiene la descripción detallada de los casos de uso recogidos en el diagrama y cuya funcionalidad es llevada a cabo por este módulo. La descripción detallada de los casos de uso del subsistema de Acceso a Datos (SMIIS), etiquetados con la indicación “(from UC-SMIIS)”, se ha realizado en el apartado Acceso a Datos., de este mismo capítulo.

Tabla XII: Casos de Uso de DISTA.

---

<b>Nombre</b>	CARGAR INFORMACIÓN
<b>Descripción</b>	Cargar la información en formato DICOM contenida en un archivo o directorio concreto de un soporte de almacenamiento secundario
<b>Actores</b>	Clínico
<b>Precondiciones</b>	No existen
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El actor elige la fuente de información</li><li>2. El sistema lee dicha fuente descartando archivos no DICOM</li><li>3. El sistema avisa al actor de la finalización de la lectura</li><li>4. El sistema muestra un resumen de la información cargada</li></ol>

---

<b>Nombre</b>	VISUALIZAR ESTUDIO
<b>Descripción</b>	El sistema le muestra al usuario todas las imágenes contenidas en el estudio cargado e información concerniente a las mismas.
<b>Actores</b>	Clínico
<b>Precondiciones</b>	La información debe haber sido leída desde el dispositivo de almacenamiento
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario le pide al sistema que muestre las imágenes.</li><li>2. El sistema muestra las imágenes</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	MODIFICAR DATOS DEL PACIENTE
<b>Descripción</b>	El sistema permite la corrección de la información sobre el paciente leída del contenedor DICOM
<b>Actores</b>	Clínico
<b>Precondiciones</b>	La información debe haber sido leída desde el dispositivo de almacenamiento
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El sistema muestra la información sobre el paciente como parte del resumen del contenido DICOM</li><li>2. El usuario informa al sistema de que los datos del paciente son erróneos.</li><li>3. El sistema permite insertar la información correcta sobre el paciente.</li><li>4. El sistema almacena los cambios en memoria a la espera de su almacenaje</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	SELECCIÓN DE SERIE
<b>Descripción</b>	El sistema permite al usuario seleccionar la serie o series que desea visualizar.
<b>Actores</b>	Clínico
<b>Precondiciones</b>	Se ha leído y se está visualizando un estudio que contiene al menos una serie con una o mas imágenes
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El sistema muestra todas las series contenidas en un estudio</li><li>2. El usuario elige al menos una de estas series</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	VISUALIZAR SERIE
<b>Descripción</b>	El sistema muestra toda la secuencia de imágenes pertenecientes a una serie en forma de video.
<b>Actores</b>	Clínico
<b>Precondiciones</b>	Existe al menos una serie seleccionada
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario pide al sistema que le muestre la serie</li><li>2. El sistema muestra las imágenes de la serie de forma consecutiva, una encima de la otra, otorgando un mínimo de 800 milisegundos entre imagen e imagen.</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	ALMACENAR SERIE
<b>Descripción</b>	El sistema almacena las series utilizando los servicios proporcionados por el subsistema de acceso de datos
<b>Actores</b>	Clínico
<b>Precondiciones</b>	Existe al menos una serie seleccionada
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario pide al sistema que almacene la información e imágenes de una serie</li><li>2. El sistema le pide al subsistema de gestión de datos que almacene la información</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	CARGAR DIRECTORIO
<b>Descripción</b>	Cargar en memoria la información DICOM contenida en los distintos archivos de un directorio
<b>Actores</b>	No existen
<b>Precondiciones</b>	Los archivos debe respetar el formato y la estructura descritos por el estándar DICOM 3
<b>Pasos</b>	No existen

---



---

<b>Nombre</b>	CARGAR ARCHIVO
<b>Descripción</b>	Cargar en memoria la información DICOM contenida en un archivo DICOM
<b>Actores</b>	No existen
<b>Precondiciones</b>	El archivo debe respetar el formato binario descrito por el protocolo DICOM
<b>Pasos</b>	No existen

---

### 2.3 Explotación

Una vez que los estudios están almacenados de forma centralizada y accesible a través de una red de comunicaciones, es necesario cuantificar la información contenida en ellos. Mediante la segmentación del árbol coronario del paciente, utilizando diferentes proyecciones, se puede estimar su volumen arterial e indicando el punto de estenosis se puede calcular el porcentaje y el volumen del árbol afectado.

Para ello, es necesario segmentar el árbol arterial coronario e identificar cada uno de los segmentos que lo componen. Adicionalmente, en caso de que existan, el clínico establece los puntos de estenosis y su grado de severidad.

Como el subsistema anterior, éste también está subdividido en 2 módulos (ver Figura 50). El primero de ellos es un software genérico que, por una parte interactúa con el subsistema de acceso a datos y, por otra, proporciona el soporte a las diferentes herramientas de explotación que se integran en el sistema. El objetivo fundamental de este módulo es proporcionar una interfaz común entre todas las posibles herramientas de segmentación, etiquetado y reconstrucción, y el subsistema de acceso a datos.

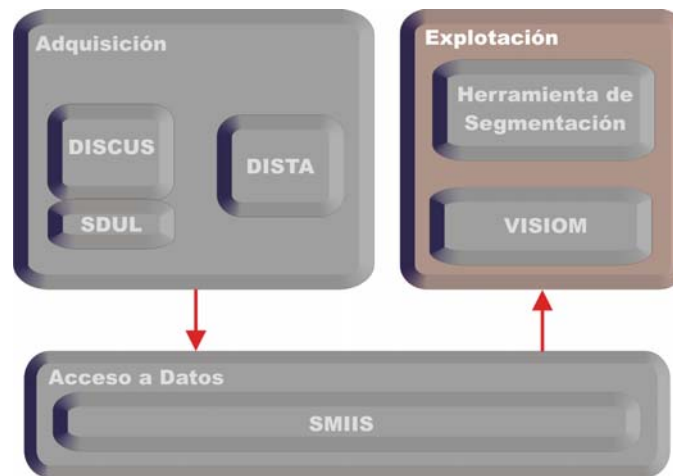


Figura 50. Subsistema de Explotación.

El segundo módulo consiste en un conjunto herramientas que proporciona los mecanismos necesarios para representar de virtualmente el árbol coronario y posteriormente realizar el cálculo del “score”, alcanzando así uno de los objetivos principales de este trabajo.

### 2.3.1 VISIOM

Con el objeto de diseñar un sistema de información extensible, que puede incorporar nuevas herramientas de segmentación basadas en algoritmos diferentes, nuevos mecanismos de representación del árbol coronario o nuevos métodos de estimación del volumen arterial coronario; el sistema está dotado de un módulo que permite el acceso a cualquier posible herramienta al subsistema de acceso a datos. Dicho módulo se denomina Visor de Imágenes para un Sistema de Información Médica (VISIOM), y se relaciona con el sistema tal y como se puede ver en la Figura 51.



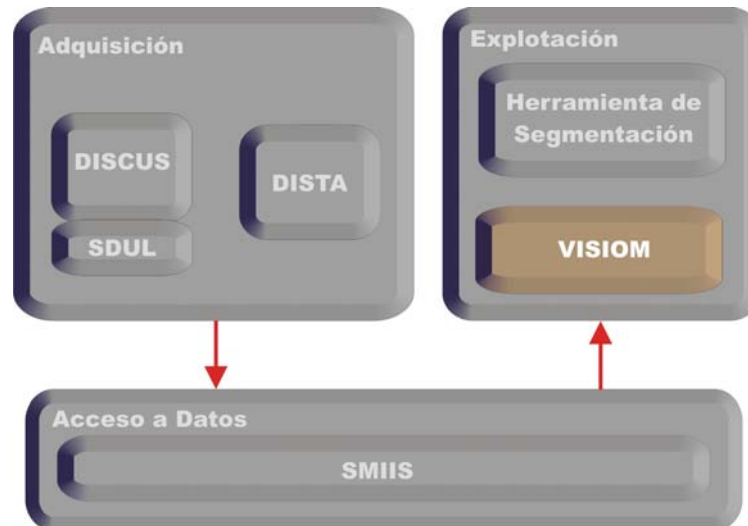


Figura 51. Módulo funcional VISIOM dentro del Subsistema de Explotación.

### **Requisitos Funcionales**

- **Acceso a los servicios proporcionados por el subsistema de acceso a datos.** Este módulo debe proporcionar las herramientas de usuario la posibilidad de obtener imágenes de los estudios almacenados y mecanismos para almacenar los resultados del procesamiento de las imágenes.
- **Capacidad de ejecución de herramientas heterogéneas.** Este módulo proporciona una interfaz sencilla con las herramientas de usuario que permiten, entre otras, visualizar, procesar y segmentar las imágenes proporcionadas. Facilita el desarrollo de nuevas herramientas que extiendan la funcionalidad del sistema de información, definiendo de forma clara y precisa como deben diseñarse e implementarse estos nuevos elementos para integrarse en el sistema de información.

### **Actores del subsistema**

A continuación, se realiza una breve descripción de la entidad que va a interactuar con el módulo VISIOM (ver Tabla XIII).

Tabla XIII: Actor de VISIOM.

<b>Nombre</b>	USUARIO
<b>Descripción</b>	Usuario Final de las Herramientas
<b>Objetivos</b>	Ejecutar una herramienta concreta

**Identificación de los casos de uso del subsistema**

Mediante los diagramas de casos de uso y su descripción detallada se relata cuales son las acciones que se pueden llevar a cabo con el módulo VISIOM (ver Figura 52).

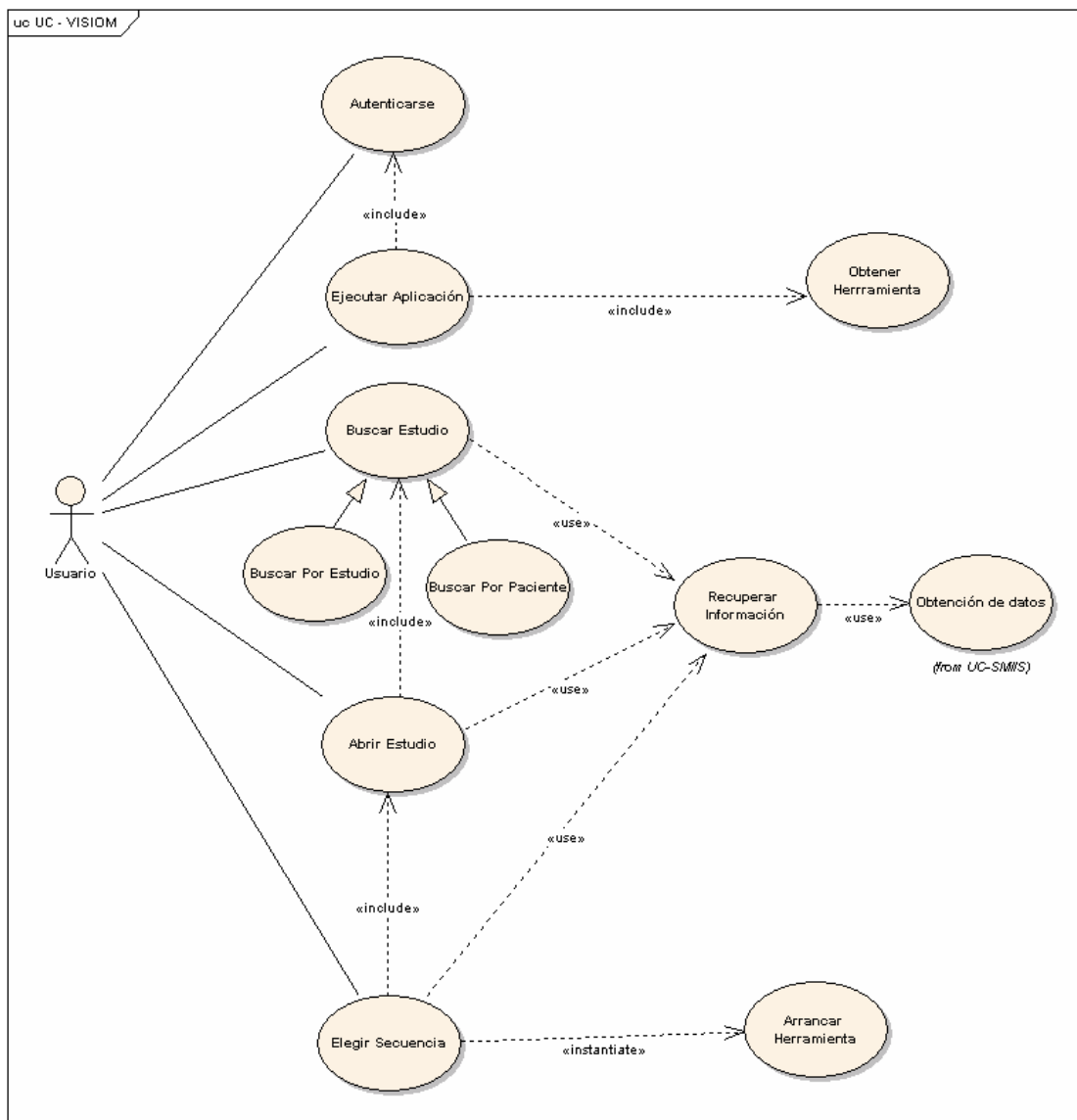


Figura 52. Identificación de los casos de uso del módulo VISIOM.

**Casos de Uso detallados**

La descripción detallada de los casos de uso de VISIOM se puede ver en la Tabla XIV.

Tabla XIV: Casos de Uso de VISIOM

<b>Nombre</b>	AUTENTICARSE
<b>Descripción</b>	Suministrar unas credenciales de acceso para ejecutar la aplicación.
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	No existen
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aportar un nombre de usuario y un contraseña</li> <li>2. Comprobar del nombre de usuario y la contraseña</li> <li>3. Comprobar que el usuario tiene permiso de acceso a los datos</li> </ol>
<b>Nombre</b>	EJECUTAR APLICACIÓN
<b>Descripción</b>	Se arranca la aplicación
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	El usuario debe estar autenticado
<b>Pasos</b>	No existen
<b>Nombre</b>	RECUPERAR INFORMACIÓN
<b>Descripción</b>	Obtiene la información necesaria para el correcto funcionamiento de la aplicación. Hace uso de los servicios del subsistema de acceso
<b>Actores</b>	No existen
<b>Precondiciones</b>	No existen
<b>Pasos</b>	No existen

---

<b>Nombre</b>	BUSCAR ESTUDIO
<b>Descripción</b>	Permite recuperar información aplicando un patrón de búsqueda
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	La aplicación debe estar ejecutándose
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario especifica un criterio de búsqueda</li><li>2. El subsistema le pide al subsistema de acceso a datos que recupere la información que cumpla el criterio de búsqueda (Caso de Uso “Recuperar Información”).</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	BUSCAR POR PACIENTE
<b>Descripción</b>	Permite recuperar información aplicando un patrón de búsqueda a datos referentes al paciente
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	La aplicación debe estar ejecutándose
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario especifica un criterio de búsqueda</li><li>2. El subsistema le pide al subsistema de acceso a datos que recupere la información que cumpla el criterio de búsqueda (Caso de Uso “Recuperar Información”).</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	BUSCAR POR ESTUDIO
<b>Descripción</b>	Permite recuperar información aplicando el patrón de búsqueda a datos referentes al estudio
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	La aplicación debe estar ejecutándose
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario especifica un criterio de búsqueda</li><li>2. El subsistema le pide al subsistema de acceso a datos que recupere la información que cumpla el criterio de búsqueda (Caso de Uso “Recuperar Información”).</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	ABRIR ESTUDIO
<b>Descripción</b>	Muestra al usuario todas las secuencias pertenecientes a un estudio
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	Se ha realizado una búsqueda y se ha seleccionado un estudio
<b>Pasos</b>	No existen

---

---

<b>Nombre</b>	OBTENER HERRAMIENTA
<b>Descripción</b>	Se obtiene la herramienta que será utilizada por el usuario
<b>Actores</b>	No existen
<b>Precondiciones</b>	La aplicación está en ejecución y la herramienta existe
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Se comprueba la configuración en busca de la herramienta</li><li>2. Se instancia la herramienta</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	ABRIR SECUENCIA
<b>Descripción</b>	Pide al subsistema de gestión de datos que recupere todas las imágenes pertenecientes a una secuencia.
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	Se ha abierto un estudio y se ha obtenido una herramienta
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario elige una secuencia para ser abierta</li><li>2. El subsistema cursa la petición de acceso a datos (Caso de Uso “Recuperar Información”).</li><li>3. Se recuperan los datos.</li><li>4. Se lanza la ejecución de la herramienta que se haya obtenido</li></ol>

---

### 2.3.2 Herramienta de Reconstrucción

La herramienta de reconstrucción (ver Figura 53) representa la parte final del proceso y es la que permite alcanzar el objetivo final de trabajo que aquí se presenta: proporcionar un “score” o marcador que asista en la toma de decisiones acerca de la gravedad de un paciente con dolencias coronarias.

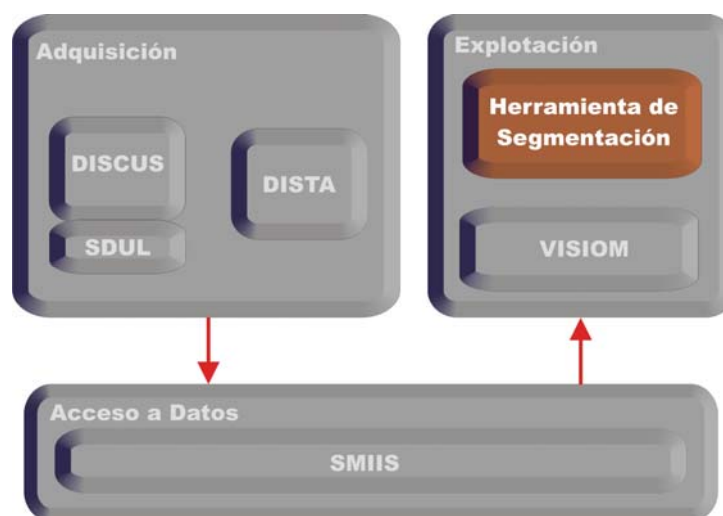


Figura 53. Módulo funcional de Herramienta de Segmentación del Subsistema de Explotación.

Para ello, utilizando el sistema de información, el especialista usa las imágenes que pertenecen a diferentes proyecciones de un estudio angiográfico, segmenta las arterias coronarias significativas en cada proyección, las etiqueta manualmente, indica la ubicación y la severidad de las estenosis existentes y, finalmente, utiliza dichos segmentos para crear una representación virtual del árbol coronario.

### **Requisitos Funcionales**

- **Utilizar los servicios proporcionados por el módulo VISIOM.** La herramienta utilizará los servicios proporcionados por VISIOM para obtener las imágenes proporcionadas a su vez por el subsistema de acceso a datos.
- **Visualizar de las imágenes angiográficas recuperadas.** Los estudios angiográficos presentan una estructura compleja: un estudio contiene proyecciones y una proyección contiene imágenes que, en muchos casos, deben ser observadas secuencialmente en modo cine. Por lo tanto, la herramienta debe proporcionar las funcionalidades de visualización de cada secuencia en modo cine, de cada secuencia como colección de imágenes estáticas y debe mostrar en detalle cada una de las imágenes de la proyección.
- **Calibrar las imágenes.** Una vez que se han segmentado y etiquetado las arterias de una imagen se pretende estimar el volumen de sangre que puede fluir por un segmento arterial. Para ello, es necesario determinar cuál es la relación píxeles/milímetros cuadrados que presenta la imagen (calibrado). Con el objeto de establecer esta relación se determina el diámetro del catéter y se relaciona con el diámetro del mismo previamente conocido y expresado en milímetros.
- **Segmentar.** La herramienta debe realizar la segmentación semiautomática del árbol coronario que está contenido en las imágenes.
- **Incorporar varios mecanismos de segmentación.** La herramienta debe soportar la existencia de más de un método de segmentación y facilitar la incorporación de nuevos métodos

- **Etiquetar los segmentos extraídos de cada imagen.** Una vez realizado el proceso de segmentación es necesario identificar cada uno de los segmentos arteriales, para ello se proporciona un mecanismo de etiquetado independiente del método de segmentación utilizado.
- **Identificar estenosis en los segmentos arteriales etiquetados.** Con el objeto de determinar la cantidad de árbol coronario afectado por una estenosis es necesario indicar su posición, identificando el segmento arterial en el que se encuentra situada.
- **Construir una representación lógica de un modelo virtual del árbol arterial en estudio.** El clínico selecciona los segmentos arteriales más significativos y los vincula a una representación lógica del modelo del árbol arterial artificial que representa al árbol coronario del paciente. Esta herramienta permite al clínico seleccionar las arterias adecuadas en función de la proyección que se ha utilizado para obtener dicha secuencia de imágenes.
- **Estimar el volumen total del árbol coronario y el porcentaje afectado por una estenosis.** Para proporcionar a los médicos información en unidades de medida con las que están familiarizados, se debe estimar el volumen de cada uno de los segmentos que componen el árbol arterial

#### **Requisitos no funcionales.**

- **La interfaz de usuario debe ser amigable e intuitiva.** La herramienta va a ser utilizada por los miembros de un Servicio de Hemodinámica que están sometidos a una gran presión asistencial, por lo que la carga cognitiva de la herramienta debe ser baja y su utilización debe ser sencilla para que la implantación tenga éxito.

#### **Identificación de los Casos de Uso**

A partir de los requisitos anteriormente descritos se definen los casos de uso (ver Figura 54) que deben cumplir todas las herramientas de segmentación genérica que vayan a ser integradas en el sistema de información. Como estas herramientas de segmentación utilizan



como base tecnológica el subsistema VISOM, el actor que interactúa con este será el mismo que interactúa con las herramientas de segmentación (ver Tabla XIII). Así mismo, algunos de los casos de uso que aparecen en el diagrama de la Figura 54 aparecen en el diagrama de casos de uso de VISOM (Figura 52)

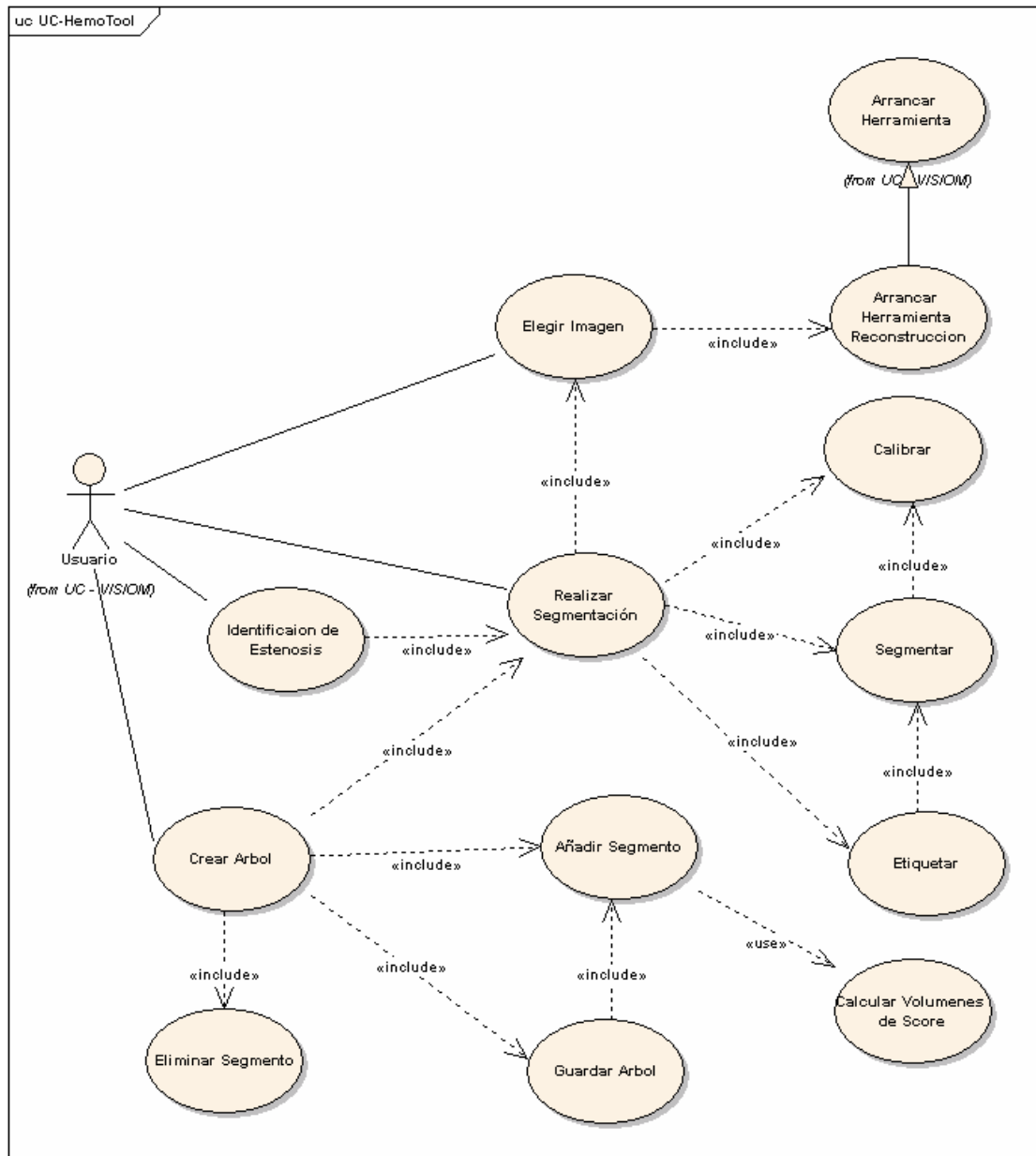


Figura 54. Diagrama de casos de uso de las Herramientas de Segmentación.

### **Casos de Uso detallados**

La descripción detallada de los casos de uso básicos de las herramientas de segmentación se puede ver en la Tabla XV.

Tabla XV: Casos de Uso de las Herramientas de Segmentacion

---

<b>Nombre</b>	SELECCIONAR IMAGEN
<b>Descripción</b>	Permite elegir una sola imagen de todas las que componen la secuencia.
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	Se ha elegido una secuencia
<b>Pasos</b>	No existen

---

<b>Nombre</b>	REALIZAR SEGMENTACIÓN
<b>Descripción</b>	Extrae los segmentos de arteria de una imagen angiográfica
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	Se ha elegido una imagen
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario calibra la imagen</li><li>2. El usuario inicia la segmentación</li><li>3. El usuario etiqueta lo segmentado</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	CALIBRAR
<b>Descripción</b>	El sistema calcula la proporción píxeles/milímetros cuadrados.
<b>Actores</b>	Usuario a través del caso de uso “Realizar Segmentación”
<b>Precondiciones</b>	Se ha elegido una imagen
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario identifica el catéter en la imagen</li><li>2. Se calcula la proporción</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	SEGMENTAR
<b>Descripción</b>	El sistema segmenta la parte de la imagen que pertenece al árbol arterial.
<b>Actores</b>	Usuario a través del caso de uso “Realizar Segmentación”
<b>Precondiciones</b>	Se ha calibrado
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario identifica uno o varios puntos pertenecientes al árbol arterial</li><li>2. A partir de la información inicial se segmentan las arterias que aparecen en la imagen.</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	ETIQUETAR
<b>Descripción</b>	El usuario identifica cada una de las arterias segmentadas con una etiqueta.
<b>Actores</b>	Usuario a través del caso de uso “Realizar Segmentación”
<b>Precondiciones</b>	Se ha calibrado la imagen
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario identifica uno o varios puntos pertenecientes al árbol arterial.</li><li>2. A partir de la información inicial se segmentan las arterias que aparecen en la imagen.</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	IDENTIFICAR ESTENOSIS
<b>Descripción</b>	El usuario informa al sistema de que segmentos y en qué zona están afectados por una estenosis
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	Se ha terminado completamente la segmentación
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario identifica un punto perteneciente a un segmento</li><li>2. El usuario informa al sistema del grado de oclusión que ofrece la arteria debido a la estenosis</li><li>3. El sistema asume la información proporcionada.</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	CREAR EL ÁRBOL
<b>Descripción</b>	El usuario puede asociar distintos segmentos etiquetados, pertenecientes a imágenes de proyecciones distintas, a una reconstrucción virtual del árbol arterial coronario
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	Se ha terminado completamente la segmentación
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario asigna los segmentos al árbol</li><li>2. El usuario pide al sistema que almacene las asignaciones</li><li>3. El sistema confirma la información proporcionada.</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	AÑADIR SEGMENTO
<b>Descripción</b>	El usuario ubica un segmento etiquetado en una posición concreta del modelo virtual del árbol arterial coronario
<b>Actores</b>	Usuario a través del caso de uso “Crear Árbol”
<b>Precondiciones</b>	Se ha terminado completamente la segmentación
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario selecciona uno de los segmentos etiquetados</li><li>2. El usuario asigna dicho segmento a la reconstrucción virtual</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	ESTIMAR VOLÚMENES DEL ÁRBOL CORONARIO
<b>Descripción</b>	El sistema calcula el volumen total del árbol arterial así como el volumen total afectado por estenosis. Además desglosa los volúmenes parciales para cada una de las arterias principales.
<b>Actores</b>	No existen
<b>Precondiciones</b>	El árbol debe contar con algún segmento asignado
<b>Pasos</b>	No existen

---

---

<b>Nombre</b>	ELIMINAR SEGMENTO
<b>Descripción</b>	El usuario elimina la asociación entre un segmento etiquetado y la reconstrucción virtual del árbol arterial coronario a la que había sido asignado
<b>Actores</b>	Usuario a través del caso de uso “Crear Árbol”
<b>Precondiciones</b>	Se ha terminado completamente la segmentación y existen segmentos asignados
<b>Pasos</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario selecciona uno de los segmentos etiquetados y asignado</li><li>2. El usuario elimina la asignación.</li></ol>

---

---

<b>Nombre</b>	GUARDAR RECONSTRUCCIÓN
<b>Descripción</b>	El sistema almacena de manera permanente las asignaciones realizadas entre segmentos y reconstrucción a petición del usuario
<b>Actores</b>	Usuario a través del caso de uso “Crear Árbol”
<b>Precondiciones</b>	Existen segmentos asignados
<b>Pasos</b>	No existen

---

### **Métodos de segmentación.**

Se plantea el diseño e implementación de dos métodos de segmentación para cumplir con los requisitos de esta herramienta. Estos dos métodos están basados en los algoritmos de “tracking” o seguimiento arterial por una parte y de crecimiento de regiones por otra.

#### **Requisitos funcionales para el método basado en “tracking”**

- **Realizar la segmentación de los vasos arteriales a través de un algoritmo de seguimiento arterial diseñado a tal efecto.** El usuario tendrá que indicar un punto de inicio del algoritmo y una dirección de avance (ver la Figura 55).

#### **Requisitos funcionales para el método basado en crecimiento de regiones**

- **Realizar la segmentación basando en un algoritmo de crecimiento de regiones.** El usuario debe proporcionar un punto de inicio del algoritmo y los límites o regiones de parada del mismo (ver la Figura 56).

Identificación de los Casos de Uso en “tracking”

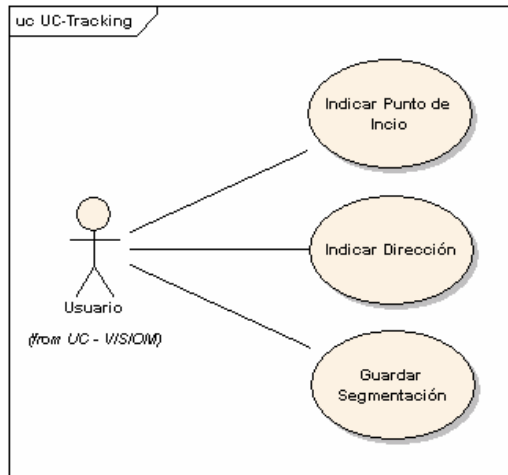


Figura 55. Casos de uso del algoritmo de la herramienta de segmentación basada en seguimiento arterial.

Identificación de los Casos de Uso en crecimiento de regiones

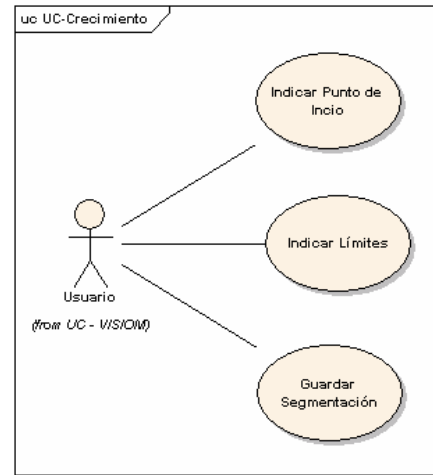


Figura 56. Casos de uso del algoritmo de la herramienta de segmentación basada en crecimiento de regiones.

**Casos de Uso detallados**

La descripción detallada de los casos de uso del módulo los Algoritmos de Segmentación se puede ver en la Tabla XVI.

Tabla XVI: Casos de Uso de los Algoritmos de Segmentación

<b>Nombre</b>	INDICAR PUNTO DE INICIO
<b>Descripción</b>	El usuario indica sobre la imagen el punto de arranque del algoritmo
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	Se ha iniciado el proceso de segmentación
<b>Pasos</b>	



---

<b>Nombre</b>	INDICAR LÍMITES
<b>Descripción</b>	El usuario indica con una línea cuáles son los límites del segmento de vaso que desea identificar. Escoge dos puntos que conforman los límites de un segmento de recta que representa el límite de actuación para el algoritmo
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	Se ha iniciado el proceso de segmentación
<b>Pasos</b>	No existen

---

---

<b>Nombre</b>	INDICAR DIRECCIÓN
<b>Descripción</b>	El usuario indica la dirección que sigue el vaso que se desea segmentar, teniendo como referencia el punto de inicio del algoritmo
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	Se ha elegido un punto de inicio
<b>Pasos</b>	No existen

---

---

<b>Nombre</b>	GUARDAR SEGMENTACIÓN
<b>Descripción</b>	El usuario indica al sistema que la segmentación es correcta y que desea continuar con el proceso de reconstrucción
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Precondiciones</b>	Se ha segmentado total o parcialmente el vaso arterial
<b>Pasos</b>	No existen

---

## 2.4 Resumen Final del Análisis

Como resumen final del análisis se presenta la arquitectura funcional del sistema de información (Figura 57) y del diagrama arquitectónico del mismo (Figura 58), que representa todos los subsistemas o bloques funcionales que forman el sistema completo.



Figura 57. Arquitectura Funcional del sistema de información.

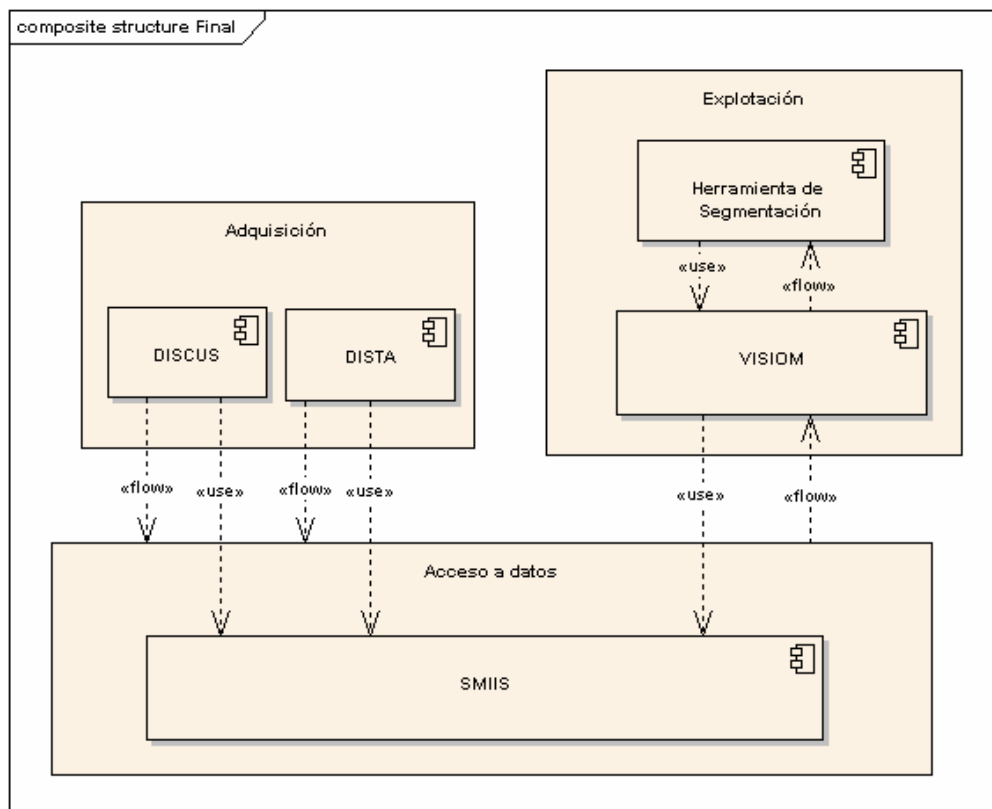


Figura 58. Diagrama Arquitectónico del sistema de información.

### 3. Diseño

En función de la información obtenida en la especificación de requisitos y como resultado de la fase de análisis se obtuvo la arquitectura del sistema de información, que se puede observar en el esquema de la Figura 57. La arquitectura del sistema de información se basa en los siguientes subsistemas:

- Subsistema de Adquisición de Estudios Angiográficos: Este subsistema permite adquirir la información que se va a utilizar como base en el asesoramiento al clínico. En este caso, el sistema adquiere estudios angiográficos que cumplen el estándar DICOM 3 desde diferentes orígenes. Con el objeto de proporcionar persistencia a dichos datos, la información contenida en los ficheros DICOM originales se almacena en una base de datos.
- Subsistema de Acceso a los Estudios Angiográficos: Facilita la interacción con el sistema de almacenamiento, tanto para introducir nuevos estudios en el sistema, como para el acceso a los que ya están almacenados.
- Subsistema de Explotación: Facilita el trabajo con los estudios almacenados en la base de datos, proporcionando funcionalidades básicas como la selección y visualización de fotogramas, función cinematográfica, “zoom”, variación de brillo y contraste.

Incorpora herramientas que permiten que el médico seleccione diferentes fotogramas de distintas proyecciones de un mismo estudio, y en cada uno de ellos realice la segmentación de las arterias coronarias, pudiendo utilizar diferentes técnicas.

A partir de las segmentaciones realizadas este subsistema permite construir una representación del árbol arterial coronario, a partir del cual se estimará el volumen del árbol coronario y el porcentaje del mismo afectado por estenosis, que es el marcador pronóstico buscado.

### 3.1 Subsistema de Acceso a Datos (SMIIS)

#### 3.1.1 Modelo de Datos

A continuación, en la Figura 59, se muestra una descripción de las entidades y relaciones que conforman el modelo definido por los Modelos de Información de DICOM.

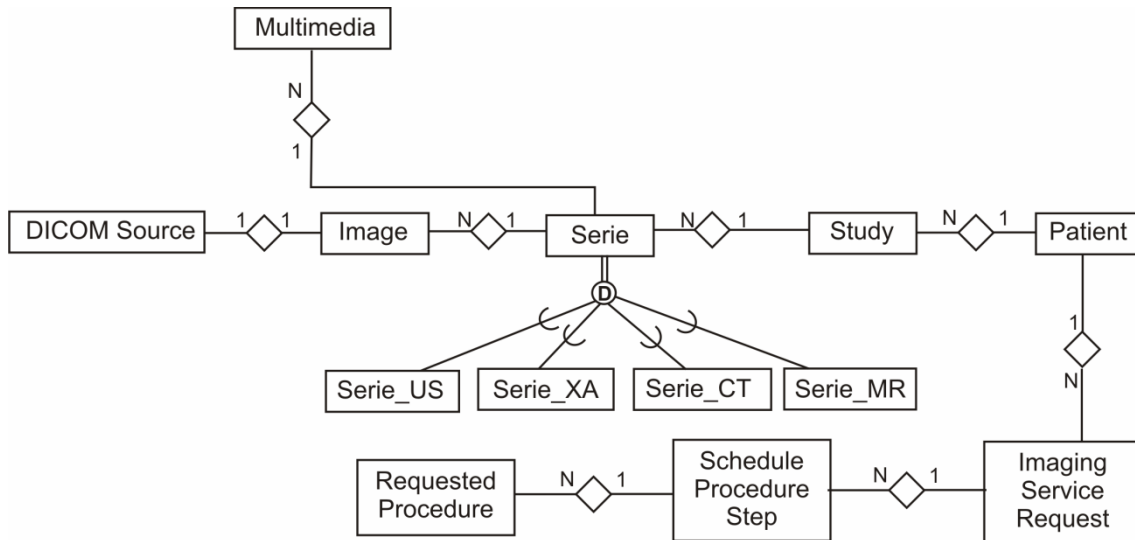


Figura 59. Diagrama Entidad-Relación del Modelo de Datos del subsistema.

#### Descripción de las entidades.

Para cada entidad, se muestra la siguiente información:

- Descripción de la entidad.
- Atributos: Se muestra su nombre, su descripción y el tipo de atributo según el DICOM 3.0, que es la guía que se ha seguido para escoger el tipo de datos en la implementación de la base de datos. Puede ser consultado en la parte 5 del estándar, sección “*DICOM value representations*”. Se muestran también las condiciones especiales de atributo, usando la siguiente nomenclatura:
  - Clave Primaria (CP); Clave Débil (CD); No Nulo (NN); Clave única (UK).

A continuación, desde la Tabla XVII hasta la Tabla XXV se realiza la descripción detallada de cada una de las entidades del modelo.

Tabla XVII: Entidad “Paciente”

ENTIDAD	Patient (Paciente)			
DESCRIPCIÓN	Un Paciente es una persona que recibe, o que está registrado para recibir servicios médicos.			
ATRIBUTOS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	TIPO	CARACT.
	pat_id	Identificador del paciente dentro de un hospital.	LO	CP
	pat_name	Nombre completo.	PN	NN
	pat_sex	Sexo.	CS	
	pat_birthDate	Fecha de nacimiento.	DA	
	pat_otherIDs	Otros números de identificación o códigos utilizados para identificar al paciente.	LO	
	pat_otherNames	Otros nombres utilizados para identificar al paciente.	PN	
	pat_size	Altura en metros.	DS	
	pat_weight	Peso en kilogramos.	DS	
	pat_address	Dirección.	LO	
	pat_militaryRank	Rango militar (Si tiene)	LO	
	pat_medicalAlerts	Condiciones de las que el personal médico debería estar alerta.	LO	
	pat_contrastAllergies	Resultados de pruebas de alergia.	LO	
	pat_ethnicGroup	Grupo étnico.	SH	
	pat_smokingStatus	Indica si el paciente fuma. (YES,NO,UNKNOWN)	CS	
	pat_additionalHistory	Más información acerca de la historia clínica del paciente.	LT	
	pat_pregnancyStatus	Estado de embarazo. (0001= No embarazada, 0002=Posible embarazada, 0003=Embarazada, 0004= Desconocido)	US	
	pat_lastMenstrualDate	Fecha de la última menstruación.	DA	
	pat_comments	Comentarios.	LT	
	pat_specialNeeds	Necesidades médicas y sociales.	LO	
	pat_state	Estado del paciente.	LO	
	pat_confidentialityConstraint	Indicaciones especiales acerca de la confidencialidad de los datos del paciente.	LO	

Tabla XVIII: Entidad “Estudio”

<b>ENTIDAD</b>	Study (Estudio)			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	La entidad estudio define las características de un estudio médico llevado a cabo sobre un paciente.			
<b>ATRIBUTOS</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
	stu_instanceUid	Identificador único de estudio	UI	CP
	stu_id	Identificador del estudio	SH	NN
	stu_description	Descripción del estudio	LO	
	stu_date	Fecha de comienzo del estudio	DA	NN
	stu_time	Hora de comienzo del estudio	TM	
	stu_referringPhysician	Médico de referencia	PN	
	stu_episode	Código de episodio	SH	

Tabla XIX: Entidad “Serie”

<b>ENTIDAD</b>	Serie			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Define los atributos que son utilizados para agrupar un conjunto de exploraciones de un mismo estudio realizadas sobre un paciente. Uno de los criterios más comunes al agrupar las exploraciones es que éstas provengan de la misma modalidad.			
<b>ATRIBUTOS</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
	ser_instanceUid	Identificador único de la serie	UI	CP
	ser_number	Identificador de la serie.	IS	NN UK
	ser_modality	Tipo de equipo utilizado para generar la serie.	CS	NN
	ser_date	Fecha de comienzo de la serie.	DA	
	ser_time	Hora de comienzo de la serie.	TM	
	ser_performingPhysician	Médico que administra la serie.	PN	
	ser_operator	Nombre de quien mantiene las series.	PN	
	ser_description	Descripción de la serie.	LO	
	ser_laterality	Lado del cuerpo examinado.	CS	
	ser_bodyPart	Descripción de la parte del cuerpo examinada.	CS	
	ser_patientPosition	Descripción de la posición del paciente.	CS	

Tabla XX: Entidad “Imagen”

ENTIDAD	Image (Imagen)			
DESCRIPCIÓN	Describe determinados datos de una imagen, como las características de los píxeles o el plano de la imagen. Una imagen puede estar formada por un solo frame o por varios, en cuyo caso los atributos describen el primer frame.			
ATRIBUTOS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	TIPO	CARACTERÍSTICAS
	ima_sopInstUid	Identificador único de la clase SOP.	UI	NN
	ima_instNumber	Identificador de la imagen.	IS	CP
	ima_numbFrames	Número de frames de que consta la imagen.	IS	NN
	ima_frameIncPointer	Etiqueta del elemento utilizado para distinguir los frames de que consta la imagen.	AT	
	ima_frameTime	Tiempo en milisegundos para cada frame.	DS	
	ima_samplPerPxel	Número de planos en ésta imagen.	US	
	ima_photInterp	Especifica la forma en que se interpreta el campo píxel Data.	US	
	ima_rows	Filas de la imagen.	US	
	ima_columns	Columnas de la imagen.	US	
	ima_bitsAllocated	Número de bits destinados para un píxel.	US	
	ima_bitsStored	Número de bits utilizados para almacenar un píxel.	US	
	ima_highBit	Bit más significativo para un píxel.	US	
	ima_pixelRepresentation	Tipo de representación utilizada en los píxeles. Entero sin signo o complemento a dos.	US	
	ima_pixelData	Los datos de la imagen por píxeles.	OW	

Tabla XXI: Entidad “Origen DICOM”

<b>ENTIDAD</b>	DicomSource (Origen DICOM)			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	La entidad DicomSource contiene el fichero DICOM propiamente dicho, junto con datos referentes a su inclusión en la base de datos,			
<b>ATRIBUTOS</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
	dic_uid	Identificador único del fichero DICOM.	CP	NN
	dic_date	Fecha en que se introdujo el fichero DICOM en el sistema.		CP
	dic_time	Hora en que se introdujo el fichero DICOM en el sistema.		NN
	dic_state	Estado del fichero DICOM. Indica si el fichero DICOM se ha expandido o no en la base de datos.		
	dic_error	Código de error.		
	dic_bytes	Número de bytes del fichero.	NN	
	dic_data	El fichero DICOM.	NN	

Tabla XXII: Entidad “Multimedia”

<b>ENTIDAD</b>	Multimedia			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Las distintas imágenes que contiene un fichero DICOM			
<b>ATRIBUTOS</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
	mul_num	Identificador de la imagen.	CP	NN
	mul_frame	Número de frame de la imagen en el fichero DICOM.	NN	CP
	mul_tipo	Tipo de imagen.	NN	NN
	mul_bytes	Número de bytes del fichero.	NN	
	mul_prev	Previsualización de la imagen para una mayor eficiencia en una aplicación web.		
	mul_data	La imagen.	NN	



Tabla XXIII: Entidad “Solicitud de Servicio de Generación de Imagen”

ENTIDAD	ImagingServiceRequest (Solicitud de Servicio de generación de Imagen)			
DESCRIPCIÓN	Es un conjunto de uno o más Requested Procedures que comparten un determinado grupo de atributos. Las distintas imágenes que contiene un fichero DICOM			
ATRIBUTOS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	TIPO	CARACTERÍSTICAS
	img_accession	Identificador autogenerado para la solicitud.	SH	CP
	img_referPhys	Nombre del médico de referencia del paciente.	PN	
	img_requestPhys	Nombre del médico solicitante.	PN	
	img_issueDate	Fecha en que se hizo la solicitud.	DA	NN
	img_issueTime	Hora en que se hizo la solicitud.	TM	NN
	img_orderEntBy	Nombre de la persona que introdujo la solicitud en el HIS.	PN	
	img_orderEntLoc	Estación desde la que se hizo la solicitud.	SH	
	img_orderCallbackPhone	Número de teléfono si se requiere más información.	SH	
	img_placerOrderNumber	Número de orden dado a la solicitud por el equipo que la solicitó.	LO	
	img_fillerOrderNumber	Número de orden dado a la solicitud por el equipo que la relleno.	LO	
	img_comments	Comentarios acerca de la solicitud.	LT	

Tabla XXIV: Entidad “Procedimiento Solicitado”

ENTIDAD	RequestedProcedure (Procedimiento Solicitado)			
DESCRIPCIÓN	Es la más pequeña unidad de servicio que puede ser solicitada, archivada, codificada o facturada.			
ATRIBUTOS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	TIPO	CARACTERÍSTICAS
	req_ID	Identificador del procedimiento solicitado.	SH	CP
	req_reason	Motivos por los que se solicita este procedimiento.	LO	
	req_description	Descripción o clasificación del procedimiento.	LO	
	req_studyInstanceUID	Identificador del estudio.	UI	
	req_priority	Prioridad.	SH	NN
	req_patientTransport	Modo de transporte del paciente al lugar en que se le examina.	LO	
	req_location	Lugar en que se cumplimentará la solicitud.	LO	
	req_confCode	Requisitos de confidencialidad de los datos que se manejen.	LO	
	req_reportPriority	Prioridad del informe.	SH	
	req_recipResults	Médicos interesados en los resultados.	PN	
	req_comments	Comentarios.	LT	

Tabla XXV: Entidad “Paso de Procedimiento Programado”

ENTIDAD	ScheduledProcedureStep (Paso de Procedimiento Programado)			
DESCRIPCIÓN	Especifica los detalles de una solicitud programada para una unidad de servicio.			
ATRIBUTOS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	TIPO	CARACTERÍSTICAS
	sch_modality	Modalidad programada para el SPS.	CS	NN
	sch_reqContrastAgent	Agente de contraste solicitado para su uso.	LO	
	sch_stationAETitle	El AE Title de la modalidad.	AE	
	sch_startDate	Fecha en que se ha programado su comienzo.	DA	NN
	sch_startTime	Hora en que se ha programado su comienzo.	TM	
	sch_endDate	Fecha en que se ha programado su final.	DA	
	sch_endTime	Hora en que se ha programado su final.	TM	
	sheduled_perfPhys	Nombre del médico que administrará el SPS.	PN	
	sch_description	Descripción o clasificación del SPS.	LO	
	sch_iD	Identificador del SPS.	SH	CP
	sch_stationName	Nombre de la estación en que se realizará el proceso.	SH	
	sch_location	Lugar en que se llevará a cabo.	SH	
	sch_preMedication	Medicación que debe ser administrada antes del comienzo del proceso.	LO	
	sch_status	Estado del SPS	CS	
	sch_comments	Comentarios.	LT	

### Descripción de relaciones

A continuación, desde la Tabla XXVI hasta la Tabla XXXI, se muestra una descripción de todas las relaciones en las que participan las entidades documentadas en el apartado anterior. Para cada relación se muestra:

- Descripción de la relación.

- Nombre de las entidades participantes.
- Participación de cada entidad en la relación.
- Cardinalidad de cada entidad participante en la relación.
- Atributos propios de la relación.

Tabla XXVI: Relación “Realiza”

RELACIÓN REALIZA		
ENTIDADES PARTICIPANTES	Patient	Study
PARTICIPACIÓN	Parcial	Total
CARDINALIDAD	1	N
ATRIBUTOS	Ninguno	

Tabla XXVII: Relación “Consta”

RELACIÓN CONSTA		
ENTIDADES PARTICIPANTES	Study	Series
PARTICIPACIÓN	Parcial	Total
CARDINALIDAD	1	N
ATRIBUTOS	Ninguno	

Tabla XXVIII: Relación “Está Formada Por”

RELACIÓN ESTÁ FORMADA POR		
ENTIDADES PARTICIPANTES	Series	Image
PARTICIPACIÓN	Parcial	Total
CARDINALIDAD	1	N
ATRIBUTOS	Ninguno	

Tabla XXIX: Relación “Se Solicita”

RELACIÓN SE SOLICITA		
ENTIDADES PARTICIPANTES	Patient	ImagingServiceRequest
PARTICIPACIÓN	Parcial	Total
CARDINALIDAD	1	N
ATRIBUTOS	Ninguno	

Tabla XXX: Relación “Consiste En”

RELACIÓN CONSISTE EN		
ENTIDADES PARTICIPANTES	ImagingServiceRequest	RequestedProcedure
PARTICIPACIÓN	Parcial	Total
CARDINALIDAD	1	N
ATRIBUTOS	Ninguno	

Tabla XXXI: Relación “Se Programa”

RELACIÓN SE PROGRAMA		
ENTIDADES PARTICIPANTES	RequestedProcedure	ScheduledProcedureStep
PARTICIPACIÓN	Parcial	Total
CARDINALIDAD	1	N
ATRIBUTOS	Ninguno	

### 3.1.2 Lógica de Negocio

*SMIIS* (Secure Medical Imaging Information System) es el software encargado recibir la información mediante archivos DICOM y almacenarla en la base de datos para su posterior consulta.

#### 3.1.2.1 Objetos del Dominio

Para la realización de este proyecto, se han definido los objetos valor (value objects) descritos en la Figura 60.

#### 3.1.2.2 Objetos de Acceso a Datos

Para desacoplar la lógica de negocio de la lógica de acceso a datos, se ha utilizado el patrón DAO, implementándose la estrategia de generación de claves primarias para bases de datos con generación de identificadores, pues la base de datos utilizada ha sido Oracle. En la Figura 61, se muestra un esquema de ejemplo, siendo igual el esquema de los restantes VOs.



Figura 60. Clases Objeto-Valor definidas en el subsistema.

### 3.1.2.3 Fachadas

#### Módulo de Carga.

El módulo de carga proporciona el soporte para el caso de uso del almacenamiento de ficheros DICOM. El sistema puede ser configurado para que la carga de ficheros DICOM se realice en modo diferido o inmediato.

En caso de modo inmediato, se extraerá del fichero DICOM la información almacenada y, si es la primera vez que se almacena un fichero DICOM de un paciente concreto, se creará el paciente, el estudio, la serie y la imagen en función de la información obtenida del fichero DICOM a almacenar, además de almacenarse el fichero DICOM propiamente dicho. También se crearán una o más imágenes JPEG (instancias de multimedia) para poder acceder de forma eficiente a través de un navegador web.

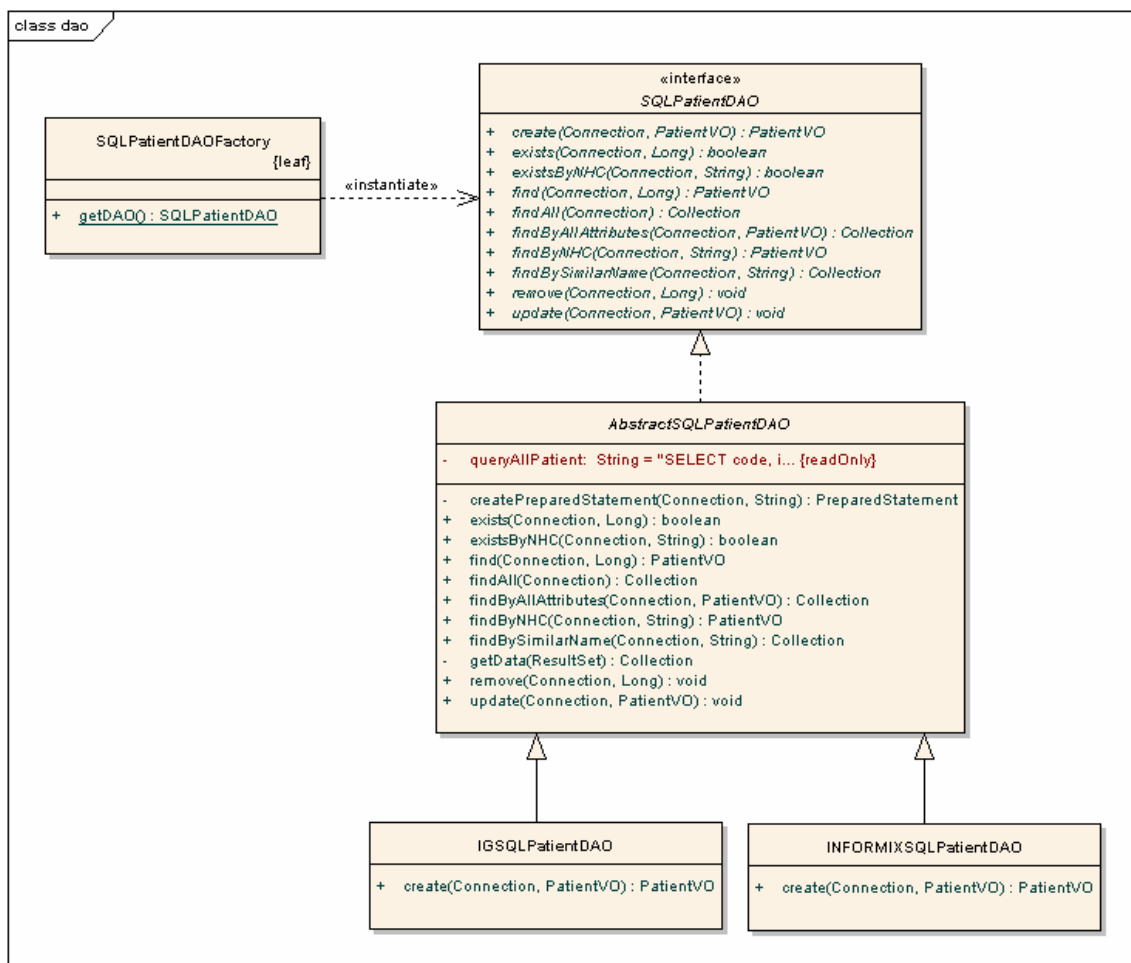


Figura 61. Ejemplo de clases "Data Access Object" definidas en el subsistema.

Si el modo de almacenamiento es diferido, sólo se almacenará el fichero DICOM sin extraer la información. Posteriormente, se podrá acceder a un fichero DICOM almacenado de este modo y extraer su información incluyéndola a la base de datos, pues esos ficheros se marcan como “no procesados”.

Se proporciona un método principal llamado *loadOrigenDICOM* que es el utilizado para el almacenamiento propiamente dicho. Se proporciona también un método que permite la búsqueda de los ficheros DICOM por estado, para así recuperar las imágenes pendientes de carga.

Se proporcionan otros métodos que permiten la creación de Paciente, Imagen, Estudio, Series, Multimedia o el almacenamiento de ficheros DICOM anónimos, sin datos de carácter personal.

La arquitectura de este módulo, “LoadOrigenDICOM” se puede observar en la Figura 62.

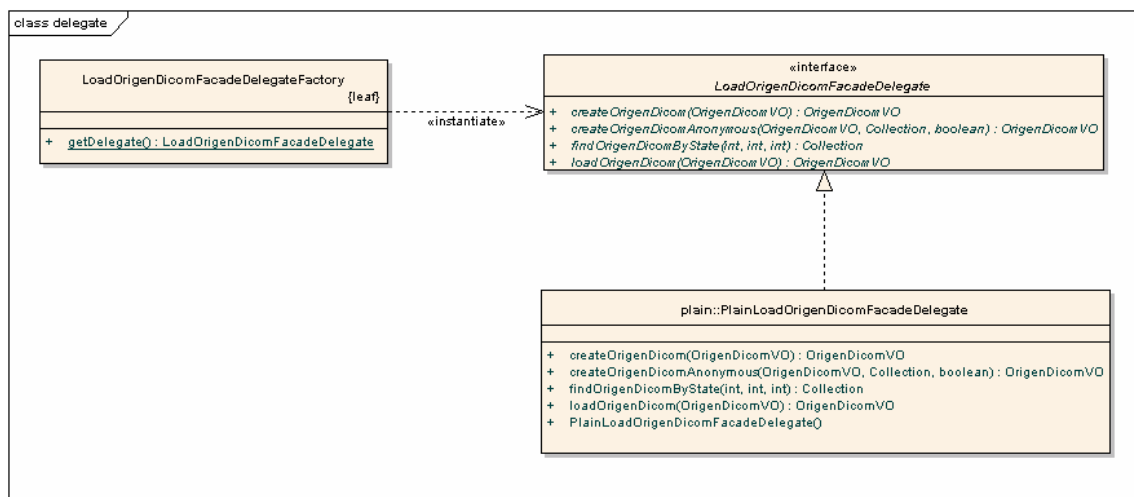


Figura 62. Arquitectura del LoadOrigenDICOM.

### Módulo de Consulta y Recuperación

El objetivo del módulo de consulta es proporcionar los medios para el acceso a la información almacenada en la base de datos y la recuperación de ficheros DICOM. Hay que tener en cuenta los diferentes modelos de información que implementa el sistema. Se necesitan dos métodos diferentes para cada nivel (paciente, estudio, serie e imagen) del modelo de información de consulta/recuperación: uno de consulta de información de dicho nivel y otro de recuperación de información que devuelve los ficheros DICOM.



Además, se proporciona un método que permite el acceso de la información de paciente y estudio conjuntamente, para el caso especial del modelo de información con raíz estudio.

Por último, para consultar las entidades de aplicación registradas en el *SMIS* y enviarle los objetos solicitados en una operación MOVE, se proporciona un método que consulta esta información en la base de datos.

Se definen una serie de objetos valor que agrupan los atributos que se utilizan para realizar las búsquedas.

La Figura 63 muestra la arquitectura diseñada.

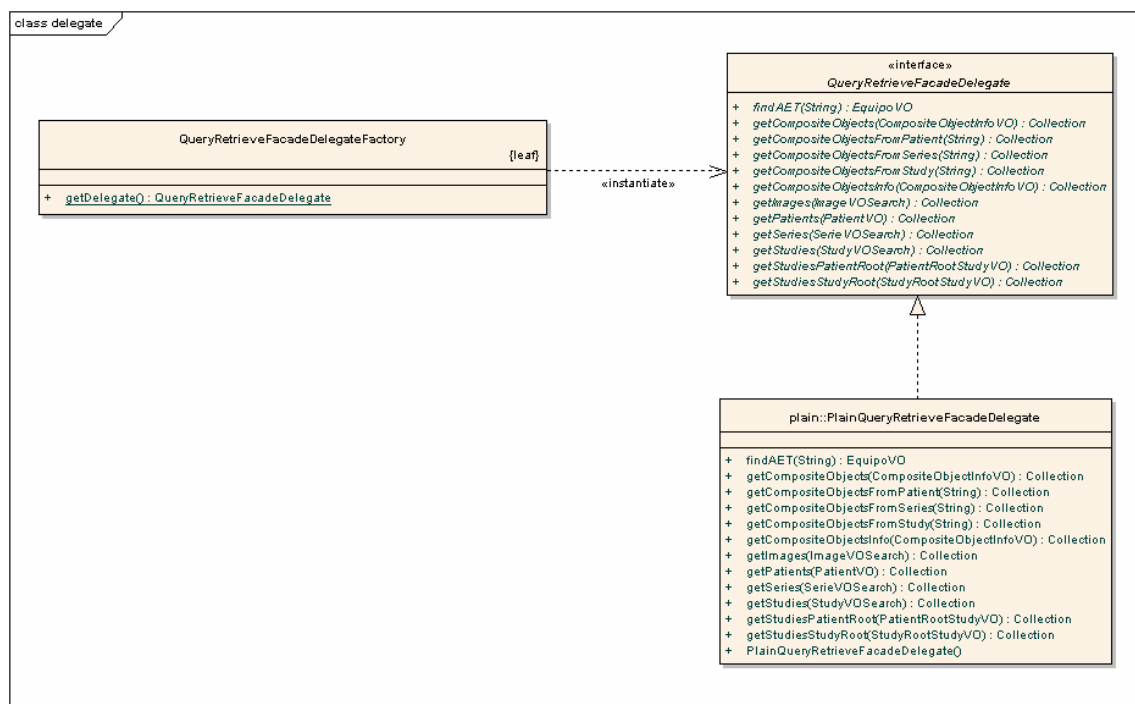


Figura 63. Fachada Query/Retrieve.

### Módulo de Consulta de Listas de Trabajo

Este módulo proporciona el soporte para la realización de una búsqueda de las listas de trabajo pendientes que se encuentran programadas en el sistema. Para ello, se proporciona un único método, *getWorklistItems*. Se han definido objetos valor propios en éste módulo, que se describen a continuación:

- FindWorklistsVO (Ver Figura 64): Es el conjunto de atributos utilizados para realizar la consulta al sistema; es decir, aquellos atributos que se utilizarán para comparar al buscar listas de trabajo en el sistema. Los atributos utilizados son los definidos como “mandatory” (obligatorio) por el estándar.
- WorklistVO (Ver Figura 64): Es una lista de trabajo según la define el esquema DICOM; es decir, un paciente, un ISR (Imaging Service Request), un RP (Requested Procedure) y un SPS (Scheduled Procedure Step).

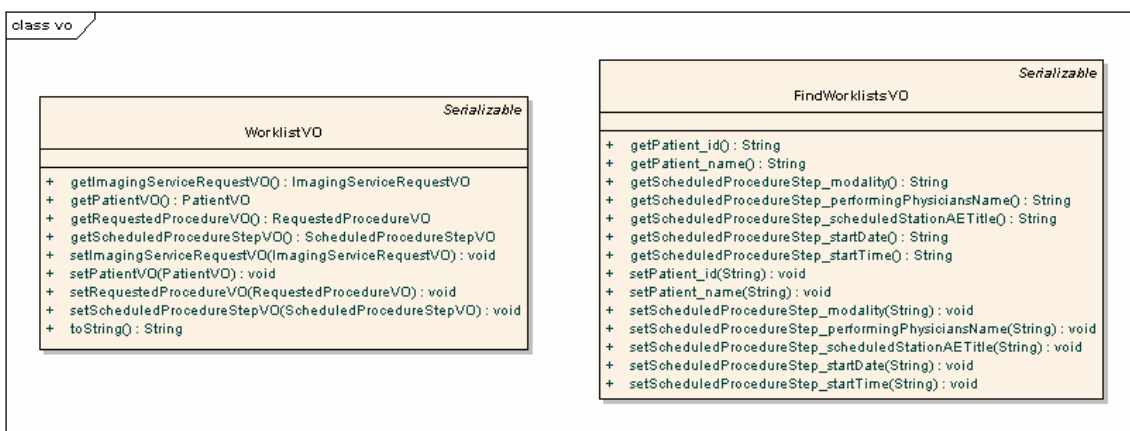


Figura 64. Clases que definen los objetos valor del módulo “Consulta Listas de Trabajo”.

En la Figura 65 se puede observar la arquitectura de la fachada.

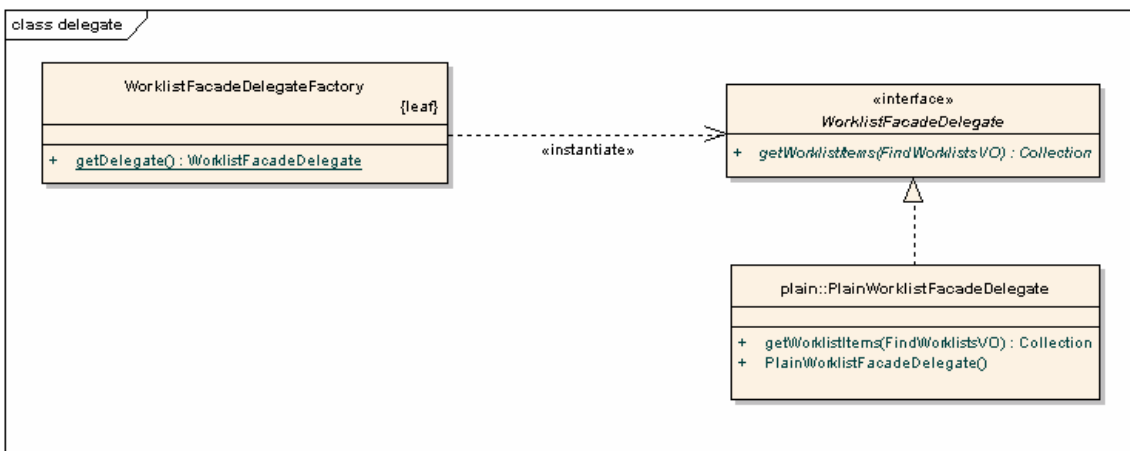


Figura 65. Fachada Worklist.

### 3.2 Subsistema de Adquisición de Estudios Angiográficos

El Subsistema de Adquisición de Estudios Angiográficos está formado por varios módulos estructurales, que se describen a continuación, en la Figura 66.

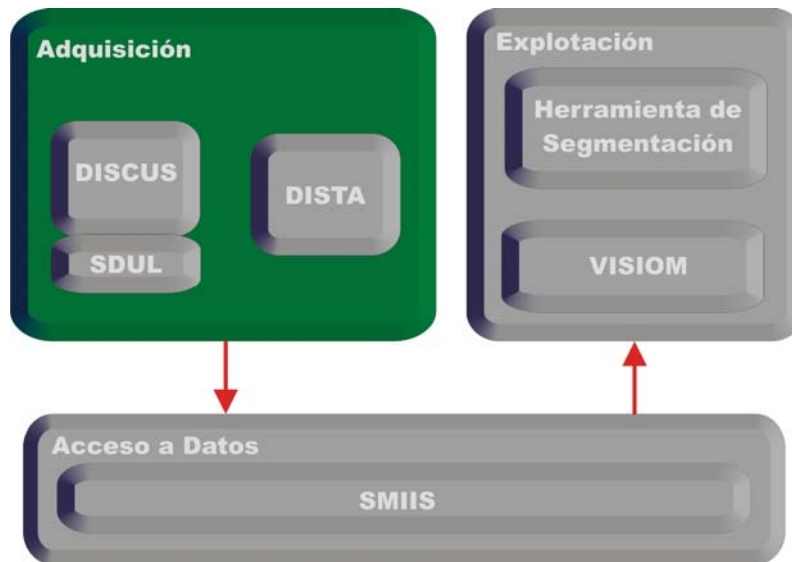


Figura 66. Arquitectura del Sistema. Módulos del Subsistema de Adquisición.

El módulo SDUL proporciona un conjunto de primitivas que implementan el DIMSE de DICOM; es decir, el conjunto de primitivas que permiten la comunicación entre dos entidades de aplicación. Por lo tanto, el objetivo de este módulo es proporcionar los servicios de comunicaciones de protocolos de capa superior a una entidad de capa de aplicación DICOM, en este caso al módulo denominado DISCUS.

El módulo DISCUS es una entidad de capa de aplicación DICOM que proporciona tanto servicios de primera dimensión DICOM como “Verificación” y “Almacenamiento”, como los servicios de segunda dimensión DICOM “Consulta/Recuperación” y “Listas de Trabajo” de la modalidad.

El módulo DISTA, facilita la adquisición de estudios DICOM desde un dispositivo de almacenamiento secundario. Se encarga de proporcionar los mecanismos necesarios para adquirir la información histórica presente en el servicio en el momento de la implantación.

### 3.2.1 Secure DICOM Upper Layer (SDUL)

#### Estructura

Para el diseño de SDUL se han utilizado tres capas (ver Figura 67). La primera de ellas corresponde con el paquete encargado de dotar de los mecanismos de seguridad necesarios al sistema (SecurityLayer). Proporciona un envoltorio seguro sobre la conexión (“socket”) de DICOM Upper Layer y los métodos necesarios para escribir y leer sobre la nueva conexión segura, denominada “SSLSocket”.

La segunda capa está formada por el paquete “DicomUpperLayer” y proporciona los servicios de comunicaciones DICOM de capas superiores, definidos por el estándar.

La tercera capa, “StateMachine”, se utiliza para modelar los estados por los que puede transcurrir el proceso de conexión que se lleva a cabo entre dos entidades que implementan los servicios “dicomUpperLayer”. El conjunto de estados por los que pasa la conexión se definen en el diagrama de transición de estados de la Figura 44.

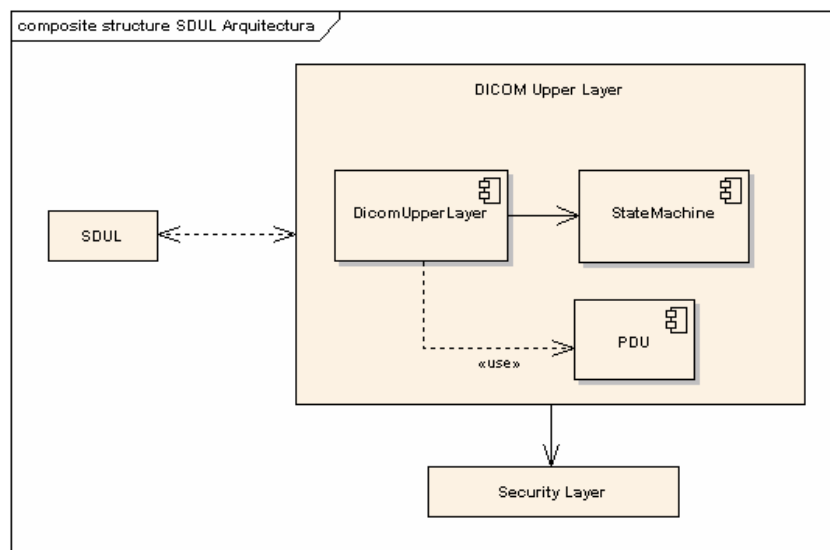


Figura 67. Estructura del módulo SDUL.

#### Funcionamiento

Un objeto de la clase “DicomUpperLayer” debe escuchar las peticiones que una entidad DICOM le realiza a través del “socket”. Estas peticiones llegan como un flujo bytes, que

deben ser “parseados” para construir la PDU pertinente. De esta función se encarga PDUCreator, creando una instancia de la clase PDU recibida.

El estándar DICOM define un tiempo denominado “*Artim Time*” que controla el tiempo entre el establecimiento o finalización de una conexión y la petición de asociación, se debe definir una tarea que emita un evento al agotarse el tiempo definido.

La interacción con el usuario del servicio de capa superior proporcionado por los paquetes anteriores se lleva a cabo de dos formas distintas dependiendo de la dirección. La asociación entre el usuario y el proveedor del servicio es realizada a través de la clase SDUL, un punto de acceso al servicio SAP. La clase DICOMUpperLayer se comunica con el usuario del servicio a través de la interfaz DULServiceUser, que debe ser implementada por aquellas aplicaciones que deseen utilizar SDUL.

A continuación, se definen cada uno de los componentes del módulo, describiendo cual es su objetivo, estructura y definición de detalles para la implementación.

### 3.2.1.1 Componente “Security Layer”.

Este componente tiene como objetivo proporcionar los mecanismos de seguridad necesarios al componente “DICOM Upper Layer”. Utiliza los servicios de la capa de transporte proporcionados por los protocolos SSL y TLS. Permite añadir nuevas funcionalidades de seguridad complementarias como la incorporación de un servicio de auditoría de accesos.

Su estructura se puede observar en la figura Figura 68.

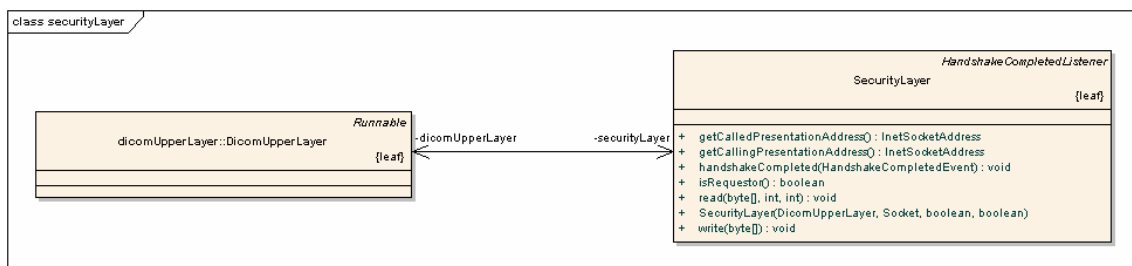


Figura 68. Estructura del componente "Security Layer".

### **Definición de Detalles para la Implementación:**

La clase SecurityLayer crea un envoltorio de seguridad (SSLSocket) sobre el “socket” que recibe como parámetro. Para ello, primero lee de un fichero de configuración la ubicación de los almacenes de claves y certificados y la clave necesaria para realizar su descifrado.

Se ha utilizado el “API Logging” de Java para proporcionar un “fichero de log” donde quedan registrados todos los accesos al “socket” (dirección IP desde la que se hizo la conexión, fecha, hora y si ha tenido éxito o no).

Para registrar los accesos con éxitos ha sido necesario implementar la interfaz “HandshakeCompletedListener” que debe incorporar un método “handshakeCompleted” que indica la acción a realizar cuando finaliza la fase de mutuo acuerdo TLS.

#### **3.2.1.2 Componente “DICOM Upper layer”.**

El objetivo de este módulo es proporcionar los servicios de las capas superiores definidos en el estándar DICOM. Estos servicios se corresponden con el elemento de servicio para el control de la asociación y la unidad de datos de protocolo (PDU) P-DATA del modelo OSI.

La estructura de este componente se detalla en la Figura 69.

### **Definición de los detalles de implementación.**

Cuando se diseña un sistema bajo el paradigma de orientación a objetos, éstos utilizan el paso de mensajes síncronos o asíncronos, mediante invocaciones a métodos, para comunicarse entre sí. Este sistema de paso de mensajes es fácilmente aplicable en el diseño del sistema, pero su implementación se convierte en una labor ardua.

Durante la fase de análisis se observó que los mensajes que “DICOMUpperLayer” debía enviar a “DULServiceUser” debían ser asíncronos. Este comportamiento se determinó debido a que, tras el envío de un mensaje DICOM a través del servicio de presentación P-DATA, se efectúa la ejecución de un servicio DIMSE, que podría ser costoso en tiempo, como por ejemplo almacenamiento en una base de datos, invocación que provoca varias consultas a base de datos, etc. Durante el proceso, la entidad usuaria podría emitir un

mensaje de cancelación de la asociación o incluso de cancelación del servicio. Si los mensajes no fuesen asíncronos o si la entidad usuaria no utilizase un nuevo hilo para la realización del servicio, la acción de cancelación no se llevaría a cabo hasta que finalizase el proceso. Otra situación anómala que podría producirse sería la saturación del “buffer” del “socket”, que provocaría la pérdida de los mensajes de cancelación.

La solución más sencilla sería utilizar un hilo por cada método, pero esta opción fue desechada debido a que la creación de hilos es costosa y, en este caso, la creación de hilos sería constante y tendrían un tiempo de vida muy corto. Otra solución evaluada fue la utilización de un conjunto (“pool”) de hilos, pero debido a problemas de sincronización entre los diferentes “threads”, las imágenes de los estudios recibidos no eran procesadas correctamente. Finalmente, se optó por el uso de un hilo trabajador (“worker thread”) que introduce en una cola los métodos de “DULServiceUser” que deben ser invocados.

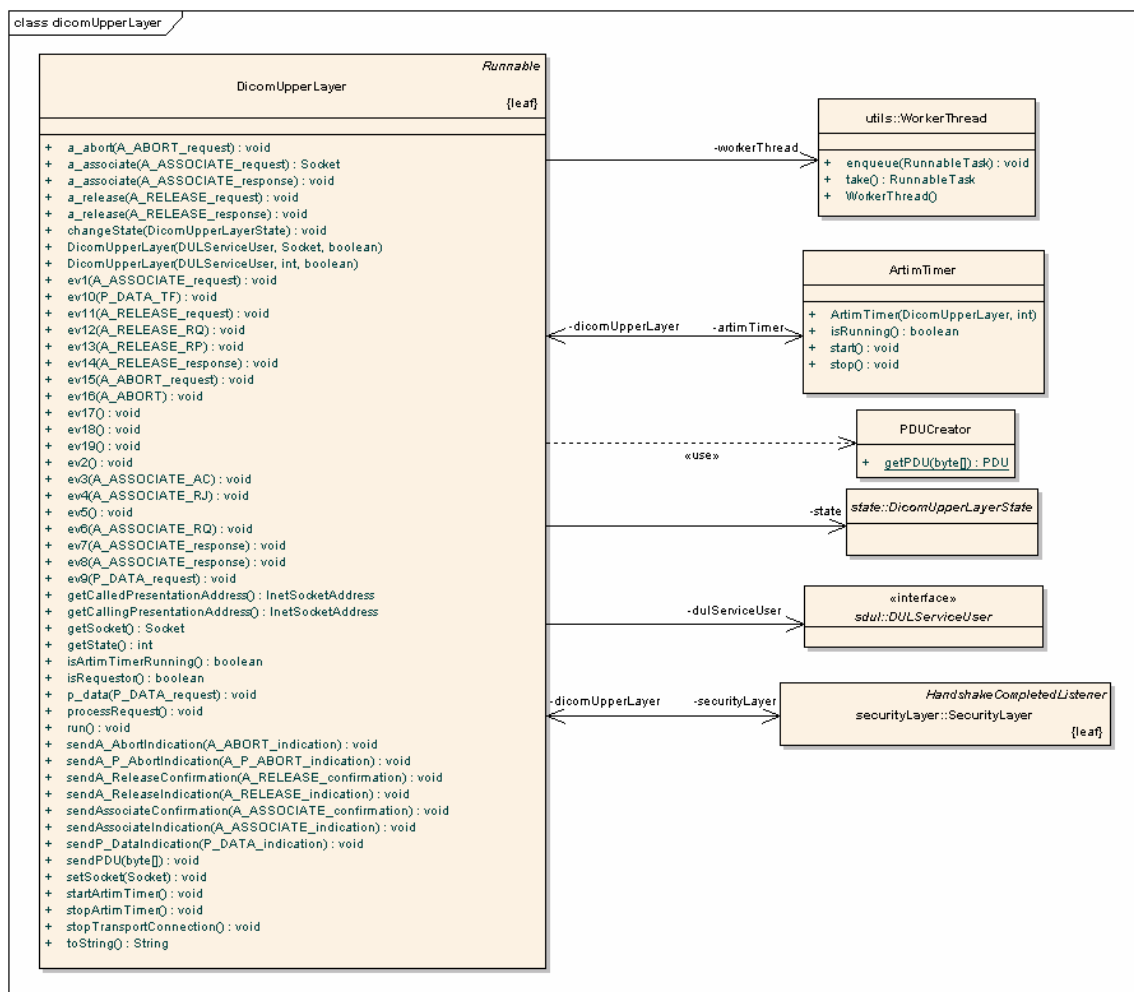


Figura 69. Estructura del componente "DICOMUpperLayer".

### 3.2.1.3 Componente "StateMachine"

Este componente tiene como objetivo representar los estados de la asociación de un objeto de tipo "DICOMUpperLayer". Cuando se produce un evento de los definidos en la fase de análisis, se realiza una acción dependiente del estado actual de la asociación. Para desarrollar un componente mantenible y reutilizable, en lugar de codificar la transición (cambios de estado, eventos y acciones) de estados en la clase "DICOMUpperLayer" se efectúa en el componente "StateMachine", facilitando que la asociación entre entidades "DICOMUpperLayer" se pueda adaptar a nuevas especificaciones.

La estructura del componente se puede ver en la Figura 70.

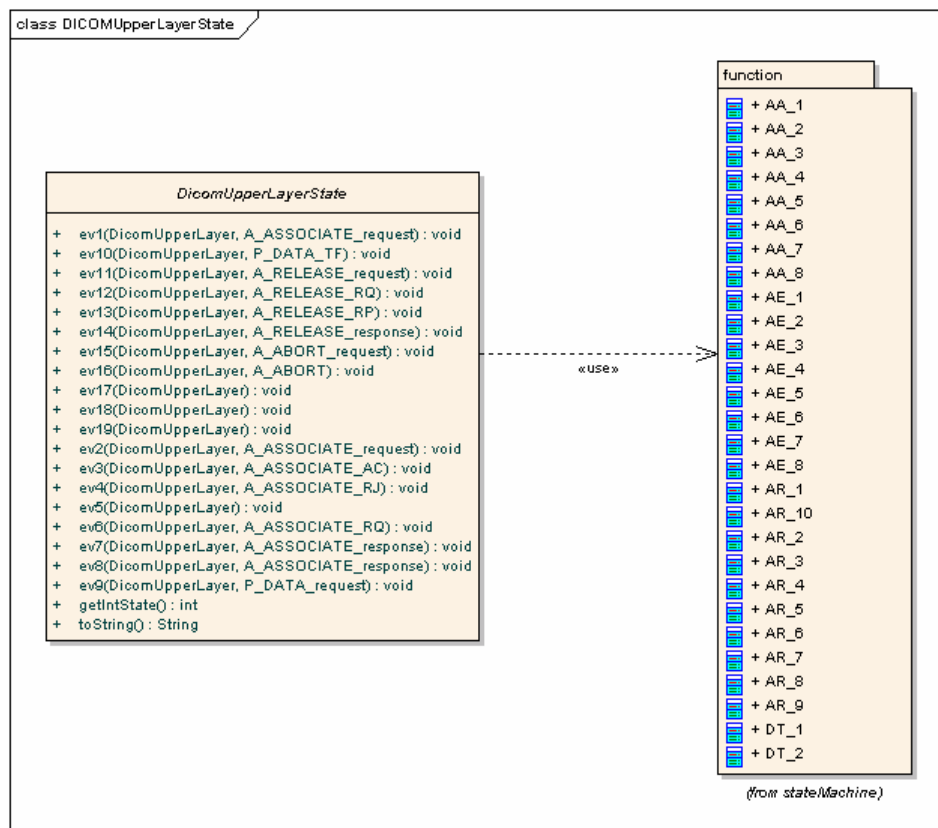


Figura 70. Estructura del componente "StateMachine".

### 3.2.1.4 Componente "PDU"

El objetivo de este componente es implementar las Unidades de Datos de Protocolo (PDU) que es utilizan en el intercambio de mensajes entre aplicaciones. La arquitectura del componente se muestra en el diagrama de la Figura 71.





### 3.2.1.5 Componente SDUL

Este componente recibe el mismo nombre que el módulo completo, “SDUL”, debido a que es la fachada de acceso a la funcionalidad completa que proporciona el módulo para una entidad DICOM de capa de aplicación que implemente la interfaz “DULServiceUser”.

Para permitir la comunicación entre el proveedor del servicio de capa superior (SDUL) y el usuario del mismo se había definido la interfaz “SDULServiceUser”. De este modo, se permite la invocación de métodos.

El objetivo de este módulo es aportar un conjunto de interfaces y una implementación de referencia de las primitivas definidas en el estándar DICOM.

El diagrama que representa la estructura del componente se puede ver en la Figura 72.

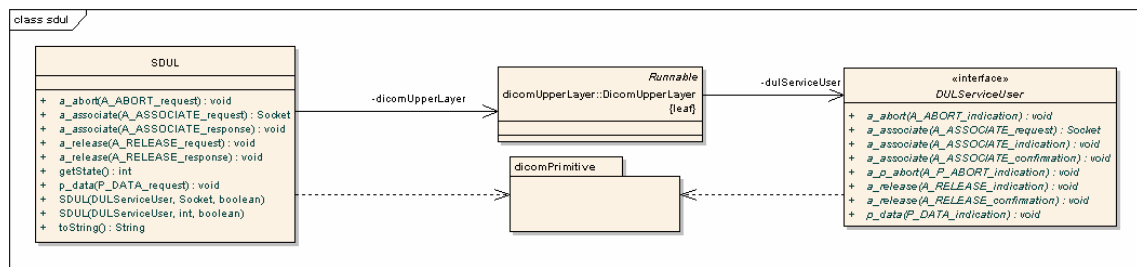


Figura 72. Estructura del componente "SDUL".

Este paquete aporta un conjunto de interfaces y una implementación de referencia de las primitivas definidas en el estándar DICOM.

En la Figura 73, se muestran las implementaciones de todas las primitivas y un ejemplo de como se utilizan los interfaces en las asociaciones.

### 3.2.2 DICOM Secure Server (DISCUS)

El diseño del módulo servidor DISCUS consta de dos unidades funcionales agrupadas en paquetes: “Application Entity” (AE) y “Service”.

- “Application Entity” se encarga de gestionar las asociaciones con otras “Application entities”, de recibir los mensajes enviados desde las AEs remotas y enviar a dichas AEs los mensajes DICOM desde la AE local.

- “Service” implementa cada servicio para el que DISCUS declara su conformidad.

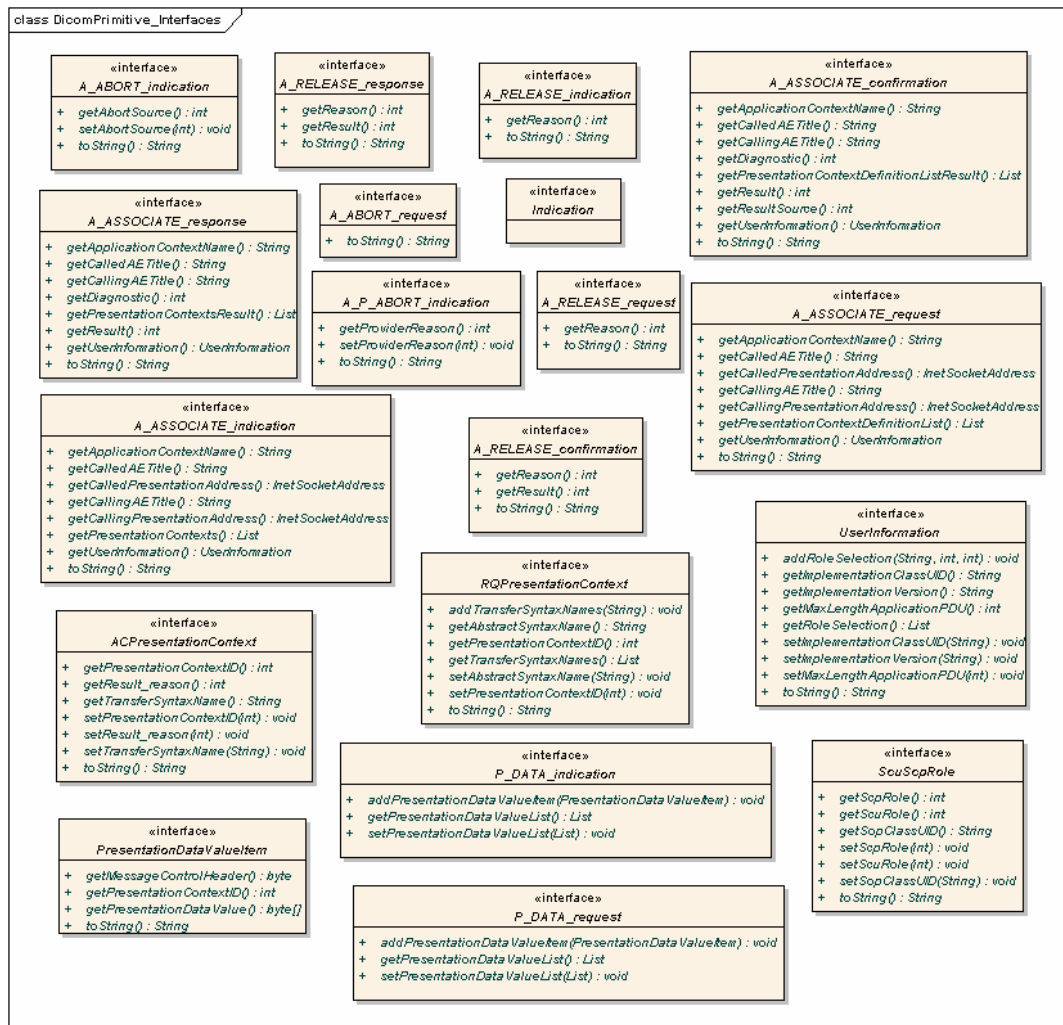


Figura 73. Interfaces de las primitivas DICOM.

A continuación, se describen de forma más detallada estos dos componentes.

### 3.2.2.1 Componente “Application Entity”

El objetivo de este componente es gestionar la asociación entre la instancia local DISCUS con otras entidades DICOM de capa de aplicación remotas. Implementa el protocolo DIMSE y una interfaz con la capa de seguridad SDUL, mediante la clase “DULServiceImpl”. Cuando el servidor recibe una conexión de una entidad de aplicación DICOM remota crea una entidad de aplicación (AE) local que se hará cargo del paso de mensajes y de la negociación de las asociaciones. Dentro de ésta, se deben crear distintas

clases: “DIMSEProtocolMachineImpl” realizará las labores de envío y recepción de mensajes DICOM, “UserElemenImpl” negociará la asociación con la AE remota y si es aceptada creará una “Association”.

La arquitectura del componente se puede ver en la Figura 74.

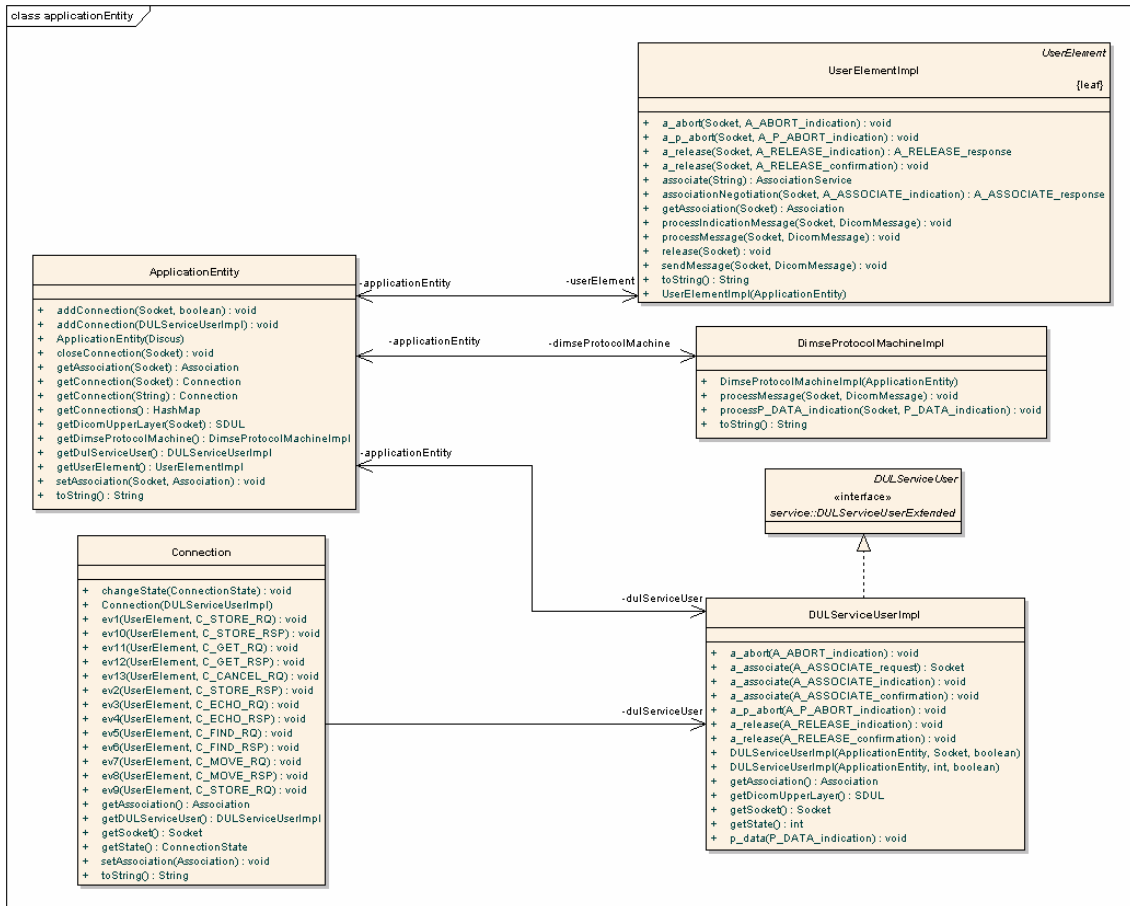


Figura 74. Estructura del componente "Application Entity".

### 3.2.2.2 Componente “Service”

Esta unidad funcional se compone de tres elementos básicos: “ServerServices”, “ServiceStrategies” y “View”.

El primero de ellos, “ServerServices”, contiene la infraestructura software necesaria para construir mensajes DICOM y proporcionar los servicios C-ECHO, C-STORE, C-FIND, C-MOVE y C-GET. Implementa la lógica propia del servicio, dejando sin implementar el procesamiento de la solicitud recibida en el proveedor de servicio (patrón estrategia),

permitiendo así que distintos sistemas que utilicen el componente “Service” proporcionen sus propias estrategias de procesamiento.

Los servicios C-GET y C-MOVE detectan el momento en que se responde a sus solicitudes de almacenamiento, respondiendo con nuevas solicitudes de almacenamiento en caso de que queden ficheros DICOM por enviar o bien finalizando la asociación y enviando una respuesta con el estado apropiado a la entidad que solicitó el servicio C-MOVE o C-GET (patrón observador).

Se observa que la estructura es similar en la mayor parte de los servicios. Esto es debido a que contienen una serie de elementos comunes que son:

- Los mensajes de solicitud de servicio, ya sea C\_ECHO\_RQ, C\_STORE\_RQ, C\_FIND\_RQ, C\_MOVE\_RQ, y C\_GET\_RQ, extienden la clase DICOMRequestMessage que, como su propio nombre indica, es una clase abstracta que implementa los mensajes de solicitud en DICOM.
- Los mensajes de respuesta al servicio, C\_ECHO\_RSP, C\_STORE\_RSP, C\_FIND\_RSP, C\_MOVE\_RSP, y C\_GET\_RSP, a su vez extienden la clase DICOMResponseMessage, que implementa los mensajes de respuesta de DICOM.
- Las clases que implementan el comportamiento de SCP o SCU para una entidad de aplicación, implementan el interfaz ServiceProcessor.

A continuación, en la Figura 75, Figura 76, Figura 77, Figura 78 y Figura 79, se muestra la arquitectura de los servicios DICOM diseñados:

C-ECHO:

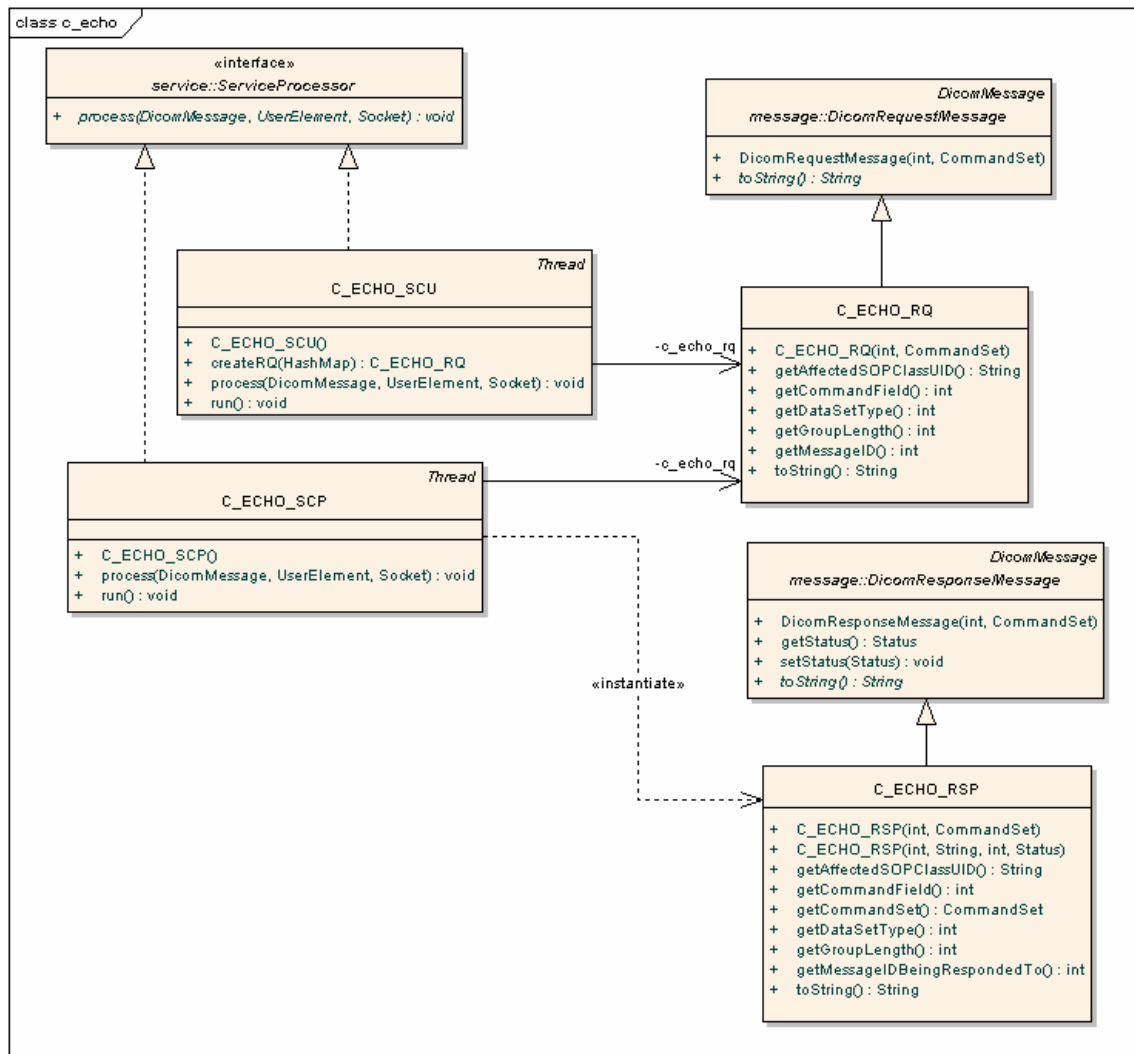


Figura 75. Arquitectura del paquete C-ECHO.

C-STORE:

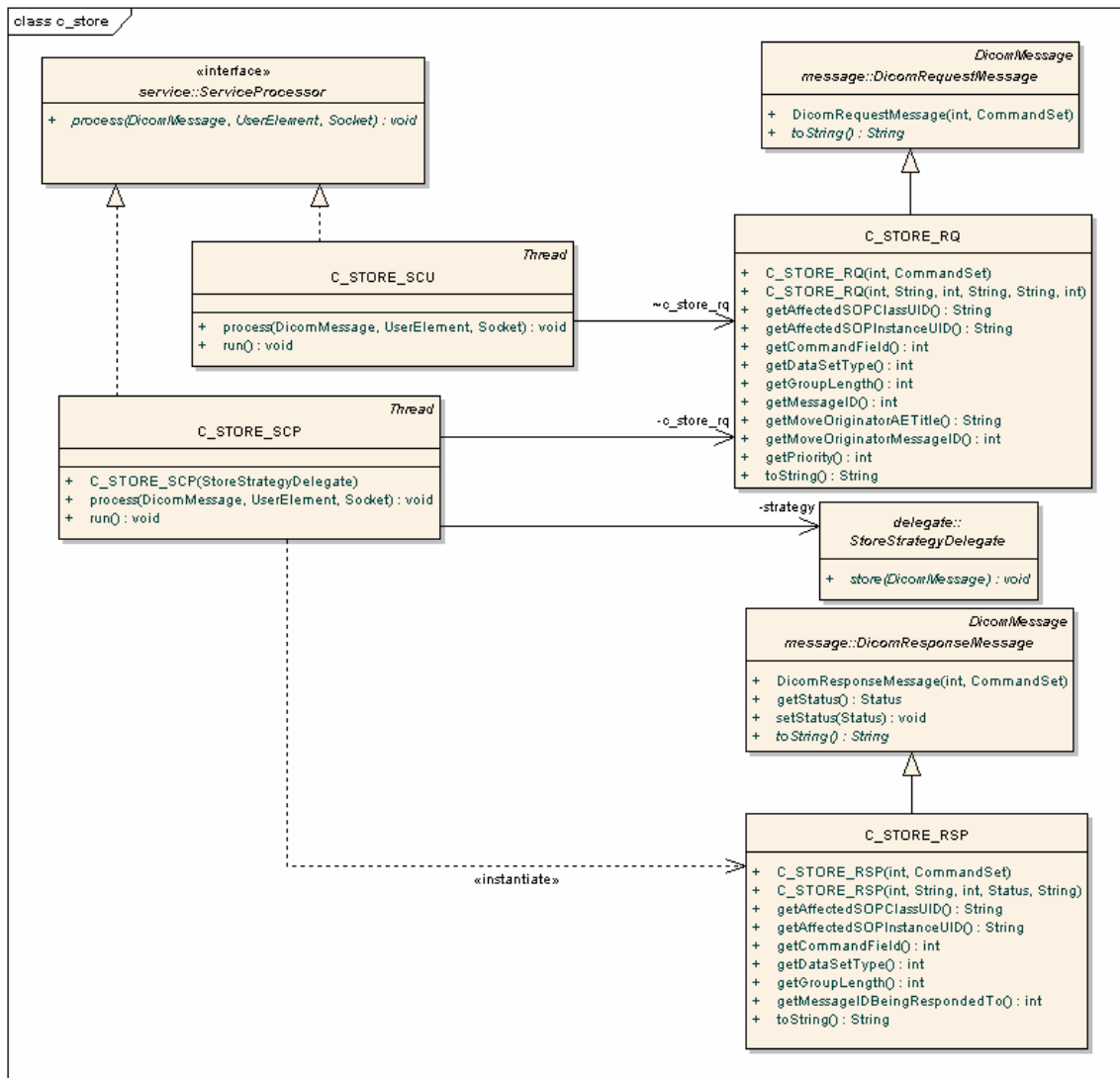


Figura 76. Arquitectura del paquete C-STORE.

C-FIND:

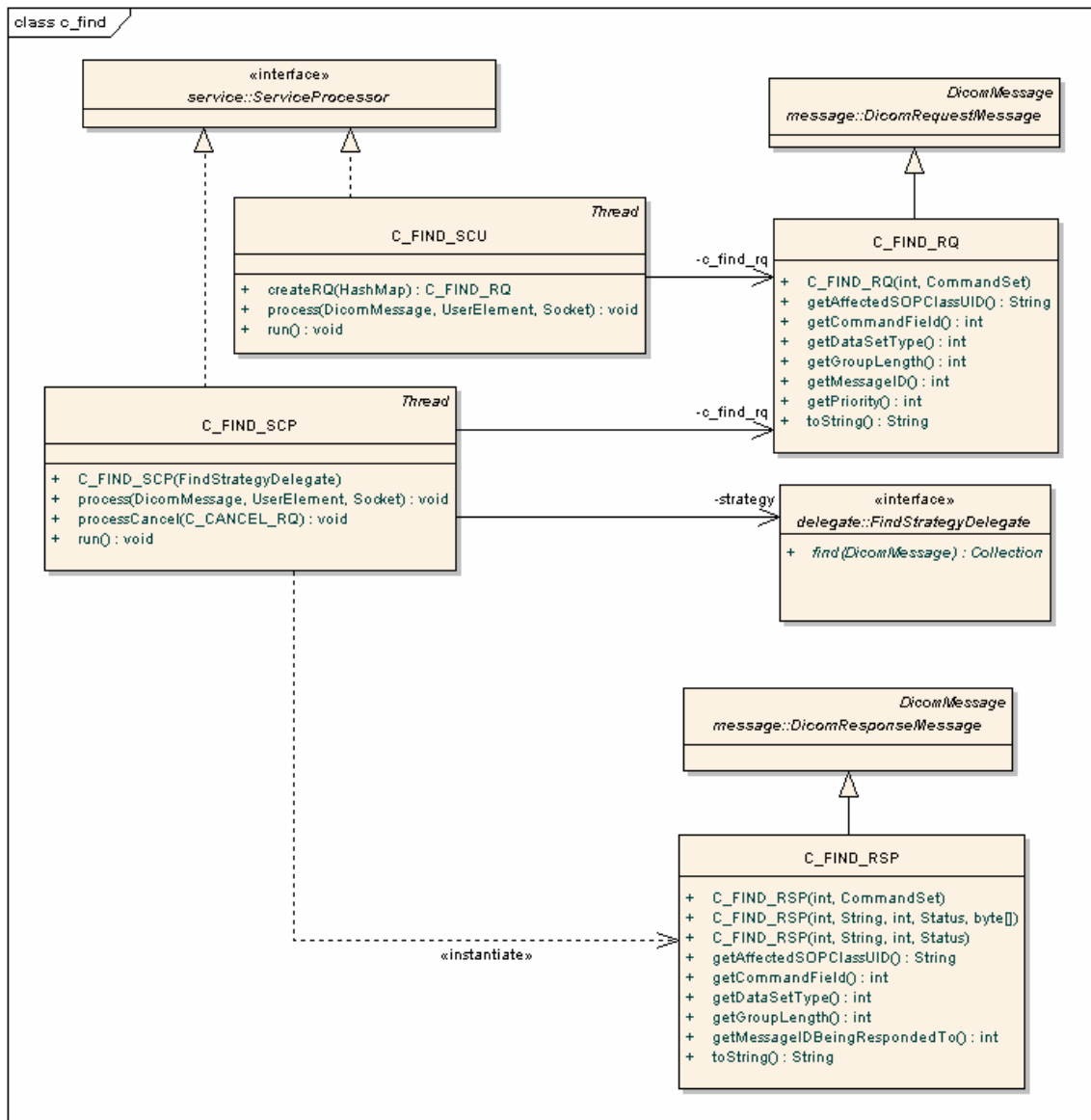


Figura 77. Arquitectura del paquete C-FIND.



C-MOVE:

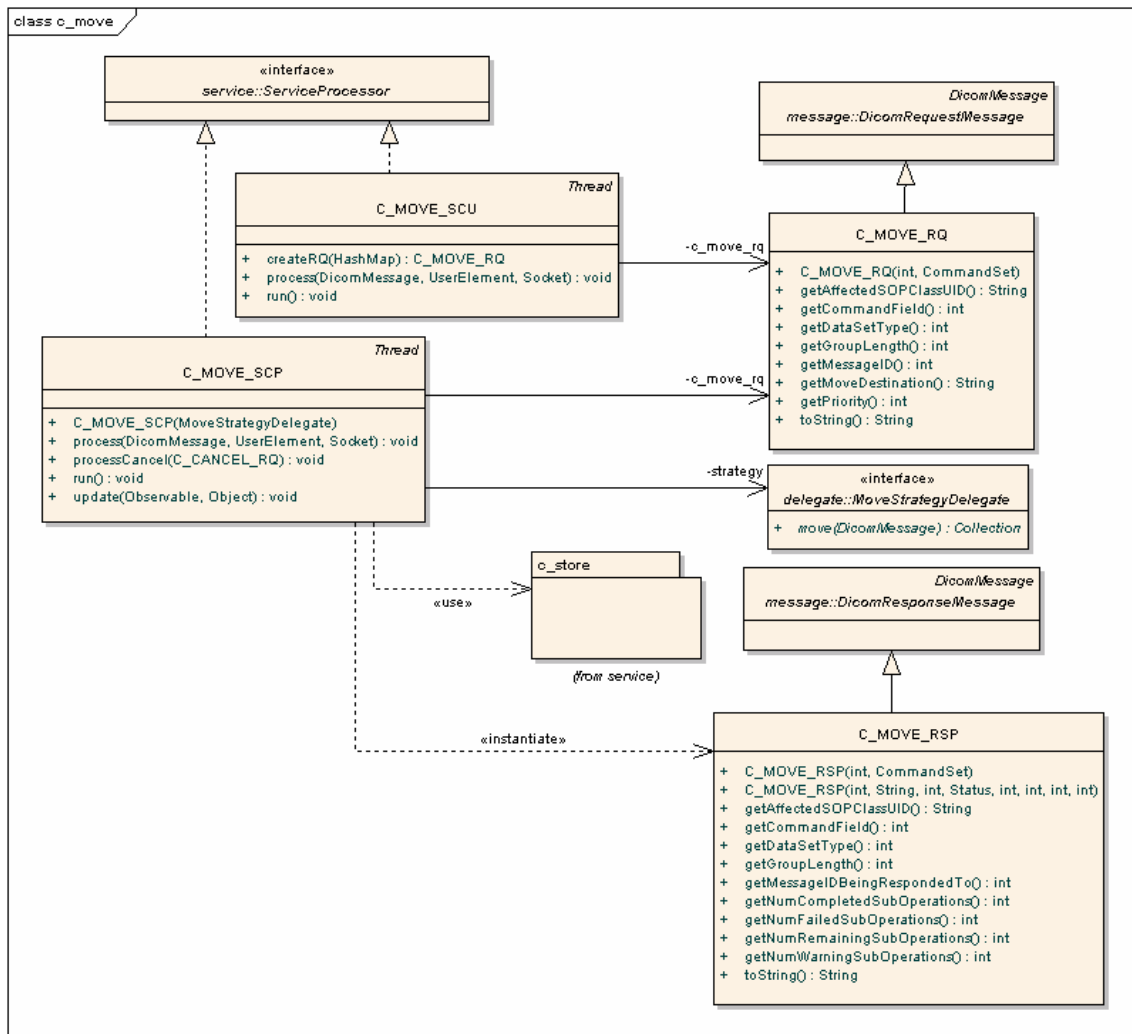


Figura 78. Arquitectura del paquete C-MOVE.

C-GET:

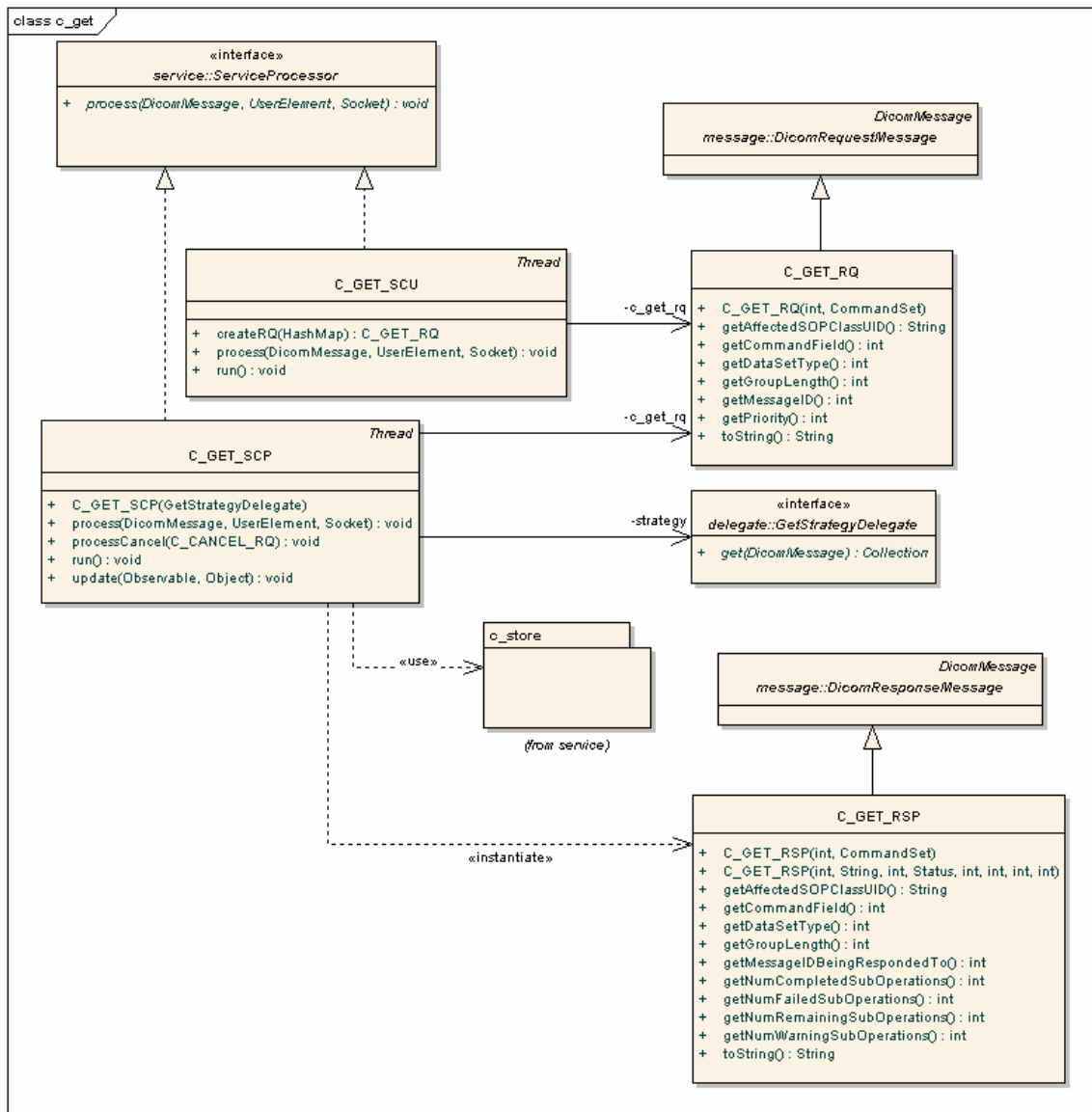


Figura 79. Arquitectura del paquete C-GET.

El segundo componente, “ServiceStrategies” tiene como objetivo implementar las estrategias de los distintos servicios que proporcionará el sistema. Se ha diseñado de tal forma que permita utilizar distintas estrategias para cada servicio. Esta elección se efectúa mediante la configuración de un parámetro. Se ha desarrollado una estrategia para cada servicio, excepto en el caso del servicio de almacenamiento. Este componente está preparado para incluir nuevas estrategias con sólo extender la interfaz definida en el subsistema “Service” para la estrategia en cuestión. La implementación de las diferentes estrategias puede observarse en el diagrama de la Figura 80.

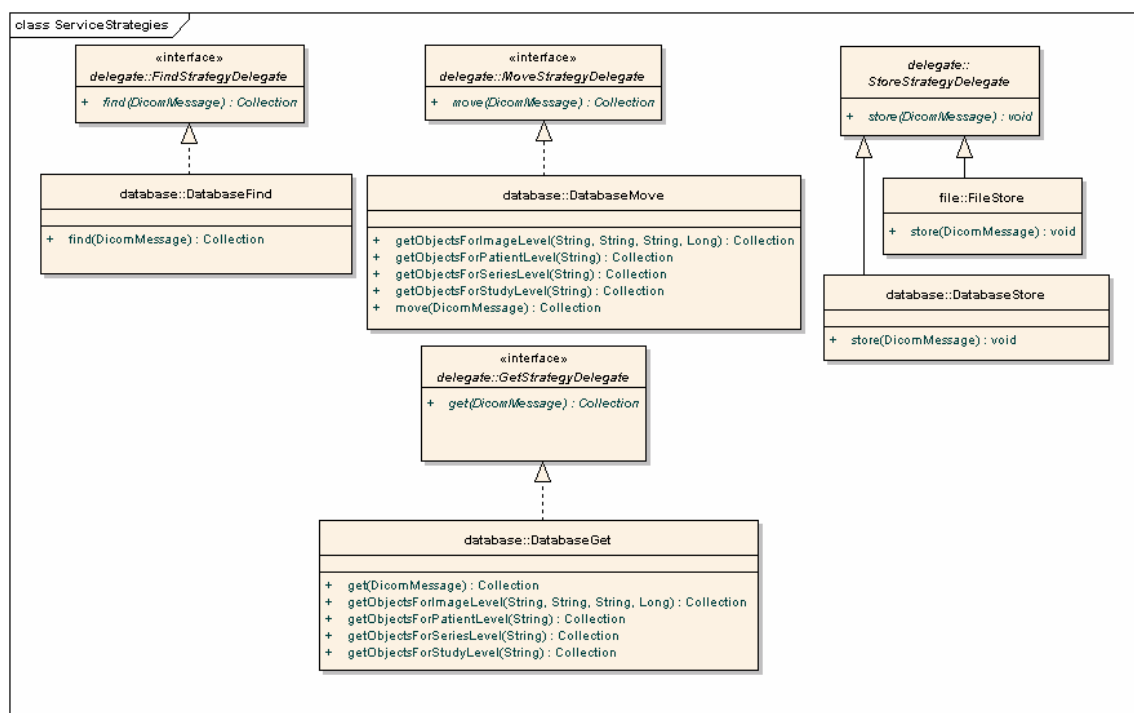


Figura 80. Estrategias de procesamiento de peticiones de servicios en DISCUS.

El componente “View” permite la interacción del usuario administrador con “DISCUS”. Esta puede llevarse a cabo, bien a través de una interfaz de línea de comandos o bien desde una interfaz gráfica. Por este motivo, se ha realizado la separación entre la capa “modelo” y la capa “controlador – vista”.

La capa “modelo” es el componente que contiene las clases e interfaces que definen la lógica de negocio. La capa “controlador – vista” define como se representan los datos al usuario y la conexión con el modelo.

### 3.3 Subsistema de Explotación

Este subsistema está diseñado de forma modular, de manera que la incorporación de nuevos elementos sea sencilla.

Como se puede observar en la Figura 81, consta de dos módulos básicos, el primero de ellos VISIOM, se encarga de interactuar con el Subsistema de Acceso a Datos, proporcionando una interfaz común para cualquier herramienta de segmentación del árbol coronario que posea el subsistema.

El segundo módulo, donde se encuentran recogidas las herramientas de segmentación del árbol coronario, se encarga de procesar la información obtenida de los estudios angiográficos digitales para cuantificar la información contenida en sus imágenes. Tal y como se detalló en el apartado de análisis, estas herramientas permiten extraer el árbol coronario desde las imágenes, utilizando para ello las diferentes proyecciones de las que consta un estudio; etiquetar los segmentos arteriales obtenidos y finalmente utilizar dichos segmentos etiquetados para construir un modelo arterial. El subsistema dimensiona un modelo de árbol coronario artificial genérico [DODG-88], utilizando información extraída de las imágenes angiográficas.

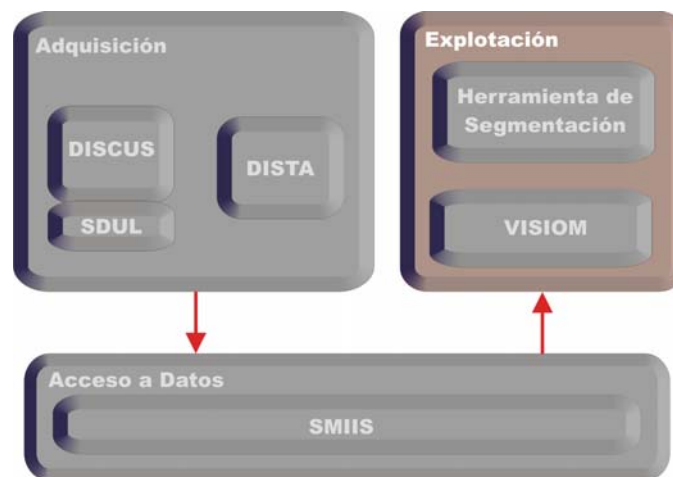


Figura 81. Estructura del Subsistema de Explotación.

El clínico indica la posición de la estenosis y, a continuación, el sistema proporciona, entre otros datos, el porcentaje de árbol coronario afectado por la estenosis, cuya determinación constituye uno de los objetivos básicos de este trabajo.

También permite el acceso a los estudios ya realizados. Desde este subsistema se puede hacer el seguimiento de los pacientes, accediendo a los estudios completos realizados con anterioridad, obteniendo en cada caso, segmentaciones, ubicación de estenosis, modelo arterial artificial, volumen coronario total, volumen coronario afectado por estenosis y porcentaje de árbol coronario afectado por estenosis. Esta información es de especial relevancia en el caso de los pacientes que son sometidos a varias intervenciones separadas en el tiempo.

Se describe, a continuación, el diseño de las estructuras de datos utilizadas y de cada uno de los módulos que componen el subsistema.

### 3.3.1 Estructuras de Datos necesarias

El objetivo final del subsistema es obtener un árbol arterial coronario del cual poder adquirir información. Es necesario diseñar las estructuras de datos que soporten la consecución de estos resultados.

Se tomó la decisión de utilizar tecnología basada en objetos puesto que facilita la definición de estructuras de datos complejas y las metodologías modernas que modelan del desarrollo de sistemas de software, como el Proceso de Desarrollo Unificado de Software, optan por esta orientación [JACO-00].

Una vez seleccionada la tecnología se diseñan las estructuras de datos necesarias. En primer lugar se diseñó la estructura que da soporte al árbol coronario. El árbol coronario está compuesto por segmentos de arteria interconectados, siguiendo una estructura de grafo acíclico o árbol. Para representar se utiliza del patrón de diseño composición. En la Figura 82, se muestra un diagrama de las clases que da soporte a la estructura de árbol.

#### Descripción de las clases.

NOMBRE	ABSTRACTNODE
Descripción	Representa un nodo genérico del árbol. Este nodo contiene un segmento arterial con una etiqueta concreta

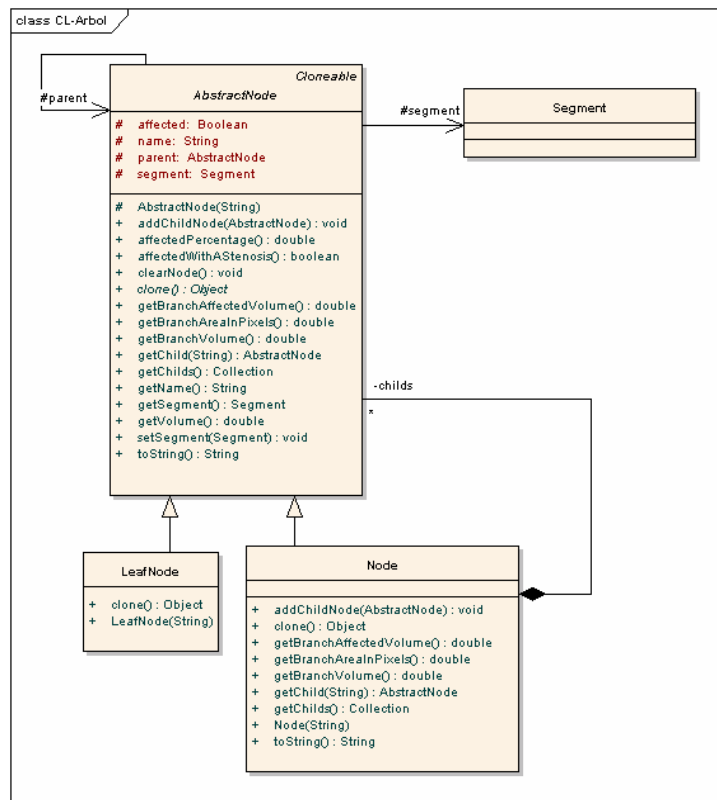


Figura 82. Estructura que representa al árbol coronario genérico.

**NOMBRE**      **NODE**

Descripción      Representa un nodo del árbol que, a su vez, contiene a más nodos genéricos

**NOMBRE**      **LEAFNODE**

Descripción      Representa un nodo del árbol que no contiene nodos genéricos en él, es decir, un nodo hoja.

**NOMBRE**            **SEGMENT**

Descripción            Representa el segmento arterial que contiene cada nodo. Es la estructura de datos encargada de almacenar la información extraída en la segmentación de la imagen. Para más detalle ver la Figura 83

**NOMBRE**            **CATHETER**

Descripción            Representa el catéter utilizado durante la intervención. Se ha construido una representación del mismo por la importancia que tiene a la hora de realizar la segmentación.

**NOMBRE**            **STENOSIS**

Descripción            Representa las posibles estenosis que se pueden encontrar en un segmento arterial.

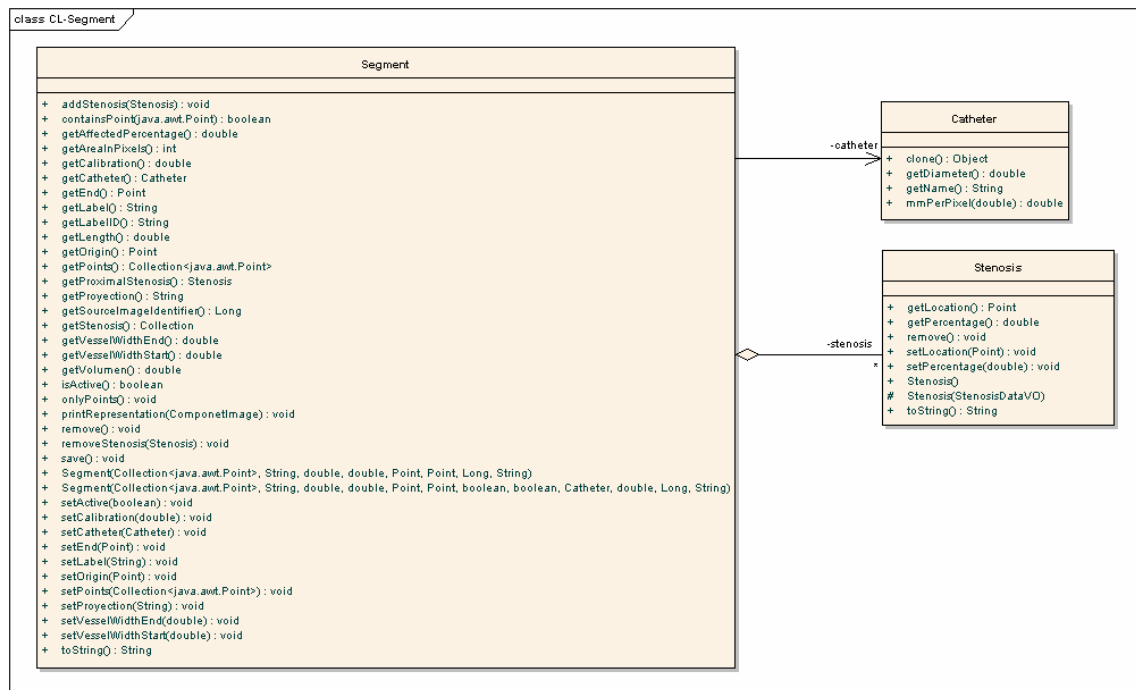


Figura 83. Descripción de la clase "Segment".

El árbol arterial está representado por una serie de nodos conexos. Obtener la referencia al nodo raíz es suficiente para acceder al árbol completo, sin embargo esto puede resultar poco eficiente. Es, por ejemplo, necesario recorrer todo el árbol para obtener la referencia a cada uno de los nodos hoja. Por tanto, se plantea crear una estructura que maneje el árbol de forma eficiente y oculte su verdadera estructura al resto del sistema.

**Descripción de las clases.**

**NOMBRE TREE MANAGER**

Descripción Controla todos los accesos al árbol haciéndolos más eficientes y ocultando la verdadera estructura arbórea. La descripción detallada de la clase se puede ver en la Figura 84

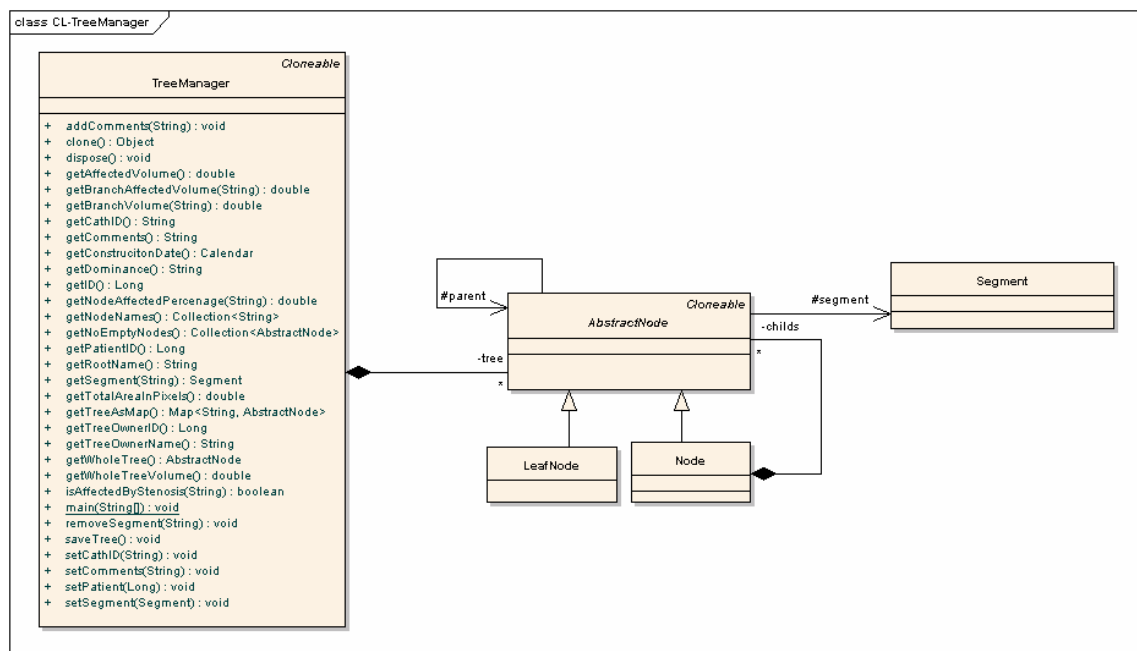


Figura 84. Descripción de la clase "TreeManager".

Tal y como se comentó en el capítulo de Fundamentos, existen tres tipos de disposición (dominancia) del árbol arterial coronario. Estas disposiciones son: Derecha, Izquierda y Balanceada. La clasificación de un árbol coronario en un tipo de dominancia concreto se



basa en cuáles son las arterias más desarrolladas, Coronaria Derecha, Coronaria Izquierda o bien ambas se desarrollan por igual. Debido a estas características, es necesario construir tres tipos de estructuras arbóreas. Para manejar esta situación de manera eficiente y, por lo tanto, la herramienta pueda construir dichas estructuras de manera rápida, se ha optado por definir una estructura similar a la propuesta por el patrón de diseño “Product Trader”. De esta manera, existe un entidad que crea los de tipos de árbol al principio de la ejecución y cuando se considera necesario se le solicita uno de ellos. El “Trader” del árbol realiza una copia del árbol pedido y la entrega. Además, en este caso, proporciona información como, por ejemplo, una relación de los nombres de los segmentos que definen una dominancia. Debido a que varios objetos del sistema necesitan acceder a él en cualquier momento, la clase propuesta es de tipo “Singleton” (Figura 85), es decir, siempre existirá una referencia al objeto residente en memoria a la cual podrán acceder el resto de objetos si lo precisan.

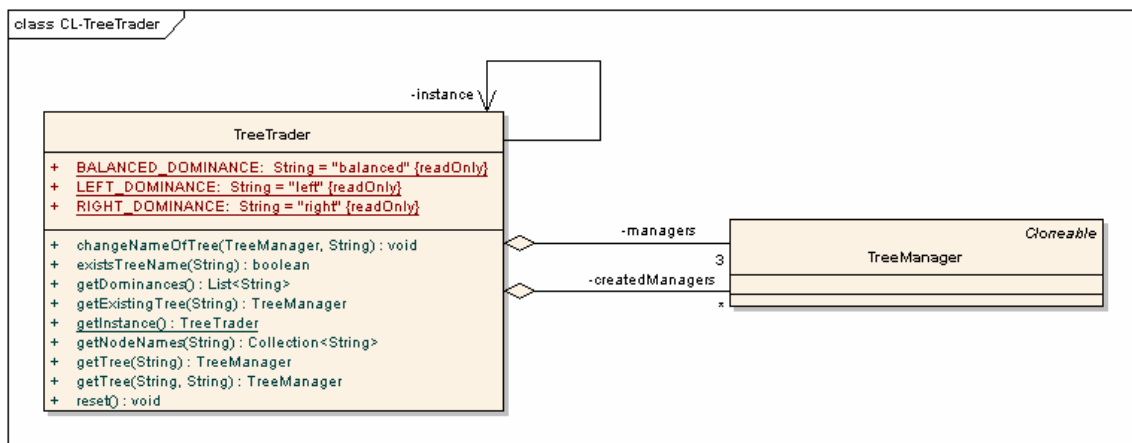


Figura 85. Definición de la clase "TreeTrader".

### Descripción de las clases.

NOMBRE	TREE TRADER
--------	-------------

Descripción	Se encarga de proporcionar instancias de la estructura arbórea al resto del sistema.
-------------	--

#### 3.3.2 El modelo de datos

Una vez definidos los objetos del dominio necesarios es pertinente diseñar como se almacenarán estos objetos de forma persistente.

Para dotar de persistencia al subsistema, se efectuó el siguiente diseño conceptual utilizando el modelado entidad relación extendido. Esta elección de representación se debe a que este tipo de diagrama es el más utilizado para el modelado de persistencia de información en la actualidad (ver Figura 86).

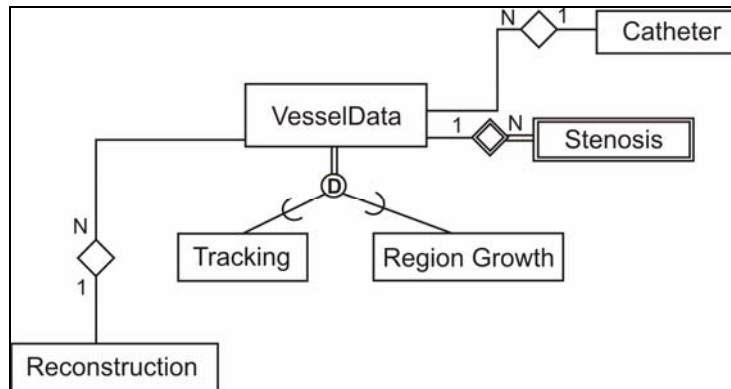


Figura 86. Diseño conceptual del modelo de datos.

### Definiciones

A continuación, se definen cada una de las entidades que forman parte del modelo, utilizando la siguiente notación:

- Tipos: Alfanumérico, numérico, booleano, byte.
- Restricciones: No nulo (NN); único (UQ).

Tabla XXXII: Entidad Catéter

ENTIDAD	CATHETER (catéter)			
DESCRIPCIÓN	Esta tabla almacena todos los catéteres que son utilizados en los cateterismos. Almacena los datos más relevantes de este instrumental y cada segmento estará asociado a alguna de las filas de esta tabla.			
ATRIBUTOS	NOMBRE	TIPO	RESTRICCIONES	OBSERVACIONES
	Nombre	Alfanumérico	NN UQ	Es un nombre identificativo del catéter. No puede repetirse.
	Diámetro	Numérico	NN	Diámetro del catéter.
	Descripción	Alfanumérico		Pequeña descripción (si se considera necesaria)

Tabla XXXIII: Entidad Información de Vaso

ENTIDAD	VESSELDATA			
DESCRIPCIÓN	Esta tabla almacena la información más relevante de los segmentos identificados después de la segmentación.			
ATRIBUTOS	NOMBRE	TIPO	RESTRICCIONES	OBSERVACIONES
	Inicio x	Numérico		Coordenada X del comienzo del vaso.
	Inicio y	Numérico		Coordenada Y del comienzo del vaso.
	Inicio z	Numérico		Coordenada Z del comienzo del vaso.
	Fin x	Numérico		Coordenada X del final del vaso
	Fin y	Numérico		Coordenada Y del final del vaso
	Fin z	Numérico		Coordenada Z del final del vaso
	Longitud	Numérico		Longitud del vaso ( <i>Atributo derivado</i> ).
	Ancho inicial	Numérico		Ancho del vaso en su parte superior ( <i>Atributo derivado</i> ).
	Ancho final	Numérico		Ancho del vaso en su parte inferior ( <i>Atributo derivado</i> ).
	Volumen	Numérico		Volumen de vaso ( <i>Atributo derivado</i> ).
	Factor de conversión	Numérico		Conversión de mm a píxeles
	Etiqueta	Alfanumérico		Etiqueta del segmento
	maskara	Bytes		Puntos en la imagen real

Tabla XXXIV: Entidad Información de Estenosis

ENTIDAD	STENOSISDATA			
DESCRIPCIÓN	Esta tabla almacena la información de los puntos estenóticos identificados en la imagen. Cada una de las entradas de esta tabla esta asociada al segmento en el que se encuentra.			
ATRIBUTOS	NOMBRE	TIPO	RESTRICCIONES	OBSERVACIONES
	Coordenada X	Numérico	NN	Coordenada X del punto estenótico.
	Coordenada Y	Numérico	NN	Coordenada Y del punto estenótico.
	Coordenada Z	Numérico	NN	Coordenada Z del punto estenótico.
	Severidad	Numérico	NN	Severidad de la estenosis en tanto por ciento.

Tabla XXXV: Entidad Reconstrucción

ENTIDAD	RECONSTRUCTION			
DESCRIPCIÓN	Esta tabla almacena los datos comunes a todos los nodos de una reconstrucción de un árbol arterial coronario. Los segmentos que pertenecen un árbol están asociados a la entrada de esta tabla que representa dicho árbol.			
ATRIBUTOS	NOMBRE	TIPO	RESTRICCIONES	OBSERVACIONES
	Nombre	Alfanumérico	NN	Nombre de la raíz del árbol
	Dominancia	Alfanumérico		Dominancia del árbol.
	Notas	Alfanumérico		Notas que desee adjuntar el usuario

Dado que este modelo de datos solamente representa la parte correspondiente al Subsistema de Explotación, es necesario integrarlo el modelo de datos general del sistema. El resultado final es el que muestra la Figura 87.

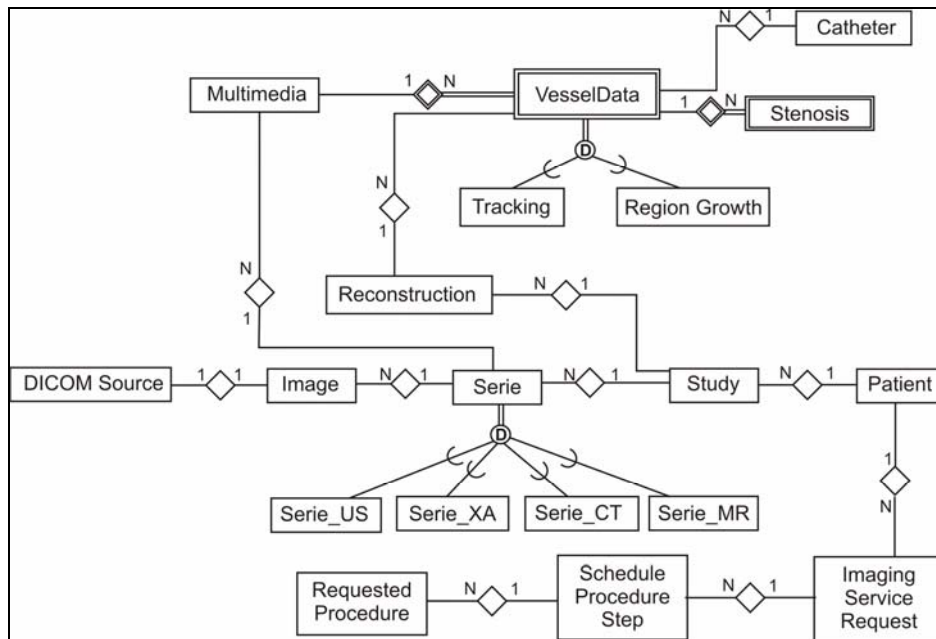


Figura 87. Modelo de datos del sistema de información. Modelo conceptual.

**Acceso al modelo de datos**

Para el acceso al modelo de datos se plantea una solución típica “Model – View – Controller” donde el “Model” presenta una fachada (patrón de diseño “Facade”) de acceso. En la Figura 88, se muestra una descripción de la misma.

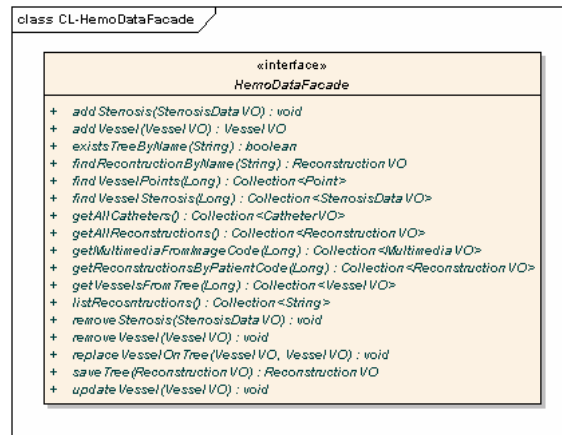


Figura 88. Descripción de la fachada de acceso a datos.

La implementación concreta de esta interfaz es accesible a través de una “Abstract Factory”. En este caso se diseña una solución basada en “Actions”, en las cuales la fachada concreta delega. En la Figura 89 se resume esta situación

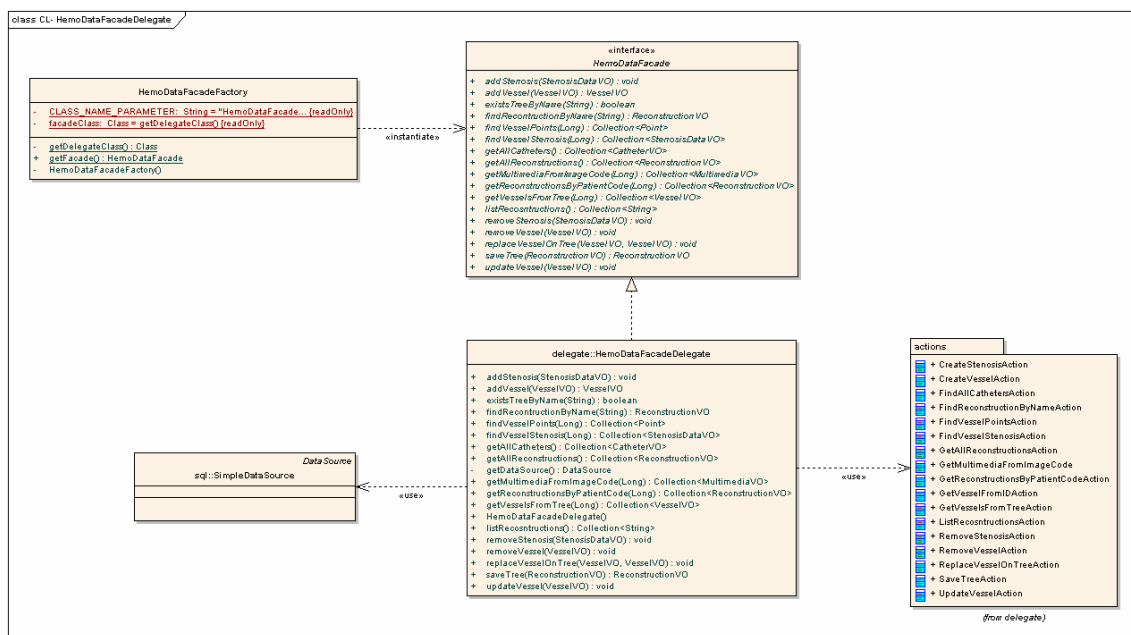


Figura 89. Estructura de "HemoDataFacadeDelegate".

Para interactuar con este modelo, tal como se muestra en la Figura 89, se deberían crear objetos según el patrón “Value Object” que representarían las entidades del modelo. A su vez estos “Value Objects podrían ser utilizados por los objetos que se mostraban en la sección anterior.

Para el acceso a las tablas de base de datos se utiliza el patrón “Data Access Object”. Se crea una definición genérica de cada uno de ellos en forma de interfaz. A continuación, se establecen implementaciones concretas para un Sistema Gestor de Base de Datos concreto y se utiliza el patrón “Abstract Factory” para acceder a la implementación concreta que se necesite en cada situación.

Para describir la situación de los “Value Object” y los “Data Access Object” se muestra la Figura 90. Los objetos elegidos para resumir la situación son los que involucran a “VesselData”

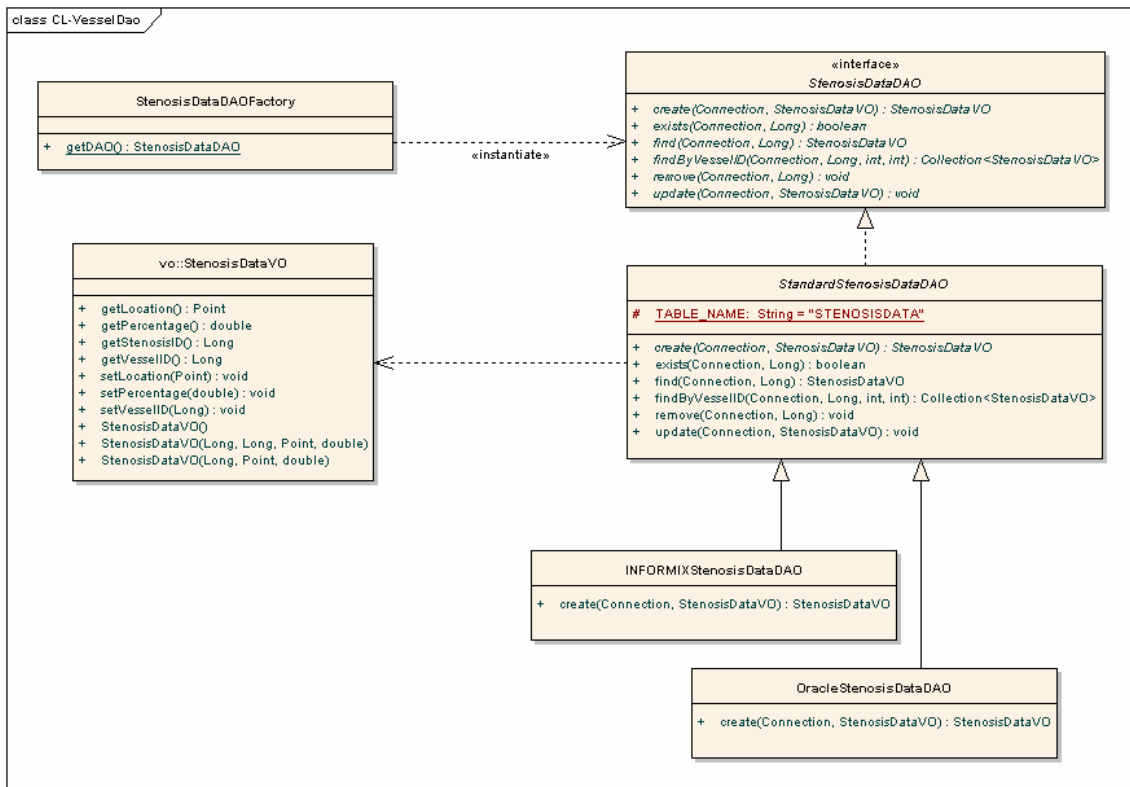


Figura 90. Relación entre las clases "Value-Object" y "Data Access Object".

### 3.3.3 El núcleo de la Herramienta.

Tal y como se describe en el análisis, para alcanzar una reconstrucción virtual del árbol coronario es necesario realizar varias operaciones previamente. Estas operaciones se van realizando de forma secuencial. De modo muy esquemático, se podrían resumir estas operaciones con el diagrama de estados que muestra la Figura 91.

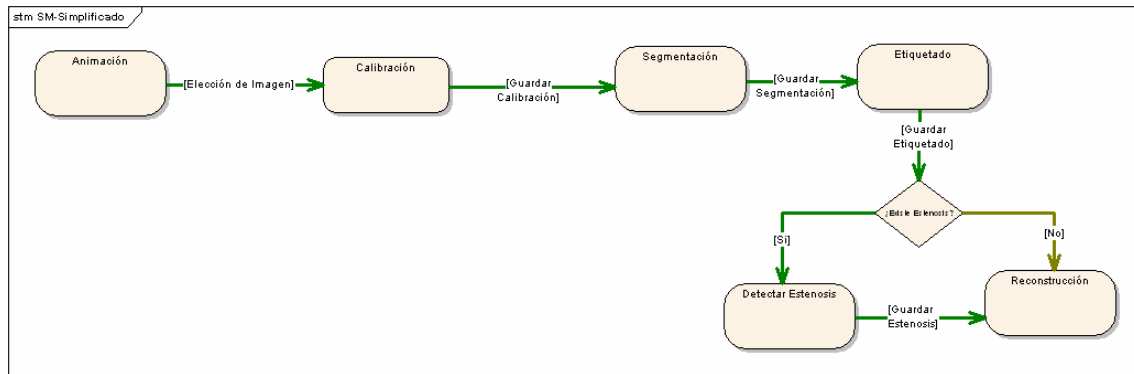


Figura 91. Diagrama de estados del proceso completo de creación de un modelo arterial artificial.

El usuario se encuentra en el primer estado en el momento en el que la herramienta se inicia, es decir, exactamente después de haber seleccionado la secuencia de imágenes con la que se va a trabajar. En este estado, se pueden observar todas las imágenes de la secuencia seleccionada. En este punto, se elige la imagen con la que se va a trabajar, comenzando así el proceso de segmentación de las arterias coronarias. Como primer paso de la segmentación, se debe realizar la calibración de la imagen.

Una vez que los vasos han sido segmentados pueden ser etiquetados, identificando cada uno de los segmentos arteriales que posteriormente formarán parte de la reconstrucción virtual. En el caso de existir estenosis, se debe identificar en este momento, indicando su ubicación y severidad. Por último, se realiza la reconstrucción del modelo arterial seleccionando los segmentos adecuados desde las diferentes proyecciones.

Por consiguiente, se puede entender la herramienta como una máquina de estados finitos, donde cada estado está representado por una pantalla de interacción con el usuario. En cada una de las pantallas o estados el usuario realiza las operaciones oportunas y cuando termina, ejecuta el envío de un evento que le lleva al próximo estado o pantalla.

Refinando la máquina de estados anterior, teniendo en cuenta las premisas del análisis y asimilando los estados a pantallas, se obtiene la máquina de estados que muestra la Figura 92. Es más compleja, pero define de forma más precisa como actúa la herramienta.

Otro requisito que se desprende del análisis es que el subsistema puede incorporar nuevos algoritmos de segmentación. Esto puede desencadenar que la definición de ciertos estados cambie o incluso que aparezcan nuevos estados, dependiendo de los requisitos de cada algoritmo. Con él también pueden variar (mediante herencia) las estructuras de datos

básicas, como por ejemplo “Segment” definidas en el apartado anterior. Se hace necesario, por lo tanto, que la herramienta pueda ejecutar distintas máquinas de estados definidas por los desarrolladores de los distintos métodos de segmentación.

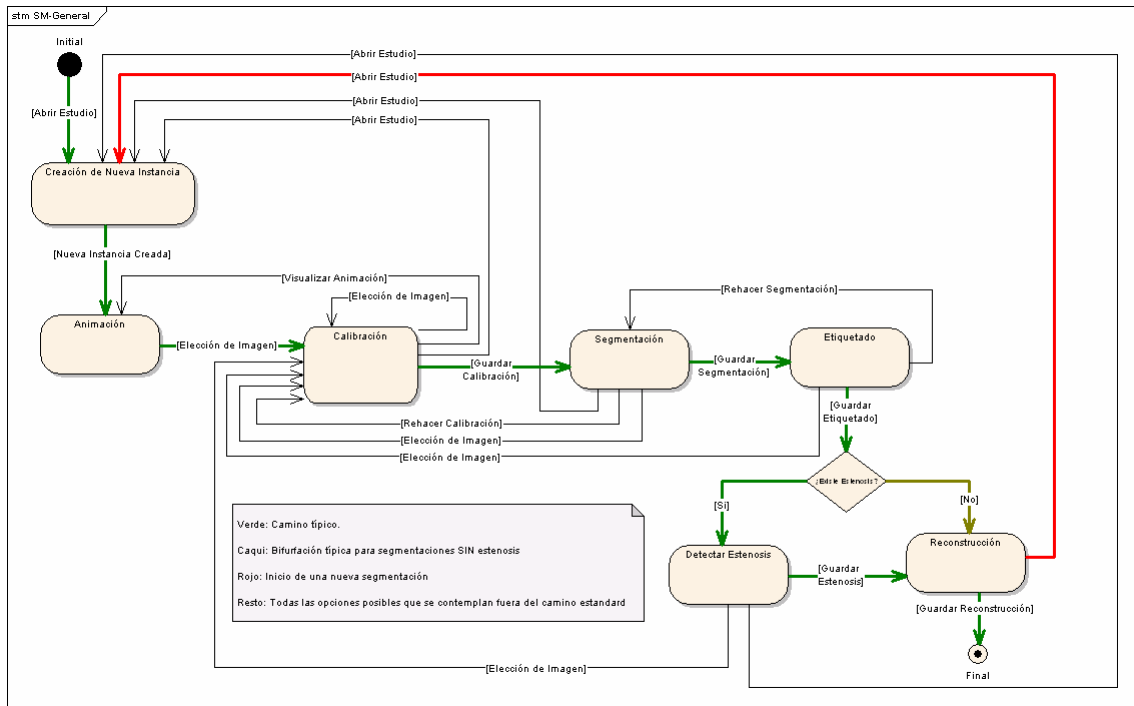


Figura 92. Diagrama de estados detallado del proceso completo de creación de un modelo arterial artificial.

En la Figura 93, se muestra el conjunto de clases que componen el núcleo de la unidad funcional “Herramientas de Segmentación” y como se relacionan entre sí. A continuación, se realiza la descripción de todas estas clases.

**Descripción de clases.**

**NOMBRE HEMOTOOLMANAGER**

Descripción Controla todas las sesiones abiertas durante la ejecución de la herramienta.



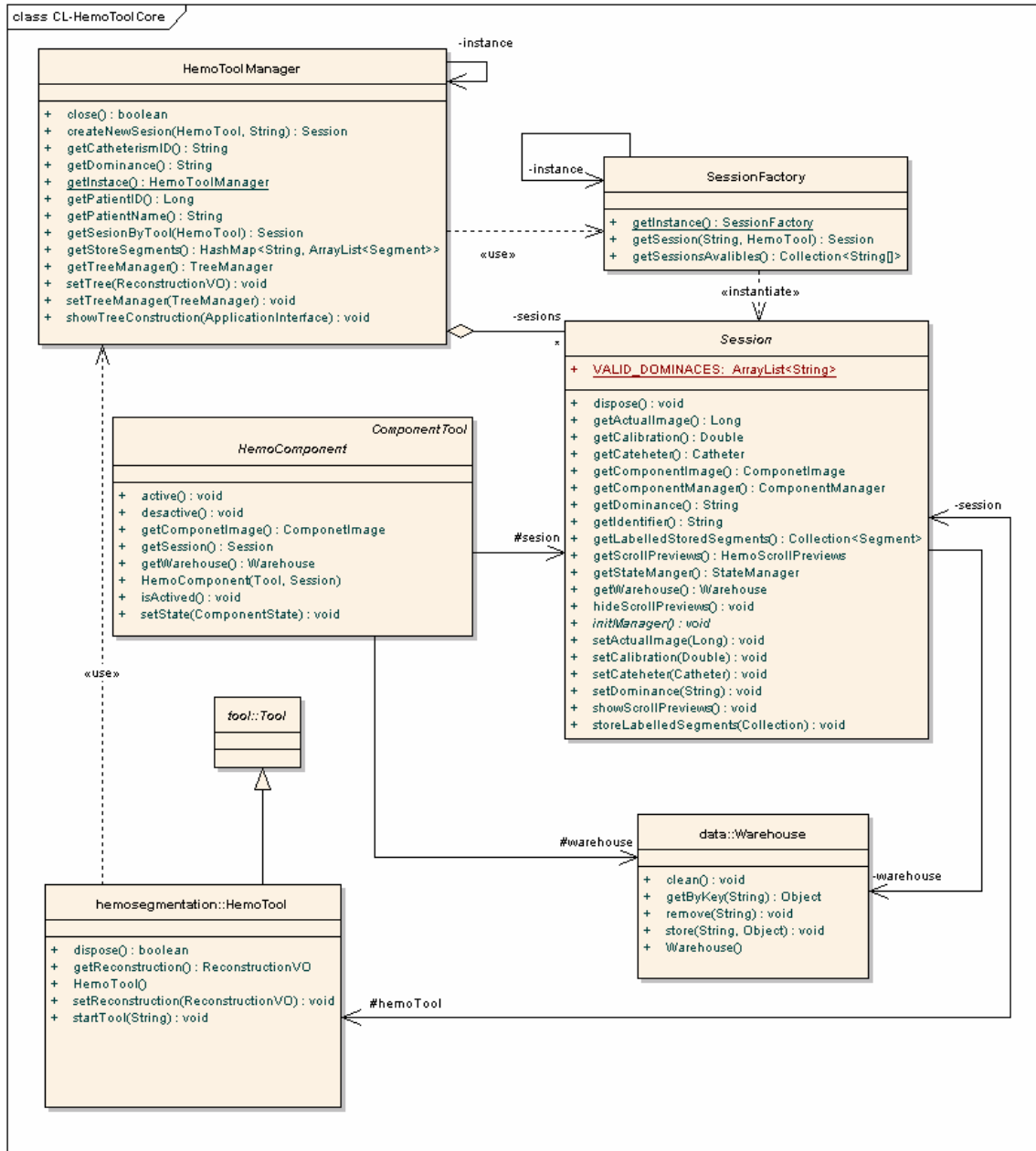


Figura 93. Diagrama de clases del núcleo de la unidad funcional "Herramientas de Segmentación".

**NOMBRE** HEMOCOMPONENT

Descripción Define la interfaz de usuario que se muestra en cada estado concreto

---

**NOMBRE**      **HEMOTOOL**

---

Descripción      Realiza las funciones necesarias para poder integrar la Herramienta en VISIOM

---

**NOMBRE**      **DATAWAREHOUSE**

---

Descripción      Actúa como un “buffer” de memoria compartida entre todos los Hemocomponents de una Sesion

---

**NOMBRE**      **SESSIONFACTORY**

---

Descripción      Permite a le herramienta instanciar la sesión que ha pedido ejecutar el usuario

---

**NOMBRE**      **SESSION**

---

Descripción      Representa la sesión o conjunto de estados por los que pasará la ejecución de la herramienta.

Para soportar distintas máquinas de estados, se introduce el concepto de Sesión (“Session”). Una “Session” es una definición de máquina de estados que se puede ejecutar en la herramienta. Debido a que durante la utilización del subsistema el usuario puede desear segmentar más de una imagen, utilizando distintos métodos de procesamiento, es necesario tener varias sesiones distintas abiertas. Se requiere entonces un Controlador o “Manager” que las gestione y con ellas toda la ejecución de la herramienta. Se define para ello una nueva entidad que se denomina “HemoToolManager”. En la Figura 94, se puede observar un diagrama de clases que resume la estructura.

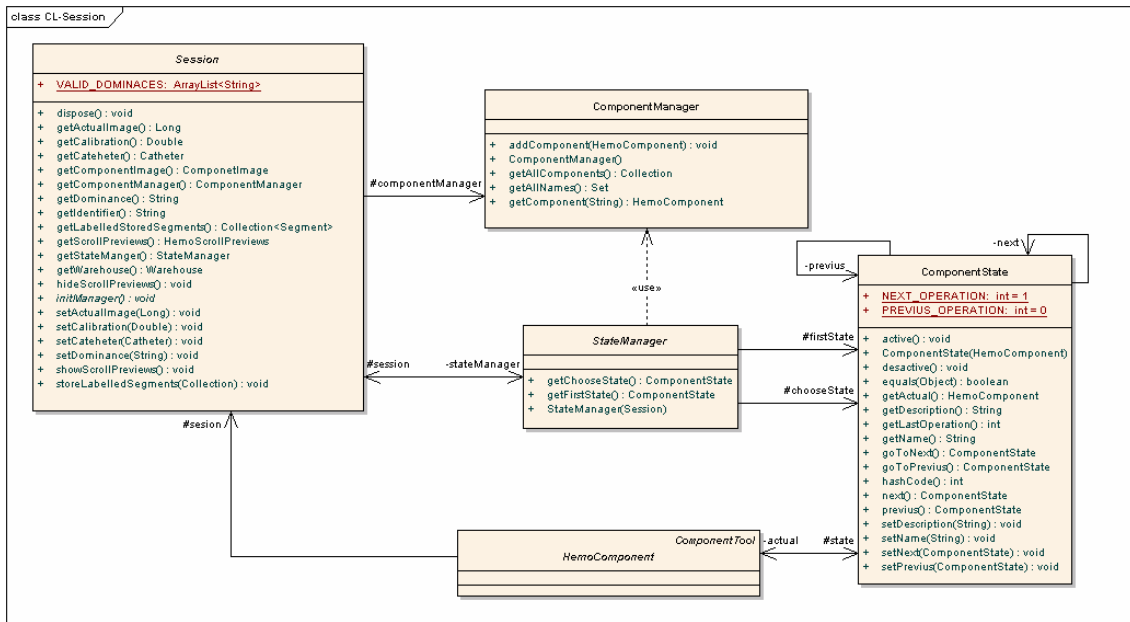


Figura 94. Diagrama de clases asociadas al escenario "Session".

A continuación, se describen estas clases.

### Descripción de clases

NOMBRE	COMPONENTMANAGER
--------	------------------

Descripción	Es el encargado de controlar la ejecución de los distintos “HemoComponents” en cada caso
-------------	--

NOMBRE	STATEMANAGER
--------	--------------

Descripción	Define y controla las transiciones entre los estados
-------------	--

NOMBRE	COMPONENTSTATE
--------	----------------

Descripción	Define cada estado
-------------	--------------------

Este conjunto de clases constituye el núcleo del módulo “Herramientas de Segmentación”. En la Figura 95, se muestra un diagrama de interacción típico simplificado. Esta simplificación asume que la sesión es la única estructura que controla los estados, muestra mensajes genéricos para facilitar la comprensión y representa una sesión que sigue la máquina de estados simplificada. Por último, es necesario indicar para la comprensión del diagrama, que se asume que existe al menos una herramienta de procesamiento integrada en VISIOM.

En la Figura 95, se puede observar que para llegar al estado de reconstrucción no es necesario enviar el mensaje de pasar de estado. Esto es debido a que se asume que por cada ejecución de la herramienta se va a reconstruir un único árbol. Este desemboca en que el estado de reconstrucción es común para todas las sesiones.

Según la especificación de requisitos, es necesario que se permita que un usuario pueda realizar más de una reconstrucción sin tener que reiniciar la aplicación. Según el diagrama de interacción esto parece no cumplirse; sin embargo, teniendo en cuenta que la herramienta de procesamiento utiliza los servicios del módulo VISIOM, si un usuario quiere realizar dos reconstrucciones sin cerrar la aplicación, sólo debe solicitar a VISIOM que cierre la instancia actual de la herramienta y cree una nueva distinta.

### **3.3.4 El Etiquetado**

Debido a que pueden existir distintos tipos de sesión, con distintos tipos de algoritmos de segmentación (por ejemplo basada en “Tracking” y basada en “Region Growth”), cabe la posibilidad de que un único algoritmo de etiquetado genérico no permita realizar el etiquetado en todas las sesiones. Además, se pretende que el módulo sea capaz de incorporar en el futuro nuevas técnicas de etiquetado automáticas.

Por lo tanto, se plantea la incursión de un patrón “estrategia” que permita definir distintos algoritmos para el etiquetado y que estos se puedan vincular a los distintos tipos de sesión. En la Figura 96 se muestra un diagrama de clases que resume la idea.

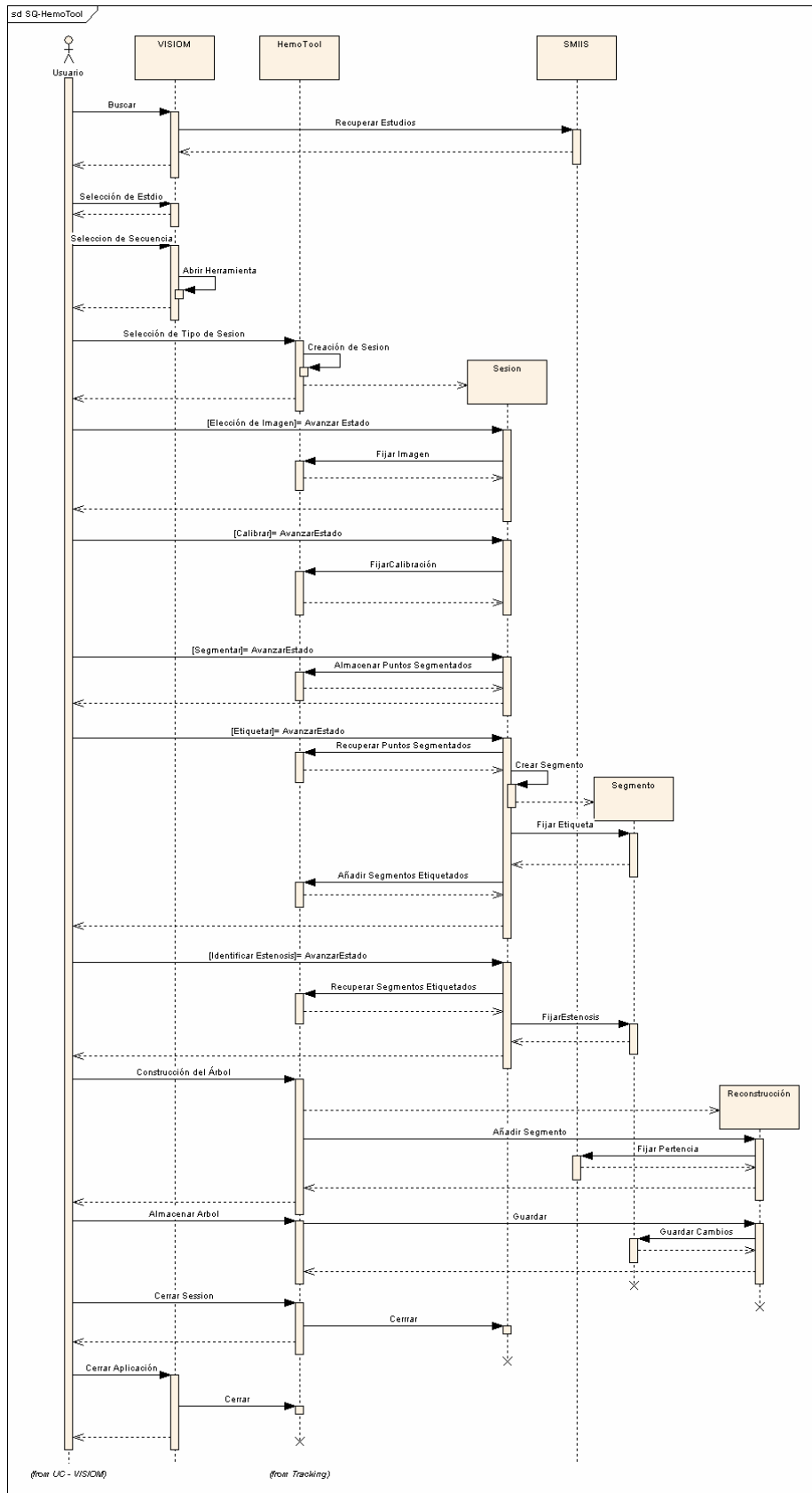


Figura 95. Diagrama de interacción simplificado del módulo "Herramientas de Segmentación".

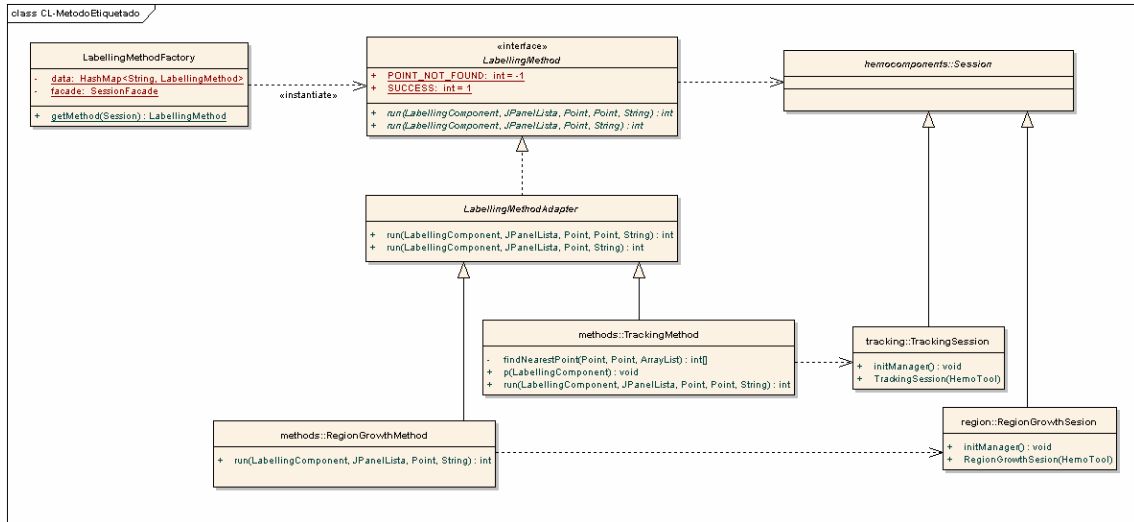


Figura 96. Diagrama de clases relacionadas con el etiquetado de segmentos arteriales.

Se realiza a continuación la descripción de cada una de las clases.

**Descripción de clases**

**NOMBRE LABELINGMETHODFACTORY**

Descripción Permite recuperar la instancia correcta del método de segmentación dependiendo de la Sesión que se esté ejecutando

**NOMBRE LABELINGMETHOD**

Descripción Interfaz que define las operaciones que debe implementar un método de etiquetado. Estos métodos deben funcionar, proporcionándoles un solo punto que indique que se quiere etiquetar; o dos puntos indicando el inicio y el fin de lo etiquetado.

---

**NOMBRE LABELLINGMETHODADAPTER**


---

Descripción Implementación abstracta de la interfaz “LabellingMethod”. Esta implementación tiene los métodos vacíos que, simplemente, lanzan una excepción. Implementación del patrón de diseño “Adaptador” (Adapter)

De esta manera, cada nuevo tipo de sesión que se cree debe llevar asociado un método de etiquetado que puede estar ya desarrollado o no.

### 3.3.5 Estados genéricos

La Figura 97 plantea los estados genéricos a través de los cuales puede discurrir cualquier sesión de utilización de las herramientas de segmentación.

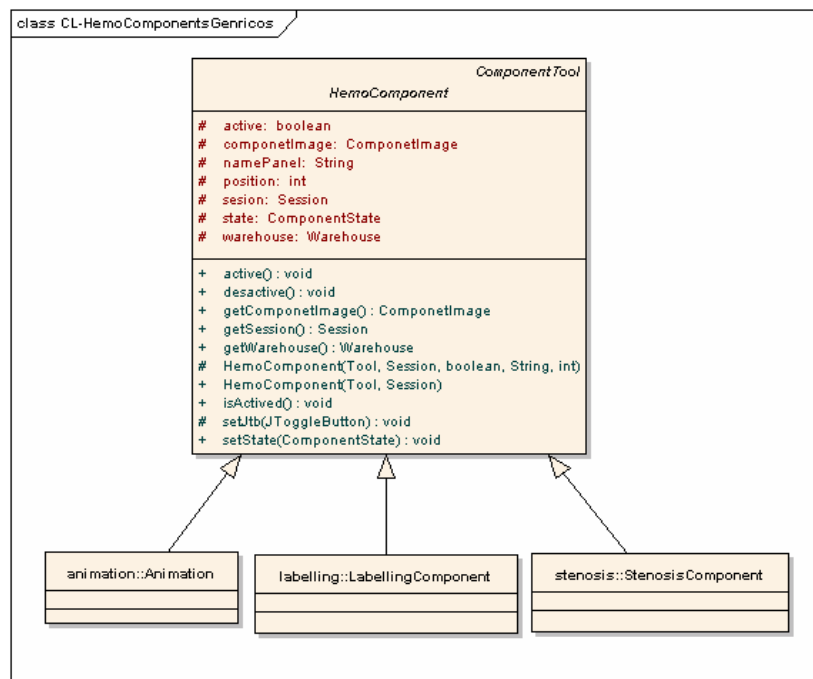


Figura 97. Diagrama de clases que representa los estados genéricos por los que transcurre cualquier sesión.

A continuación, se describen las clases que representan dichos estados.

### **Descripción de clases**

---

<b>NOMBRE</b>	<b>ANIMATION</b>
---------------	------------------

---

Descripción	Representa el estado “Animación”. Permite ver una secuencia de angiografías como un vídeo. Permite elegir la imagen más adecuada para aplicarle la segmentación.
-------------	--

---

<b>NOMBRE</b>	<b>LABELLINGCOMPONENT</b>
---------------	---------------------------

---

Descripción	Representa el estado “Etiquetado”. Permite etiquetar cualquier segmento, sea cual sea su implementación, delegando esta función en un “LabellingMethod”.
-------------	--

---

<b>NOMBRE</b>	<b>STENOSISCOMPONENT</b>
---------------	--------------------------

---

Descripción	Representa el estado “Detectar Estenosis”. Permite identificar una estenosis en un segmento sea cual sea su implementación .
-------------	--

### **3.3.6 Guía de usuario.**

Debido a que la herramienta representa una máquina de estados por la que navega el usuario se consideró interesante, en aras a una mejor usabilidad, crear un componente que asista al médico durante la interacción con la herramienta. Es por tanto necesario crear un componente que represente este papel. Se ha diseñado uno que interacciona directamente con la sesión y le ordena realizar las transiciones necesarias entre estados.

La Figura 98 representa el diagrama de clases propuesto para dar cabida a esta funcionalidad.



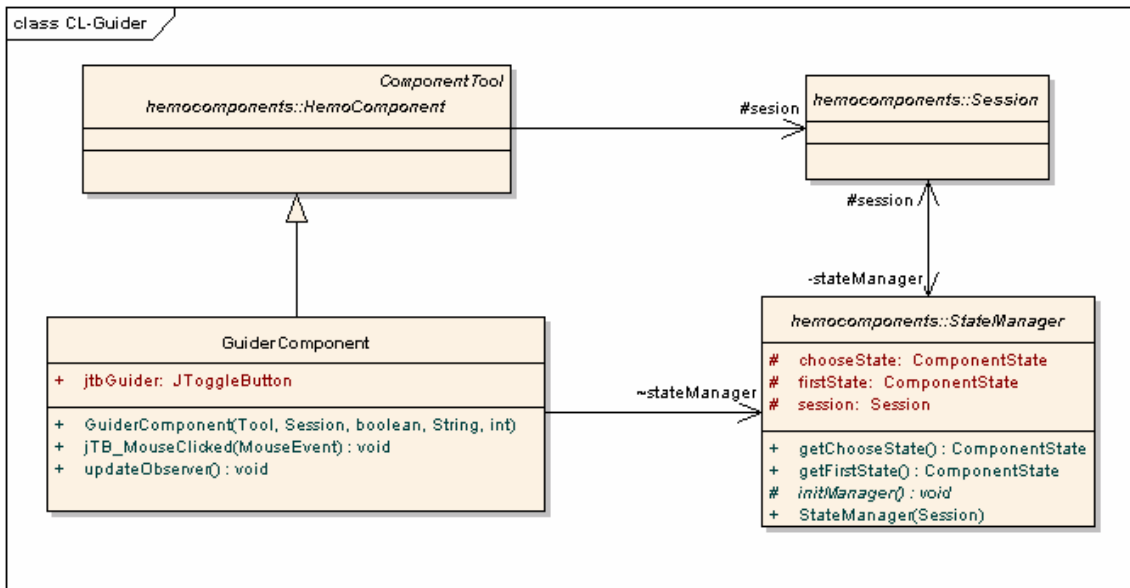


Figura 98. Diagrama de clases de la "Guía de Usuario".

A continuación se proporciona la descripción general de la nueva clase, "GuiderComponente".

### Descripción de clases

**NOMBRE** GUIDERCOMPONENT

**Descripción** Es la encargada de guiar al usuario a través de la ejecución de la herramienta.

### 3.3.7 Método de Segmentación Basado en Tracking.

Tal y como se describe en el análisis, es necesario aportar diferentes métodos de segmentación de vasos. El primer método que se diseñó, utiliza un algoritmo que se basa en métodos de seguimiento o "tracking".

Existen dos puntos clave en la máquina de estados definida anteriormente que afectan sustancialmente a los métodos de segmentación. El procesamiento de la imagen que genera la segmentación propiamente dicha y el etiquetado. Esto se debe a que cada método de segmentación puede definir una extensión de algunas de las estructuras de datos

establecidas al inicio. El caso más claro es el de la clase “Segment”, que dependerá completamente del método de segmentación. En la Figura 99, se muestra el diagrama de interacción simplificado que se sigue a la hora de realizar la segmentación utilizando la herramienta de de seguimiento.

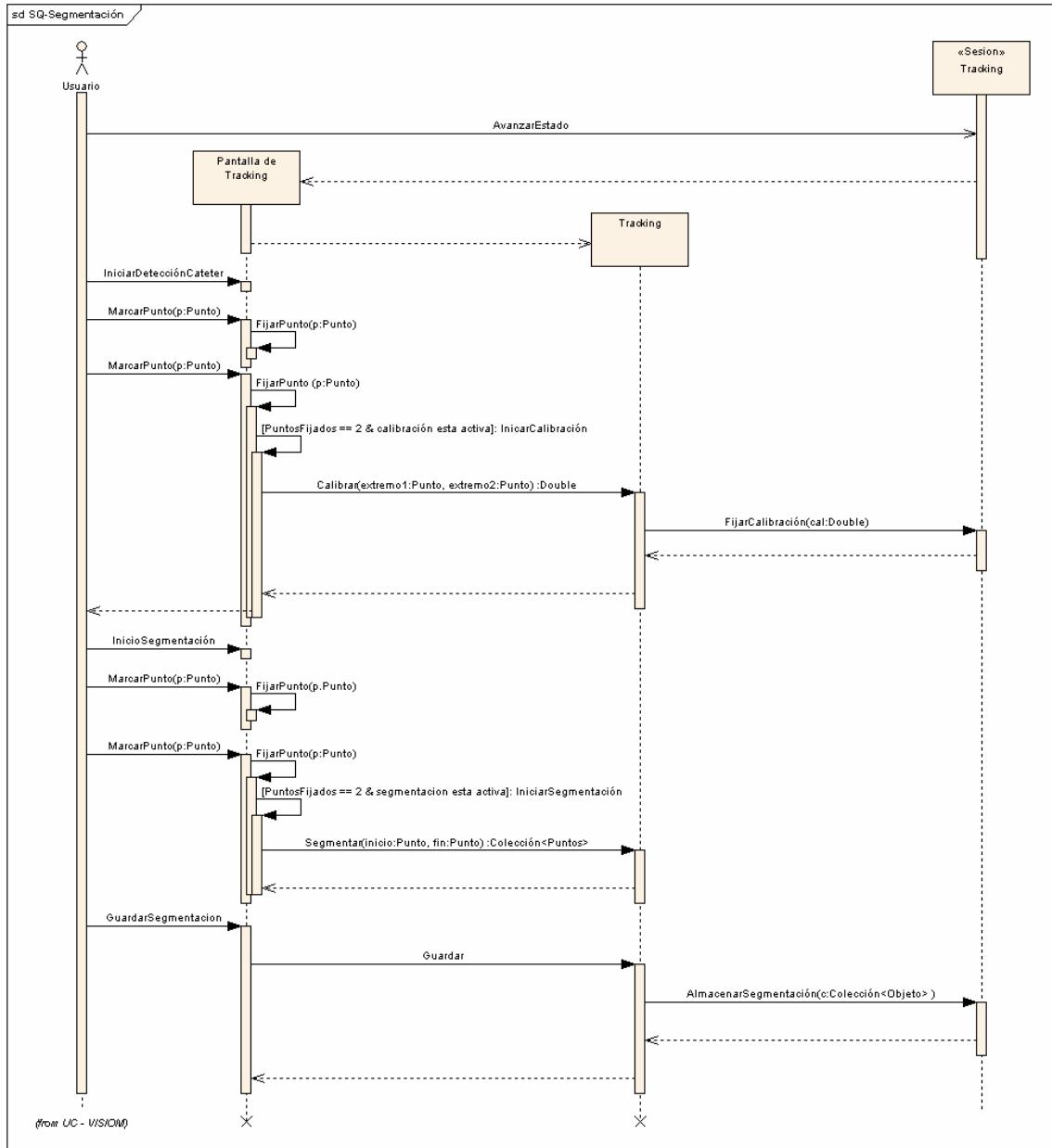


Figura 99. Diagrama de interacción simplificado para el mecanismo de segmentación basado en técnicas de seguimiento.

En las figuras Figura 100 y Figura 101 se muestran los diagramas de secuencia simplificados de la segmentación y el etiquetado que guiaron, en su momento, la implementación.

En este diagrama, se asume “Tracking” como la entidad donde reside el algoritmo de seguimiento y “<<Sesion>> Tracking” la sesión que controla la ejecución de la herramienta. Por último la “Pantalla de Tracking” representa la interfaz gráfica (“HemoComponent”) que interactúa con el usuario.

Un aspecto importante es que no se fija ningún límite para la segmentación. Eso provoca que el algoritmo pueda detectar más segmentos de vasos de los deseados, por lo que es preciso proporcionar la funcionalidad de borrar los segmentos no interesantes. Además, esto provoca que si se identifica más de un segmento será necesario separar cada uno de ellos en la fase de etiquetado.

También se puede observar, como en este caso la calibración no es un estado de por sí, si no que está integrado en el estado de segmentación. Para aclarar esto se muestra, en la Figura 100 el diagrama de estados de la sesión basada en seguimiento.

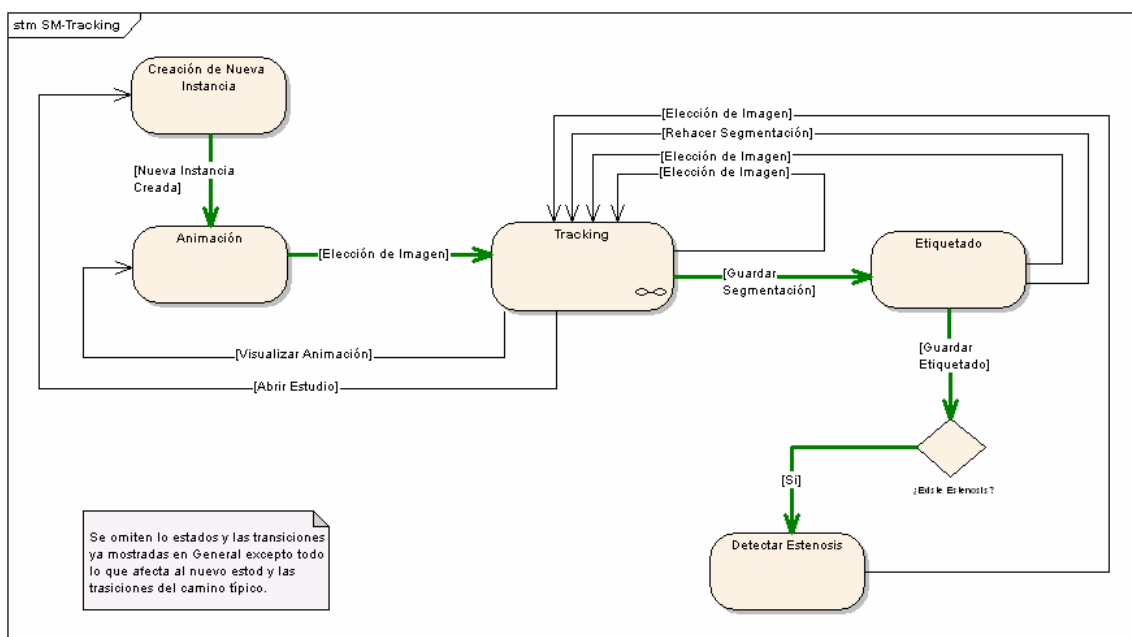


Figura 100. Diagrama de estados para el mecanismo de segmentación basado en técnicas de seguimiento.

En este caso, el estado “Tracking” está a su vez compuesto por los estados descritos en la Figura 101.

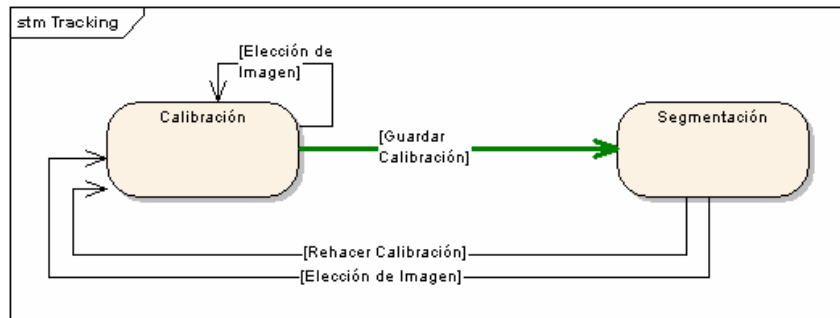


Figura 101. Diagrama de estados del proceso de seguimiento.

Por último, destacar que en el caso de Tracking el segmento no se crea en la segmentación si no en el etiquetado, como muestra la Figura 101, debido a que es en el proceso de etiquetado donde se identifica el inicio y el fin del segmento a crear.

En la Figura 102, se muestra la interacción con el método de etiquetado concreto para la sesión basada en seguimiento (<<Sesion>> Tracking).

En este caso se toma la decisión de integrar el calibrado en el mismo estado que el resto de la segmentación, puesto que se reutilizan ciertos mecanismos del algoritmo de segmentación para realizar dicha calibración, como la detección de bordes y el cálculo del diámetro.

Antes de realizar la segmentación, la imagen es preprocesada para optimizar los resultados proporcionados por este algoritmo. El preprocesado se realiza de manera automática, sin necesidad de intervención del usuario, por eso no se refleja en el diagrama de secuencia anterior.

Para etiquetar un segmento es necesario marcar dos puntos, que definen el inicio y el final del segmento, estableciendo los límites del mismo, lo que permite que sea instanciado, tal y como se refleja en el diagrama de secuencia.

Esta implementación del mecanismo de segmentación necesita estructuras de datos adicionales, cuya estructura se detalla a continuación.

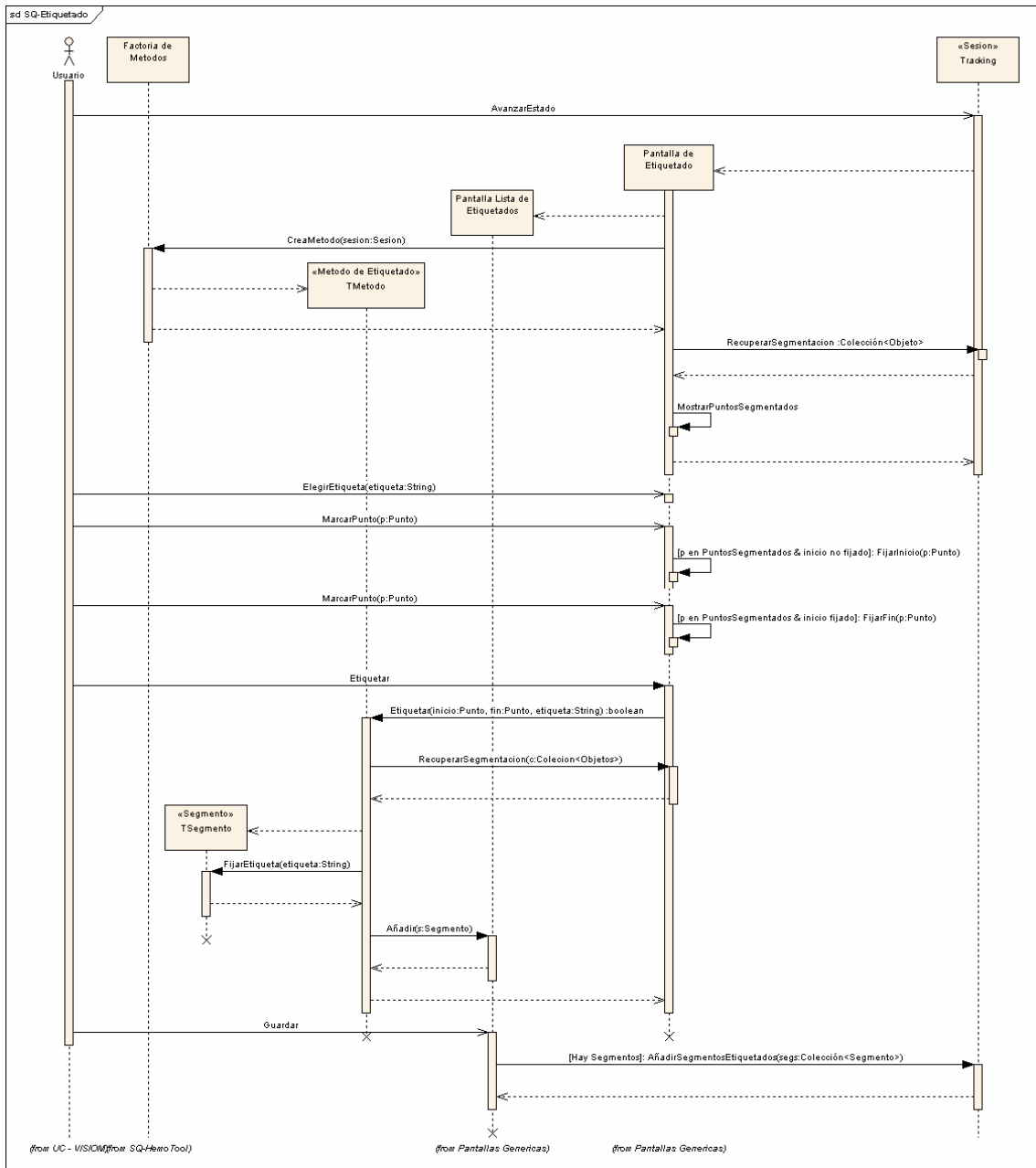


Figura 102. Diagrama de interacción del método de etiquetado asociado al método de segmentación basado en técnicas de seguimiento.

**Nuevas estructuras de datos necesarias.**

Es necesario extender la definición de segmento “Segment” para obtener una estructura más eficiente, que se adapte al resultado del algoritmo de segmentación basado en “tracking”. En la Figura 103 se muestra su diagrama de clases.

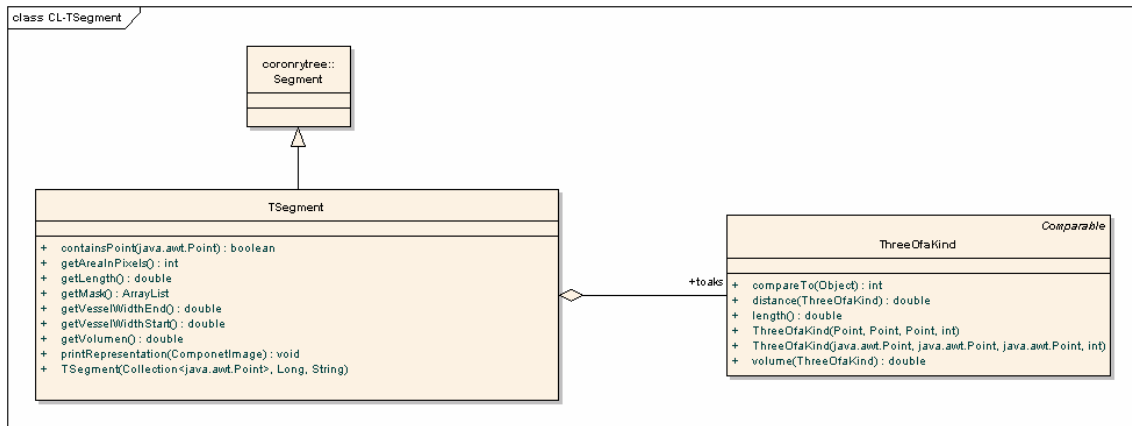


Figura 103. Diagrama de clases de las estructuras de datos adicionales en el mecanismo de "tracking".

A continuación, se realiza la descripción de las nuevas clases.

**Descripción de las clases**

**NOMBRE TSEGMENT**

Descripción Especialización de “Segment” diseñada para soportar los resultados de la segmentación basada en “Tracking”

**NOMBRE TREEOFAKIND**

Descripción Representa las tripletas de puntos (borde derecho, centro, borde izquierdo) con el que el algoritmo de “Tracking” describe el vaso.

**Definición de la sesión basada en “Tracking” (TSession).**

La sesión basada en “Tracking” debe implementar la máquina de estados que muestra la Figura 100. Obsérvese que existen “HemoComponent” genéricos que se pueden reutilizar puesto que la máquina de estados que define la sesión, contiene algunos estados de los planteados en la definición de una sesión tipo y concretamente los representados por los “HemoComponet” genéricos.

En la Figura 104, se presentan las clases que intervienen en la definición de una sesión de segmentación basada en técnicas de seguimiento.

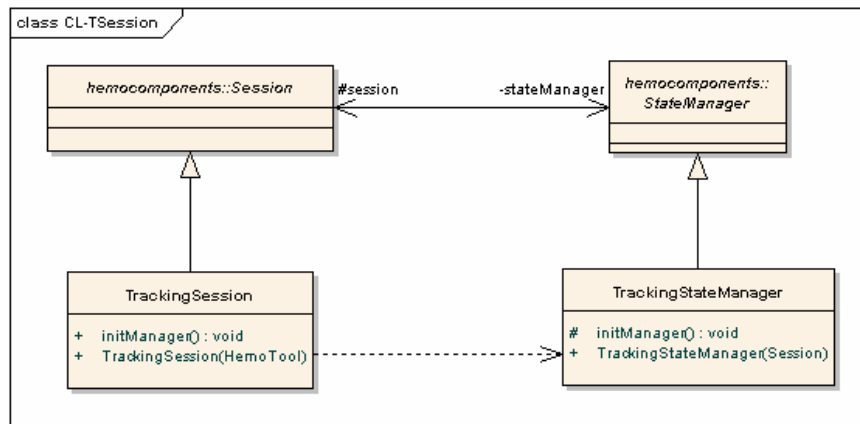


Figura 104. Diagrama de clases relacionadas con la sesión de "tracking".

A continuación, se realiza la descripción de las nuevas clases.

### Descripción de las clases

#### **NOMBRE TSESSION**

Descripción Especialización de "Session" diseñada para soportar la máquina de estados definida para el método de segmentación basado en seguimiento arterial

#### **NOMBRE TRACKINGSTATEMANAGER**

Descripción Especialización de "StateManager" definida para la sesión de "tracking".

### Método de etiquetado para los resultados del "Tracking".

Como se ha venido comentando, para el etiquetado en "tracking" es necesario un punto de inicio y un punto de fin. Por tanto, sólo debe implementarse el método que permite fijar estos dos puntos. El hecho de haber aplicado un patrón "adaptador" permite implementar

un único método de los dos que plantea la interfaz “LabellingMethod”. De invocarse el método no implementado, desencadenaría el lanzamiento de una excepción que informa que el método utilizado no soporta el etiquetado que se está tratando de realizar. En la Figura 105 se muestra el diagrama de clases propuesto.

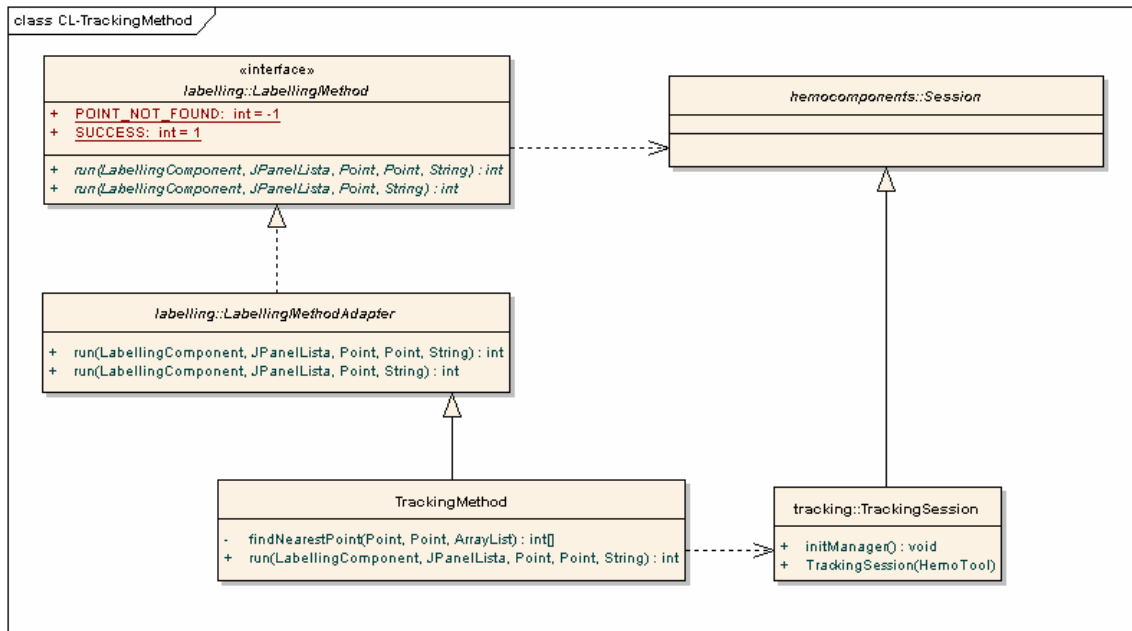


Figura 105. Diagrama de clases relacionadas con el método de etiquetado asociado con "tracking".

A continuación se realiza la descripción de las nuevas clases.

### Descripción de las clases

NOMBRE	TRACKINGCOMPONENT
--------	-------------------

Descripción	Especialización de HemoToolComponent que representa el estado “Tracking” de la máquina de estados de la figura
-------------	--

NOMBRE	TRACKING
--------	----------

Descripción	Esta clase debe implementar el algoritmo de Tracking. En ella debe delegar TrackingComponent para realizar la calibración.
-------------	--



## Estados adicionales

La Figura 106 muestra el diagrama con las nuevas clases necesarias para soportar los estados adicionales propuestos para la realización de la segmentación utilizando un algoritmo de seguimiento.

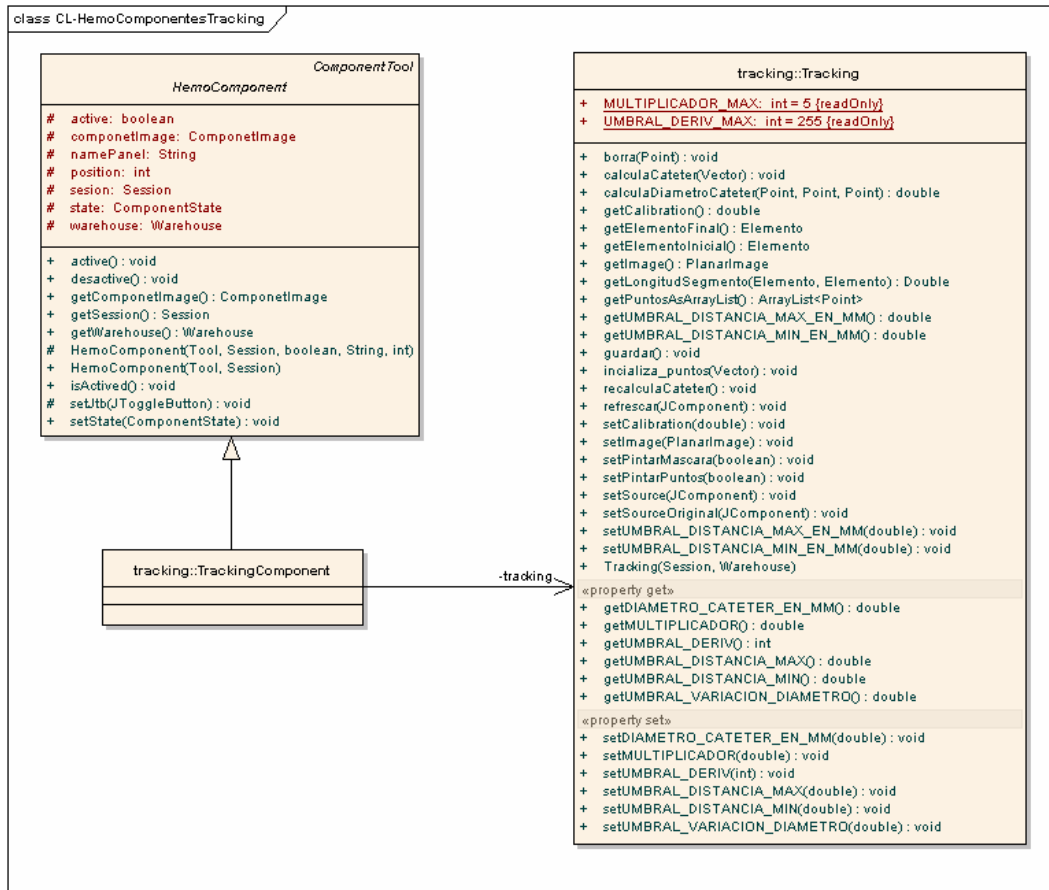


Figura 106. Diagrama de clases de los estados adicionales para la segmentación basada en seguimiento.

### 3.3.8 Método de segmentación basada en Crecimiento de Regiones

En esta sección se desglosa el diseño del segundo método de segmentación propuesto en el análisis. En este caso, la nueva sesión utiliza un algoritmo de segmentación basado en la técnica de crecimiento de regiones.

Al contrario que en la sesión basada en “tracking” arterial, aquí no se solapan dos de los antiguos estados en uno nuevo, sino que la máquina de estados es exactamente la máquina de estados de referencia, con la única salvedad de que el estado “Segmentación” es, en este

método, un estado compuesto. En la Figura 107 se muestra la “sub-máquina” de estados que compone el nuevo estado de “Segmentación”.

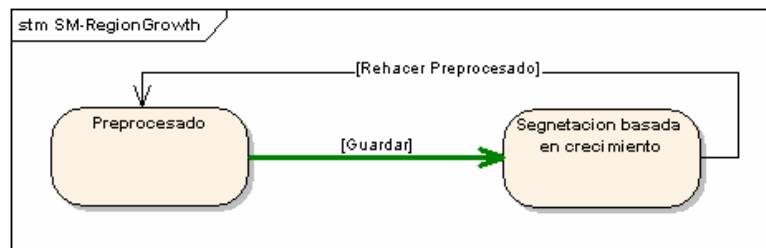


Figura 107. Diagrama que muestra los “subastados” de segmentación al utilizar crecimiento de regiones.

En la Figura 108 se muestra un diagrama de secuencia simplificado del proceso de segmentación basado en crecimiento de regiones.

Como en el caso de “tracking”, se ha tratado de simplificar el diagrama al máximo en aras de una mejor comprensión. La sesión basada en crecimiento de regiones está representada, en este caso, por “Session RG” y, como en el diagrama de secuencia de segmentación con “tracking”, se asume que toda la responsabilidad de las transiciones entre estados está concentrada en la sesión.

El primer elemento reseñable es la separación del calibrado en un estado propio, tal y como se sugiere en el diagrama de estados inicial, diferenciándose así de las sesiones basadas en “tracking”. Una vez detectado el catéter, es necesario preprocesar la imagen para un resultado óptimo con el algoritmo de segmentación. Este preprocesado puede necesitar la configuración de ciertos parámetros por parte del usuario, es por esto que se representa como un “subestado” dentro de segmentación, pero como una nueva pantalla en el diagrama de secuencia.

El preprocesado utiliza operadores morfológicos para resaltar el árbol coronario representado en la imagen. Una vez preprocesada la imagen, se puede abordar la segmentación de los vasos arteriales del árbol coronario.

En este caso, se deben establecer los límites de cada segmento de vaso arterial que se desea identificar. Para ello, se trazan al menos dos líneas, una al principio y otra al final de cada segmento. Adicionalmente se pueden marcar más límites para evitar que el algoritmo crezca por ramas no deseadas. Para ello es necesario indicar que se desean fijar los límites y definir la línea sobre la imagen marcando dos puntos.

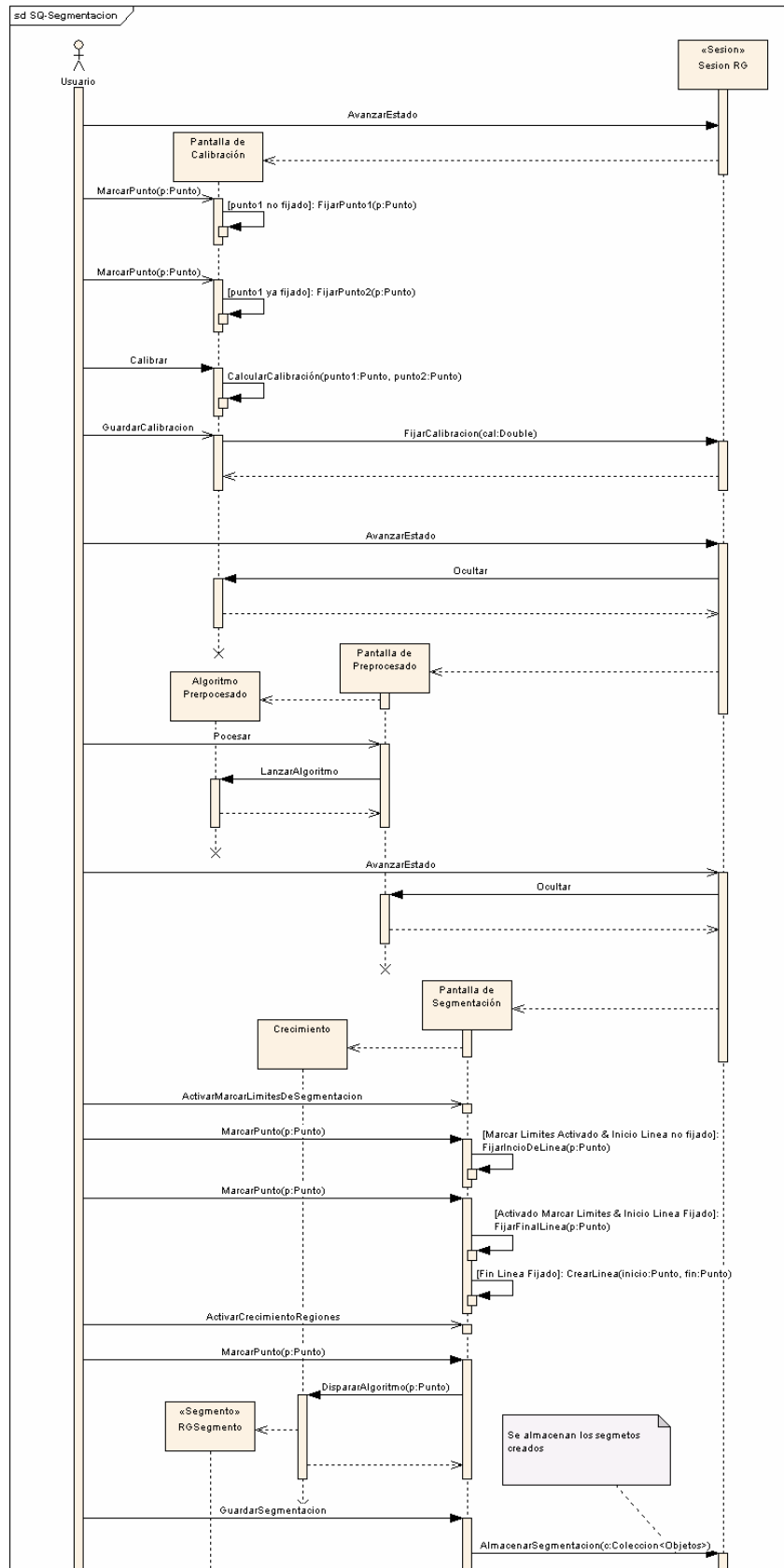


Figura 108. Diagrama de interacción del proceso de segmentación basado en "crecimiento de regiones".

El hecho de definir los límites en este paso, permite crear los segmentos concretos en el estado de segmentación, lo que implica que en el etiquetado no es necesario volver a fijar el inicio y el fin del segmento. Para explicar el proceso de etiquetado, se presenta en la Figura 109 un diagrama de secuencia que lo resume. Este diagrama está simplificado para una mejor comprensión.

Es de destacar, en comparación con la herramienta de "tracking", el hecho de que el etiquetado se realiza marcando únicamente cual es el segmento que se pretende etiquetar y no es necesario marcar el inicio y el fin del segmento. Esto es debido, tal y como se explicó anteriormente, al hecho de que los límites del segmento ya han sido fijados. Esto implica que cuando se recupera la segmentación, lo que realmente se está recuperando son los segmentos creados en la misma, no es necesario volver a crear dichos segmentos y, por lo tanto, únicamente será necesario fijar sus etiquetas.

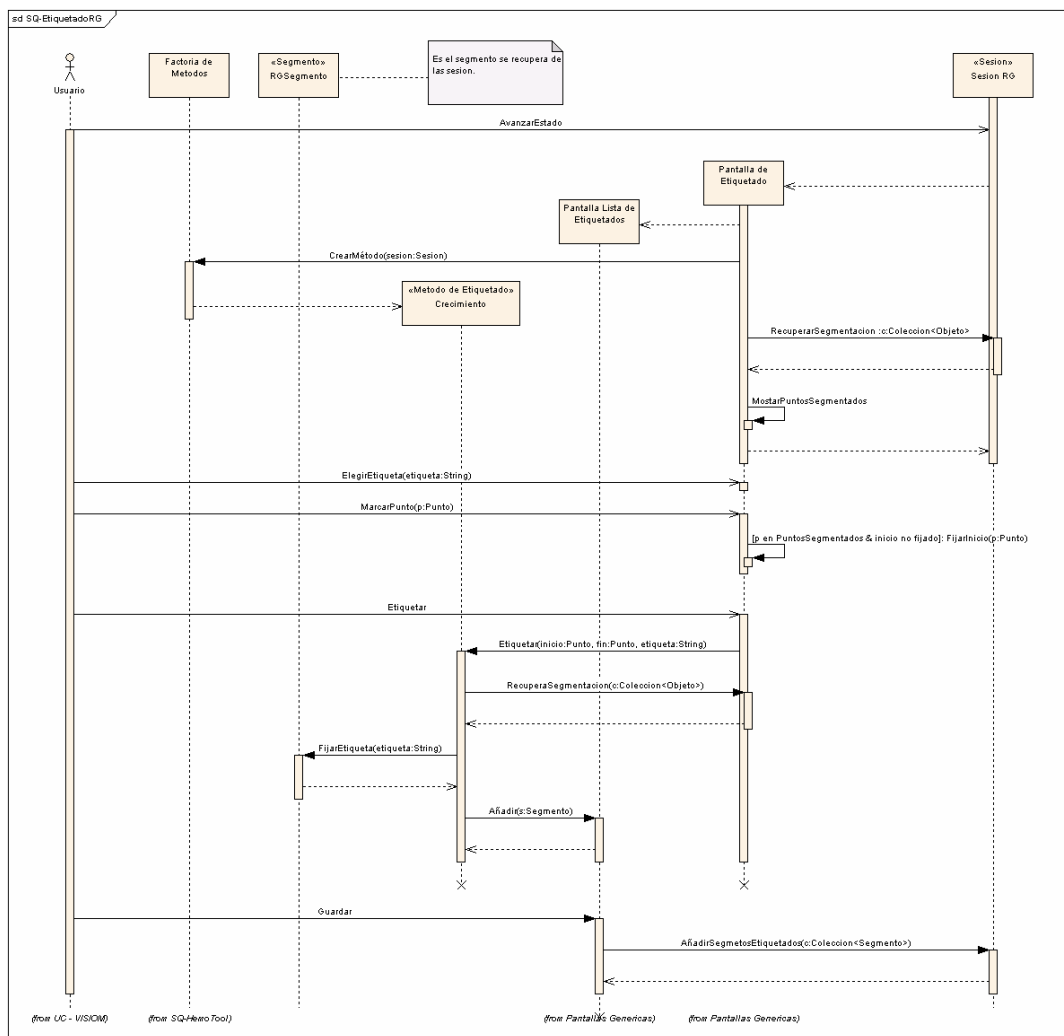


Figura 109. Diagrama de secuencia del etiquetado en una sesión basada en "crecimiento de regiones".

**Estructuras de datos necesarias.**

Como en el caso de “tracking”, es necesario extender la definición de segmento para que soporte los resultados obtenidos. En este caso, el resultado no está representado por una secuencia de tripletas de puntos, sino por un conjunto de puntos que representan la máscara que define el segmento. En la Figura 110, se muestran las clases que intervienen en la definición.

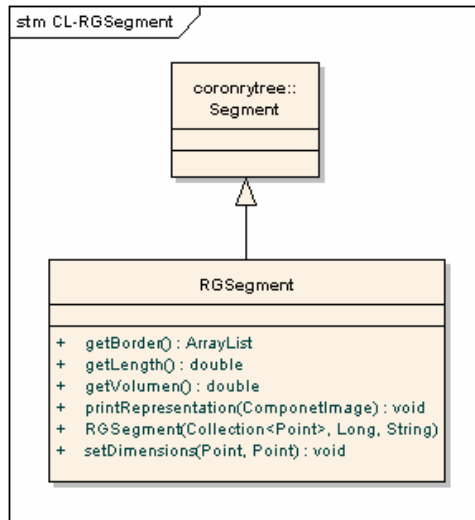


Figura 110. Diagrama de clases relacionadas con el almacenamiento de segmentos en las sesiones basadas en "crecimiento de regiones".

**Definición de la Sesión basada en Crecimiento de Regiones.**

En la Figura 111, se muestran las clases que intervienen en la definición de la sesión basada en “Crecimiento de Regiones”.

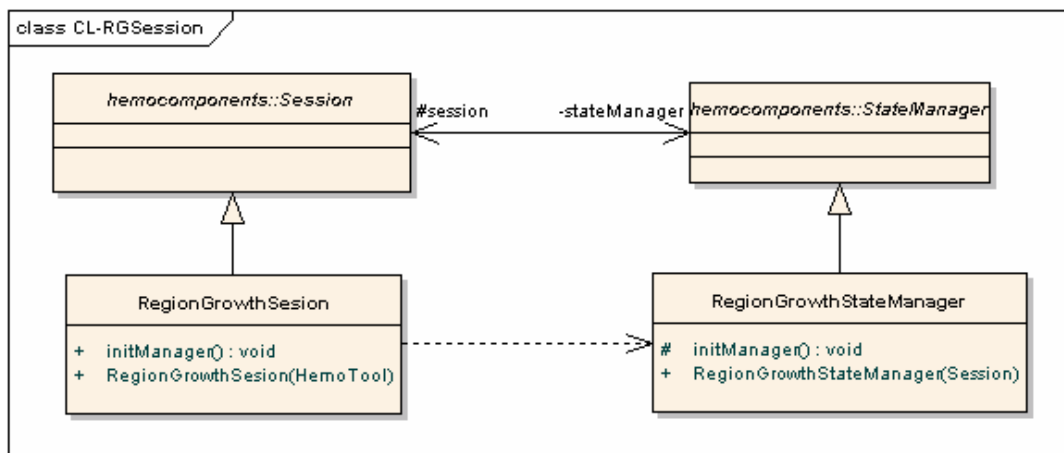


Figura 111. Diagrama de clases involucrados en una sesión de "Crecimiento de Regiones".

A continuación, se detallan las nuevas clases.

**Descripción de las clases**

**NOMBRE REGIONGROWTHSESSION**

Descripción Especialización de “Session” diseñada para soportar la máquina de estados definida para este método de segmentación.

**NOMBRE REGIONGROWTHSTATEMANAGER**

Descripción Especialización de “StateManager”, definida para la sesión de segmentación basada crecimiento de regiones.

**Método de etiquetado para los resultados del Crecimiento de Regiones.**

Para el etiquetado de los segmentos obtenidos en crecimiento de regiones sólo es necesario implementar el método que utiliza un único punto, es decir, al que solamente hay que indicarle la localización del segmento. El diagrama de clases de la Figura 112 resume la situación diseñada

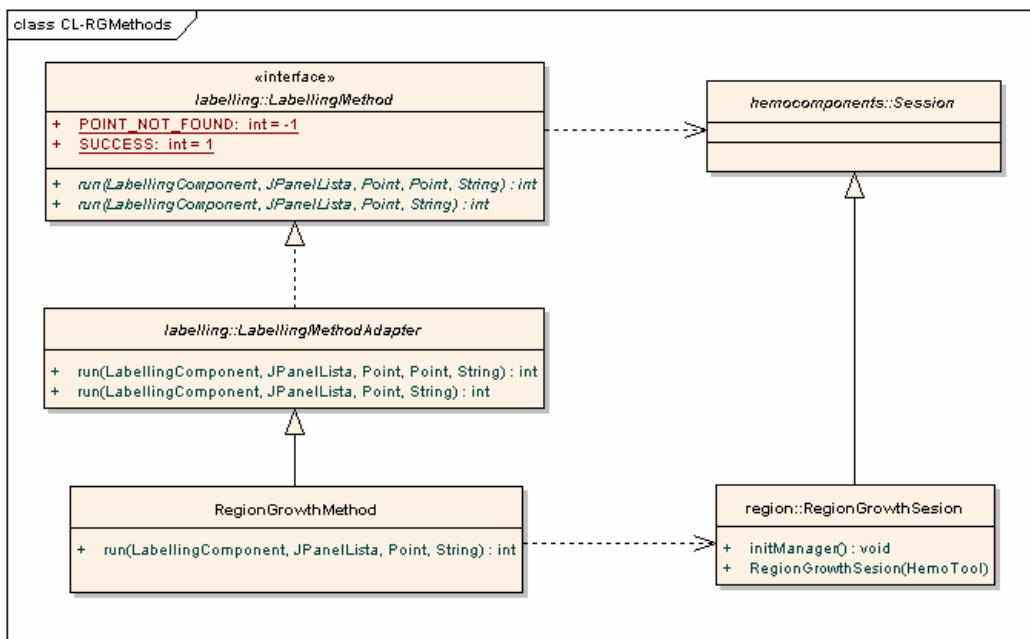


Figura 112. Diagrama de las clases implicadas en el etiquetado en una sesión de "Crecimiento de Regiones".

### Estados adicionales propuestos

En la Figura 113 se muestra el diagrama que incluye las nuevas clases necesarias para dar soporte a los nuevos estados propuestos para la técnica de segmentación basada en crecimiento de regiones.

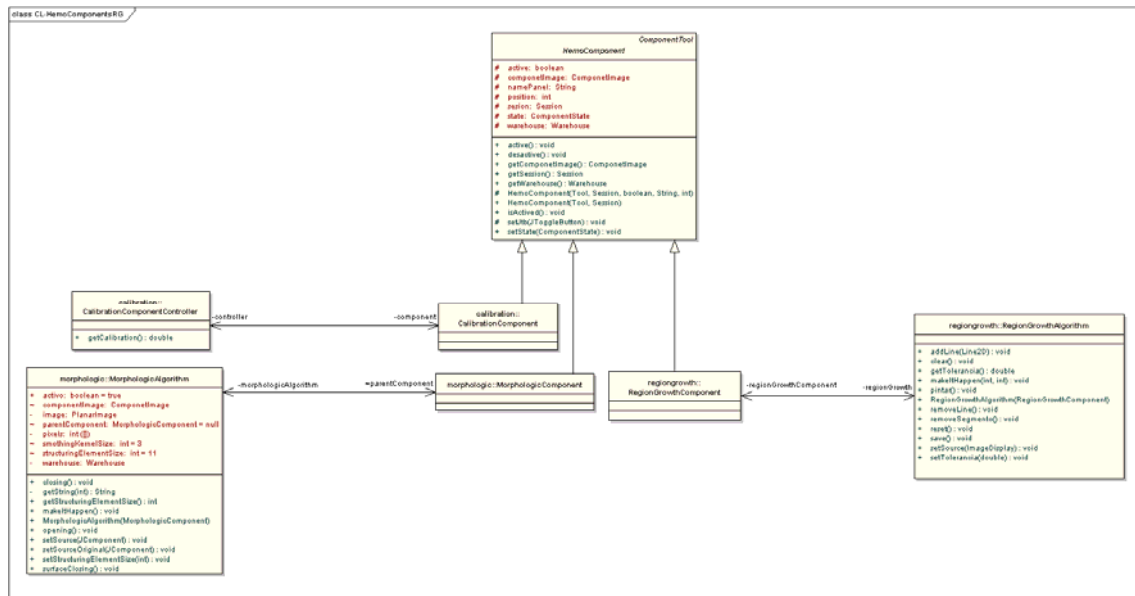


Figura 113. Diagrama de las nuevas clases necesarias para soportar los estados propuestos.

A continuación se realiza la descripción de las nuevas clases.

### Descripción de las clases

NOMBRE	CALIBRATIONCOMPONENT
--------	----------------------

Descripción	Especialización de HemoToolComponent que representa el estado “Calibración” de la máquina de estados.
-------------	---

NOMBRE	TRACKING
--------	----------

Descripción	Esta clase debe implementar el algoritmo de calibración.
-------------	--

**NOMBRE MORPHOLOGICCOMPONENT**

---

Descripción Especialización de HemoToolComponent que representa el estado “Preprocesado” de la máquina de estados.

**NOMBRE MORPHOLOGICALGORITHM**

---

Descripción Esta clase implementa los algoritmos de preprocesado de imágenes pertinentes.

**NOMBRE REGIONGROWTHCOMPONENT**

---

Descripción Especialización de HemoToolComponent que representa el estado “Segmentación” de la máquina de estados.

**NOMBRE REGIONGROWTHALGORITHM**

---

Descripción Esta clase debe implementar el algoritmo de segmentación basado en crecimiento de regiones que permita segmentar vasos arteriales del árbol coronario.



## VI. Resultados y Discusión

---

Fruto del seguimiento de la metodología propuesta, el sistema de información basado en imagen ha sido implantado con éxito en el Servicio de Hemodinámica del Complejo Hospitalario Universitario “Juan Canalejo”. Actualmente, se encuentra en fase de planteamiento el ensayo clínico que permitirá validar como factor pronóstico el volumen de árbol arterial afectado por una o varias estenosis.

En este capítulo, se exponen los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos establecidos en el inicio de este trabajo. En primer lugar, se muestran los resultados obtenidos en relación a los objetivo “adquisición de estudios angiográficos”. En este apartado, se mostrará como el sistema de información proporciona las funcionalidades necesarias para adquirir estudios angiográficos DICOM, tanto a través de una red de comunicaciones TCP/IP utilizando los protocolos de comunicaciones propuestos por el estándar, como desde sistemas de almacenamiento secundario. Los resultados se mostrarán clasificados en función de la herramienta concreta utilizada para la adquisición: DISTA, para la adquisición desde dispositivos de almacenamiento secundario y DISCUS para la adquisición a través de la red. Se ha estudiado, para diferentes series, su tiempo de adquisición, el espacio ocupado originalmente y el ocupado en el sistema de información.

En segundo lugar, se relatan los resultados relacionados con el objetivo “acceso a los estudios angiográficos almacenados”. En esta sección, se detallan las funcionalidades que aporta el sistema de información a la hora acceder a los estudios angiográficos de un Servicio de Hemodinámica y se detallan cuales son los avances que supone en comparación con el sistema de acceso a los estudios actuales.

En el tercer apartado, se evalúan las capacidades de segmentación y etiquetado del sistema, incidiendo no sólo en las herramientas de segmentación implantadas, sino en la capacidad del Sistema para integrar nuevas herramientas de forma sencilla. Además, se han realizado

pruebas de validación informática de las herramientas de segmentación ya disponibles, basada en seguimiento y basada en crecimiento de regiones, mediante la comparación de las medidas realizadas por dos usuarios independientes.

A continuación, se relata cuál es la funcionalidad aportada por la herramienta de construcción del árbol arterial artificial y como éste proporciona una serie de valores de interés diagnóstico, entre ellos, el más relevante a nivel clínico es el porcentaje del árbol arterial afectado por una o varias estenosis, que es el “score” que se pretendía proporcionar a los clínicos en los objetivos.

## **1. Adquisición de Estudios Angiográficos.**

El sistema de información está diseñado para adquirir y utilizar estudios angiográficos que cumplan el estándar DICOM 3. Estos estudios pueden obtenerse a través de dos vías: a través de una entidad de capa de aplicación DICOM que envía el estudio al sistema o a través de los archivos que componen el estudio almacenados en un dispositivo secundario. En el caso del sistema implantando en el CHUJC, estos estudios pueden provenir de dos fuentes diferentes:

- Dispositivos de angiografía Siemens y Philips: En este caso, los propios angiógrafos envían toda la información del estudio al sistema por medio de una conexión TCP/IP, utilizando DICOM 3 como estándar que define el protocolo de comunicaciones de la capa de aplicación.
- Estudios de angiografía DICOM almacenados en CD: En este caso el sistema de información incorpora una herramienta que permite al usuario visualizar el contenido de los ficheros que componen el estudio para cada una de las proyecciones tomadas, facilitando que pueda seleccionar cuales son las imágenes relevantes que van a ser almacenadas en el sistema. Esta herramienta es de especial utilidad para estudiar casos históricos y permite añadir los datos generados en los últimos años en el sistema de información.

Estos dos métodos de adquisición facilitan el uso de la aplicación, tanto en casos actuales como en casos históricos.

En ambos casos, la información contenida en cada uno de los campos de los ficheros DICOM obtenidos es desplegada por el subsistema SMIIS en una base de datos relacional que facilita el acceso y manipulación de dicha información. Dicho subsistema proporcionará también las funcionalidades básicas de acceso.

A continuación, se detallan las funcionalidades concretas de las dos herramientas y se ofrecen los datos de las pruebas realizadas para su validación en el entorno.

## 1.1 DISCUS

DIcom SeCure Server (DISCUS) es el resultado de la implementación del módulo de adquisición de estudios a través de una red de comunicaciones. DISCUS es un servidor que proporciona los servicios DICOM de verificación, almacenamiento, Consulta/Recuperación y Listas de Trabajo de la Modalidad, tanto a través de comunicaciones seguras como no seguras y que, a su vez, se integra con el sistema de información, enviando los estudios recibidos al subsistema de acceso a datos, que éste despliega en una base de datos. La elección de la utilización de conexiones seguras o no seguras se realiza en función del ámbito de implantación

La interfaz gráfica ha sido desarrollada utilizando el API Swing de Java y su ventana principal puede verse en la Figura 114.

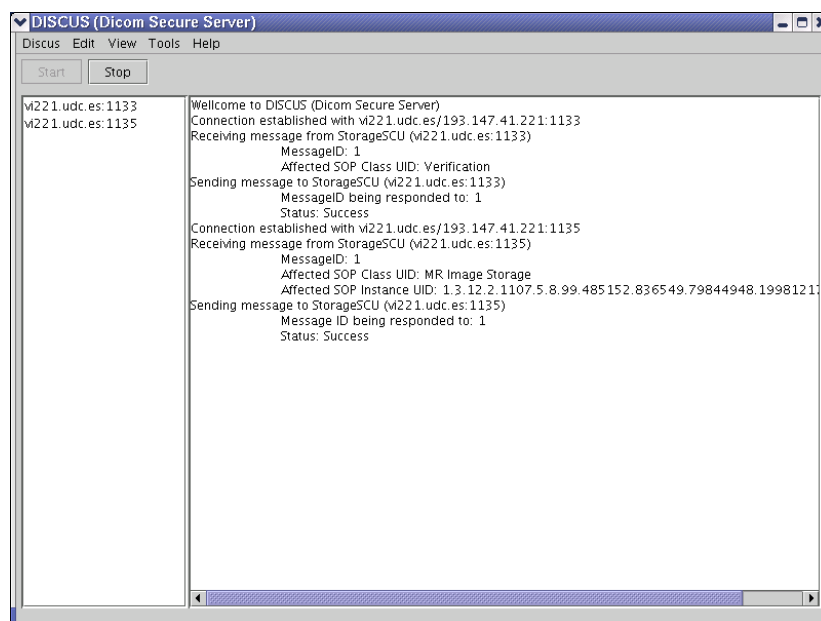


Figura 114. Pantalla principal de DISCUS.

En la parte izquierda de esta ventana existe una lista que indica la dirección IP y el puerto de todas las entidades DICOM conectadas con el servidor. Esta lista se actualiza en tiempo real.

Las entidades DICOM que están asociadas al servidor poseen un contexto de presentación en el que se indican parámetros como las “clases SOP” que pueden manejar y en qué papel, un contexto de aplicación con el máximo tamaño de PDU admitido, el estado en el que se encuentra la capa “DICOM Upper Layer”, etc. Al pulsar sobre una de las entidades de la lista que se encuentra en la parte izquierda de la pantalla principal es posible observar esta información (ver Figura 115). También se proporciona un botón que permite la terminación normal (A-RELEASE) de la asociación con la entidad.

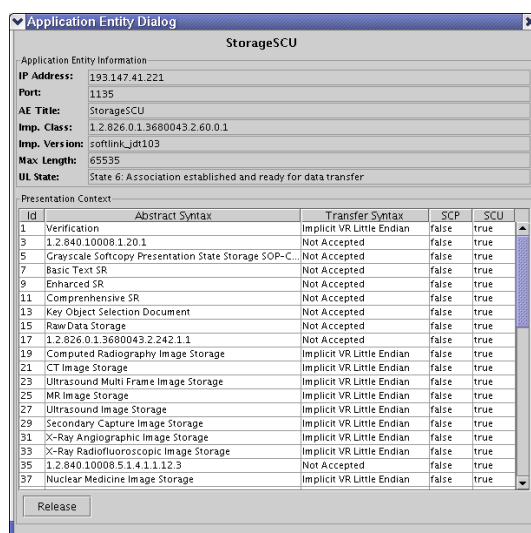


Figura 115. Pantalla de información de asociación.

### 1.1.1 Pruebas de validación.

Una vez que el desarrollo del software ha finalizado y las pruebas de unidad y de integración han sido satisfactorias debe comprobarse que el software se ajusta a las expectativas y cumple los requisitos que en un principio habían sido definidos.

Para realizar las pruebas de validación se han utilizado dos aplicaciones auxiliares: JDicom y DCMTK.

JDicom [JDIC-07] es un conjunto de aplicaciones DICOM desarrolladas en Java. En concreto, se ha utilizado la aplicación StorageSCU, que realiza las funciones de cliente (SCU) para la validación de los servicios de verificación y almacenamiento.

DCMTK [DCMT-07] es una colección de librerías y aplicaciones escritas en C++ que implementan gran parte del estándar DICOM. Incluye software para enviar y recibir imágenes por red y, al contrario que JDicom, puede hacerlo utilizando el protocolo TLS.

Para comprobar la funcionalidad del servidor desarrollado, se han realizado una serie de pruebas que, a continuación, se detallan:

1. En la Figura 116, se puede observar el establecimiento de una asociación iniciada por JDicom, realización del servicio de verificación “C-ECHO” y terminación normal de la asociación “A-RELEASE”. Se muestra que el servidor ha recibido un mensaje de petición de servicio de verificación de la máquina 193.147.41.221:2696, ha procesado la petición y ha enviado la respuesta a JDicom. La terminación de la asociación se ha realizado con éxito.

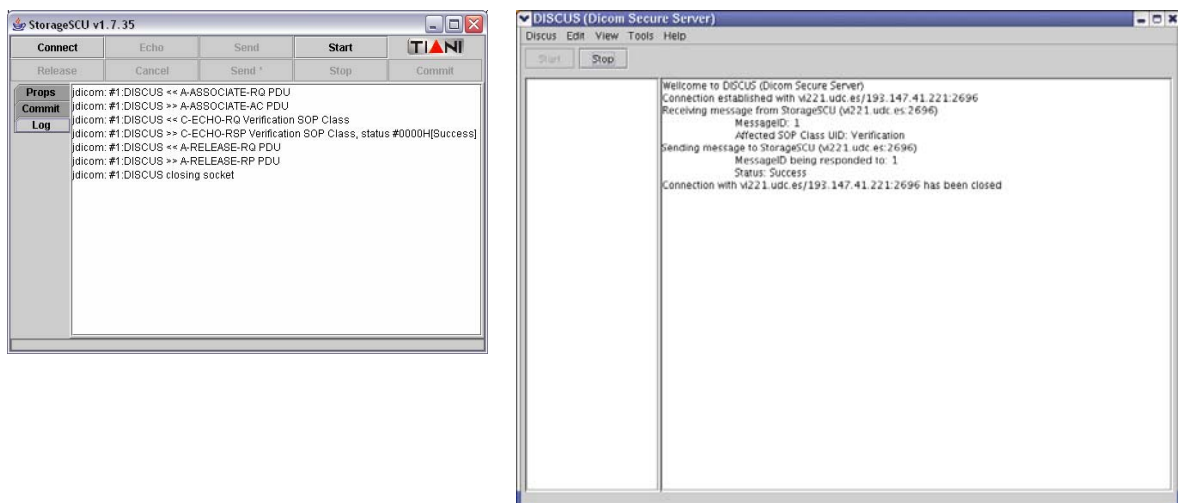


Figura 116. Prueba de validación 1, C-ECHO.

2. En la Figura 117, se muestra el establecimiento de una asociación iniciada por JDicom, la ejecución del servicio de verificación y la realización del servicio de almacenamiento “C-STORE” de una imagen de 9.410 KBytes.

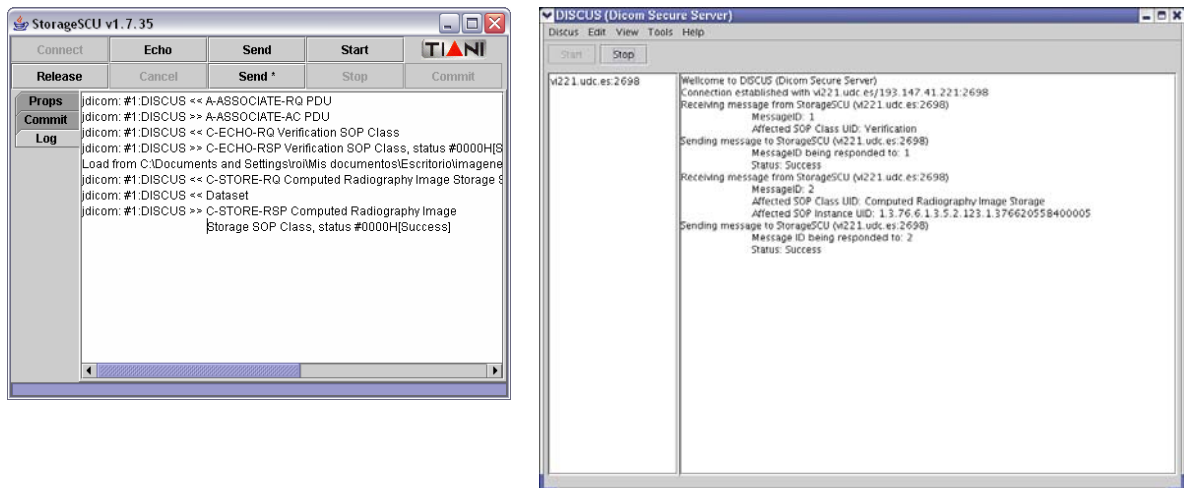


Figura 117. Prueba de validación 2, C-ECHO, C-STORE.

3. Comprobación de la capacidad de realización de dos servicios simultáneos “multithreading”. La Figura 118 es el resultado de la realización del siguiente procedimiento. En primer lugar, se han conectado dos aplicaciones, la primera de ellas envía una imagen de 6 MBytes para su almacenamiento. Cuando el servidor está recibiendo la imagen, la segunda aplicación envía una imagen de 135 KBytes. El servidor, debido a su capacidad “multithread”, realiza los dos servicios de forma concurrente y finaliza antes la última petición debido a que su tiempo de procesamiento es menor.

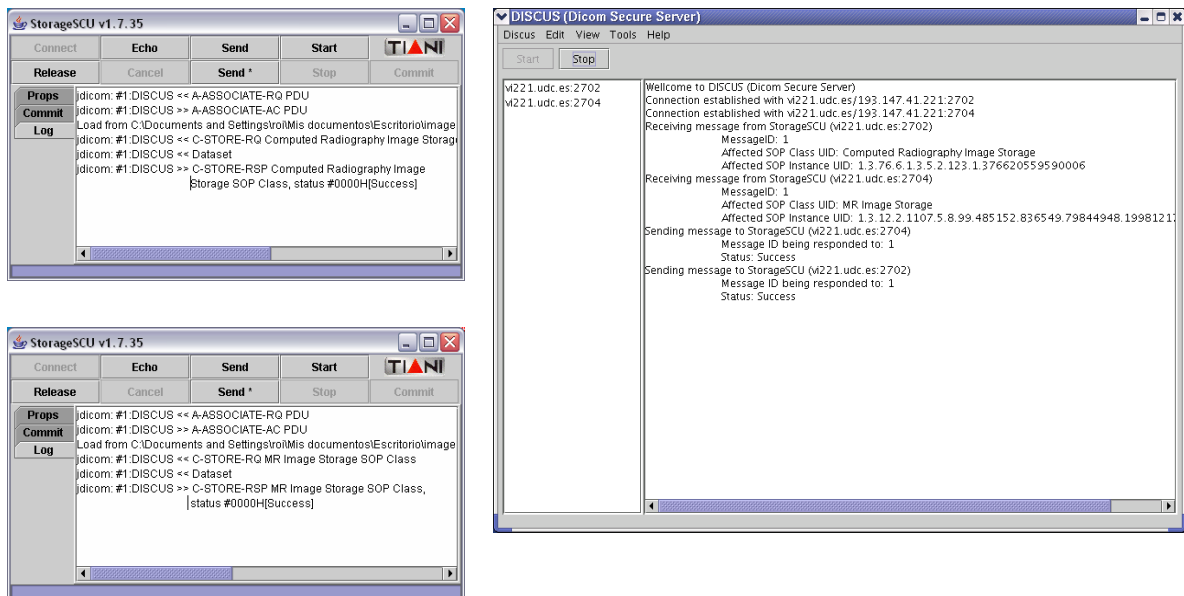


Figura 118. Comprobación de la capacidad multiservicio.

### 1.1.2 Pruebas de seguridad:

Antes de realizar las pruebas de seguridad, se han realizado distintos pasos para la configuración de las políticas de seguridad.

- Como primer paso ha sido necesario crear una Autoridad Certificadora (CA) propia, utilizando dos herramientas: keytool de Java [KEYT-07] y OpenSSL [OSSL-07]. Con esta medida, se ha creado un sistema de control de acceso al servidor. La Autoridad Certificadora es la encargada de firmar los certificados de las entidades cliente. De esta forma, cuando un cliente intenta realizar una conexión con DISCUS se verifica si el certificado del cliente está firmado por esta CA, si es así se permite el acceso, en caso contrario, es rechazado.
- Una vez instaurada la Autoridad Certificadora se han creado dos nuevos certificados, uno para el servidor y otro para un cliente, ambos firmados por la CA (véase Figura 119).

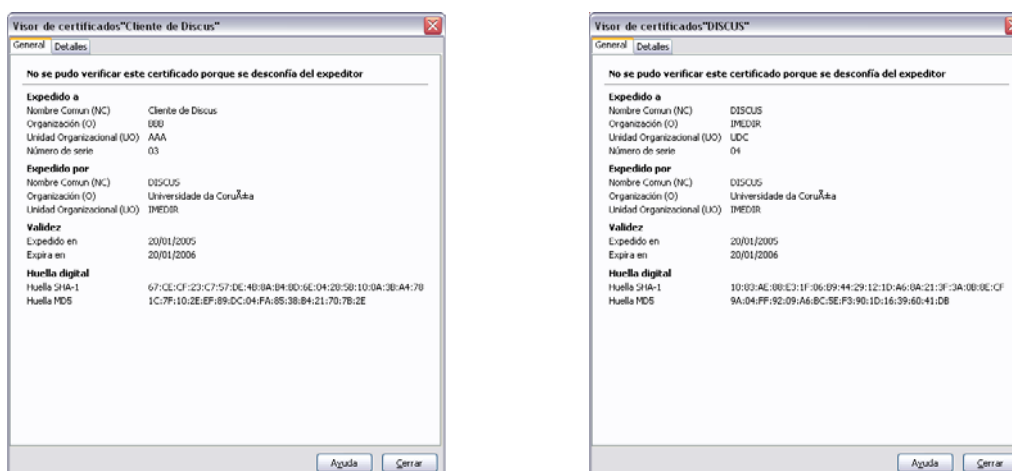


Figura 119. Ejemplo de certificados firmados por la Autoridad Certificadora DISCUS.

- Debido a que JDicom no posee la capacidad de realizar conexiones seguras, se va a utilizar un túnel con la aplicación STunnel [STUN-07], que permite crear un envoltorio que añade SSL a las peticiones de JDicom.

Al concluir las labores de configuración, se realizaron las siguientes pruebas de seguridad:

1. Comprobación de acceso no permitido: Para realizar esta prueba se ha realizado un intento de conexión desde JDicom utilizando Stunnel para proporcionar la seguridad. El certificado del cliente es el que por defecto está instalado en STunnel y, por tanto no está firmado por la Autoridad Certificadora. Como puede observarse en la Figura 120, la conexión es rechazada debido a que el certificado no es de confianza.

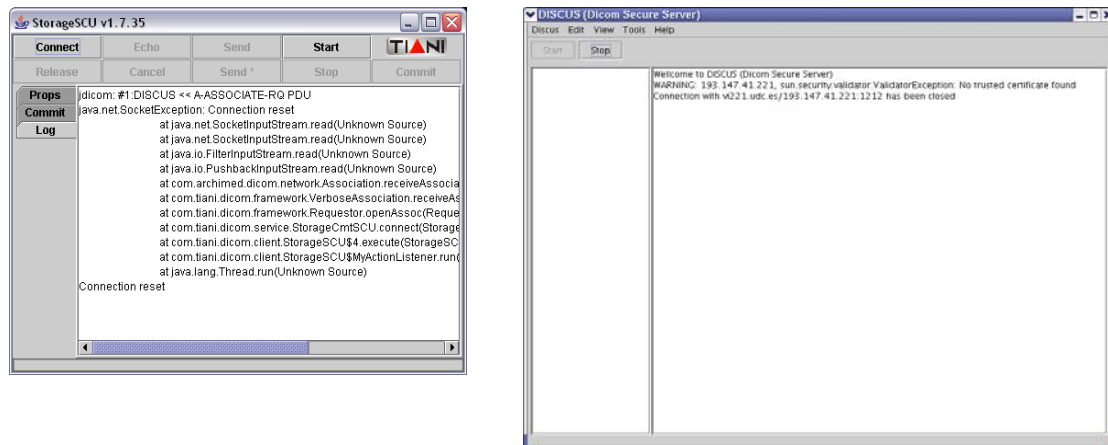


Figura 120. Prueba de acceso no permitido.

2. Comprobación de confidencialidad. Para realizar esta prueba se ha utilizado la aplicación “WireShark” [WIRE-07]. Este programa, entre muchas otras cosas, permite realizar capturas de los paquetes que circulan por la red. En la Figura 121, se muestra la captura de una petición de asociación enviada por JDicom a un servidor que carece de seguridad. Como se puede observar, Wireshark reconoce el patrón DICOM y muestra por pantalla el contenido de la petición. En la Figura 122, se muestra la captura de los paquetes enviados desde JDicom con túnel SSL al servidor DISCUS. Se puede apreciar que Wireshark no es capaz de identificar los paquetes como mensajes DICOM. La información es ininteligible gracias al uso de la criptografía.



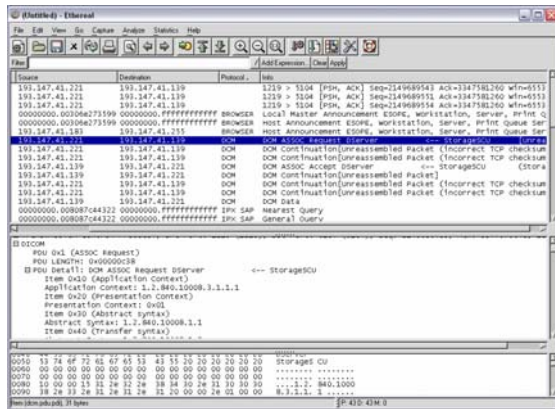


Figura 121. Captura de una asociación sin cifrado.

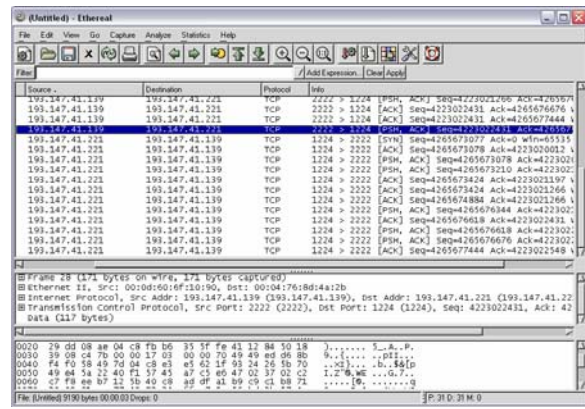


Figura 122. Captura de una asociación con cifrado.

### 1.1.3 Pruebas de Rendimiento.

Para evaluar el rendimiento del servidor DISCUS se han realizado una serie de pruebas de transmisión, comprobando los tiempos de adquisición para un total de 65 series, obtenidas de estudios generados por diferentes dispositivos de angiografía.

La infraestructura utilizada para realizar las comunicaciones fue una red de datos TCP/IP sobre tecnología FastEthernet “full-dúplex”, que cumplía los estándares IEEE 802.3u y IEEE 802.3x. Las pruebas fueron realizadas en diferentes días, dentro de un horario donde los parámetros de utilización de la red estaban dentro de sus valores habituales.

El cliente utilizado para realizar el envío de los estudios fue “JDicom Storage SCU 1.7.35”. Los resultados obtenidos se pueden ver en la Tabla XXXVI.

Como principales conclusiones, se pueden extraer de la citada tabla, que existe una relación directa entre los tiempos de transmisión y el tamaño de las series, y que la conexión para el envío de datos consume una cantidad relativamente baja del ancho de banda total disponible en el enlace, lo que permitiría la realización de múltiples conexiones simultáneas con el servidor.

Tabla XXXVI. Rendimiento de la transmisión de series pertenecientes a diversos estudios angiográficos de estudios angiográficos.

Nº Serie	Tiempo de Transmisión	Paquetes	Tamaño Medio Paq (bytes)	Tamaño Total	Mbits/seg	Utilización de la red
1	13.009 ms	19.603	991,24 bytes	19.431.263 bytes	11,95 Mbps	11,95%
2	12.684 ms	17.969	988,86 bytes	17.768.879 bytes	11,21 Mbps	11,21%
3	16.415 ms	21.041	989,54 bytes	20.820.836 bytes	10,15 Mbps	10,15%
4	13.305 ms	18.818	988,52 bytes	18.601.882 bytes	11,18 Mbps	11,18%
5	13.788 ms	19.952	958,00 bytes	19.712.520 bytes	11,44 Mbps	11,44%
6	15.567 ms	20.620	990,55 bytes	20.425.096 bytes	10,50 Mbps	10,50%
7	30.932 ms	33.210	991,00 bytes	32.911.220 bytes	8,51 Mbps	8,51%
8	30.003 ms	35.895	989,52 bytes	35.518.842 bytes	9,47 Mbps	9,47%
9	19.389 ms	22.979	990,66 bytes	22.764.375 bytes	9,39 Mbps	9,39%
10	15.803 ms	22.196	988,13 bytes	21.932.498 bytes	11,10 Mbps	11,10%
11	16.532 ms	21.056	989,04 bytes	20.825.186 bytes	10,08 Mbps	10,08%
12	20.304 ms	23.836	989,96 bytes	23.596.620 bytes	9,30 Mbps	9,30%
13	15.718 ms	20.782	987,50 bytes	20.522.140 bytes	10,45 Mbps	10,45%
14	19.503 ms	23.260	990,52 bytes	23.039.501 bytes	9,45 Mbps	9,45%
15	20.351 ms	24.046	987,60 bytes	23.747.790 bytes	9,34 Mbps	9,34%
16	13.493 ms	19.075	989,64 bytes	18.877.354 bytes	11,19 Mbps	11,19%
17	12.986 ms	17.126	989,01 bytes	16.937.830 bytes	10,43 Mbps	10,43%
18	21.249 ms	24.106	990,31 bytes	23.872.326 bytes	8,99 Mbps	8,99%
19	62.254 ms	48.773	989,96 bytes	48.283.337 bytes	6,20 Mbps	6,20%
20	8.325 ms	17.938	990,09 bytes	17.760.190 bytes	17,07 Mbps	17,07%
21	4.065 ms	10.637	987,06 bytes	10.499.358 bytes	20,66 Mbps	20,66%
22	63.702 ms	48.842	988,66 bytes	48.288.324 bytes	6,06 Mbps	6,06%
23	61.669 ms	48.050	989,71 bytes	47.555.694 bytes	6,17 Mbps	6,17%
24	4.438 ms	12.914	989,09 bytes	12.773.038 bytes	23,02 Mbps	23,02%
25	6.721 ms	12.354	988,88 bytes	12.216.678 bytes	14,54 Mbps	14,54%
26	5.021 ms	10.644	991,28 bytes	10.551.190 bytes	16,81 Mbps	16,81%
27	7.294 ms	12.361	988,36 bytes	12.217.081 bytes	13,40 Mbps	13,40%
28	449 ms	1.116	997,76 bytes	1.113.502 bytes	19,84 Mbps	19,84%
29	13.536 ms	16.570	988,56 bytes	16.380.506 bytes	9,68 Mbps	9,68%
30	10.898 ms	16.263	990,07 bytes	16.101.509 bytes	11,82 Mbps	11,82%
31	10.379 ms	15.432	989,63 bytes	15.272.009 bytes	11,77 Mbps	11,77%
32	6.337 ms	12.598	991,60 bytes	12.492.213 bytes	15,77 Mbps	15,77%
33	7.331 ms	14.312	986,77 bytes	14.122.647 bytes	15,41 Mbps	15,41%
34	6.277 ms	15.427	989,85 bytes	15.270.457 bytes	19,46 Mbps	19,46%
35	7.793 ms	15.129	990,94 bytes	14.991.902 bytes	15,39 Mbps	15,39%
36	9.428 ms	15.344	992,45 bytes	15.228.082 bytes	12,92 Mbps	12,92%
37	8.449 ms	14.581	990,34 bytes	14.440.077 bytes	13,67 Mbps	13,67%
38	8.169 ms	13.717	992,06 bytes	13.608.030 bytes	13,33 Mbps	13,33%
39	8.201 ms	14.261	992,67 bytes	14.156.450 bytes	13,81 Mbps	13,81%
40	6.925 ms	13.740	990,26 bytes	13.606.110 bytes	15,72 Mbps	15,72%

Nº Serie	Tiempo de Transmisión	Paquetes	Tamaño Medio Paq (bytes)	Tamaño Total	Mbits/seg	Utilización de la red
41	5.230 ms	12.030	992,24 bytes	11.936.687 bytes	18,26 Mbps	18,26%
42	4.288 ms	10.914	992,02 bytes	10.826.857 bytes	20,20 Mbps	20,20%
43	3.349 ms	8.671	992,56 bytes	8.606.453 bytes	20,56 Mbps	20,56%
44	339 ms	1.973	986,84 bytes	1.947.029 bytes	45,95 Mbps	45,95%
45	4.256 ms	10.388	989,00 bytes	10.273.685 bytes	19,31 Mbps	19,31%
46	4.926 ms	10.065	992,92 bytes	9.993.769 bytes	16,23 Mbps	16,23%
47	6.786 ms	11.851	990,09 bytes	11.733.531 bytes	13,83 Mbps	13,83%
48	9.306 ms	13.992	991,96 bytes	13.879.482 bytes	11,93 Mbps	11,93%
49	4.706 ms	12.004	991,58 bytes	11.902.871 bytes	20,23 Mbps	20,23%
50	5.073 ms	12.552	990,29 bytes	12.430.073 bytes	19,60 Mbps	19,60%
51	3.634 ms	10.641	991,42 bytes	10.549.748 bytes	23,22 Mbps	23,22%
52	3.836 ms	10.640	911,51 bytes	10.549.714 bytes	22,00 Mbps	22,00%
53	2.577 ms	8.424	988,93 bytes	8.330.751 bytes	25,86 Mbps	25,86%
54	7.869 ms	15.946	991,59 bytes	15.811.953 bytes	16,08 Mbps	16,08%
55	4.994 ms	12.810	989,99 bytes	12.681.746 bytes	20,32 Mbps	20,32%
56	3.814 ms	10.917	991,76 bytes	10.827.002 bytes	22,71 Mbps	22,71%
57	3.678 ms	10.342	993,15 bytes	10.271.136 bytes	22,34 Mbps	22,34%
58	3.437 ms	10.091	990,50 bytes	9.995.180 bytes	23,26 Mbps	23,26%
59	1.081 ms	5.074	985,62 bytes	5.001.012 bytes	37,01 Mbps	37,01%
60	3.049 ms	8.952	992,42 bytes	8.884.096 bytes	23,31 Mbps	23,31%
61	2.599 ms	8.405	991,04 bytes	8.329.718 bytes	25,64 Mbps	25,64%
62	2.957 ms	8.965	991,06 bytes	8.884.821 bytes	24,04 Mbps	24,04%
63	1.533 ms	5.231	991,67 bytes	5.276.686 bytes	27,54 Mbps	27,54%
64	8.247 ms	15.851	989,67 bytes	15.687.256 bytes	15,22 Mbps	15,22%
65	4.463 ms	12.081	988,30 bytes	11.939.646 bytes	21,40 Mbps	21,40%
<b>Promedio</b>	<b>11.611 ms</b>	<b>16.391</b>	<b>988,52 bytes</b>	<b>16.227.468 bytes</b>	<b>16,20 Mbps</b>	<b>16,20%</b>

#### 1.1.4 Discusión.

A la hora de hacer una reflexión sobre las funcionalidades proporcionadas por esta herramienta, en una primera aproximación, puede parecer innecesaria la posibilidad de realizar conexiones no seguras, puesto que en un principio las ventajas que proporciona una comunicación segura (autenticación, integridad y confidenciabilidad) son siempre deseables, aunque no sean requeridas por el tipo de datos a enviar.

Sin embargo, una revisión en mayor profundidad del ámbito donde se implanta este servidor determina la estricta necesidad de proporcionar este tipo de comunicaciones. Esto se debe a que los dispositivos que generan los estudios DICOM, en muchos casos, no

soportan las comunicaciones seguras. Además, el entorno de red donde se encuentran dichos dispositivos son redes de área local fuertemente protegidas de las redes de datos públicas, como Internet, con diferentes tipos de dispositivos y tecnologías: “firewalls”, dispositivos de enrutamiento, conmutadores con redes de área local virtuales (Virtual LAN, VLAN), sistemas de detección y prevención de intrusos (IDS, IPS), “proxies”, etc. Por lo tanto, para realizar transmisiones de datos seguras en redes fuertemente protegidas no es necesario aplicar técnicas de seguridad en los protocolos de las capas superiores puesto que serían redundantes.

No obstante, es necesario tener en cuenta que una aplicación escalable que utiliza la pila de protocolos TCP/IP debe estar preparada para enviar sus datos a través de redes públicas, proporcionando las mismas características de seguridad que en una red de área local privada, lo que justifica la necesidad de los dos tipos de comunicaciones.

## **1.2 DISTA**

DISTA es el nombre que recibe el módulo del sistema de información encargado de introducir los estudios en el mismo desde dispositivos de almacenamiento secundario. Está diseñado para cargar la información DICOM almacenada en cualquier tipo de sistema de ficheros compatible con Java, facilitando la visualización de su contenido. La herramienta permite al clínico seleccionar la información relevante del estudio y solicitar al subsistema de acceso a datos que guarde la información indicada de forma persistente en una base de datos.

A continuación, se detalla el funcionamiento de este módulo.

### **1.2.1 Pruebas de validación**

Una vez que el desarrollo del software ha finalizado y las pruebas de unidad y de integración han sido satisfactorias debe comprobarse que el software se ajusta a las expectativas y cumple los requisitos que en un principio habían sido definidos.

#### **1.2.1.1 Inicio de la aplicación**

La aplicación, una vez instalada e iniciada, y autenticado el usuario, muestra una interfaz como la que se puede ver en la Figura 123.

Como se puede observar, la pantalla esta dividida en tres secciones. En la superior se muestran los datos del paciente, en concreto el “Nombre” del paciente y el identificador de su “Historia Clínica”.

En la parte central de la pantalla, se puede ver la información relevante de los estudios que en ese momento estén cargados en memoria, como por ejemplo el identificador único del estudio (UID) en la columna “Estudio” y la “Fecha de Estudio” que refleja el momento en el que se realizó dicha angiografía.

Por último, en la parte inferior de la pantalla, se muestran nombres de paciente ya registrados en la base de datos cuyos nombres se asemejan al paciente propietario del archivo cargado. La función de esta ventana se detallará más adelante.

Desde el menú “Archivo” se puede seleccionar donde está ubicada la información con la que se va a tratar.

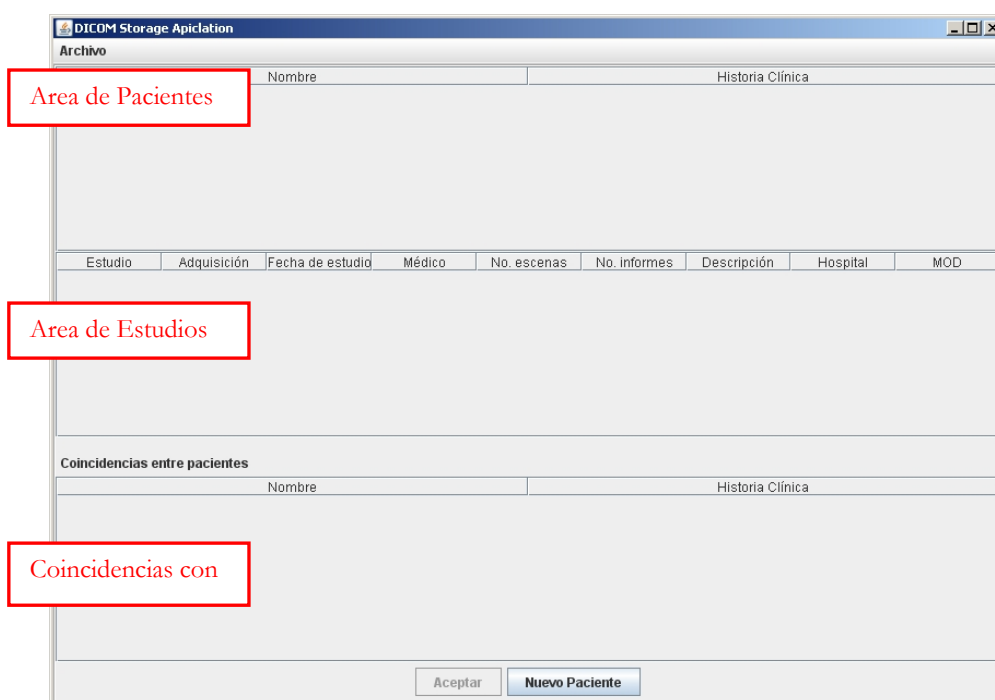


Figura 123. Pantalla inicial de la aplicación DISTA.

### 1.2.1.2 Carga de los estudios

Los estudios pueden ser cargados de dos maneras diferentes: De forma individual, es decir archivo a archivo, o de forma conjunta, cargando con una sola orden todos los archivos del directorio indicado, tal y como se puede observar en la Figura 124.



Figura 124 Opciones de carga de estudios DICOM en DISTA.

Al seleccionar la opción de cargar un único archivo DICOM, aparece en pantalla un cuadro de diálogo de lectura de un archivo (ver Figura 125), que permite elegir el fichero deseado.

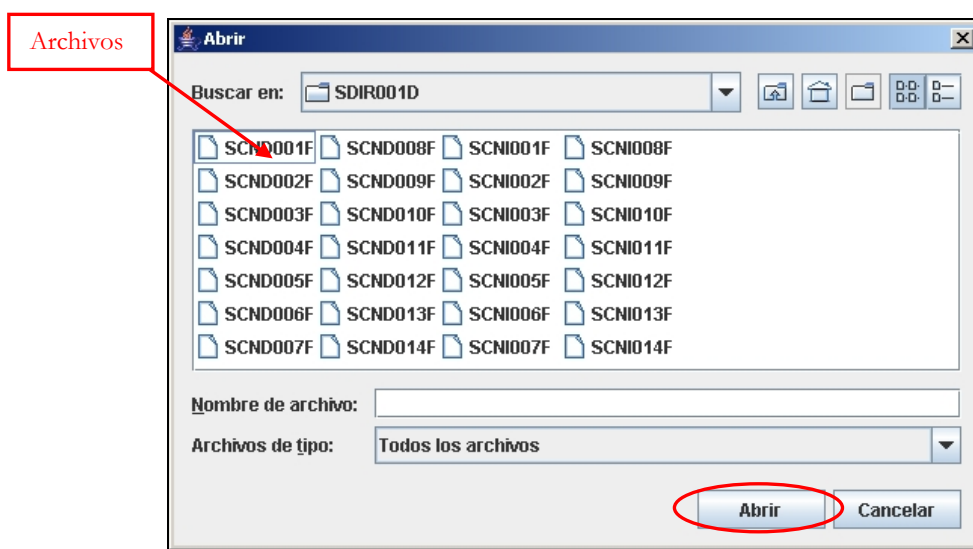


Figura 125. Cuadro de Diálogo de apertura de archivos en DISTA.

Para cargar en memoria un directorio completo el procedimiento es similar, pero en lugar de optar por un fichero concreto se selecciona un directorio y todos los archivos DICOM existentes en el directorio son cargados en memoria.

Durante el proceso de carga de los archivos, se muestra en pantalla una ventana de diálogo (ver Figura 126) que permite abortar el proceso.

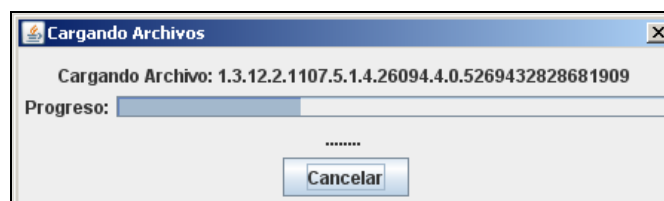


Figura 126. Barra de progreso de apertura de archivos en DISTA.

### 1.2.1.3 Visualización de los estudios

Una vez que han sido cargados los archivos del estudio en la aplicación, se puede observar en la parte superior de la pantalla, una línea de detalle por cada paciente distinto encontrado en los archivos cargados; en la parte intermedia, una línea por cada angiografía del paciente seleccionado en la parte superior (si no existe ningún paciente seleccionado se muestran los estudios del primer paciente de la lista); y finalmente, en la parte inferior, si existe alguna coincidencia de la información de filiación del paciente con la ya almacenada en la base de datos (ver Figura 127).

The image shows the 'DICOM Storage Application' interface. It is divided into three main sections:

- Datos de Pacientes:** A table with columns 'Nombre' and 'Identificador'. It contains two rows: 'Desconocido' with 'ccccccccc' and 'Anonimus' with 'xxxxxxxx'.
- Estudios de Paciente:** A table with columns: 'Studio', 'Accesion', 'Fecha de estudio', 'Médico', 'No. escenas', 'No. informes', 'Descripción', 'Hospital', and 'MOD'. It contains one row: '28575', '...', '04/05/2004 09:48:...', '...', '179', '?', '...', '...', '...'.
- Coincidencias con:** A table with columns 'Nombre' and 'Identificador'. It contains two rows: 'Anonimo Dos Cero' with 'Anon.2.0' and 'Anonimo Uno Cero' with 'Anon.1.0'.

At the bottom of the application window, there are two buttons: 'Aceptar' and 'Nuevo Pacinete'.

Figura 127. Datos cargados de los archivos en DISTA.

Si el paciente, cuyos datos acaban de cargarse en la aplicación, se corresponde con uno de los que aparecen en la parte inferior de la pantalla basta con seleccionarlo y pulsar el botón “Aceptar” para añadir la información del estudio actual a la ya existente en la base de datos para el paciente.

Si no aparece el identificador de historia clínica o no es correcto se debe pulsar “Nuevo Paciente”. Esto lanza un nuevo cuadro de diálogo que permite corregir el error y añadir más información sobre el paciente (ver Figura 128).

En la parte intermedia de la pantalla, se encuentra la tabla con todos los estudios obtenidos de los distintos archivos cargados para el paciente seleccionado en la parte superior de la pantalla.



Figura 128. Cuadro de dialogo para cambiar los datos de un paciente en DISTA.

Con las funciones detalladas hasta el momento, este módulo permite examinar el contenido de estudios angiográficos ubicados en un sistema de almacenamiento secundario, y determinar si la información de dicho estudio pertenece a un paciente ya existente en el sistema, o por el contrario, es necesario dar de alta a dicho paciente.

A continuación, para acceder a las distintas proyecciones almacenadas en cada estudio, basta con hacer doble clic sobre él. En ese momento, se abre una nueva ventana donde se muestran todas las proyecciones del estudio. Estas miniaturas se encuentran emplazadas en una pestaña denominada “Muestras”.



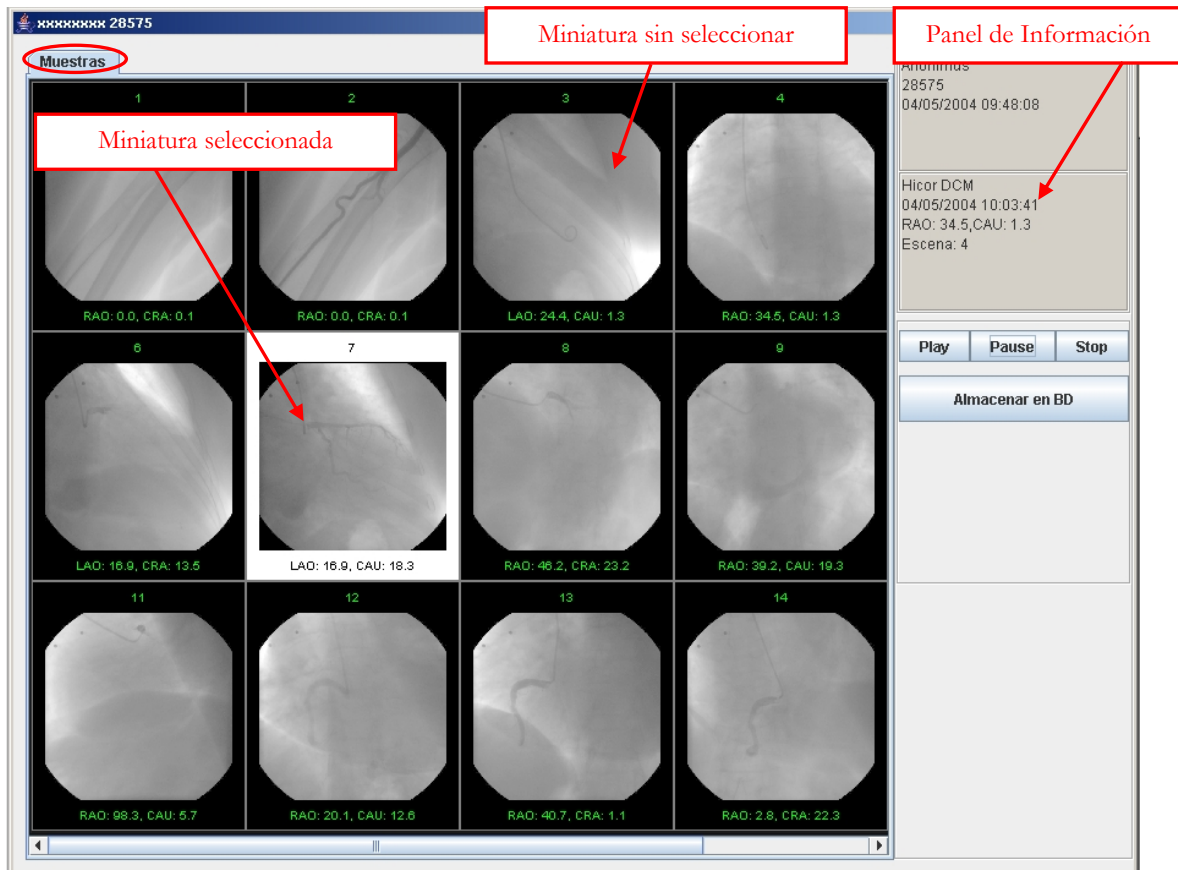


Figura 129. Pantalla de visualización de un estudio en DISTA.

Cada una de las proyecciones se representa con una miniatura de la sexta imagen de la proyección. Cuando se pasa con el ratón por encima de alguna de estas miniaturas se muestra información adicional en la parte superior derecha en lo que se denomina “Panel de Información”. Además, está permitido tener más de una miniatura seleccionada.

Puede observarse una proyección concreta en modo “cine” utilizando los botones “Play”, “Pause” y “Stop” ubicados en el “Panel de Información”(ver Figura 130 y Figura 131).

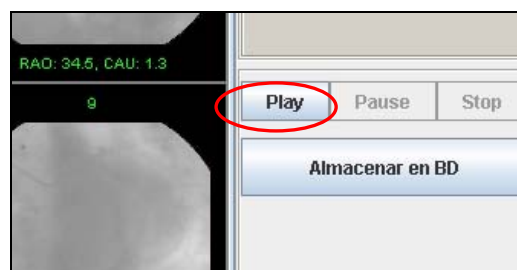


Figura 130. El botón "Play" para visualizar una secuencia de imágenes en modo cine en DISTA.

En ese momento aparece emplazado en una nueva pestaña un vídeo que muestra la secuencia animada de las distintas imágenes (ver Figura 131).

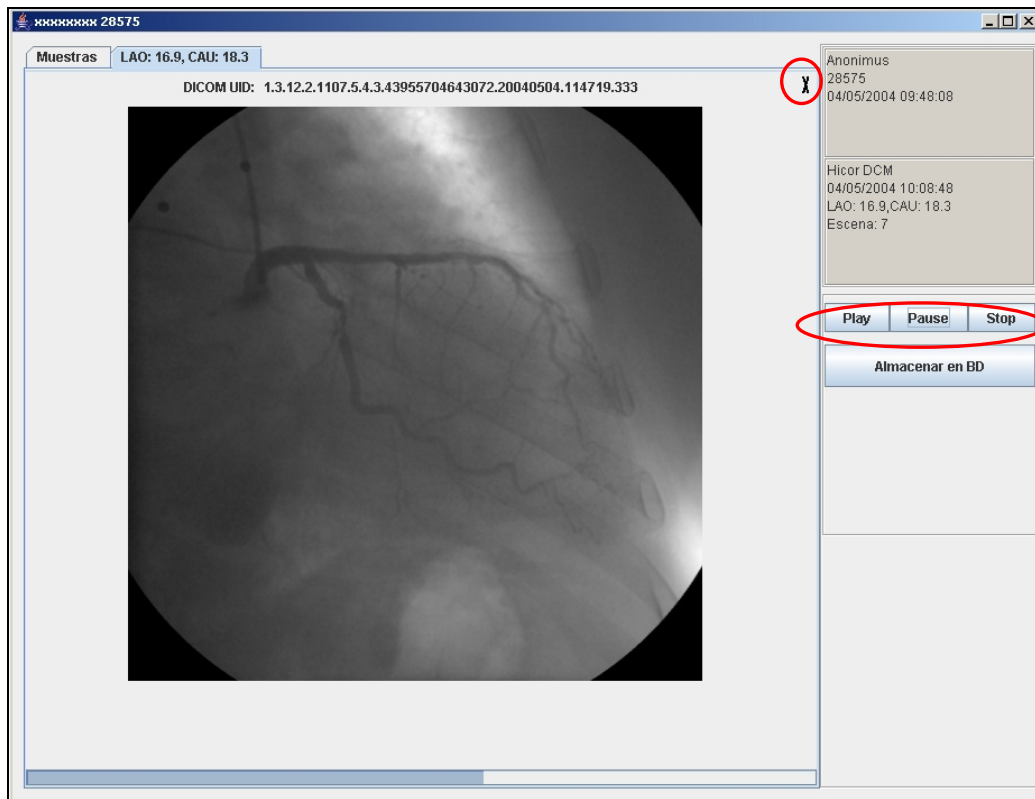


Figura 131. Pantalla de animación en DISTA.

#### 1.2.1.4 Almacenamiento de los estudios

Una vez que se han seleccionado las proyecciones que se desean almacenar en la base de datos, es necesario pulsar el botón “Almacenar en BD” (ver Figura 132) para que la información contenida en dichas proyecciones se guarde en la base de datos. Mientras la información se envía a la base de datos, se muestra un cuadro de diálogo que indica el progreso de la tarea.

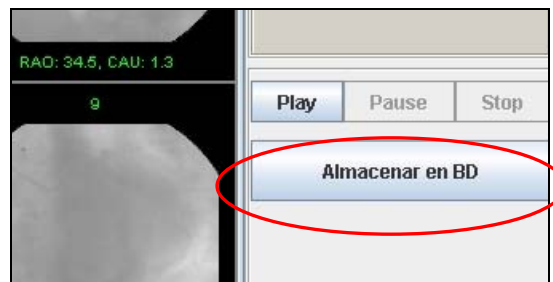


Figura 132. Almacenar secuencias en DISTA.

### 1.2.2 Pruebas de carga

A continuación, en la Tabla XXXVII se muestran los tiempos de carga en memoria desde el soporte de almacenamiento secundario de 65 series de imágenes, pertenecientes a diferentes estudios.

Tabla XXXVII Tiempos de carga de 65 series de imágenes angiográficas en DISTA

Nº Serie	Tiempo de Carga	Tamaño Total	Tasa de Adquisición
1	5.671 ms	19.431.263 bytes	27,41 Mbps
2	4.922 ms	17.768.879 bytes	28,88 Mbps
3	5.500 ms	20.820.836 bytes	30,28 Mbps
4	4.735 ms	18.601.882 bytes	31,43 Mbps
5	4.843 ms	19.712.520 bytes	32,56 Mbps
6	4.860 ms	20.425.096 bytes	33,62 Mbps
7	7.531 ms	32.911.220 bytes	34,96 Mbps
8	7.641 ms	35.518.842 bytes	37,19 Mbps
9	922 ms	22.764.375 bytes	197,52 Mbps
10	891 ms	21.932.498 bytes	196,92 Mbps
11	828 ms	20.825.186 bytes	201,21 Mbps
12	906 ms	23.596.620 bytes	208,36 Mbps
13	797 ms	20.522.140 bytes	205,99 Mbps
14	828 ms	23.039.501 bytes	222,60 Mbps
15	844 ms	23.747.790 bytes	225,10 Mbps
16	687 ms	18.877.354 bytes	219,82 Mbps
17	594 ms	16.937.830 bytes	228,12 Mbps
18	781 ms	23.872.326 bytes	244,53 Mbps
19	938 ms	48.283.337 bytes	411,80 Mbps
20	547 ms	17.760.190 bytes	259,75 Mbps
21	360 ms	10.499.358 bytes	233,32 Mbps
22	1.156 ms	48.288.324 bytes	334,18 Mbps
23	1.141 ms	47.555.694 bytes	333,43 Mbps
24	562 ms	12.773.038 bytes	181,82 Mbps
25	516 ms	12.216.678 bytes	189,41 Mbps
26	453 ms	10.551.190 bytes	186,33 Mbps
27	500 ms	12.217.081 bytes	195,47 Mbps
28	172 ms	1.113.502 bytes	51,79 Mbps
29	593 ms	16.380.506 bytes	220,98 Mbps
30	610 ms	16.101.509 bytes	211,17 Mbps
31	562 ms	15.272.009 bytes	217,40 Mbps
32	469 ms	12.492.213 bytes	213,09 Mbps
33	531 ms	14.122.647 bytes	212,77 Mbps
34	687 ms	15.270.457 bytes	177,82 Mbps
35	672 ms	14.991.902 bytes	178,48 Mbps

36	657 ms	15.228.082 bytes	185,43 Mbps
37	593 ms	14.440.077 bytes	194,81 Mbps
38	594 ms	13.608.030 bytes	183,27 Mbps
39	594 ms	14.156.450 bytes	190,66 Mbps
40	562 ms	13.606.110 bytes	193,68 Mbps
41	516 ms	11.936.687 bytes	185,06 Mbps
42	469 ms	10.826.857 bytes	184,68 Mbps
43	390 ms	8.606.453 bytes	176,54 Mbps
44	203 ms	1.947.029 bytes	76,73 Mbps
45	422 ms	10.273.685 bytes	194,76 Mbps
46	422 ms	9.993.769 bytes	189,46 Mbps
47	500 ms	11.733.531 bytes	187,74 Mbps
48	531 ms	13.879.482 bytes	209,11 Mbps
49	485 ms	11.902.871 bytes	196,34 Mbps
50	484 ms	12.430.073 bytes	205,46 Mbps
51	422 ms	10.549.748 bytes	200,00 Mbps
52	422 ms	10.549.714 bytes	199,99 Mbps
53	359 ms	8.330.751 bytes	185,64 Mbps
54	578 ms	15.811.953 bytes	218,85 Mbps
55	485 ms	12.681.746 bytes	209,18 Mbps
56	422 ms	10.827.002 bytes	205,25 Mbps
57	406 ms	10.271.136 bytes	202,39 Mbps
58	375 ms	9.995.180 bytes	213,23 Mbps
59	281 ms	5.001.012 bytes	142,38 Mbps
60	344 ms	8.884.096 bytes	206,61 Mbps
61	344 ms	8.329.718 bytes	193,71 Mbps
62	359 ms	8.884.821 bytes	197,99 Mbps
63	250 ms	5.276.686 bytes	168,85 Mbps
64	563 ms	15.687.256 bytes	222,91 Mbps
65	437 ms	11.939.646 bytes	218,57 Mbps
<b>Promedio</b>	<b>1.196 ms</b>	<b>16.227.468 bytes</b>	<b>108,57 Mbps</b>

### 1.2.3 Discusión.

En un entorno ideal en el que se aplicasen y estuviesen disponibles los últimos avances en tecnologías de la información y las comunicaciones, y donde se eliminase la necesidad de trabajar con cateterismos históricos, la utilidad de esta herramienta sería muy limitada puesto que los estudios ingresarían en el sistema a través de la red de área local.

Sin embargo, la realidad de los servicios de hemodinámica es muy diferente. La mayor parte de los servicios cuentan una gran cantidad de estudios recientes almacenados en CD e incluso se dan algunos casos en los que los angiógrafos, a pesar de tener la capacidad de

comunicarse con un PACS DICOM, no pueden utilizarla debido a que no están conectados a la red de comunicaciones del hospital.

Por lo tanto, la necesidad de esta herramienta se hace patente y se convierte en un elemento clave en el sistema, sobre todo porque facilita la tarea de incorporar estudios antiguos para realizar tareas de seguimiento y estudios retrospectivos.

Además, dadas las características de los estudios angiográficos, con el objeto de optimizar el espacio de almacenamiento, una herramienta que, como DISTA, permita seleccionar exactamente que proyecciones se van a guardar, facilita el desechar aquella información no relevante correspondiente a proyecciones en las que no existe una buena visualización del árbol arterial.

### **1.3 SMIIS**

SMIIS es la implementación del subsistema encargado de proporcionar una interfaz común de acceso a los datos almacenados tanto a los diferentes módulos funcionales, que se ubican en el subsistema de adquisición de datos, como a las diferentes herramientas que se encuentran en el subsistema de explotación.

Durante el proceso de adquisición de estudios, SMIIS se encarga de recibir los archivos DICOM y desplegar su contenido en una base de datos. Dicha base de datos es accedida posteriormente para proporcionar la información demandada por las herramientas de explotación.

SMIIS, que es la implementación del subsistema de acceso a datos, realiza sus funciones de forma transparente para el clínico; es decir, el usuario interactúa tanto con los módulos de adquisición como con los de explotación, sin la necesidad de conocer como el sistema proporciona la persistencia a la información que contiene.

#### **1.3.1 Ventajas**

Las ventajas que aporta la utilización de un subsistema de almacenamiento basado en un Sistema de Gestión de Base de Datos (SGBD) con un software interfaz que permite la interacción tanto de los módulos de adquisición como de los explotación, frente al sistema de almacenamiento actual, soportes ópticos almacenados en un archivador, son evidentes.

En primer lugar el proceso de consulta, del que se hablará con posterioridad, es mucho más ágil. Además, la seguridad, física y lógica, de los datos es mucho mayor, al encontrarse el SGBD ubicado en el Centro de Proceso de Datos de la institución, lo que facilita el cumplimiento de las medidas de seguridad exigidas por la LOPD. También es necesario tener en cuenta el ahorro de espacio físico en el servicio y la eliminación del proceso individualizado para el servicio de la gestión de los soportes físicos utilizados.

### 1.3.2 Pruebas de rendimiento

Se muestra en la Tabla XXXVIII el tiempo necesario para enviar los estudios angiográficos a la base de datos a través de SMIIS, tanto desde DISCUS como desde DISTA. Para ello, se enviaron 65 series pertenecientes a diferentes estudios, utilizando como vía de entrada tanto DISCUS como DISTA.

Es importante resaltar que estos tiempos y tasas de envío hacen referencia al proceso de envío de las series una vez que han sido cargadas en memoria tanto por DISCUS como por DISTA. Los tiempos y tasas de carga en memoria de estas series pueden ser vistos en la Tabla XXXVI y en la Tabla XXXVII.

Tabla XXXVIII. Tiempos y tasas de envío a base de datos.

Nº de la Serie	Tamaño Total	Tiempo de envío a la BD desde DISCUS	Tasa de envío a la BD desde DISCUS	Tiempo de envío a la BD desde DISTA	Tasa de envío a la BD desde DISTA
1	19.431.263 bytes	24.468 ms	6,06 Mbps	28.125 ms	5,27 Mbps
2	17.768.879 bytes	23.937 ms	5,66 Mbps	26.703 ms	5,08 Mbps
3	20.820.836 bytes	25.828 ms	6,15 Mbps	30.141 ms	5,27 Mbps
4	18.601.882 bytes	23.313 ms	6,09 Mbps	26.453 ms	5,37 Mbps
5	19.712.520 bytes	24.016 ms	6,26 Mbps	49.875 ms	3,02 Mbps
6	20.425.096 bytes	24.704 ms	6,31 Mbps	45.453 ms	3,43 Mbps
7	32.911.220 bytes	41.609 ms	6,03 Mbps	29.437 ms	8,53 Mbps
8	35.518.842 bytes	43.610 ms	6,21 Mbps	27.610 ms	9,81 Mbps
9	22.764.375 bytes	29.000 ms	5,99 Mbps	16.297 ms	10,66 Mbps
10	21.932.498 bytes	28.282 ms	5,92 Mbps	15.234 ms	10,98 Mbps
11	20.825.186 bytes	25.735 ms	6,17 Mbps	14.766 ms	10,76 Mbps
12	23.596.620 bytes	29.531 ms	6,10 Mbps	16.563 ms	10,87 Mbps
13	20.522.140 bytes	26.108 ms	6,00 Mbps	16.437 ms	9,53 Mbps
14	23.039.501 bytes	28.735 ms	6,12 Mbps	16.750 ms	10,49 Mbps
15	23.747.790 bytes	29.734 ms	6,09 Mbps	16.953 ms	10,69 Mbps
16	18.877.354 bytes	24.390 ms	5,90 Mbps	12.969 ms	11,11 Mbps
17	16.937.830 bytes	22.344 ms	5,78 Mbps	11.906 ms	10,85 Mbps
18	23.872.326 bytes	32.812 ms	5,55 Mbps	16.360 ms	11,13 Mbps
19	48.283.337 bytes	59.703 ms	6,17 Mbps	31.781 ms	11,59 Mbps

Nº de la Serie	Tamaño Total	Tiempo de envío a la BD desde DISCUS	Tasa de envío a la BD desde DISCUS	Tiempo de envío a la BD desde DISTA	Tasa de envío a la BD desde DISTA
20	17.760.190 bytes	22.473 ms	6,03 Mbps	12.453 ms	10,88 Mbps
21	10.499.358 bytes	13.453 ms	5,95 Mbps	7.094 ms	11,29 Mbps
22	48.288.324 bytes	59.062 ms	6,24 Mbps	29.890 ms	12,33 Mbps
23	47.555.694 bytes	60.969 ms	5,95 Mbps	29.532 ms	12,29 Mbps
24	12.773.038 bytes	16.453 ms	5,92 Mbps	9.328 ms	10,45 Mbps
25	12.216.678 bytes	15.922 ms	5,85 Mbps	8.969 ms	10,39 Mbps
26	10.551.190 bytes	13.625 ms	5,91 Mbps	7.781 ms	10,35 Mbps
27	12.217.081 bytes	15.688 ms	5,94 Mbps	8.812 ms	10,58 Mbps
28	1.113.502 bytes	1.985 ms	4,28 Mbps	1.266 ms	6,71 Mbps
29	16.380.506 bytes	20.968 ms	5,96 Mbps	11.203 ms	11,16 Mbps
30	16.101.509 bytes	22.813 ms	5,38 Mbps	11.469 ms	10,71 Mbps
31	15.272.009 bytes	19.219 ms	6,06 Mbps	11.437 ms	10,19 Mbps
32	12.492.213 bytes	15.781 ms	6,04 Mbps	9.000 ms	10,59 Mbps
33	14.122.647 bytes	18.875 ms	5,71 Mbps	10.125 ms	10,64 Mbps
34	15.270.457 bytes	20.593 ms	5,66 Mbps	11.016 ms	10,58 Mbps
35	14.991.902 bytes	20.000 ms	5,72 Mbps	10.844 ms	10,55 Mbps
36	15.228.082 bytes	20.250 ms	5,74 Mbps	10.453 ms	11,11 Mbps
37	14.440.077 bytes	19.468 ms	5,66 Mbps	10.406 ms	10,59 Mbps
38	13.608.030 bytes	20.203 ms	5,14 Mbps	10.344 ms	10,04 Mbps
39	14.156.450 bytes	18.813 ms	5,74 Mbps	10.172 ms	10,62 Mbps
40	13.606.110 bytes	18.734 ms	5,54 Mbps	9.375 ms	11,07 Mbps
41	11.936.687 bytes	16.500 ms	5,52 Mbps	8.609 ms	10,58 Mbps
42	10.826.857 bytes	14.812 ms	5,58 Mbps	7.813 ms	10,57 Mbps
43	8.606.453 bytes	11.750 ms	5,59 Mbps	6.156 ms	10,67 Mbps
44	1.947.029 bytes	3.266 ms	4,55 Mbps	1.828 ms	8,13 Mbps
45	10.273.685 bytes	13.984 ms	5,61 Mbps	7.187 ms	10,91 Mbps
46	9.993.769 bytes	14.844 ms	5,14 Mbps	7.094 ms	10,75 Mbps
47	11.733.531 bytes	16.516 ms	5,42 Mbps	8.360 ms	10,71 Mbps
48	13.879.482 bytes	19.032 ms	5,56 Mbps	10.484 ms	10,10 Mbps
49	11.902.871 bytes	15.922 ms	5,70 Mbps	8.312 ms	10,93 Mbps
50	12.430.073 bytes	17.062 ms	5,56 Mbps	9.000 ms	10,54 Mbps
51	10.549.748 bytes	14.531 ms	5,54 Mbps	7.500 ms	10,73 Mbps
52	10.549.714 bytes	14.969 ms	5,38 Mbps	7.469 ms	10,78 Mbps
53	8.330.751 bytes	11.938 ms	5,32 Mbps	6.250 ms	10,17 Mbps
54	15.811.953 bytes	21.516 ms	5,61 Mbps	11.688 ms	10,32 Mbps
55	12.681.746 bytes	17.484 ms	5,53 Mbps	9.078 ms	10,66 Mbps
56	10.827.002 bytes	14.968 ms	5,52 Mbps	8.531 ms	9,68 Mbps
57	10.271.136 bytes	14.187 ms	5,52 Mbps	7.281 ms	10,76 Mbps
58	9.995.180 bytes	13.782 ms	5,53 Mbps	7.782 ms	9,80 Mbps
59	5.001.012 bytes	8.047 ms	4,74 Mbps	3.968 ms	9,62 Mbps
60	8.884.096 bytes	12.812 ms	5,29 Mbps	6.500 ms	10,43 Mbps
61	8.329.718 bytes	11.734 ms	5,42 Mbps	6.328 ms	10,04 Mbps
62	8.884.821 bytes	12.328 ms	5,50 Mbps	7.500 ms	9,04 Mbps
63	5.276.686 bytes	7.531 ms	5,35 Mbps	4.422 ms	9,10 Mbps
64	15.687.256 bytes	22.000 ms	5,44 Mbps	11.500 ms	10,41 Mbps
65	11.939.646 bytes	16.657 ms	5,47 Mbps	8.407 ms	10,84 Mbps
<b>Promedio</b>	<b>16.227.468 bytes</b>	<b>21.252 ms</b>	<b>5,70 Mbps</b>	<b>13.536 ms</b>	<b>9,90 Mbps</b>

### **1.3.3 Discusión.**

La existencia del subsistema de acceso a datos y del módulo SMIS nace de la dificultad de procesar los archivos DICOM como unidades dentro de un sistema de información. Es necesario estructurar la información para facilitar que su consulta y utilización dentro del sistema sea eficiente y mantenible. Es por esto que, cuando la información se introduce en el sistema mediante archivos DICOM, éstos son procesados de forma que la información contenida se despliega por las diferentes estructuras, que en este caso son relaciones, de la base de datos.

El mantenimiento una base de datos con la información DICOM permite que esta sea fácilmente utilizada por las herramientas de explotación de datos.

## **2. Acceso a los Estudios Angiográficos.**

Uno de los objetivos de este trabajo era proporcionar acceso a los estudios angiográficos almacenados. La implementación del subsistema de explotación y, más concretamente, su módulo VISIOM son los encargados de proporcionar esta funcionalidad. Para ello, VISIOM interactúa con el subsistema de acceso a datos, solicitándole los servicios pertinentes para acceder a la información almacenada en la base de datos. Este módulo proporciona las funcionalidades de visualización avanzada al usuario final y servicios a las herramientas de segmentación, etiquetado y reconstrucción ubicadas dentro del subsistema.

### **2.1 VISIOM**

En este apartado se muestra el funcionamiento del producto final obtenido para la implementación de VISIOM. Se detalla su funcionamiento y cuales son las ventajas que aporta en comparación con el procedimiento de trabajo anterior a la implantación del sistema.

#### **2.1.1 Prueba de validación.**

Una vez que el desarrollo del software ha finalizado y las pruebas de unidad y de integración han sido satisfactorias debe comprobarse que el software se ajusta a las expectativas y cumple los requisitos que en un principio habían sido definidos.



En el arranque, la herramienta solicita al usuario que se autentique, utilizando para ello una ventana de diálogo bloqueante, tal y como se puede observar en la Figura 133. El usuario puede autenticarse contra una base de datos local o bien contra un servidor de directorio, utilizando para ello el protocolo LDAP. En el sistema implantado en el CHUJC, la autenticación se realiza utilizando este protocolo contra un servidor de directorio del “Servizo Galego de Saúde”.

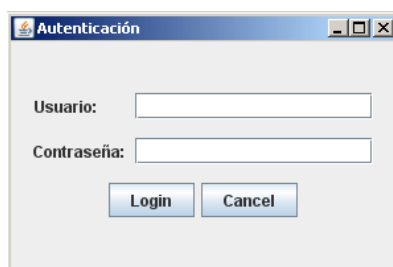


Figura 133. Cuadro de diálogo de autenticación en VISIOM.

Si este proceso se lleva a cabo con éxito, el usuario tiene acceso al sistema y puede comenzar con la búsqueda de cateterismos (ver Figura 134). El cuadro de diálogo de la Figura 135 permite buscar una angiografía utilizando como criterios de búsqueda el nombre del paciente o el número de cateterismo. En caso de dejar ambos campos en blanco, la herramienta devolverá todos los estudios que se encuentran almacenados en base de datos.



Figura 134. Acceso al sistema de búsqueda de un estudio.

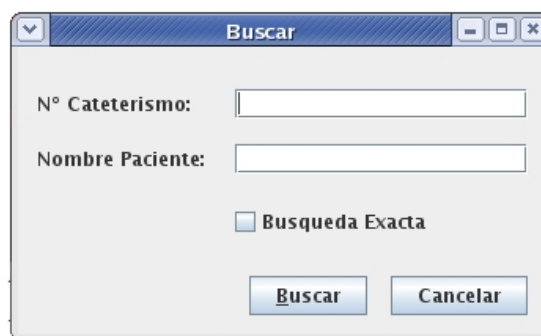


Figura 135. Cuadro de dialogo para indicar los criterios de búsqueda.

Los resultados de dicha búsqueda aparecen en pantalla como un árbol de carpetas. Cada carpeta representa un cateterismo. En cada cateterismo se pueden distinguir las distintas

secuencias o proyecciones realizadas. Dicho estudio contiene secuencias de imágenes obtenidas desde diferentes ángulos, como se puede apreciar en la Figura 136.

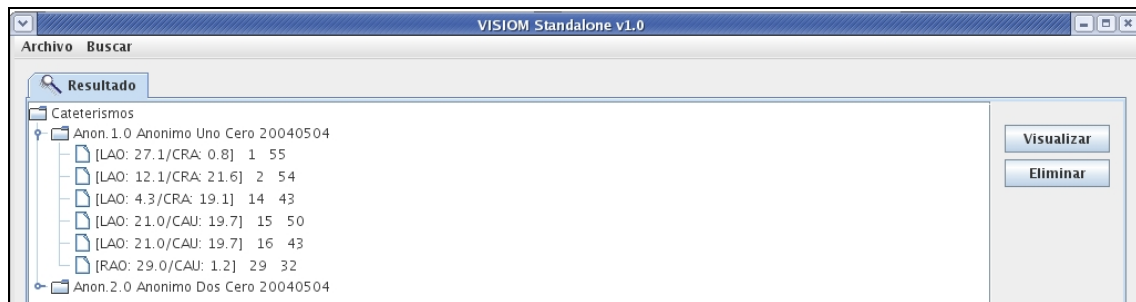


Figura 136. Pantalla de selección del estudio angiográfico en VISIOM.

Una vez encontrada la proyección que el usuario desea ver, ésta se muestra proporcionando diferentes opciones de visualización, entre las que destacan el modo “cine”. De esta forma, el clínico puede observar el flujo sanguíneo a través de las arterias coronarias. Tal y como se puede observar en la Figura 137, la reproducción de la animación se puede iniciar, pausar y finalizar, permitiendo también seleccionar el número de fotogramas por segundo que van a ser visualizados en la animación.

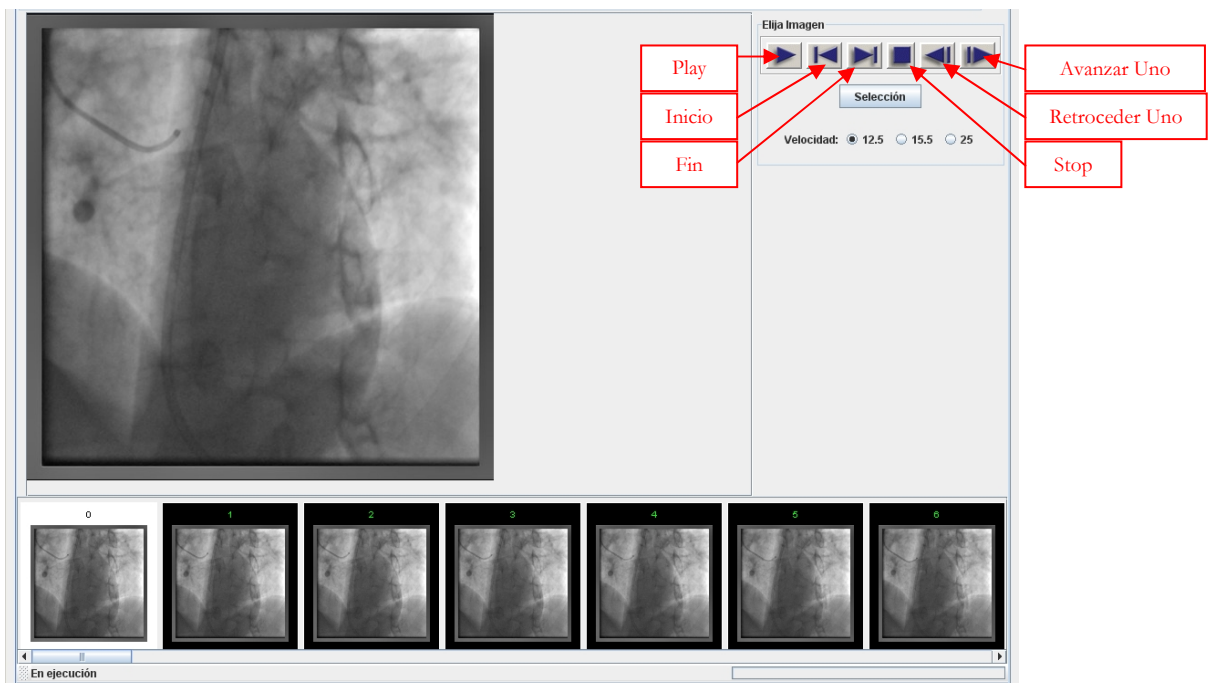


Figura 137. Herramienta de visualización de un estudio almacenado en el sistema.

Para elegir la imagen que se muestra en el panel principal puede utilizarse el vídeo de la angiografía, parándolo en el punto adecuado, o se puede elegir una de las imágenes que se ve en el panel de previsualizaciones de la parte inferior de la pantalla (ver Figura 138).

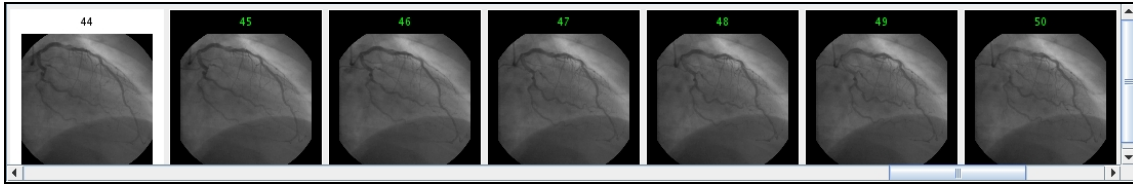


Figura 138. Panel de previsualización de las imágenes.

### 2.1.2 Discusión

En primer lugar, es necesario destacar que cualquier usuario debe ser autenticado por el sistema antes de acceder al mismo. Este mecanismo de seguridad es necesario debido a que se va a acceder a datos de carácter personal especialmente protegidos, como son los datos médicos. Además, el sistema realiza un proceso de auditoría en donde se registran los accesos a la información de cada uno de los usuarios.

La utilización del sistema de información centralizado frente al uso elementos de almacenamiento secundario proporciona varias ventajas cualitativas y facilita la labor de los médicos.

La ventaja más significativa es que el acceso a los estudios es mucho más rápido puesto que, una vez los estudios han sido almacenados en el sistema, estos pueden ser rápidamente localizados, eliminando las tareas de localizar el CD en el archivador, llevarlo a la estación de visualización y devolverlo finalmente al armario. Este módulo permite un acceso rápido y seguro a los archivos almacenados.

El sistema proporciona, además, la capacidad de acceso concurrente a un mismo cateterismo desde todas las estaciones en las que se haya instalado la herramienta de visualización VISIOM, lo que facilita la visualización de los diferentes estudios de un paciente desde cualquier ordenador del servicio, incluso los ubicados en el quirófano.

Existe un aspecto en el que la herramienta de visualización podría ser mejorada. Debería dotarse a la aplicación de la posibilidad de editar las secuencias de imágenes, permitiendo eliminar de la base de datos aquellos fotogramas que no aporten información significativa.

Este aspecto ha sido propuesto por los clínicos, después de haber utilizado el sistema actual.

Otro aspecto en el que se continúa trabajando, a pesar de no ser prioritario, es en el acceso al visualizador de imágenes utilizando un navegador Web. Esto permitiría acceder a las imágenes del sistema sin necesidad de instalar la aplicación VISIOM. Esta funcionalidad, a pesar de que en una primera aproximación puede parecer interesante, lo es menos cuando se considera la necesidad de descargar las clases de visualización en el cliente Web y la penalización en tiempo que esto conlleva. Además, a pesar de que no sería necesario realizar la instalación de una aplicación “stand-alone”, la estación cliente debería contar con una máquina virtual Java instalada, preferentemente con el API JAI también instalado, para ejecutarse correcta y eficientemente.

### **3. Herramientas de segmentación y etiquetado.**

El tercer y cuarto objetivos específicos del presente trabajo proponían dotar al sistema de herramientas de segmentación interactiva del árbol coronario y un mecanismo para proceder al etiquetado manual de cada uno de los segmentos arteriales, respectivamente.

Para alcanzar dichos objetivos se desarrolló una herramienta, “Hemotool”, que utilizando como base la funcionalidad de VISIOM, la extiende incorporando mecanismos de segmentación, etiquetado y reconstrucción arterial.

La mayor aportación que realiza VISIOM es la posibilidad de incorporar nuevos algoritmos de segmentación y etiquetado a la herramienta “Hemotool” sin la necesidad de modificar esta última, debido a su diseño e implementación abiertos. El sistema de información actual cuenta con dos estrategias para realizar la extracción del árbol arterial de un fotograma. La primera de ellas es una técnica que está basada en un algoritmo de “tracking” o “seguimiento” y la segunda se basa en un algoritmo de crecimiento de “regiones”.

#### **3.1 Herramienta de Segmentación y Etiquetado. “Hemotool”.**

Una vez que el desarrollo del software de este módulo ha finalizado y las pruebas de unidad y de integración han sido satisfactorias, debe comprobarse que el software se ajusta a las expectativas y cumple los requisitos que en un principio habían sido definidos.

Para ello, se detalla a continuación el funcionamiento de la herramienta “Hemotool”. Como se comentaba anteriormente, este módulo funcional utiliza los servicios proporcionados por VISIOM y, por lo tanto, existen una serie de tareas que se realizan exactamente de la misma forma que en VISIOM. Estas tareas son: autenticación, manejo del menú de “Búsqueda de Cateterismo”, selección del estudio angiográfico, selección de la proyección con la que se va a trabajar y, finalmente, elección de la imagen que se muestra en el panel principal. La descripción de como llevar a cabo estas operaciones ha sido realizada en el punto “Prueba de Validación”, dentro del apartado “VISIOM” de este capítulo.

Una vez seleccionada una secuencia determinada, se elige el tipo de técnica de segmentación a usar (ver Figura 139). En este momento se dispone de dos opciones:

- Técnica basada en un algoritmo de seguimiento.
- Técnica basada en un algoritmo de crecimiento de regiones.



Figura 139. Pantalla de presentación de la herramienta.

El primer paso es elegir que técnica de segmentación de imágenes se desea utilizar. De dicha elección dependerá la secuencia de pasos a realizar para la segmentación, etiquetado e

identificación de la estenosis. Estas secuencias de pasos se denominarán “Sesiones”. La elección del tipo de sesión se realiza a través de la lista desplegable situada en el centro de la pantalla. A continuación, aparece la pantalla principal de la herramienta. El aspecto general es común a todas las sesiones (ver Figura 140):

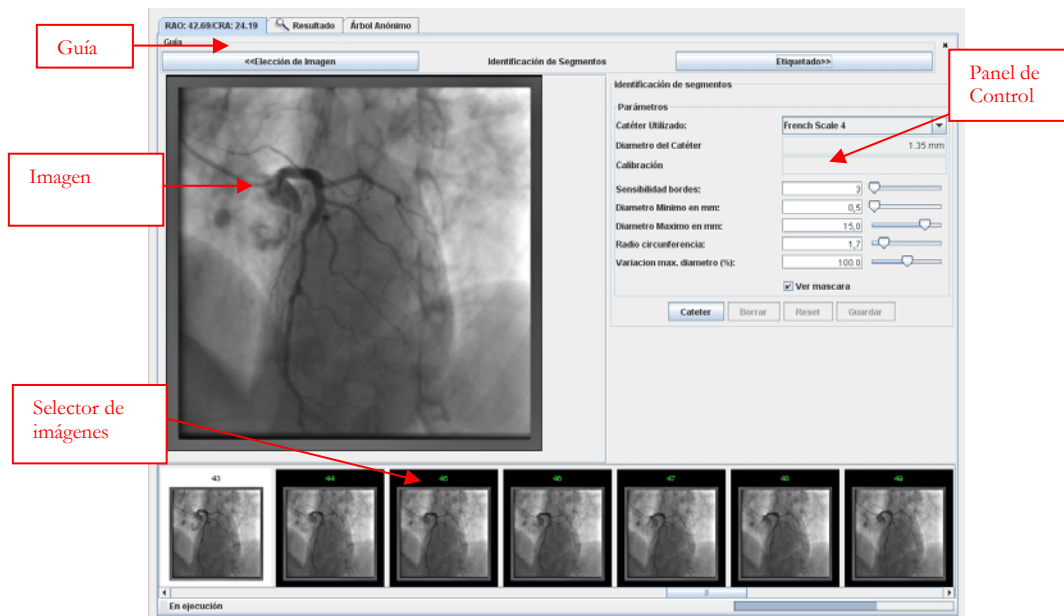


Figura 140. Herramienta Hemotool iniciada.

1. En la parte superior aparece la guía de ejecución (ver Figura 141), que permite navegar fácilmente por los distintos pasos de la sesión, pudiendo avanzar o retroceder sobre ellos gracias a los botones.

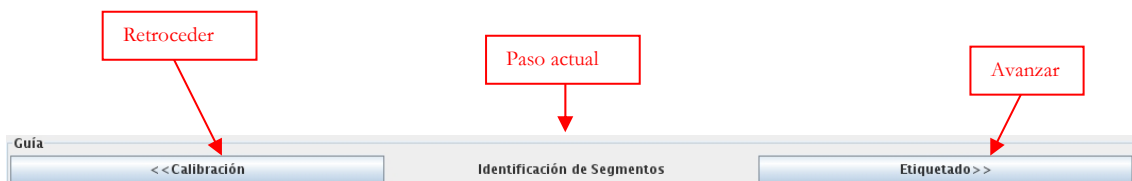


Figura 141. Guía de ejecución de Hemotool.

2. En la parte central, a la izquierda, aparece la imagen que está siendo tratada en este momento.

3. En la parte central, a la derecha de la imagen, aparece el panel que permite realizar las operaciones definidas para el paso de la sesión en el que se encuentre la herramienta.
4. En la parte inferior aparecen las miniaturas de todas las imágenes que contiene la secuencia. Haciendo clic sobre cualquiera de ellas, ésta se cargará y aparecerá en la parte izquierda de la pantalla, es decir, en el panel principal. Cada vez que se realiza esta acción, la herramienta volverá al primer paso de la sesión para comenzar el procesado de la imagen.

Además, aparece una nueva pestaña en la pantalla, en la que se encuentra el modelo que se utilizará posteriormente para realizar la construcción del modelo arterial artificial del árbol coronario. Este modelo es común para todas las proyecciones. Todos los segmentos identificados en las distintas secuencias aparecerán en esta pestaña.

El primer paso del proceso de segmentación es elegir la imagen más adecuada para la identificación de las arterias de la secuencia de imágenes, a partir de una animación de las mismas. A partir de aquí, la secuencia de pasos depende del tipo de algoritmo de segmentación elegido.

### **3.1.1 Sesión basada en Tracking Arterial.**

Esta sesión utiliza para la segmentación del árbol coronario una técnica que, indicando el principio del vaso y su dirección, recorre el vaso y permite identificarlo.

Se presentan, a continuación, la secuencia de pasos de esta sesión y el modo de uso de cada uno de ellos, una vez que se ha seleccionado la imagen adecuada con la que trabajar.

#### **3.1.1.1 Reconocimiento de segmentos.**

Una vez cargada la imagen deseada es necesario pulsar en el botón de “Identificación de Segmentos” para empezar la segmentación.

El usuario puede modificar los parámetros de la aplicación que crea conveniente introduciendo los datos en los cuadros de texto que se encuentran en el panel “Parámetros”, situado en la parte derecha de la ventana.

Antes de empezar la segmentación propiamente dicha, es necesario realizar la calibración de la herramienta. Esta operación permite establecer la relación existente entre píxeles y milímetros cuadrados. En primer lugar, se debe seleccionar en la lista desplegable de la derecha el catéter utilizado, puesto que es el único artefacto del que se conoce su diámetro previamente. Una vez elegido, se pulsa el botón “Catéter” y, a continuación, se marcan dos puntos, uno a cada lado del catéter en la imagen. La herramienta detecta los bordes del catéter y establece la relación píxeles / milímetros cuadrados de la imagen en base a ella. (Figura 142).



Figura 142. Calibración.

La aplicación marca con dos puntos los bordes del catéter para que el usuario pueda comprobar si se ha realizado correctamente la calibración.

El proceso de segmentación comienza cuando el usuario marca el punto donde quiere iniciar la segmentación y un segundo punto para indicar la dirección de avance del algoritmo. Utilizando estos valores, el proceso utiliza el punto inicial para establecer el centro de una circunferencia de radio predeterminado, que es utilizada para comprobar los cambios de niveles de gris y, de esta forma, detectar cuales son los puntos de intersección de dicha circunferencia con las paredes arteriales. Utilizando el segundo punto, se eligen una pareja de puntos, se calcula el punto intermedio entre ellos y se traza una nueva circunferencia. De esta forma, el algoritmo va avanzando y determina que puntos de la imagen pertenecen al árbol arterial (ver Figura 143).



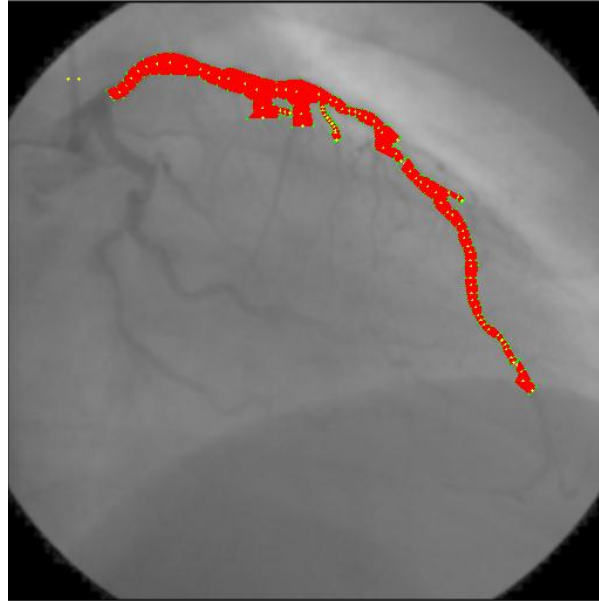


Figura 143. Segmentación.

Cuando al algoritmo llega a una condición de parada, el usuario puede extender el árbol arterial segmentado. Para añadir nuevas ramas, debe iniciar de nuevo el proceso de segmentación, como en el paso anterior, marcando el punto de inicio a continuación de una zona segmentada. El usuario también puede borrar los segmentos no deseados (ver Figura 144).

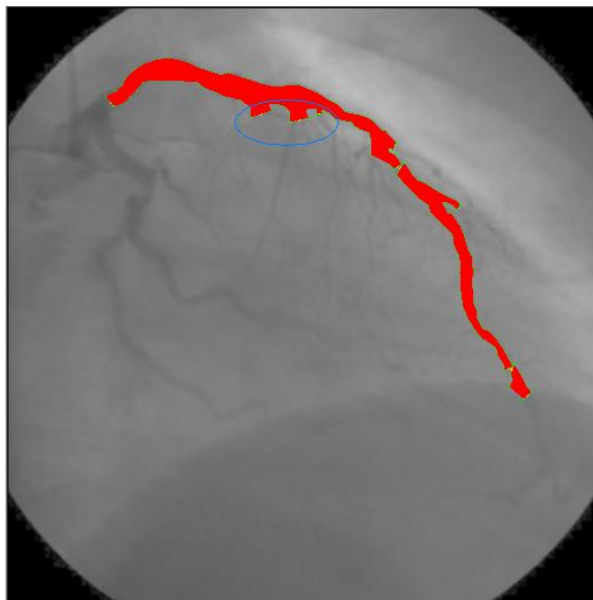


Figura 144. Borrado.

Una vez segmentados los vasos de interés (ver Figura 145), el usuario debe guardar la segmentación del árbol arterial obtenida, de forma que esté disponible para el resto de los pasos de la sesión.

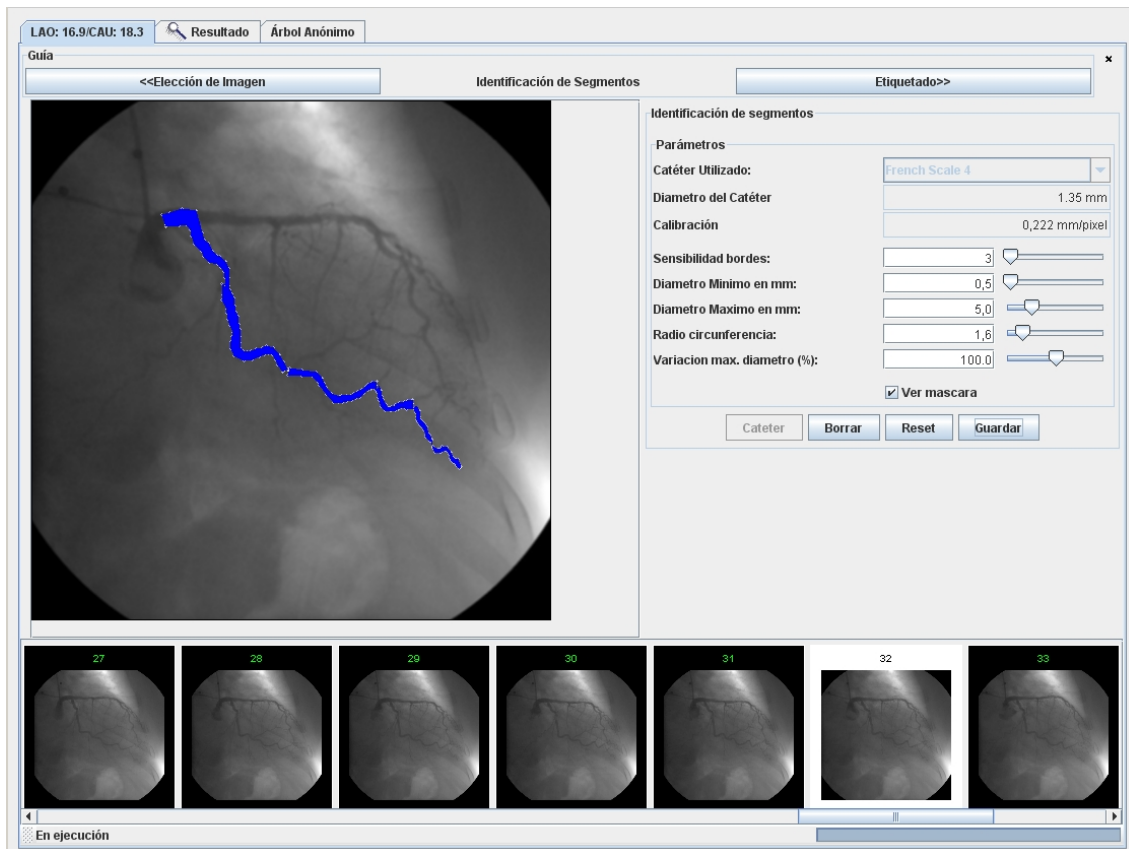


Figura 145. Resultado final del Tracking.

### 3.1.1.2 Etiquetado

Con la imagen ya segmentada se puede proceder al etiquetado de los distintos segmentos arteriales. Como se muestra en la Figura 146, en este paso aparecen 2 pestañas en la parte derecha de la pantalla:

- **Etiquetar:** En esta pestaña se permite elegir la dominancia que presenta el paciente. Se puede indicar si el segmento presenta estenosis. También permite elegir la etiqueta con la que se quiere identificar un segmento. Existen dos formas de realizar esta elección:

- Utilizar la lista desplegable que contiene todos los nombres de los segmentos que se encuentran en el árbol coronario, dependiendo de la dominancia.
- Utilizando el esquema que aparece debajo de la lista desplegable. Este permite elegir la etiqueta pinchando sobre el esquema en el lugar donde se encuentre el segmento representado.
- **Lista de Etiquetados:** Esta pestaña muestra los distintos segmentos etiquetados hasta el momento. Permite guardar o borrar los segmentos seleccionados.

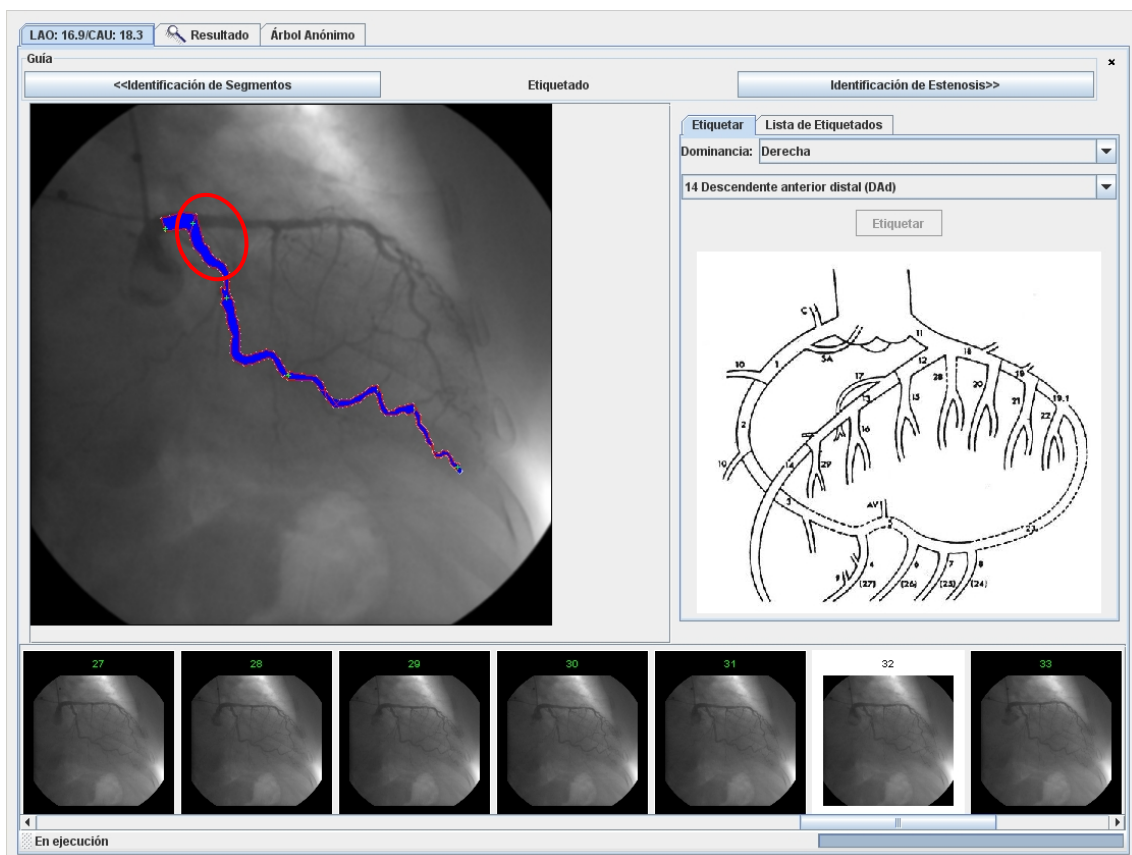


Figura 146. Etiquetado.

Para etiquetar un segmento es necesario pinchar 2 veces sobre la imagen angiográfica. El primer punto determina donde empieza el segmento que se desea etiquetar y el segundo donde termina. Una vez hecho esto, se elige la etiqueta que se desea asignar.

Inmediatamente se destacará el segmento etiquetado y aparecerá una nueva entrada en la lista de etiquetados.

Una vez se hayan etiquetado todos los segmentos que se deseen, se pasa a la pestaña de “Lista de Etiquetados” para elegir los segmentos que se quieren guardar. En ese momento, esos segmentos ya están disponibles en la pestaña de representación del árbol para ser asignados al modelo del árbol en el momento de la construcción del modelo arterial, si se considera necesario.

### 3.1.1.3 Identificación de la estenosis

Una vez se han etiquetado los segmentos, se puede identificar la ubicación y severidad de las distintas estenosis que se observen. Para ello, se pincha sobre la región de la imagen en donde se encuentra la estenosis y se explicita el porcentaje de oclusión que presenta la estenosis (ver Figura 147). Cuando se hayan identificado todas las estenosis, finaliza la sesión de segmentación y etiquetado basada en “tracking” arterial.

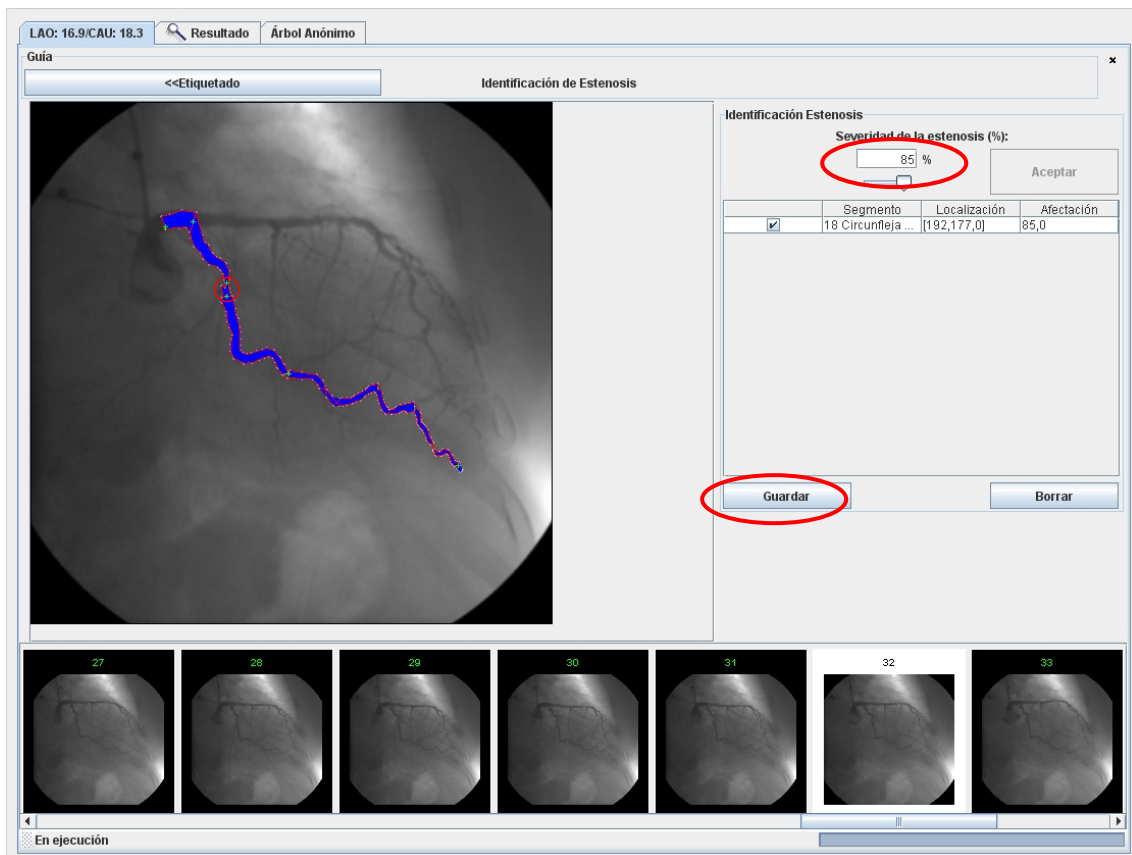


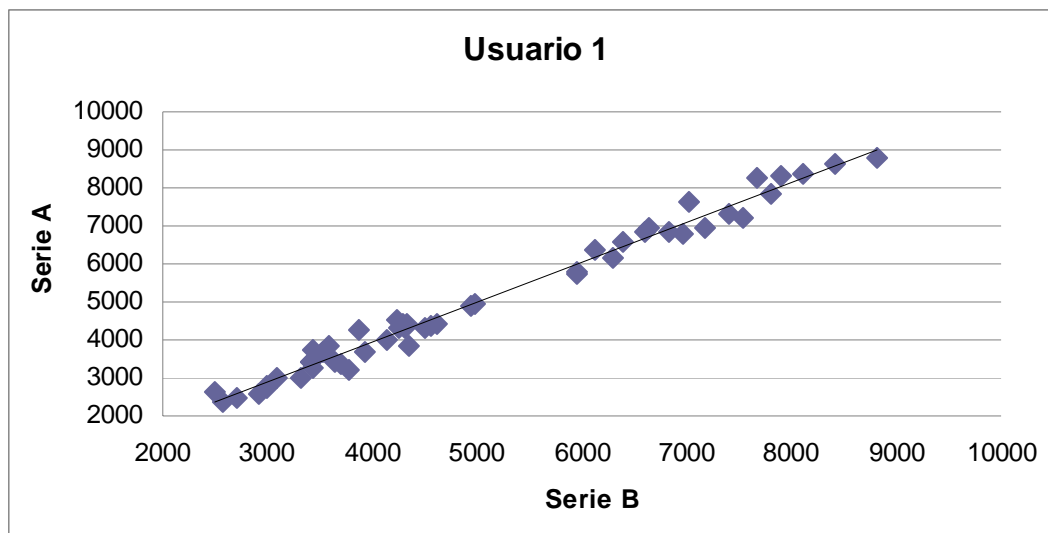
Figura 147. Identificación de la estenosis.

### 3.1.1.4 Validación informática.

Para garantizar que la herramienta de segmentación basada en técnicas de seguimiento es estable y proporciona resultados repetibles e independientes del usuario, se han llevado a cabo una serie de pruebas. Dos usuarios independientes han realizado una medición doble y ciega de la arteria circunfleja en una colección de 59 imágenes diferentes, obteniendo como resultado de cada medición el número de píxeles pertenecientes a dicha arteria, tal y como se puede observar en la Tabla XXXIX y en la Tabla XL.

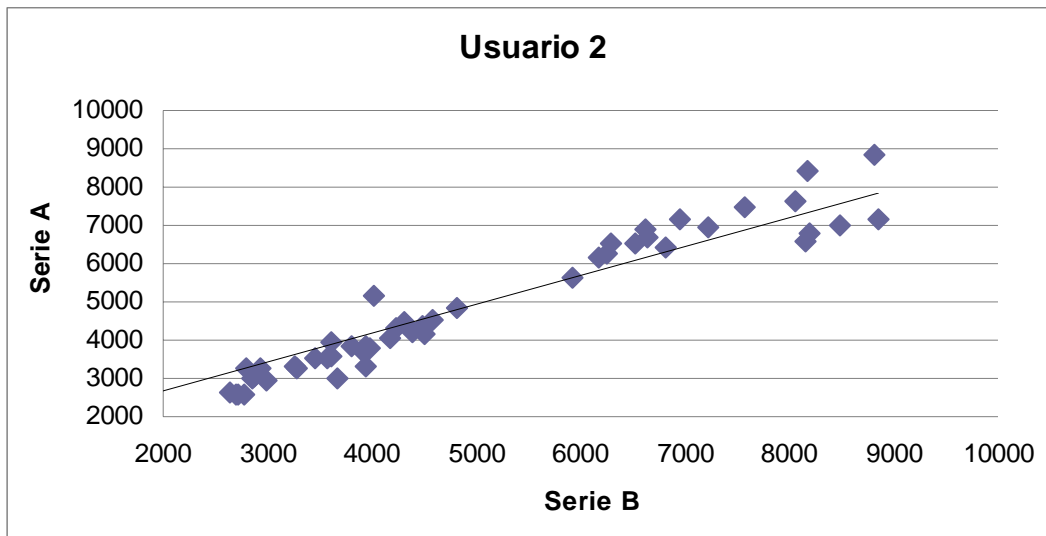
Para evaluar los resultados obtenidos se ha utilizado, en primer lugar, el coeficiente de correlación interclases con el objeto de estimar la repetibilidad de los resultados de un mismo usuario. Para establecer la validez y fiabilidad del método de medida, en este caso la herramienta de segmentación basada en “tracking”, se ha utilizado el coeficiente de correlación de concordancia, aplicado a los resultados obtenidos por ambos usuarios [MART-04].

Tabla XXXIX. Representación gráfica de la correlación lineal de los resultados obtenidos por el Usuario 1. Se han medido 59 casos de forma doble y ciega por el mismo usuario.



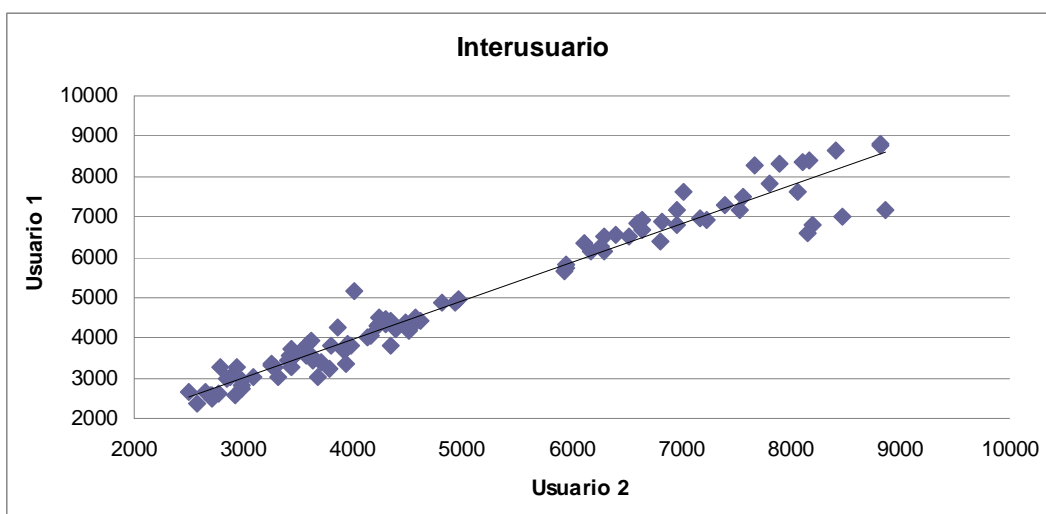
Los coeficientes de correlación interclases obtenidos son  $\rho_{11} = 0,9918$  y  $\rho_{12} = 0,9686$ . Estos valores próximos a uno, que representa el grado de acuerdo máximo, indican que las mediciones son repetibles en gran medida, aún cuando el usuario realice las pruebas en momentos diferentes y sin conocer si ha realizado previamente la misma medición.

Tabla XI. Representación gráfica de la correlación lineal de los resultados obtenidos por el Usuario 2. Se han medido 59 casos de forma doble y ciega por el mismo usuario.



El coeficiente de correlación de concordancia, obtenido como consecuencia de la comparación de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas por el Usuario 1 y el Usuario 2 (ver Tabla XLI), es  $\rho_c = 0,9766$  avala la validez y fiabilidad de la medida.

Tabla XLI. Representación gráfica de la correlación lineal de los resultados obtenidos por el Usuario 1 y el Usuario 2. Se han medido 59 casos de forma doble y ciega por cada uno de los usuarios.



### 3.1.2 Sesión basada en Crecimiento de Regiones.

Esta sesión utiliza para la segmentación del árbol coronario una técnica que, indicando un punto semilla y los límites de crecimiento del algoritmo, reconoce segmentos arteriales.

Se presentan, a continuación, la secuencia de pasos de esta sesión y el modo de uso de cada uno de ellos, una vez que se ha seleccionado la imagen adecuada con la que trabajar.

#### 3.1.2.1 Calibración

Antes de empezar la segmentación, propiamente dicha, es necesario realizar la calibración de la herramienta. Esta operación permite establecer la relación existente entre píxeles y milímetros cuadrados. En primer lugar, se debe seleccionar en la lista desplegable de la derecha el catéter utilizado, puesto que es el único artefacto del que se conoce su diámetro previamente. Una vez elegido, se pulsa el botón "Catéter" y, a continuación, se marcan dos puntos, uno a cada lado del catéter en la imagen. La herramienta detecta los bordes del catéter y establece la relación píxeles/milímetros cuadrados de la imagen (ver Figura 148).

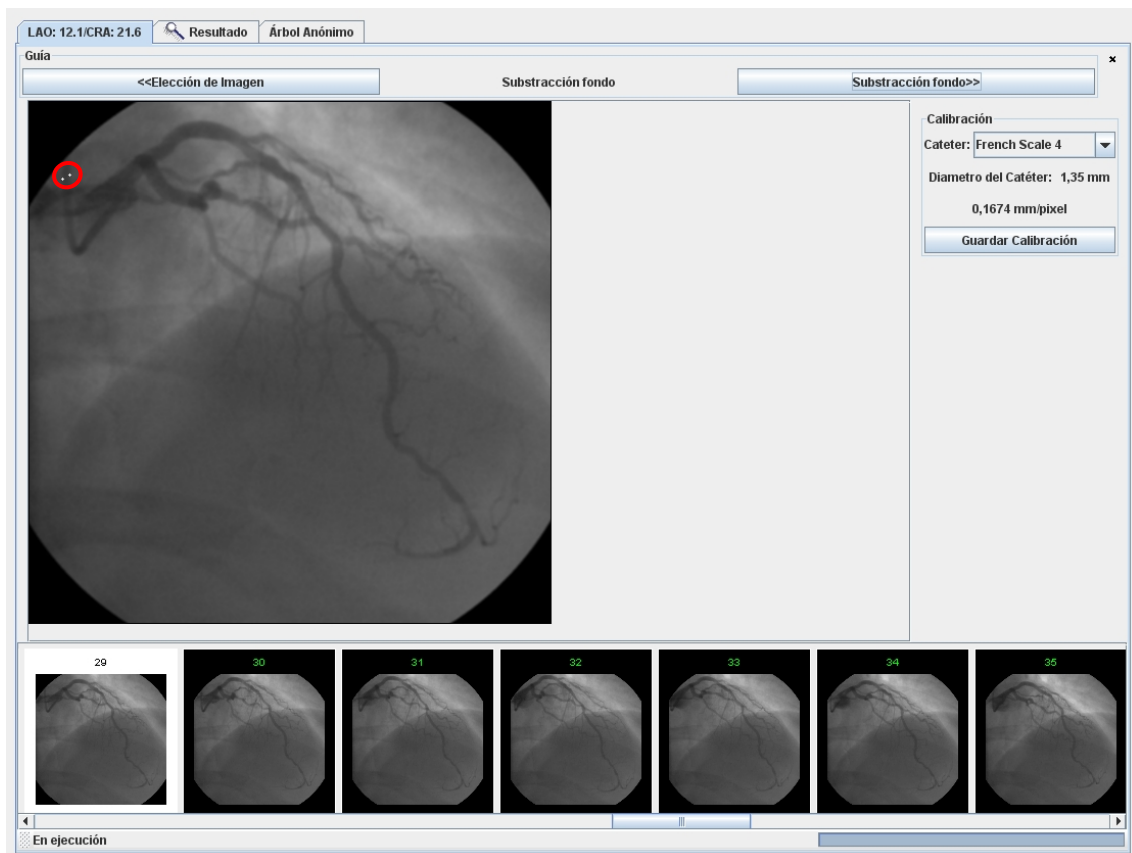


Figura 148. Calibración en "Crecimiento de Regiones".

Como en el caso de "Tracking", una vez fijada la calibración esta permanece hasta que el usuario decide cambiarla; es decir, se puede fijar la calibración en una imagen y luego utilizarla en la segmentación de una imagen distinta.

### 3.1.2.2 Substracción de fondo.

Antes de realizar la segmentación aplicando el algoritmo de crecimiento de regiones, es necesario realizar un preprocesado de la imagen. De esta forma, el resultado será mucho más satisfactorio. El proceso es completamente automático y transparente para el usuario, lo único que ha de hacer es pulsar el botón "Procesar" (ver Figura 149).



Figura 149. Preprocesado en "Crecimiento de regiones".

Los cambios realizados en la imagen no se muestran en pantalla. El usuario trabaja siempre sobre la imagen original, aunque el algoritmo de segmentación usa sobre la imagen procesada que se almacena en memoria.

### 3.1.3 Reconocimiento de segmentos.

Para realizar la segmentación, se elige un punto semilla inicial y el algoritmo va añadiendo a la región todos los puntos vecinos que tienen un nivel de gris similar. El margen que define



si el color es similar es la “Tolerancia”, que se puede cambiar en caso de que los resultados de la segmentación no sean los esperados.

Para limitar el proceso de crecimiento es necesario indicar los límites del segmento arterial. Para ello, se utiliza la opción de “Habilitar Marcar Límites”, que permanecerá habilitada mientras no se indique lo contrario. Mientras esta opción esté activa, se pueden dibujar líneas pinchando dos veces sobre la imagen, lo cual fijará el principio y el final de la línea (ver Figura 150).

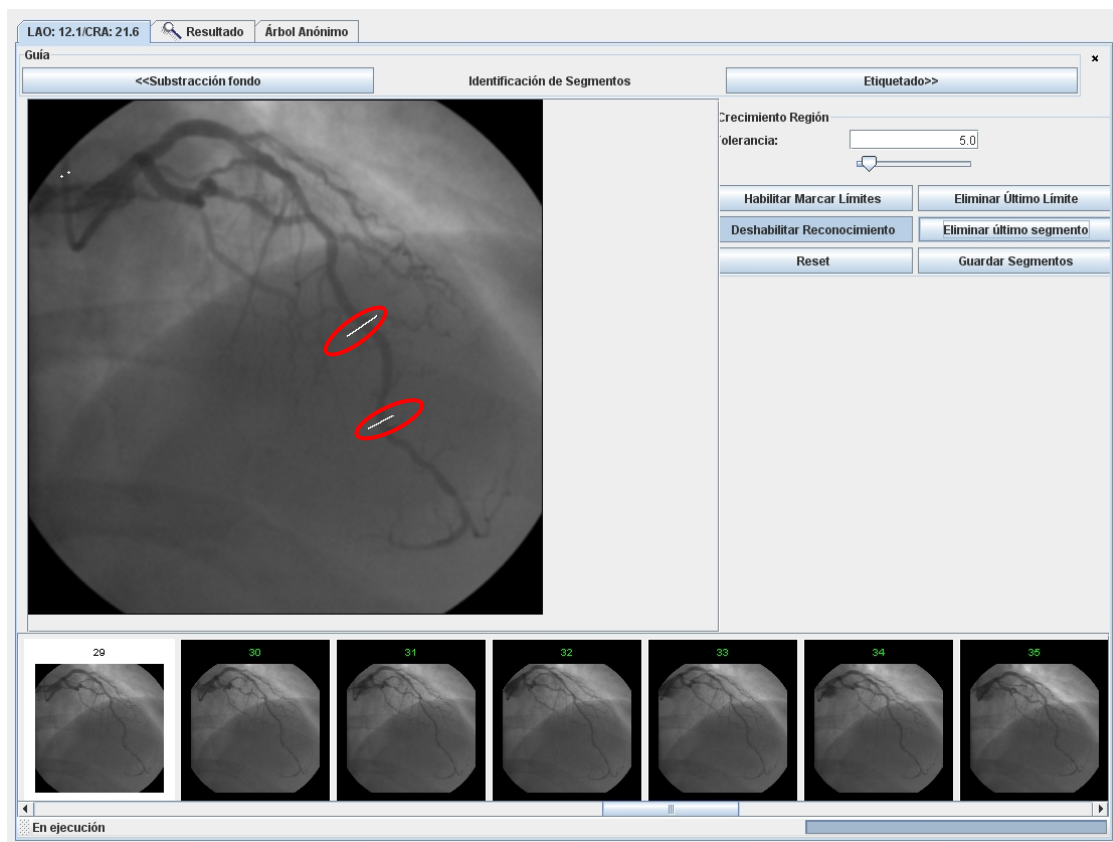


Figura 150. Líneas delimitadoras de segmentos.

Cuando se hayan delimitado los confines del segmento arterial, se procederá a realizar la segmentación propiamente dicha. Para ello, es necesario hacer clic sobre el botón “Habilitar Reconocimiento”, que permanecerá pulsado mientras no se vuelva hacer clic sobre él o se pulse el botón “Habilitar Marcar Límites”. Mientras esté activa esta opción, se realiza la segmentación arterial, marcando un punto sobre el segmento. La herramienta detectará la arteria hasta los confines marcados con líneas. En caso de que no existiesen

líneas de delimitación, se detectaría el árbol arterial completo, pero este se consideraría como un único segmento.

Una vez reconocidos todos los segmentos es necesario guardarlos pulsando “Guardar Segmentos” para continuar con la secuencia de pasos de la sesión, tal y como se puede ver en la Figura 151.

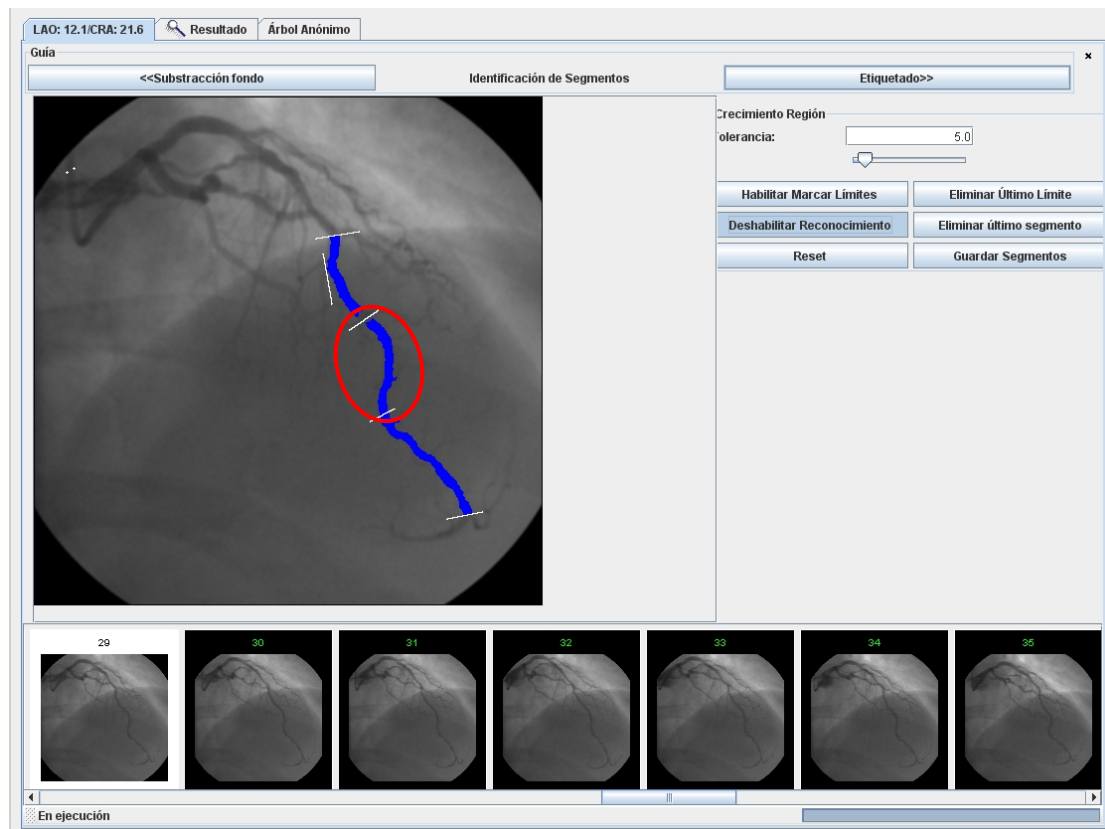


Figura 151. Segmentos reconocido por "Crecimiento de Regiones".

### 3.1.3.1 Validación informática.

Se han llevado a cabo una serie de pruebas para garantizar que la herramienta de segmentación basada en técnicas de crecimiento de regiones es estable y proporciona resultados repetibles e independientes del usuario. Dos usuarios independientes han realizado una medición doble y ciega de la arteria circunfleja en una colección de 59 imágenes diferentes, obteniendo como resultado de cada medición el número de píxeles pertenecientes a dicha arteria, tal y como se puede observar en la Tabla XLII y en la Tabla XLIII.

Tabla XLII. Representación gráfica de la correlación lineal de los resultados obtenidos por el Usuario 1. Se han medido 59 casos de forma doble y ciega por el mismo usuario.

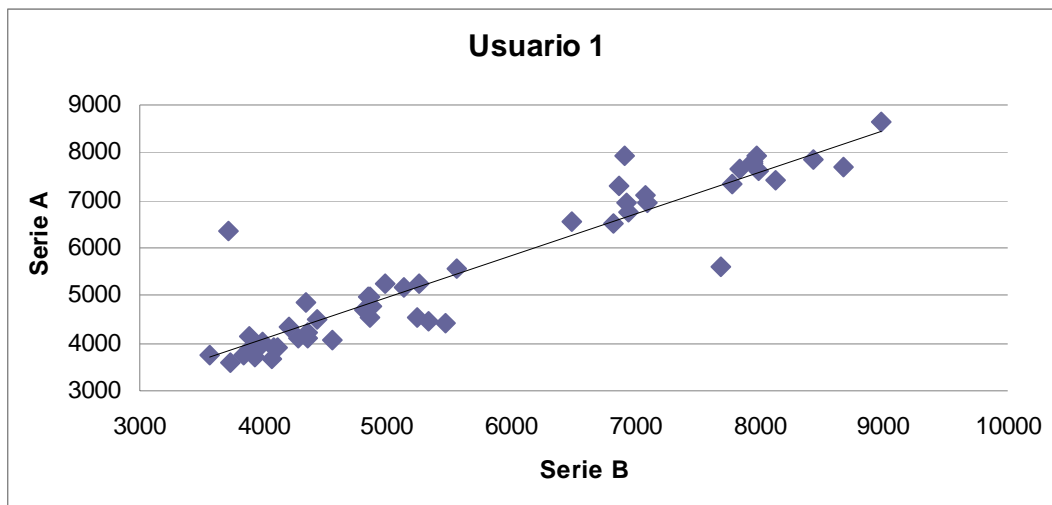
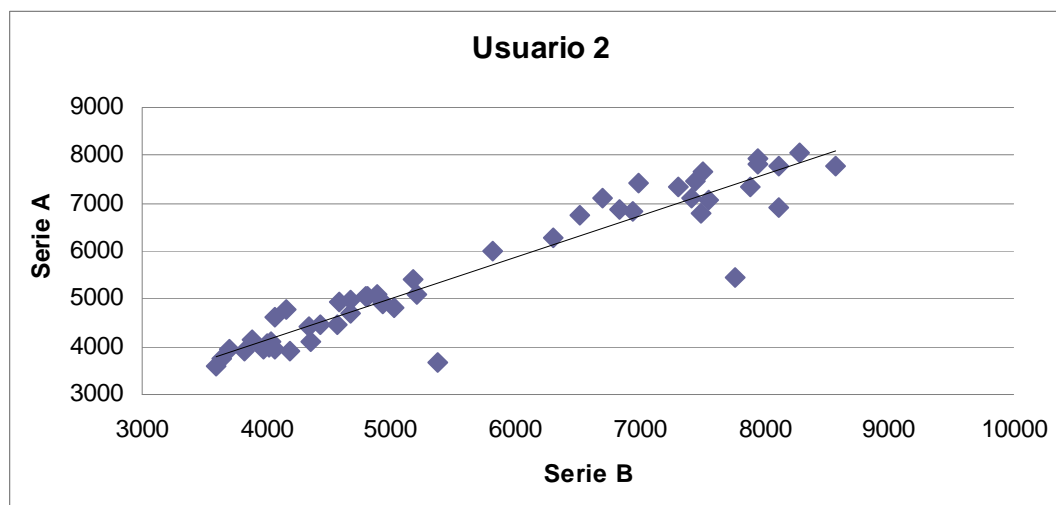


Tabla XLIII. Representación gráfica de la correlación lineal de los resultados obtenidos por el Usuario 1. Se han medido 59 casos de forma doble y ciega por el mismo usuario.

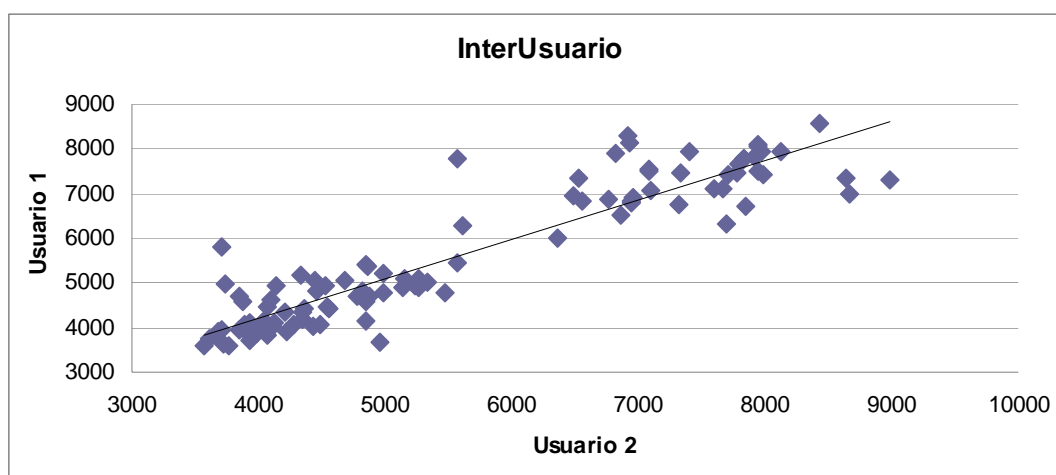


Para evaluar los resultados obtenidos se ha utilizado, en primer lugar, el coeficiente de correlación interclases con el objeto de estimar la repetibilidad de los resultados de un mismo usuario. Para establecer la validez y fiabilidad del método de medida, en este caso la herramienta de segmentación basada en crecimiento de regiones, se ha utilizado el coeficiente de correlación de concordancia, aplicado a los resultados obtenidos por ambos usuarios [MART-04].

Los coeficientes de correlación interclases obtenidos son  $\rho_{11} = 0,9311$  y  $\rho_{12} = 0,9472$ . Estos valores próximos a uno, que representa el grado de acuerdo máximo, indican que las mediciones son repetibles en gran medida, aún cuando el usuario realice las pruebas en momentos diferentes y sin conocer si ha realizado previamente la misma medición. Sin embargo, estos valores, pese a mostrar un alto grado de acuerdo, no son tan positivos como en el caso de segmentación basada en seguimiento.

El coeficiente de correlación de concordancia, obtenido como consecuencia de la comparación de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas por el Usuario 1 y el Usuario 2 (ver Tabla XLIV), es  $\rho_c = 0,9221$ , lo que avala la validez y fiabilidad de la medida, pese a que, como en los coeficientes de correlación interclases, el resultado obtenido es ligeramente peor en comparación con la segmentación basada en “tracking”.

Tabla XLIV. Representación gráfica de la correlación lineal de los resultados obtenidos por el Usuario 1 y el Usuario 2. Se han medido 59 casos de forma doble y ciega por cada uno de los usuarios.



### 3.1.4 Etiquetado.

La pantalla de etiquetado es similar a la que aparece en las sesiones de tracking arterial, pero en este caso solamente es necesario pulsar una vez sobre la imagen para etiquetar el segmento, puesto que éste ha sido delimitado en la fase de segmentación con las líneas.

El resto de procedimientos son exactamente iguales que en la sesión de “Tracking”.

### 3.1.5 Discusión sobre la segmentación

En el ámbito del tratamiento digital de imágenes, se define como segmentación al proceso de dividir una imagen en sus partes constituyentes u objetos [GONZ-96]. En este caso consiste en separar los píxeles que componen el árbol coronario del resto de los que componen la imagen y que se denominan “fondo” de la imagen, del que se habló en la introducción. A partir de los píxeles extraídos, se calcula la superficie que ocupan y se estima el volumen arterial suponiendo que es una secuencia de troncos de cono cuyo perfil es la superficie segmentada.

En este caso concreto se trata de “cuantificar” la información contenida en los estudios angiográficos de forma que se pueda obtener un marcador objetivo a partir de las imágenes. Mediante la segmentación del árbol coronario, se cuantifica cual es la información que aportan los fotogramas obtenidos desde diferentes proyecciones al modelo virtual que se construirá posteriormente.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el proceso de segmentación habrá de realizarse utilizando diferentes proyecciones para evitar el efecto de “acortamiento visual” o “foreshortening”. Además, esta estrategia también permite resolver las posibles ambigüedades en el proceso de segmentación debido a los efectos del solapamiento de arterias o interposición de artefactos u otros elementos anatómicos.

Existen multitud de técnicas y algoritmos desarrollados para la extracción de arteriogramas, pero no se ha encontrado ninguno que solucione este problema completamente. Debido a esto, se establece como requisito clave que “Hemotool” debe ser capaz de incorporar diferentes herramientas de segmentación, basados en distintas técnicas, con la finalidad de incorporar nuevos algoritmos, lo que permitiría realizar estudios comparativos en un futuro.

Por esto, la modularidad del software de segmentación es un requisito clave. La funcionalidad puede ser diseñada internamente e implementada utilizando diferentes técnicas y estrategias. Sin embargo, todas las herramientas de segmentación deben presentar interfaces comunes para interactuar con el software de acceso a las imágenes y con el software de etiquetado.

Para el desarrollo del trabajo de investigación que subyace en la elaboración de esta tesis doctoral se han especificado los requisitos, analizado, diseñado e implementado dos herramientas de segmentación arterial basadas en diferentes estrategias, ampliamente reconocidas en la literatura. La primera se basa en el mecanismo de seguimiento o “tracking” [LU-93] [PARK-97] arterial y la segunda utiliza como base la estrategia de crecimiento de regiones [JAIN-95] [OBRI-94].

### 3.1.6 Discusión sobre el etiquetado

El problema del etiquetado del árbol coronario es un tema ampliamente tratado en la literatura y ha dado lugar a múltiples publicaciones en el ámbito de la imagen médica [DUMA-94] [EZQU-98], aunque siguen realizándose múltiples investigaciones en esta misma línea, por no ser un tema todavía resuelto satisfactoriamente y tener gran importancia desde el punto de vista clínico.

Se han explorado una gran variedad de mecanismos de etiquetado: sistemas basados en conocimiento, sistemas expertos basados en reglas, teoría de grafos, etc. Como ejemplo de esta última aproximación, mediante técnicas de procesado de imagen se ha estudiado la construcción de un grafo que refleje la estructura del árbol, y se han usado técnicas de inteligencia artificial (sistemas basados en el conocimiento, sistemas expertos, algoritmo A\*...) para emparejar el modelo (un grafo con las etiquetas de un árbol coronario genérico) con los datos actualmente disponibles [HARI-99] [DUMA-94]. Los mayores retos que presenta el proceso de etiquetado son la complejidad de la estructura anatómica, la superposición de diferentes elementos, la necesidad de integrar los diferentes segmentos arteriales en un modelo completo y el hecho de etiquetar una estructura tridimensional desde una imagen bidimensional.

Pese a que se han desarrollado múltiples soluciones para el problema del etiquetado del árbol coronario, los clínicos han demandado como funcionalidad clave el etiquetado manual, lo que les permite en todo momento tener un control total, y por tanto la responsabilidad última, en esta operación. De esta forma, el médico que realiza el estudio define los límites de cada segmento arterial y lo etiqueta manualmente.

Realizando las tareas de segmentación y etiquetado desde distintas perspectivas se superan los problemas planteados por la superposición de las arterias y el “foreshortening”. Para

resolver las posibles ambigüedades, el sistema proporciona una función cine para visualizar como una secuencia animada de imágenes cada una de las proyecciones que componen el estudio.

La selección de las proyecciones a realizar y estudiar posteriormente se basan en la experiencia de los facultativos y se utiliza como información base la extraída de los protocolos de realización de angiografías.

#### **4. Construcción del Modelo Arterial Artificial.**

El quinto objetivo específico planteado al comienzo de la elaboración de esta tesis, era la construcción de un modelo arterial artificial personalizado para cada paciente, extrayendo la información necesaria de las imágenes pertenecientes al estudio angiográfico practicado.

Por esto, una vez segmentado el árbol completo o la porción de árbol a estudiar, la herramienta “Hemotool” permite etiquetar cada uno de los segmento arteriales, que pasarán a estar disponibles en el proceso de reconstrucción del modelo arterial artificial.

Los procesos de segmentación y etiquetado se pueden realizar tantas veces como sea necesario, siempre sobre imágenes de un mismo estudio, en diferentes proyecciones y utilizando diferentes algoritmos si se desea. El resultado es un conjunto de segmentos arteriales que pueden ser utilizados para realizar la construcción de un modelo arterial artificial, dimensionado en función de los datos extraídos de las imágenes del estudio.

##### **4.1 Creación del modelo de árbol coronario.**

Cuando se hayan identificado todos los segmentos que se consideren precisos, se puede acometer la creación del modelo árbol coronario. Se pasa a la pestaña de creación del modelo identificado por el nombre del mismo. En la pantalla aparecen tres divisiones, tal y como se puede observar en la Figura 152:

- **A la izquierda**, aparecen varias tablas. Cada una de ellas pertenece a una proyección de las utilizadas para identificar los segmentos. En estas tablas se muestran las etiquetas de los segmentos identificados en cada proyección acompañados por la longitud del segmento.

- **En el centro**, se indica la dominancia del paciente y debajo de esta aparecen tres botones. Estos botones permiten **“Añadir”** segmentos al modelo. **“Eliminar”** segmentos del modelo y **“Guardar”** el modelo de manera permanente en la base de datos. Es posible añadir comentarios a la reconstrucción creada utilizando el cuadro de texto **“Comentarios”**.
- **Y, en la parte derecha**, una representación del modelo en forma de tabla donde se presentan todos los segmentos posibles en el modelo según la dominancia del paciente. Según añaden segmentos al modelo, se muestra la información adicional en la tabla y se refleja en la imagen de la parte inferior.

Rama	Volumen Total	Volumen Afectado	Porcentaje Afectado
LDA	307,254	0	0
LCx	662,286	52,718	7,96
RCA	3.578,898	0	0
Total	4.548,438	52,718	1,159

Figura 152. Pantalla para la construcción del modelo.

Para añadir un segmento al modelo es necesario seleccionarlo en la parte izquierda y pulsar el botón **“Añadir”**. Para eliminarlo, se selecciona en la parte derecha y se pulsa **“Eliminar”**. Cuando se añade un segmento, la información de este aparecerá reflejada en la tabla de la derecha y se iluminará su correspondiente en el **“Árbol de BARI”** situado debajo. Cuando



se elimina sucede lo contrario, desapareciendo la información del segmento de la parte derecha de la pantalla.

Cuando el modelo está completo, se debe pulsar el botón “Guardar” para almacenarlo de manera persistente en base de datos. Al guardar un modelo por primera vez, aparece un cuadro de diálogo que permite asignarle un nombre al modelo. Por último, la opción “Exportar” permite volcar los datos que se muestran en la tabla de la derecha a un fichero de texto.

#### **4.1.1 Discusión sobre la Reconstrucción del Árbol Arterial**

La creación de un modelo de árbol coronario normal o de referencia es una tarea que ha sido objeto de numerosos estudios, siendo uno de los más referenciados el realizado por J. Theodore Dodge Jr. en los años 80 [DODG-88]. Pero a pesar de que la mayor parte de los árboles coronarios tienen una estructura común, la variabilidad de su forma y tamaño es muy importante. Tanto es así que los clínicos clasifican al individuo objeto del estudio en función de la dominancia del árbol arterial, que puede ser izquierda, derecha y balanceada.

La dominancia es un factor de clasificación del árbol arterial que se determina en función del tamaño de las arterias principales: la arteria coronaria derecha y la arteria coronaria izquierda, que a su vez se divide en arteria descendente anterior izquierda y arteria circunfleja.

En este trabajo, se utiliza la clasificación de las arterias coronarias de BARI (véase Figura 154), como elemento de referencia para definir la estructura base de un árbol coronario. Cualquier corazón, independientemente de la dominancia que presente, puede ser representado mediante esta estructura genérica.

Partiendo de un grafo teórico de referencia, que representa el árbol coronario y asignando el valor del volumen de sangre teórico albergado por dicho segmento, se obtiene una aproximación virtual del árbol coronario del paciente. El volumen de cada segmento es estimado a partir de la información extraída del estudio angiográfico.



Proporcionando esta información para una cohorte lo suficientemente significativa de casos, debidamente aleatorizados y seleccionados, se puede validar que dicho marcador pronóstico es válido.

### **4.3 Explotación de los datos**

El médico puede acceder al modelo virtual creado y a los datos generados en el mismo posteriormente. Debido a que todos los estudios realizados a un mismo paciente se encuentran agrupados, es sencillo realizar el trabajo de seguimiento de un individuo que haya sido intervenido en varias ocasiones.

Además, el sistema incorpora una herramienta que permite acceder a los datos de cada estudio almacenados en la base de datos, de forma que el clínico pueda ver toda esta información de forma intuitiva. Dichos datos pueden ser exportados también a ficheros externos con un formato compatible con los paquetes de tratamiento estadístico más utilizados.



## VII. Conclusiones

---

Como conclusión general del trabajo desarrollado, se puede afirmar que la incorporación de un sistema de información basado en imágenes en el servicio de hemodinámica de un gran hospital, permite proporcionar un mecanismo de asistencia a la toma de decisiones a partir de la información anatómica del árbol coronario del paciente, facilitando a los clínicos un nuevo factor pronóstico y el punto de partida para obtener nuevos marcadores de este tipo.

Para alcanzar esta conclusión global, se han obtenido las siguientes conclusiones en cada uno de los diferentes aspectos relacionados con el trabajo de esta tesis:

- La adquisición automática de los estudios DICOM 3 desde los dispositivos de generación de imagen, facilita la centralización de la información y su almacenamiento estructurado.
- Proporcionar un método acceso distribuido al sistema de almacenamiento centralizado mejora el proceso de consulta de los estudios, reduce los tiempos de consulta y promueve el trabajo colaborativo.
- La segmentación interactiva del árbol coronario, utilizando para diferentes proyecciones y algoritmos de segmentación, permite cuantificar la información contenida en las angiografías de forma veraz.
- El etiquetado manual facilita la eliminación de ambigüedades y los efectos producidos por el acortamiento.
- La construcción del modelo arterial artificial a partir de los segmentos etiquetados desde las diferentes proyecciones, facilita el cálculo de valores objetivos relacionados con la anatomía del árbol coronario a estudiar.

- La estimación del porcentaje de árbol en riesgo debido a la existencia de estenosis proporcionan un marcador pronóstico objetivo para que el clínico pueda evaluar el estado del paciente y establecer su pronóstico.
- La implantación del sistema de información en un servicio de hemodinámica de referencia, facilita las tareas relacionadas con el análisis e implementación, ayudando a ajustar todo el sistema para que su adaptación al entorno de trabajo sea el óptimo.

## VIII. Futuros Desarrollos

---

El sistema de información basado en imagen fruto de la metodología propuesta constituye el punto de partida para nuevos desarrollos y futuros trabajos de investigación.

En primer lugar, se está trabajando en la posibilidad de editar desde la herramienta de visualización los estudios angiográficos almacenados. Esto permitirá eliminar la información superflua, optimizando tanto espacio de almacenamiento como el proceso de búsqueda de información. Además, se dotará al sistema de herramientas estadísticas y de “data-mining” que permitirán la explotación de los datos que éste contiene de forma sencilla. La utilización de estas nuevas herramientas podría conducir a los clínicos a proponer nuevos marcadores pronósticos. Estas técnicas debe estar orientadas también a la evaluación de estos nuevos factores.

También está previsto aplicar nuevas técnicas de segmentación arterial, como podrían ser las técnicas basadas en modelos deformables, utilizando en una primera aproximación “*snakes*”.

Dentro del ámbito de mejoras que se podrían realizar estaría la implementación de técnicas de detección semiautomática de estenosis y etiquetado.

Otro camino que se abre es aquel que conduce a la completa integración de este sistema de información departamental con los sistemas de información generales del hospital como pueden ser el HIS y el RIS, utilizando como hoja de ruta la iniciativa “*Integrating the Healthcare Enterprise*” (IHE).

También se ha considerado la idea de utilizar conjuntos de reglas propuestos por los especialistas, añadir un nuevo subsistema de inteligencia artificial, que permita proponer decisiones utilizando para ello Sistemas Expertos. Dentro de este mismo subsistema, y

dada la gran cantidad de información histórica que puede albergar el sistema de información sería interesante aplicar técnicas de Inteligencia Artificial como Redes de Neuronas Artificiales o Algoritmos Genéticos para proponer nuevos factores pronósticos.

Por último, y con ánimo divulgativo, se plantea la construcción de un modelo arterial en 4D para cada caso procesado; es decir, utilizando secuencias de imágenes, alineando dichas secuencias mediante la señal de electrocardiograma asociada a cada proyección, se trataría de crear una animación del árbol coronario en 3 dimensiones.



---

## IX. Bibliografía

---

- [ACC-99] ACC/AHA/ACP-ASIM “Guidelines for the Management of Patients With Chronic Stable Angina. A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee Management of Patients with Chronic Stable Angina)”. *J Am Coll Cardiol*, vol. 33, pp. 2092-2197, 1999.
- [ADAM-94] R. Adams, L. Bischof. “Seeded Region Growing”. *IEEE Trans. On PAMI*, vol. 16, no. 6, pp. 641-647, June 1994.
- [AMBL-98] S. Ambler. “Process Patterns: Building Large-Scale Systems Using Object Technology”. Ed. Cambridge University Press/SIG Books; 1998.
- [BAET-98] H. Baetjer. “Software as capital”. *IEEE Computer Society Press. P. 85, 1998*.
- [BASH-97] L. Bashshur, J.H. Shannon and G.W. Shannon. “Telemedicine: theory and practice,” Springfield, Illinois. Ed. C.C. Thomas; 1997
- [BECK-94] S.H. Becker and R.L. Arenson. “Costs and Benefits of Picture Archiving and Communication Systems.” *Journal of the American Informatics Association*, vol. 1, no. 5, pp. 361-371, September/October 1994.
- [BROW-77] B.G. Brown, E. Bolson, M. Frimer and H. T. Dodge. “Quantitative coronary arteriography.” *Circulation*, vol. 55, pp. 329-337, 1977.
- [BROW-82] B.G. Brown, E. Bolson and H. T. Dodge. “Arteriographic assessment of coronary atherosclerosis.” *Arteriosclerosis*, vol. 2, pp. 2-15, 1982.
- [CALI-99] R.M. Califf, H.R.I Phillips, M.C. Hindman et al. “Prognostic value of a coronary artery jeopardy score.” *J Am Coll Cardiol*, vol. 5, pp. 1055– 63. 1999

- [CAST-02] A. Castro, J. Pereira, D. Ronda, J.M. López-Gestal, B. Arcay, A. Pazos and A. Gómez. “Medical Information System,” *Proceedings EMBEC'02. IFMBE Proc 2002*, vol 3, no. 2., pp. 1114-1115, 2002.
- [CHER-97] I. Cherrak, J.F. Paul, M.C. Jaulent, G. Chatellier, P.F. Plouin, J.G. Gaux and P. Degoulet. “Automatic stenosis detection and quantification in renal arteriography”. *Proc AMLA Annu Fall Symp. 1997*, pp. 66-70, 1997.
- [CLUN-05] D. Clunie. “David Clunie’s Medical Image Format Site,” [en línea]. [Último acceso 08/01/2005]. URL disponible: <http://www.dclunie.com>.
- [CLUN-06] D. Clunie. “DICOM 3 tools software”. [en línea], URL disponible: <http://www.dclunie.com/dicom3tools.html>
- [COHE-05] M.D. Cohen, L.L. Rumreich, K.M. Garriot and S.G. Jennings. “Planning for PACS: A Comprehensive Guide to Nontechnical Considerations.” *J Am Coll Radiol.*, vol. 2, pp. 327-337, 2005.
- [DCMT-07] *DICOM Software made By Offis – DCMTK – DICOM Toolkit*, [en línea]. [Último acceso 30/04/2007]. URL disponible: <http://dicom.offis.de/dcmTk.php.en>
- [DICO-07] “Digital Imaging and Communications in Medicine,” Nacional Electrical Manufacturers Association. 2007. USA. [en línea] [Último acceso 30/04/2007]. URL disponible: <http://medical.nema.org>.
- [DODG-88] J.T. Dodge Jr., B.G. Brown, E.L. Bolson and H.T. Dodge. “Intrathoracic Spatial of Specified Coronary Segments on the Normal Human Heart. Applications in quantitative arteriography, assessment of regional risk and contraction, and anatomic display,” *Circulation*, vol. 78, no 5, November 1988.
- [DUMA-94] A.C. Dumay, J.J. Gerbrands and J.H. Reiber. “Automated extraction, labelling and analysis of the coronary vasculature from arteriograms.” *International Journal of Cardiac Imaging* 10, 1994.
- [EIHO-94] R. Adams and L. Bischof. “Seeded Region Growing,” *IEEE Trans. On PAMI*, vol. 16, no. 6, pp. 641-647, June 1994.

- [EIH0-97] S. Eiho and Y. Qian. "Detection of coronary artery tree using morphological operator," *Computers in Cardiology*, pp. 525-528, 1997.
- [EMON-94] M. Emond, M.B. Mock, K.B. Davis, et al. "Long-term survival of medically treated patients in the Coronary Artery Surgery Study (CASS) Registry," *Circulation* vol. 90, pp. 2645-57, 1994.
- [ENCI-06] Enciclopedia médica en español. Medline Plus. [en línea] URL disponible: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/003876.htm>
- [EZQU-98] N. Ezquerro, S. Capell, L. Klein, P. Duijves. "Model-Guided Labeling of Coronary Structure". *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 17, no. 3, June 1998.
- [EZQU-99] N. Ezquerro, I. Navazo, T. Infantes, E. Moclús. "Graphics, Vision, and Visualization in Medical Imaging: A State of the Art Report". *Eurographics* 1999
- [FIGU-95] M.A.T. Figueiredo and J.M.N. Leitao. "A nonsmoothing approach to the estimation of vessel contours in angiograms," *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, vol 14, pp. 162-172, 1995.
- [GARC-05] D. Garcia y C. Gracia. "Bertha Roentgen (1833-1919): La Mujer Detrás Del Hombre". *Revista Chilena de Radiología*. vol. 11, no. 4, pp. 179-181.
- [GONZ-96] R.C. Gonzalez and R.E. Woods. "Digital Image Processing," Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Reading, Massachusetts, USA. 1996.
- [GREE-01] R.A. Greenes, J.F. Brinkley. "Imaging Systems (Second Edition)," *Medical informatics: computer applications in health care and biomedicine*, Ed. Springer-Verlag. New York. USA., pp. 485 - 538, 2001.
- [GROU-79] Group European Coronary Surgery Study. "Coronary-artery bypass surgery in stable angina pectoris: survival a two years," *Lancet*, vol.1, pp. 889-93, 1979
- [GUO-98] D. Guo and P. Richardson. "Automatic vessel extraction from angiogram images," *Computers in Cardiology 1998*, pp. 441 - 444, 1998.

- [HARI-99] K. Haris, S.N. Efstratiadis, N. Maglaveras, C. Pappas, H. Goruassas and G. Loruidas. "Model-Based Morphological Segmentation and Labeling of Coronary Angiograms". *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 18, no. 10, October 1999.
- [HRUB-92] Hruby W, Mosser H, Urban M and Rüger W. "The Vienna SMZO-PACS project: The totally digital hospital." *ISPRAD VI Proceedings*. Bergen, pp. 207-216. 1992.
- [HUAN-93] Q. Huang and G. C. Stockman. "Generalized tube model: recognizing 3d elongated objects from 2d intensity images," *Computer Vision and Pattern Recognition, 1993. Proceedings CVPR '93., 1993 IEEE Computer Society Conference on*, pp. 104-109, 1993.
- [ISO-00] ISO/IEC 10731:1994. Information technology -- Open Systems Interconnection -- Basic Reference Model -- Conventions for the definition of OSI services. Current Stage: 90.93. Stage Date: 2000.
- [JACO-00] I. Jacobson, G. Booch, J. Rumbaugh. "El Proceso Unificado de Desarrollo de Software". Addison-Wesley. 2000.
- [JAIN-95] R.C. Jain, R. Kasturi, and B.G. Schunck. "Machine Vision". McGraw-Hill, 1995.
- [JDIC-07] Sitio Web oficial de las aplicaciones JDICOM. [en línea] [Último acceso 31/01/2007]. URL disponible en: <http://www.tiani.com/>.
- [KEYT-07] Keytool – Key and Certificate Management Tool. [en-línea] [Último acceso 30/04/07] URL disponible: <http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/tooldocs/windows/keytool.html>
- [KIRB-04] C. Kirbas and F. Quek. "A review of vessel extraction techniques and algorithms," *ACM Comput. Surv.*, vol. 36, pp. 2, pp. 81-121, 2004.

- [KLEI-97] A. K. Klein, F. Lee and A. A. Amini. "Quantitative coronary angiography with deformable spline models," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 16, no. 5, pp. 468-482, October 1997.
- [KOMP-00] I. Kompatsiaris, D. Tzovaras, V. Koutkias and M. G. Strintzis. "Deformable boundary detection of stents in angiographic images," *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, no. 19, pp. 652-662, 2000.
- [KULI-97] C.A. Kulikowski, C.C. Jaffe (Eds). Focus on imaging informatics. *Journal of the American Medical Informatics Association*, no. 4, vol. 3, pp. 165-256.
- [LAW-03] A.K.W. Law, H. Zhu, F.H.Y. Chan. "3D Reconstruction of Coronary Artery using Biplane Angiography," *Proc of the 25<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE EMBS*, pp. 533-536. September. 2003.
- [LOPD-99] Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, Protección de Datos de Carácter Personal (Boletín Oficial del Estado, número 298, 14 de diciembre de 1999).
- [LORT-92] Ley Orgánica 5/1992, de 29 de octubre, de regulación del tratamiento automatizado de los datos de Carácter Personal (Boletín Oficial del Estado, número 262, de 31 de octubre de 1992).
- [LU-93] S. Lu and S. Eiho. "Automatic detection of the coronary arterial contours with sub-branches from an x-ray angiogram," *Computers in Cardiology 1993. Proceedings.*, pp 575-578, 1993.
- [MALL-95] R. Malladi, J. A. Sethian, and B. C. Vemuri. "Shape modelling with front propagation: a level set approach. Pattern Analysis and Machine Intelligence," *IEEE Transactions on*, vol. 17, pp. 158-175, 1995.
- [MAO-92] F. Mao, S. Ruan, A. Bruno, C. Toumoulin, R. Collorec and P. Haigron. "Extraction of structural features in digital subtraction angiography," *Biomedical Engineering Days, 1992., Proceedings of the 1992 International*, pp. 166-169, 1992.

- [MART-04] A. Martín, J. de Dios. “Bioestadística para las Ciencias de la Salud”. Madrid. Capitel Ediciones, 2004.
- [MATH-90] Matheus R. “PACS and PACS-related research in Belgium,” *CAR'90, Computed Assisted Radiology Proceedings*. Berlin: Springer Verlag; 1990.
- [MCIN-97] Tim McInerney and Demetri Terzopoulos. “Medical image segmentation using topologically adaptable surfaces,” *CVRMed-MRCAS '97: Proceedings of the First Joint Conference on Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medicine and Medial Robotics and Computer-Assisted Surgery*, London,. Springer-Verlag, pp 23-32, 1997.
- [MDSP-07] “Intensificador de Imagen”. MedSpain. [en línea][Último acceso: 30/04/2007] URL disponible: [http://www.medspain.com/ant/n11\\_abr00/intensificador.htm](http://www.medspain.com/ant/n11_abr00/intensificador.htm)
- [MDIN-07] “Angiography”. [en línea][Último acceso: 30/04/2007]. URL disponible: <http://medinfo.ufl.edu/other/histmed/klioze/slide49.html>
- [MEMO-03] Memoria anual 2003. Complejo Hospitalario Universitario Juan Canalejo. Xunta de Galicia.
- [MERL-97] A.B. Merle, G. Finet, J. Lienard and I.E. Magnin. “3d reconstruction of the deformable coronary tree skeleton from two x-ray angiographic views,” *Computers in Cardiology*, pp. 757-760, 1997.
- [MOLI-98] C. Molina, G. P. Prause, P. Radeva, and M. Sonka. “3-D catheter path reconstruction from biplane angiography using 3D snakes”. *SPIE - Medical Imaging*, San Diego, USA, 1998.
- [MORG-04] M. Morgan, B. Branstetter, D. Falk and P. Chang. “Cost Justification for PACS: Realized Return on Investment in 3.5 Years,” *Proc. RSNA 2004. Scientific Session: Radiology Informatics*. December 2004.

- [NEMA-01] NEMA. "The DICOM Standard". Tech. Rep., National Electrical Manufacturers Association, 2001. [en línea], URL disponible: <http://medical.nema.org/dicom/2004.html>
- [NOZ-84] M.E. Noz, W.A. Erdman, G.Q. Maguire, T.J. Stahl, R.J. Tokarz, K.L. Menken et. al. "Modus operandi for a picture archiving and communication system," *Radiology*, vol. 152, pp. 221-223, 1984.
- [NYST-01] I. Nyström, G. Sanniti di Baja, and S. Svensson. "Representing volumetric vascular structures using curve skeletons," *Proceedings of 11th International Conference on Image Analysis and Processing (ICLAP 2001)*, Eds. Edoardo Ardizzone and Vito Di Gesù, IEEE Computer Society, Palermo, Italy, pp. 495-500, 2001.
- [OBRI-94] J.F. O'Brien and N.F. Ezquerro, "The Automated Segmentation of Coronary Vessels in Angiographic Image Sequences," *Proceedings of Visualization in Biomedical Computing 94*, Rochester, Minnesota, pp. 25-38, Oct. 1994.
- [OOST-01] H. Oosterwijk. "DICOM Básico (Second Edition)," EE.UU: Tech, 2001.
- [OSSL-07] OpenSSL: The Open Source toolkit for SSL/TLS. [en línea] [Último acceso 30/04/07]. URL disponible: <http://www.openssl.org>
- [PAPP-84] T.N. Pappas and J.S. Lim. "Estimation of coronary artery boundaries in angiograms," *Appl. Digital Image Processing VII*, vol. 504, pp. 312-321, 1984.
- [PARK-97] S. Park, J. Lee, J. Koo, O. Kwon and S. Hong. "Adaptive tracking algorithm based on direction field using ml estimation in angiogram," *TENCON '97. IEEE Region 10 Annual Conference. Speech and Image Technologies for Computing and Telecommunications'*, *Proceedings of IEEE*, vol. 2, pp 671-675, 1997.
- [PAZO-01] "Avances en informática biomédica," Eds. A. Pazos, A. Santos, B. Arcay, J. Dorado J. A Coruña. Servicio de Publicaciones de la Universidad de A Coruña; 2001.

- [PELL-94] C. Pellot, A. Herment, M. Sigelle, P. Horain, H. Maitre and P. Peronneau. "A 3d reconstruction of vascular structures from two x-ray angiograms using an adapted simulated annealing algorithm," *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, vol. 13, pp. 48-60, 1994.
- [PETR-93] R. R. Petrocelli, K. M. Manbeck and J. L. Elion. "Three dimensional structure recognition in digital angiograms using gauss-markov methods," *Computers in Cardiology 1993. Proceedings*, pp. 101-104, 1993.
- [PMED-07] "Infarto Agudo de Miocardio". PortalMedico.com. [en línea] [Último acceso: 30/04/2007] URL disponible: <http://www.portalesmedicos.com/publicaciones/articles/294/1/Infarto-agudo-de-miocardio-Parte-1.html>
- [POLI-97] R. Poli and G. Valli. "An algorithm for real-time vessel enhancement and detection," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, pp. 52:1-22, January 1997.
- [PRAT-98] H.M. Pratt, C.P. Langlotz, E.R. Feingold, J.S. Schwartz, H.L. Kundel. "Incremental cost of department-wide implementation of a picture archiving and communication system and computed radiography," *Radiology*, vol.1, no. 206, pp. 245-252, January 1998.
- [PRES-04] R.S. Pressman and R. Pressman. "Software Engineering: A Practitioner's Approach," McGraw-Hill. USA. 2004.
- [PRIN-95] V. Prinnet, O. Mona and J. M. Rocchisani. "Multi-dimensional vessels extraction using crest lines," *Engineering in Medicine and Biology Society, 1995. IEEE 17th Annual Conference*, vol. 1, pp. 393-394, 1995.
- [PUJO-99] O. Pujol, C. Cañero, P. Radeva, R. Toledo, J. Saludes, D. Gil, J.J. Villanueva, J. Mauri, B. García, J. Gómez, A. Cequier and E. Esplugas. "Three-dimensional reconstruction and quantification of the coronary tree using intravascular images," *Proc. IEEE of Computers in Cardiology*, vol. 26, pp.265-268. 1999.



- [QANG-07] “QAngio XA”. Medis. [en línea] [Último acceso: 30/04/2007]. URL disponible: <http://www.medis.nl/assets/QAngioXA.pdf>
- [QUEK-01] F. K. H. Quek and C. Kirbas. “Simulated wave propagation and traceback in vascular extraction. In Medical Imaging and Augmented Reality,” *Proceedings. International Workshop on*, pp. 229-234, 2001.
- [RD99-99] Real Decreto 994/1999, de 11 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de medidas de seguridad de los ficheros automatizados que contengan datos de carácter personal (Boletín Oficial del Estado, número 151, de 25 de junio de 1999).
- [RFC2828] RFC2828. Internet Security Glossary.
- [ROTG-01] D. Rotger, P. Radeva, C. Cañero, J.J. Villanueva, J. Mauri, E. Fernández-Nofrerías, A. Tovar and V. Valle. “Corresponding IVUS and angiogram image data,” *Proc. of Computers in Cardiology*, Rotterdam, The Netherlands, vol. 28, pp. 273-276, September 2001.
- [RCHO-07] “Angiography”. Royal Cornwall Hospital. [en línea] [Último acceso: 30/04/2007] URL disponible: <http://www.cornwall.nhs.uk/clinicalimaging/Angiography.htm>
- [RSNA-04] Sitio Web oficial de la Sociedad Norteamericana de Radiología [en línea] [Último acceso 20/3/2004]. URL disponible: <http://www.rsna.org/about/purpose.html>.
- [RUSS-99] J.C. Russ. “The Image Processing Handbook,” IEEE Press. 1999.
- [SARR-01] L. Sarry and J. Y. Boire. “Three-dimensional tracking of coronary arteries from biplane angiographic sequences using parametrically deformable models,” *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, vol. 20, pp. 1341-1351, 2001.
- [SCAN-99] P.J. Scanlon, D.P. Faxon, A.M. Audet, B. Carabello, G.J. Dehmer, K.A. Eagle, R.D. Legako, D.F. Leon, J.A. Murray, S.E. Nissen, C.J. Pepine, R.M. Watson, J.L. Ritchie, R.J. Gibbons, M.D. Cheitlin, T.J. Gardner, A. Garson

- Jr., R.O. Russell Jr, T.J. Ryan and S.C. Smith Jr. "ACC/AHA guidelines for coronary angiography: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Comitee on Coronary Angiography) developed in collaboration with the Society for Cardiac Angiography and Interventions" *J. Am. Coll. Cardiol.* no. 133, pp. 1756-1824. 1999.
- [SEPR-07] Sociedad Española de Protección radiológica [página principal] [Último acceso 30/04/2007]. URL disponible en: <http://www.sepr.es/>
- [SHMU-83] K. Shmueli, W.R. Brody and A. Macovski. "Estimation of blood vessel boundaries in x-ray images," *Opt. Eng.*, vol. 22, pp. 110-116, January-February 1983.
- [SHOR-01] E.H. Shortliffe, M.S. Blost. "The Computer Meets Medicine and Biology: Emergence of a Discipline," *Medical informatics: computer applications in health care and biomedicine (Second Edition)*, Springer-Verlag. New York. USA, pp. 3 – 40, 2001.
- [SMET-88] C. Smets, G. Verbeeck, P. Suetens and A. Oosterlinck. "Aknowledge-based system for the delineation of blood vessels on subtraction angiograms," *Pattern Recogn. Lett.*, vol. 8, no. 2, pp. 113-121,1988.
- [SOIL-99] P. Soille. "Morphological Image Analysis: Principles and Applications," Springer. 1999.
- [STAN-86] S.A. Stansfield. "Angy: A rule-based expert system for automatic segmentation of coronary vessels from digital subtracted angiograms," *PAMI*, vol. 8 no. 3, pp. 188-199, March 1986.
- [STUN-07] StunnelOrg. [en línea] [Último acceso 30/04/2007] URL disponible: <http://www.stunnel.org>
- [TAKA-76] T. Takaro, H.N. Hultgren, M.J. Lipton and K.M. Detre. "The VA cooperative randomized study of surgery for coronary arterial occlusive

- disease. II. Subgroup with significant left main lesions,” *Circulation*, vol. 54 (suppl III), pp. 107-117.
- [TELE-07] “Red Temática de Telemedicina e Informática Médica. Telemedicina e Informática Médica,” [en línea] [Último acceso 1/03/2007] URL disponible: <http://www.saber.ula.ve/redtelemedicina/grupos.html>
- [THOM-06] T. Thom, N. Haase, W. Rosamond, V.J. Howard, J. Rumsfeld, T. Manolio, Z. Zheng, K. Flegal, C. O’Donnell, S. Kittner, D. Lloyd-Jones, D.C. Goff, Jr, Y. Hong, Members of the Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee, R. Adams, G. Friday, K. Furie, P. Gorelick, B. Kissela, J. Marler, J. Meigs, V. Roger, S. Sidney, P. Sorlie, J. Steinberger, S. Wasserthiel-Smoller, M. Wilson and P. Wolf. “Heart Disease and Stroke Statistics—2006 Update: A Report From the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee.” *Circulation* no 113, pp 85-151. 2006.
- [TORR-00] L.M. Torres. “Radiología Digital, PACS, Telerradiología y estrategias en radiología,” *Introducción. Informática Médica Integrada*, Barcelona; 2000.
- [UVIR-07] “Las Enfermedades Cardiovasculares. El Cateterismo Cardiaco” Health System, University of Virginia. [en línea] [Último acceso: 30/04/2007] URL disponible: [http://www.healthsystem.virginia.edu/UVAHealth/adult\\_cardiac\\_sp/cath.cfm](http://www.healthsystem.virginia.edu/UVAHealth/adult_cardiac_sp/cath.cfm)
- [WAHL-99] A. Wahle, G. Prause, S. DeJong, M. Sonka. “Geometrically correct 3-D reconstruction of intravascular ultrasound images by fusion with biplane angiography - methods and validation,” *IEEE Trans. Med. Imag.*, vol. 18, no. 8, pp. 686-699, August 1999.
- [WIRE-07] Wireshark: A Network Protocol Analyzer. [en línea] [Último acceso 30/04/2007]. URL disponible: <http://www.wireshark.org>

- [X.800] “International Telecommunication Union, ITU-T Recommendation X.800. Redes de comunicación de datos: Interconexión de Sistemas Abiertos (ISA), Seguridad, Estructura y Aplicaciones”.
- [X.805] “International Telecommunication Union, ITU-T Recommendation X.805. Security architecture for systems providing end-to-end communications.”