



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Universidad de la República

CUENTARADIO: Registro de radiación recibida por procedimientos médicos

Memoria de un Proyecto de Informática Médica presentada a la Facultad de Ingeniería

por

Sebastián Lorenzo

Federico Martínez

Pablo Minetti

Con la tutoría del Prof. Ing. Franco Simini,

del Prof. Adj. Ing. Antonio López Arredondo y de la Prof. Adj. Dra. Olga Lillo,

en cumplimiento parcial de los elementos requeridos para la obtención

del título de Ingeniero en Computación

Núcleo de Ingeniería Biomédica de las Facultades de Medicina e Ingeniería

Hospital de Clínicas, piso 15

Montevideo – URUGUAY

Junio de 2018



Universidad de la República
Uruguay
nib
núcleo de ingeniería biomédica



Resumen

El creciente aumento del uso de la radiación con fines de diagnóstico y terapia médica en el mundo ha llamado la atención de varias instituciones, así como de países desembocando en la realización de entidades que controlen la cantidad de radiación a la que son expuestas las personas. Comienzan a aparecer los Registros Nacionales de Dosis.

En nuestro país, complementando la temprana institucionalización de normas de radioprotección, existe aún un margen para mejorar el control de dosis suministradas a las personas. El trabajo mancomunado e interdisciplinario, está llamado a responder a los desafíos de esta área poco explorada. En el proyecto **CUENTARADIO** se estudia el uso de la radiación en contexto médico, así como también se presentan los riesgos y cuidados necesarios que hay que tener. Es uno de los objetivos de **CUENTARADIO** el diseño e implementación de un sistema que permita el registro de dosis de radiación de las personas organizado y que, por decisión de un médico tratante, tenga por primera vez presencia en la historia clínica electrónica (HCE). Al mismo tiempo **CUENTARADIO** es una herramienta para el análisis de datos de radiación ionizante.

CUENTARADIO cuenta con tres componentes: una aplicación móvil para dispositivos Android e iOS, un administrador web y un middleware. La aplicación móvil permite el registro de las dosis por parte de los técnicos radiólogos y la consulta de los registros por parte de médicos y de los propios usuarios, que se empoderan de esta manera de su propia historia “ionizante”. Desde el administrador web se tiene acceso a todos los datos generados por la aplicación móvil, así como la gestión del sistema completo (registro de usuarios, exámenes médicos, instituciones, entre otros); además se tiene acceso a la sección de estadísticas poblacionales en donde se pueden realizar consultas, aplicar filtros y analizar los datos. El middleware es el encargado de comunicarse con el registro de pacientes nacional, el EMPI, y abrirle el paso al historial de radiaciones hacia la HCE.

Las pruebas de **CUENTARADIO** permiten concluir la viabilidad de un sistema de registro nacional de dosis como parte de una mejora en la toma de decisiones de los médicos, como manera de asistir en controles regulatorios en el cumplimiento de estándares de uso de la radiación y como un paso importante hacia la prevención de la radiación innecesaria en contexto médico.

Palabras clave: radiación ionizante, radioprotección, empoderamiento del paciente, historia clínica electrónica, estadísticas de dosis absorbida, protección radiológica, registro nacional de dosis ionizante absorbida

La aplicación está disponible a través de Google Play accediendo al siguiente enlace:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.CUENTARADIO>

Se puede ingresar a la aplicación mediante los siguientes usuarios de prueba:

ID	Contraseña
Patient	12345678
Technician	12345678
Doctor	12345678

Una demostración resumida de la aplicación puede encontrarse en:

https://drive.google.com/open?id=1DsMuCl7IVGWxcx_V7xPBcdSuo0AmNYcN

Índice General

Resumen	2
Índice General	4
Índice de Figuras	9
Índice de Tablas.....	12
Glosario	13
1 Introducción	19
1.1 Descripción del Proyecto.....	19
1.2 Motivación	19
1.3 Objetivos.....	21
1.4 Organización del documento	21
2 Informática Médica.....	23
2.1 Estándares informáticos en salud	23
2.2 Health Level 7(HL7).....	23
2.3 Clínical Document Architecture - CDA.....	24
2.4 Vocabularios	24
2.5 SNOMED-CT	25
2.6 Codificación LOINC	27
2.7 Integrating the Health Enterprise (IHE).....	27
2.8 Perfil XDS	27
2.9 Perfil PIX	28
2.10 Enterprise Master Patient Index.....	29
2.11 OID: Object ID	29
2.12 Registro de OID en Uruguay	29
2.13 Estructura de OID	30
2.14 Norma de almacenamiento y comunicación de imágenes médicas DICOM	31
2.15 Algoritmo de Montecarlo.....	31
2.16 Programa Salud.uy	32
2.17 Estándares de referencia de SALUD.UY.....	32
2.18 Situación actual de SALUD.UY	33
3 Sistemas de Registro de Radiaciones Ionizantes	35
3.1 JOINT COMMISSION	35
3.2 Control de la exposición a las radiaciones ionizantes	35
3.3 Radiation Dose Monitor de MedSquare.....	36
3.4 DoseWatch de General Electric	36
3.5 Dosetrack de Sectra	36
3.6 VirtualDose de Virtual Phantoms	37
3.7 Medida a registrar	38
3.8 Registro Ocupacional de Dosis en el Hospital de Clínicas.....	39
3.9 Registro asistencial de Dosis en el Hospital de Clínicas.....	41
3.10 Oportunidades de mejora	43

3.11	Registro Nacional de Dosis de Suiza.....	43
3.12	Registro Nacional de Dosis de Australia.....	43
3.13	Dose Record Keeping en Reino Unido.....	44
3.14	Registro Nacional de Dosis de Canadá	44
3.15	Iniciativa de Reducción de la Radiación en Estados Unidos	45
3.16	Dose Index Registry de Estados Unidos	45
3.17	Otros registros de dosis	45
3.18	Comparación de distintos Sistemas	45
4	Análisis y Diseño	46
4.1	Especificación de requerimientos	46
4.1.1	Definición de datos utilizados en CUENTARADIO	46
4.1.2	Definición de medidas calculadas en CUENTARADIO	49
4.1.3	Requerimientos funcionales.....	50
4.1.4	Requerimientos no funcionales.....	60
4.2	Diseño del sistema.....	61
4.2.1	Introducción	61
4.2.2	Diagrama de secuencia del Sistema	62
4.3	Arquitectura del sistema.....	65
4.4	Arquitectura en 3 capas	66
4.5	Arquitectura planteada.....	66
4.5.1	Componentes de la arquitectura.....	67
4.6	CUENTARADIO - Aplicación Móvil	68
4.6.1	Funcionalidades.....	68
4.6.2	Arquitectura y diseño	68
4.6.3	Componentes de la aplicación Móvil	72
4.7	CUENTARADIO - Servidor	73
4.7.1	Funcionalidades.....	73
4.7.2	Arquitectura y Diseño.....	73
4.8	CUENTARADIO - Administrador.....	78
4.8.1	Funcionalidades.....	78
4.9	CUENTARADIO – Middleware	80
4.9.1	Funcionalidades.....	80
4.9.2	Arquitectura	81
5	Modelo de datos.....	81
5.1	Estructura del CDA.....	82
5.2	Elemento Raíz: Clinical Document	83
5.3	Cabecal CDA	83
5.4	Cabecal CDA: typeID	83
5.5	Cabecal CDA: id	83
5.6	Cabecal CDA: code	84
5.7	Cabecal CDA: effectiveTime	84
5.8	Cabecal CDA: confidentialityCode	85
5.9	Cabecal CDA: recordTarget.....	85
5.10	Cabecal CDA: author	85
5.11	Cabecal CDA: custodian	86

5.12	Cuerpo del CDA: nonXMLBody	86
5.13	CDA CUENTARADIO	87
5.14	Datos Internos al servidor web y a la aplicación móvil	88
6	Implementación.....	89
6.1	CUENTARADIO - Servidor	89
6.1.1	Tecnologías usadas.....	89
6.2	CUENTARADIO – Administrador	95
6.2.1	Tecnologías utilizadas.....	95
6.3	CUENTARADIO - Middleware	97
6.3.1	Tecnologías usadas.....	97
6.4	CUENTARADIO – Aplicación móvil	97
6.4.1	Tecnologías usadas.....	97
7	Gestión de Calidad	100
7.1	Calidad del código	100
7.2	Pruebas unitarias.....	100
7.3	Pruebas Funcionales y Optimizaciones	101
7.4	Pruebas de Usabilidad	104
7.5	Pruebas de Portabilidad.....	105
7.6	Pruebas de Performance.....	106
7.6.1	Escenario de pruebas	106
7.6.2	Resultado de las ejecuciones.....	107
8	Tutorial de CUENTARADIO App	117
8.1	Login	117
8.2	Paciente	118
8.2.1	Ver Estadísticas.....	118
8.2.2	Historial de dosis y Detalles de Dosis	118
8.2.3	Log de Actividades.....	119
8.2.4	Dar Permiso a Médico	120
8.3	Técnico.....	120
8.3.1	Ingresar Dosis	120
8.3.2	Ingresar Dosis en Modo Offline.....	121
8.3.3	Dosis Registradas.....	122
8.3.4	Exposición Ocupacional.....	122
8.3.5	Cambiar Institución	123
8.4	Médico.....	124
8.4.1	Buscar Paciente y Ver Historial.....	124
8.4.2	Generar CDA de un Paciente	124
9	Gestión del proyecto.....	126
9.1	Descripción	126
9.2	Proceso de Desarrollo.....	126
9.3	Hitos importantes del proyecto.....	127
9.4	Cronograma	127
9.5	Implementación	129
10	Conclusiones y trabajo a futuro	131

10.1	Conclusiones	131
10.2	Dificultades encontradas	131
10.3	Trabajo a futuro	132
10.3.1	Algoritmo de Montecarlo para cálculo de dosis	132
10.3.2	Integración con dispositivos de imagenología	132
10.3.3	Uso de cédula de identidad electrónica.....	132
10.3.4	Generación de alertas sobre estadísticas	132
11	Lecciones Aprendidas.....	133
12	Bibliografía	138
ANEXO A: Radiación Ionizante y Radioprotección		142
13.1	Conceptos sobre radiación ionizante	142
13.1.1	La Radiación Ionizante	142
13.1.2	Radiaciones ionizantes.....	142
13.1.3	Medidas de las radiaciones ionizantes.....	143
13.1.4	Efectos de la radiación ionizante	143
13.2	Aplicaciones médicas de la radiación ionizante.....	145
13.3	Protección Radiológica.....	146
13.3.1	Comisión Internacional de Protección Radiológica.....	146
13.3.2	Magnitudes empleadas en protección radiológica.....	147
13.4	Sistema de protección radiológica en seres humanos	149
13.4.1	Definición de fuente.....	149
13.4.2	Tipos de situaciones de exposición	149
13.4.3	Categorías de Exposición	150
13.4.4	Identificación de Individuos Expuestos.....	150
13.4.5	Restricciones de dosis y niveles de referencia	150
13.4.6	Límites de Dosis.....	151
13.5	Resumen	152
14	Anexo B: Resumen Dosimétrico.....	153
Anexo C: Ingeniería De Muestra.....		156
Anexo D: Tabla de Dosis Efectivas Estimadas		158
Anexo E: Manual del Desarrollador.....		159
15.1	Servicios de la API.....	159
15.2	Diagrama de Clases.....	164
15.3	Tabla de Exámenes Médicos	165
15.4	Datos Internos al servidor	165
15.4.1	Admin User.....	166
15.4.2	Authorization	166
15.4.3	Cda Configuration	167
15.4.4	Organ Absorbed Dose	167
15.4.5	Device.....	167
15.4.6	Dose.....	168
15.4.7	Dose Revisión	170
15.4.8	Equipment.....	171

15.4.9	Examination	172
15.4.10	Institution.....	173
15.4.11	Occupational Exposure	174
15.4.12	System Configuration.....	175
15.4.13	User	176
15.5	Datos Internos a la aplicación móvil	177

Índice de Figuras

Figura 1: Estructura CDA Nivel 3.....	24
Figura 2: SNOMED-CT, Ejemplo de descripción de un concepto en castellano. Tomado de [10].....	26
Figura 3: Relaciones de subtipo. Celulitis de mano es un/una Celulitis. Celulitis de pie es un/una trastorno de pie. Tomado de [10]	26
Figura 4: Relaciones de atributo. Absceso de corazón tiene una morfología asociada a absceso, el sitio de hallazgo es la estructura del corazón. Tomado de [10]	27
Figura 5: Actores XDS.....	28
Figura 6: Interfaz Gráfica de VirtualDose	38
Figura 7: Planilla de exposición ocupacional de los funcionarios del Hospital de Clínica correspondiente a ENERO del 2017.	40
Figura 8: Panel de control de máquina de rayos x del Hospital de Clínicas tomada el 13/10/2017.....	42
Figura 9: Resultados de un estudio de Tomografía Computarizada tomada el 13/10/2017	42
Figura 10: Indicador multidimensional de dosis efectiva por modalidad y parte del cuerpo de CUENTARADIO	50
Figura 11: Indicador multidimensional de cantidad de estudios por modalidad y parte del cuerpo de CUENTARADIO	50
Figura 12: Diagrama de secuencia del registro de usuario	62
Figura 13: Diagrama de Secuencia del Registro de dosis	63
Figura 14: Diagrama de secuencia de la sincronización de dosis pendientes (modo offlline).....	64
Figura 15: Diagrama de secuencia de Ver Historial de Pacientes	65
Figura 16: Distribución de componentes de la arquitectura de CUENTARADIO	67
Figura 17: Elementos y su interacción de la arquitectura Flux	69
Figura 18: Esquema del patrón CQRS.....	70
Figura 19: Elemento y sus interacciones de una arquitectura Redux.....	71

Figura 20: Elementos y sus componentes de un proyecto Ruby on Rails.....	73
Figura 21: Diagrama de clase de diseño de CUENTARADIO (diagrama mínimo)	77
Figura 22: Interfaz Gráfica del administrador de CUENTARADIO , versión 16/06/2018	78
Figura 23: Interfaz gráfica de los filtros de la sección de estadísticas poblacionales	79
Figura 24: Gráficas generadas en la sección estadísticas poblacionales.....	79
Figura 25: CUENTARADIO middleware arquitectura	81
Figura 26: Estructura general del CDA.....	82
Figura 27: CDA generado por CUENTARADIO	88
Figura 28: Grafica comparativa de popularidad en función del tiempo entre los distintos manejadores de base de datos no sql generado por GoogleTrends.	91
Figura 29: Código de creación de un objeto que representa un documento CDA usando clases Ruby	91
Figura 30: Código de generación del documento CDA a partir de una instancia.	91
Figura 31: Código que genera los CDA de los pacientes el día de su cumpleaños.	92
Figura 32: Modelos usando asociación polimórfica	93
Figura 33: Modelo Entidad Relación de una asociación polimórfica	93
Figura 34: Ejemplo de generación de consulta SQL usando Ransack	97
Figura 35: Ejemplo de testing unitario en Ruby on Rails, utilizando Rspec	101
Figura 36: Tiempos de respuesta de la API del servicio de “Ver Registro de Dosis”	102
Figura 37: Tiempos de respuesta del servicio "Ver Registro de Dosis" luego de la optimización	102
Figura 38: Tiempo de respuesta del servicio "Ver Pacientes".....	103
Figura 39: Tiempo de respuesta del servicio "Ver Pacientes" luego de la optimización.	104
Figura 40: Flujo 1 - Login - Percentil de tiempos de respuesta	108
Figura 41: Ejecución 100 UV - Tiempos de respuestas en función del tiempo transcurrido. Gráfica obtenida con el software JMeter utilizado para ejecución y análisis de las pruebas	109

Figura 42: Ejecución 100 UV - UV activos en función del tiempo transcurrido. Gráfica obtenida con el software JMeter utilizado para ejecución y análisis de las pruebas..	109
Figura 43: Flujo 2 - Ingresar Dosis - Percentil de tiempos de respuesta	111
Figura 44: Flujo 2 – Ingreso de Dosis – 10 UV tiempos de respuestas en función del tiempo transcurrido. Gráfica obtenida con el software JMeter utilizado para ejecución y análisis de las pruebas	111
Figura 45: Flujo 3 - Consulta de Dosis - Percentil de tiempos de respuesta	112
Figura 46: Flujo 3 – Consulta de Dosis – 10 UV tiempos de respuestas en función del tiempo transcurrido. Gráfica obtenida con el software JMeter utilizado para ejecución y análisis de las pruebas	113
Figura 47: Comparación de tiempos de respuesta.....	114
Figura 48: Tiempos de respuesta prueba de endurance.....	115
Figura 49: Usuarios activos prueba de endurance	115
Figura 50: Grafica de cantidad de horas a lo largo del tiempo por tarea	128
Figura 51: Distribución de horas entre las tareas.....	129
Figura 52: Gráfica de commits del servidor por mes	129
Figura 53: Gráfica de commits de la aplicación móvil por mes.....	130
Figura 54: Resumen dosimetrico de un paciente.....	155
Figura 55: Póster de CUENTARADIO presentado en Ingeniería de Muestra 2016.....	157
Figura 56: Diagrama de clases de diseño UML de CUENTARADIO (diagrama completo)	164

Índice de Tablas

TABLA 1: ESTRUCTURA OID PARA PERSONAS	31
TABLA 2: ESCENARIOS Y ESTANDARES ASOCIADOS.....	32
TABLA 3: LISTA DE CÓDIGOS DICOM ASOCIADOS A LAS MODALIDADES OBTENIDOS EN [17].....	46
TABLA 4: TABLA DE ORGANOS Y TEJIDOS DEL CUERPO OBTENIDOS DE [31]	47
TABLA 5: DISPOSITIVOS MÓVILES Y SUS SISTEMAS OPERATIVOS CORRESPONDIENTES	105
TABLA 6: FACTORES DE PONDERACIÓN DE LA RADIACIÓN RECOMENDADOS	147
TABLA 7: FACTORES DE PONDERACIÓN DE LOS TEJIDOS RECOMENDADOS	148
TABLA 8: PROCEDIMIENTOS DE IMAGENOLOGIA Y SUS DOSIS EFECTIVAS APROXIMADAS EN ADULTOS [57]	158
TABLA 9: MAPEO DE ESTUDIO MÉDICO, DOSIS EFECTIVA, MODALIDAD Y PARTE DEL CUERPO.....	165

Glosario

ANSI	El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares, más conocido como ANSI (por sus siglas en inglés: American National Standards Institute), es una organización sin fines de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos.
API	También conocida como la interfaz de programación de aplicaciones. Es el conjunto de subrutinas, funciones y procedimientos o métodos que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción.
ASN-1	Abstract Syntax Notation One o ASN-1 es una norma para representar datos independientemente de la máquina que se esté usando y sus formas de representación internas.
Backend	Refiere a la capa de acceso a datos del sistema, la cual soporta la lógica de la aplicación.
Baseline	Concepto utilizado en el contexto de las pruebas de performance para definir la medida que se va a tomar como óptima y que es utilizada para comparar con otras medidas.
CQRS	Command–query separation (CQS), en castellano Separación de comandos y consultas, es un principio de la programación informática imperativa.
CRUD	Acrónimo en inglés que significa Crear, Leer, Actualizar o Borrar.
DOM	API para documentos válidos y bien construidos. Define la estructura válida de documentos y el modo en que se acceden y se manipulan.
DSL	Lenguaje específico de dominio. Es un lenguaje especializado para resolver un dominio específico de problemas. A diferencia de un

lenguaje de programación que es realizado para resolver un dominio muy amplio de problemas.

Endurance	Resistencia en español.
Extreme Programming	Metodología de desarrollo de la ingeniería de software.
Fantoma	Artifugio, aparato o elemento utilizado para el calibrado de equipos de imagen y que contiene, en su interior, elementos de características similares a los del organismo.
Flux	Arquitectura desarrollada por Facebook que permite un flujo unidireccional de datos
Framework	Define, en términos generales, un conjunto estandarizado de conceptos, prácticas y criterios para enfocar un tipo de problemática particular que sirve como referencia, para enfrentar y resolver nuevos problemas de índole similar.
Frontend	Refiere a la capa de presentación de la aplicación.
Gema	Se refiere a las librerías para el lenguaje Ruby.
Gray	Unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades que mide la dosis absorbida procedente radiaciones ionizantes por un determinado material.
HCEN	Historia Clínica Electrónica Nacional.
Heroku	Plataforma como servicio de computación en la nube que soporta distintos lenguajes de programación.
HTML	Hyper Text Markup Language (lenguaje de marcas de hipertexto), hace referencia al lenguaje de marcado para la elaboración

de páginas web. Es un estándar que sirve de referencia del software que conecta con la elaboración de páginas web en sus diferentes versiones.

HTTP	Protocolo de comunicación sin estado para transferencia de información en la web.
ICRP	Comisión Internacional de Protección Radiológica, es una asociación científica sin ánimo de lucro e independiente dedicada a fomentar el progreso de la ciencia de la protección radiológica para beneficio público.
Interoperabilidad	La IEEE define interoperabilidad como la habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar la información intercambiada.
INUS	Índice Nacional de Usuarios, cumple la función de Índice Maestro de Pacientes como motor específico de salud y es compatible con los estándares que se usan tanto a nivel nacional como internacional.
Javascript	JavaScript (abreviado comúnmente JS) es un lenguaje de programación interpretado, dialecto del estándar ECMAScript.
JSON	JavaScript Object Notation, es un formato de texto ligero para el intercambio de datos.
Kerma	Acrónimo en inglés de energía cinética liberada por unidad de masa (kinetic energy released per unit mass) y se corresponde con la suma de las energías cinéticas iniciales de las partículas cargadas puestas en movimiento por radiación indirectamente ionizante, generalmente fotones y neutrones.
Metadatos	Datos que describen otros datos. En general, un grupo de metadatos se refiere a un grupo de datos que describen el contenido informativo de un objeto al que se denomina recurso.

Middleware	Software que asiste a una aplicación para interactuar o comunicarse con otras aplicaciones, o paquetes de programas, redes, hardware y/o sistemas operativos.
Modalidades	Se refiere a las diferentes técnicas utilizadas en radiología para capturar la imagen utilizando radiación ionizante.
MVC	Patrón de arquitectura de software que separa los datos y la lógica de negocio de una aplicación de su representación y el módulo encargado de gestionar los eventos y las comunicaciones.
ORM	Mapeo objeto-relacional es la técnica mediante la cual se mapea un sistema de tipos perteneciente a un lenguaje orientado a objetos con los datos de una base relacional.
Outliers	Valores atípicos en español.
PostgreSQL	Sistema de gestión de bases de datos relacional orientado a objetos y libre.
Rack	Conjunto de especificaciones que debe cumplir una aplicación que quiera utilizar este tipo de servidores, utilizada para realizar servidores web en Ruby.
React Native	Biblioteca Javascript de código abierto para crear interfaces de usuario con el objetivo de animar al desarrollo de aplicaciones en una sola página.
Redux	Arquitectura Javascript desarrollada en base a Flux. Es un contenedor de estados basada en la inmutabilidad de los datos.
REST	Estilo de arquitectura para sistemas distribuidos.
Ruby	Lenguaje de programación interpretado, reflexivo y orientado a objetos.

Ruby on Rails	Framework de aplicaciones web de código abierto escrito en el lenguaje de programación Ruby, siguiendo el paradigma del patrón Modelo Vista Controlador (MVC).
RUP	Proceso de desarrollo de software desarrollado por la empresa Rational Software, actualmente propiedad de IBM. Junto con el Lenguaje Unificado de Modelado (UML), constituye la metodología estándar más utilizada para el análisis, diseño, implementación y documentación de sistemas orientados a objetos.
Scrum	Metodología de desarrollo ágiles en proyectos de software.
Sievert	Unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades que mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva, corregida por los posibles efectos biológicos producidos.
SOAP	Estándar que define como dos objetos diferentes puede comunicarse, es utilizado por los Web Services SOAP para su especificación.
Sprint	Iteración de corta duración que forma parte en el desarrollo de un producto.
SQL	Lenguaje específico del dominio que da acceso a un sistema de gestión de bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones en ellos.
UML	Lenguaje de modelado de sistemas de software más conocido y utilizado en la actualidad.
XML	Extensible Markup Language, traducido como "Lenguaje de Marcado Extensible" o "Lenguaje de Marcas Extensible", es un meta-lenguaje que permite definir lenguajes de marcas desarrollado por el World Wide Web Consortium (W3C) utilizado para almacenar datos en forma legible

1 Introducción

El presente documento contiene los resultados del trabajo realizado en el marco de la asignatura "Proyecto de Grado" de la carrera de Ingeniería en Computación de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de la República Oriental del Uruguay.

1.1 Descripción del Proyecto

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes (RI) son acumulativos en el cuerpo humano con diferencias según la zona del cuerpo. **CUENTARADIO** incluye una aplicación para instituciones que realizan radiodiagnóstico y terapia para que declaren las radiaciones que aplican a un individuo. También declaran las radiaciones recibidas por su personal médico y auxiliar. **CUENTARADIO** le da además los medios tecnológicos al usuario para acceder a su "cuenta corriente" de RI recibidas, detallada por zona del cuerpo y a lo largo del tiempo, con saldos actualizados y alertas. Puede ser utilizada por el médico que indica procedimientos con RI y por el médico de cualquier otra especialidad que tenga acceso a la historia clínica del paciente, si éste le expide en el momento su consentimiento para que incluya como evidencia en la propia HCE, la secuencia de RI que fue recogiendo **CUENTARADIO**. Con vocación de asumir la escala del país entero, **CUENTARADIO** consume servicios de identificación de personas de SALUD.uy donde accede al Índice Nacional de Usuarios de Salud (INDUS, ex EMPI, Enterprise Master Patient Index) y crea informes periódicamente (día/semana/mes/año según perfiles) en formato Clinical Document Architecture (CDA) para la Historia Clínica Electrónica de cada paciente.

1.2 Motivación

A lo largo de la vida de una persona puede ser necesario realizar numerosos estudios médicos, dentro de los cuales encontramos estudios con RI (imágenes radiológicas o de medicina nuclear). Además de los estudios médicos con radiaciones no ionizantes como las fotos, la termografía, las franjas Moiré, la radiación ultravioleta (UV) o las microondas, que tienen sus efectos colaterales, existen los estudios y tratamientos con RI. Estos se han convertido en una herramienta clínica de alto valor para profesionales de la salud, ya sea para diagnosticar como para tratar distintas enfermedades de los pacientes. Sin embargo, falta una herramienta para que el médico conozca la historia radiológica de su paciente sobre la cual basar su toma de decisiones en el mejor interés del paciente. Se agrega a esta motivación la de tender a darle al paciente la posibilidad de empoderarse de la información sobre las RI que recibió a lo largo de su vida. [1]

Los primeros efectos perjudiciales de las RI se encontraron luego del descubrimiento de los rayos X en 1896, y de la radiactividad en 1897. En esa época fueron identificadas las

primeras lesiones cutáneas y en 1902 el primer cáncer producido por una máquina de rayos X. [2]

Por lo anteriormente mencionado, vemos que existe un interés general por controlar la dosis que se acumula en el paciente irradiado en sucesivos procedimientos con RI. Hace 15 años se tiene evidencia del aumento exponencial e innecesario de tomografías computadas realizadas en países económicamente desarrollados.

La herramienta **CUENTARADIO** tiene como objetivo principal llevar un registro cuidadoso de la RI recibida por cada ciudadano o paciente y generar, bajo la responsabilidad de un médico tratante, la evidencia de las sucesivas irradiaciones en la HCE. Se entiende que una mejor información podrá colaborar con la Protección Radiológica de la población y eventualmente reducir costos innecesarios en el sistema de salud.

Se han creado diferentes campañas en la última década para promover estos movimientos como “Image Gently and Image Wisely campaigns”. Además, se han propuesto leyes para requerir la trazabilidad de las dosis y recientemente la ‘Joint Commission’ lanzó nuevos requerimientos para registrar exposición de pacientes.[3][4]

“Reducción de la dosis es buena para el paciente, para la práctica y para el negocio”, dijo Dr. Shuman de la Universidad de Washington. Los pacientes se benefician de la realización de exámenes radiológicos que realicen adecuado diagnóstico con la menor dosis posible; los médicos están confiados en que siguen buenas prácticas; y los hospitales con bajas dosis de radiación se benefician del marketing de su éxito [5]. Las buenas prácticas indican que hay que dar la mínima dosis necesaria para obtener la imagen adecuada. De esta manera no se incrementa innecesariamente la dosis acumulada. Referirse al capítulo 13.3

Al aumentar la conciencia sobre la exposición de RI a los pacientes, el énfasis está puesto en hacer cumplir la eficiencia de las dosis. Europa se ha preocupado últimamente en promover más la instalación de imagenología radiológica apropiada, usando los niveles correctos de dosis, y usando equipamiento actualizado con tecnología de monitoreo de dosis. En los Estados Unidos, hay lineamientos nacionales sobre el monitoreo y registro de exposición de pacientes. Referirse al capítulo 3

Los reglamentos y guías clínicas constituyen importantes avances, y la conformidad puede ser lograda cumpliendo algunos criterios básicos. Sin embargo, de acuerdo a un análisis en Frost&Sullivan, construir un programa de manejo de dosis de calidad va más allá de estar conforme con las reglas y reglamentos de hoy.[6]

“Un sistema real de calidad requiere una vista holística de exposición de radiación a lo largo de múltiples entidades, múltiples equipamientos, y múltiples fabricantes de entornos de imagenología. La solución debe permitir asesorar, comparar y mejorar el desempeño del centro de salud como un todo, esencialmente apoyando un completo programa de manejo de dosis empresarial.”, dijo Michelle Reich, analista con Frost&Sullivan y autora de “Best Practices Research Report para manejo de dosis”. [6]

Con la mira puesta más allá del proyecto **CUENTARADIO**, en ecosistema de información que rodee los dispositivos médicos involucrados durante y después de los procedimientos de imagenología permitiría automatizar la recolección de estos datos y su análisis para obtener valiosa información, lo que les permitiría a las organizaciones administrar mejor la calidad y seguridad clínica.

1.3 Objetivos

El objetivo principal de **CUENTARADIO** es diseñar un prototipo de software que logre lo siguiente:

- Registrar las dosis de RI por parte de los técnicos radiólogos
- Generar una base de datos nacional de dosis de RI
- Incluir información de RI en la historia clínica electrónica por decisión de todo médico, tomándola de **CUENTARADIO**
- Empoderar al ciudadano de sus registros de dosis de RI
- Estimular la búsqueda del mejor balance riesgo/beneficio durante la optimización

En el proyecto de **CUENTARADIO**, fue necesario previamente abordar los siguientes temas de estudio:

- Adopción de una medida de registro para las dosis de RI
- Investigación del estado del arte de las tecnologías y sistemas de registros dosimétricos.

1.4 Organización del documento

En este primer capítulo se realiza una descripción del proyecto, su motivación y sus principales objetivos.

En el segundo capítulo se describen los conceptos básicos necesarios para la realización y comprensión del proyecto.

En el tercer capítulo se presenta el resultado del relevamiento del estado del arte sobre las áreas relacionadas al proyecto.

En el cuarto capítulo se describe la solución planteada como proyecto de ingeniería. Para ello también se especifican los requerimientos, la arquitectura y las funcionalidades.

En el quinto capítulo se detalla la implementación de **CUENTARADIO** en sus partes diferenciadas e intercomunicadas

En el sexto capítulo se describen las pruebas realizadas con **CUENTARADIO** y los resultados obtenidos.

En el séptimo capítulo se describe la gestión del proyecto, en términos económicos, de gestión del esfuerzo en el tiempo y un posible plan de negocios para su diseminación.

En el octavo capítulo se presentan las conclusiones del proyecto, las dificultades encontradas, así como también el trabajo futuro.

2 Informática Médica

Este capítulo tiene como objetivo presentar al lector los conceptos básicos y necesarios para que pueda comprender el alcance del proyecto. Se define el concepto de estándar en informática en salud, se introduce HL7 como un conjunto de estándares en informática médica. Dentro de HL7 se hace especial mención al documento clínico electrónico CDA que permite el intercambio de información clínica entre distintos sistemas.

También se describe la terminología médica que utiliza **CUENTARADIO** mediante el uso de SNOMED-CT.

Alrededor de HL7 existen organizaciones que utilizan sus estándares para crear productos que brindan soluciones a determinados escenarios de integración e interoperabilidad en salud. La “Integrating the Health Enterprise” (IHE) y dos perfiles de integración que propone: Patient Identifier Cross Referencing (PIX) y Cross-Enterprise Document Sharing (XDS).

El capítulo termina hablando del uso de las OID para resolver el problema de la identificación de los actores en un entorno de comunicaciones informáticas.

2.1 Estándares informáticos en salud

Un estándar es aquello que sirve como patrón, modelo, tipo o referencia. Se logra por consenso y es aprobado y difundido por una organización reconocida. Por ejemplo la Organización Internacional ISO [7].

En el área de la salud, los estándares son indispensables para solucionar los problemas de interoperabilidad e intercambio de información médica, así como también definir un vocabulario de uso común para representar conceptos clínicos y evitar las malas interpretaciones.

2.2 Health Level 7(HL7)

Health Level Seven (HL7) es una organización sin fines de lucro acreditada por la ANSI. Su principal objetivo es el desarrollo de estándares que permitan la interoperabilidad y el intercambio global de información relativa a la salud.

Como conjunto de estándares, HL7 especifica los mensajes para llevar a cabo el intercambio de información clínica, demográfica y financiera entre distintos sistemas informáticos. [8]

2.3 Clínical Document Architecture - CDA

Dentro de HL7 se encuentra la arquitectura clínica de documentos en sus siglas Clinical Document Architecture (CDA) que permite el intercambio de documentos clínicos electrónicos.

CDA es un estándar flexible que utiliza XML como lenguaje, lo que permite que un documento CDA pueda ser comprendido tanto por una máquina como un ser humano.

Un CDA puede contener texto, imágenes e incluso elementos multimedia. Un documento CDA puede ser, por ejemplo: un resumen clínico de un paciente, un informe diagnóstico, una receta médica o un resultado de examen clínico, entre otros.

En los siguientes capítulos se detallará en profundidad la estructura del CDA, así como sus principales campos, pero en principio es importante saber que el CDA se encuentra formado por un encabezado (Header) y un cuerpo (Body). En la Figura 1 se muestra el formato del documento en lenguaje XML.

```
<ClinicalDocument xmlns="urn:hl7-org:v3" classCode="DOCCLIN" moodCode="EVN">
  <!-- *****
        ENCABEZADO DEL DOCUMENTO ELECTRÓNICO - HL7 CDA R2
        ***** -->
  ...
  <component typeCode="COMP" contextConductionInd="true">
    <!-- *****
          CUERPO DEL DOCUMENTO ELECTRÓNICO - HL7 CDA R2
          ***** -->
    <structuredBody>
      <component>
        <section>
          <entry>
            <act classCode="ACT" moodCode="EVN">
              <code/>
            </act>
          </entry>
          <entry></entry>
          <entry></entry>
        </section>
      </component>
    <component></component>
    <component></component>
  </structuredBody>
</component>
</ClinicalDocument>
```

Figura 1: Estructura CDA Nivel 3

Dentro del CDA encontramos a HL7 V3 CDA R2 como la versión más reciente de la arquitectura y que es la utilizada en este proyecto. [9]

2.4 Vocabularios

En todo proyecto de Informática Médica que aspira a comunicar con la Historia Clínica Electrónica, es necesario definir un vocabulario y una codificación de uso común entre

los distintos prestadores de salud, profesionales, medicamentos y estudios. En este proyecto se aplica este principio a la Historia Clínica Electrónica Nacional (HCEN) para la cual es necesario adoptar SNOMED-CT y LOINC.

2.5 SNOMED-CT

SNOMED-CT es la terminología clínica integral, multilingüe y codificada de mayor amplitud, precisión e importancia desarrollada en el mundo. SNOMED-CT es, también, un producto terminológico que puede usarse para codificar, recuperar, comunicar y analizar datos clínicos permitiendo a los profesionales de la salud representar la información de forma adecuada, precisa e inequívoca.

La terminología comprende conceptos, descripciones y relaciones. Estos elementos tienen como fin representar con precisión la información y los conocimientos clínicos en el ámbito de la asistencia sanitaria.[10]

- **Conceptos:** Cada concepto representa un significado clínico único, al que se hace referencia con un identificador numérico único de SNOMED CT. El identificador brinda una referencia única, no ambigua, a cada concepto. Otros tipos de componentes también tienen identificadores únicos. Sin embargo, el identificador de concepto desempeña un papel específico como código utilizado para representar la semántica (el significado) en las historias clínicas, documentos, mensajes y datos.
- **Descripciones:** A cada concepto se asigna un conjunto de descripciones textuales. Éstas constituyen la forma legible de un concepto. Se utilizan dos tipos de descripciones para representar cada concepto: Descripción completa (FSN, por Fully specified name en inglés) y Sinónimo. La descripción completa representa una descripción única, no ambigua, del significado de un concepto. La descripción completa no está destinada a ser leída en las historias clínicas, sino que se utiliza para quitarle toda ambigüedad al significado de cada concepto. Un sinónimo representa un término que se utiliza para mostrar o seleccionar un concepto. Un concepto puede tener varios sinónimos, a diferencia de la descripción completa que es única.

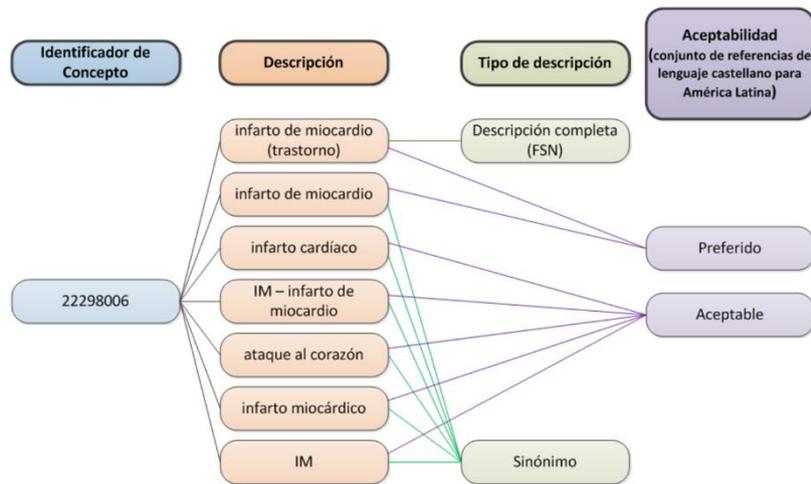


Figura 2: SNOMED-CT, Ejemplo de descripción de un concepto en castellano. Tomado de [10]

- **Relaciones:** Una relación representa una asociación entre dos conceptos. Las relaciones se utilizan para definir lógicamente el significado de un concepto. Un tercer concepto, denominado el tipo de relación (o atributo), representa el significado de la asociación entre el concepto de origen y el de destino. Existen dos tipos de relaciones que son: subtipo y atributo.
- **Subtipo:** Las relaciones de subtipos son el tipo de relación más ampliamente utilizado. Utilizan el tipo de relación |es un/una| y, por lo tanto, también se conocen como relaciones |es un/una|. La relación |es un/una| especifica que el concepto de origen es un subtipo del concepto de destino.
- **Atributo:** Una relación de atributo contribuye a la definición del concepto de origen mediante su asociación con el valor de una característica definitoria. La característica (atributo) se especifica por el tipo de relación y su destino proporciona el valor. A diferencia de las relaciones |es un/una|, que se utilizan para definir todos los conceptos, la aplicabilidad de cada tipo de relación de atributo se limita a un dominio y un rango definidos.

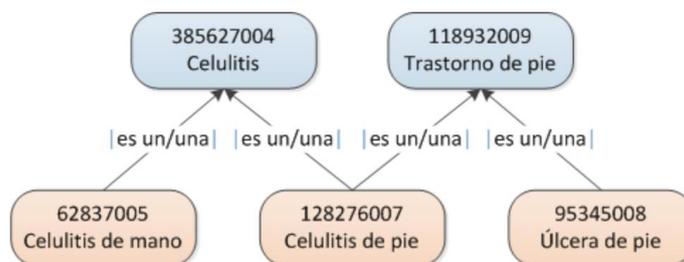


Figura 3: Relaciones de subtipo. Celulitis de mano es un/una Celulitis. Celulitis de pie es un/una trastorno de pie.

Tomado de [10]

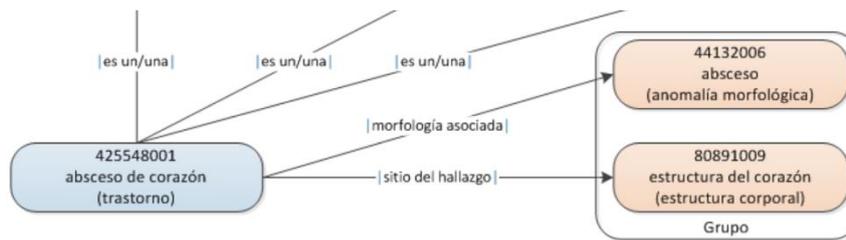


Figura 4: Relaciones de atributo. Absceso de corazón tiene una morfología asociada a absceso, el sitio de hallazgo es la estructura del corazón. Tomado de [10]

2.6 Codificación LOINC

La codificación Logical Observation Identifiers Names and Codes (LOINC) es un lenguaje internacional compuesto por un conjunto de identificadores, nombres y códigos utilizados para la clasificación de observaciones médicas, documentos y resultados de exámenes de laboratorio.

LOINC provee un catálogo que incluye desde el análisis de laboratorio hasta instrumentos de estudio, para el intercambio de datos.[11]

2.7 Integrating the Health Enterprise (IHE)

Integrating the Health Enterprise (IHE) es una iniciativa de profesionales de la salud y empresas proveedoras cuyo objetivo es mejorar el intercambio de información clínica. IHE define Perfiles de Integración que se basan en estándares ya existentes en la industria como HL7 para lograr la interoperabilidad entre sistemas clínicos.

Cada uno de estos perfiles define los actores, las transacciones y el contenido de la información necesaria para resolver la integración clínica específica. [12]

2.8 Perfil XDS

Dentro de IHE está definido el perfil XDS para el intercambio de documentos clínicos.

Para XDS, un documento es un conjunto de información clínica (estructurada o no), que forma un elemento de información clínica de un paciente que va a ser compartida (legible por personas y aplicaciones) y que tiene un identificador único. Un documento debe estar asociado con sus metadatos para ser registrado.[13]

La Figura 5 muestra los actores del perfil XDS.

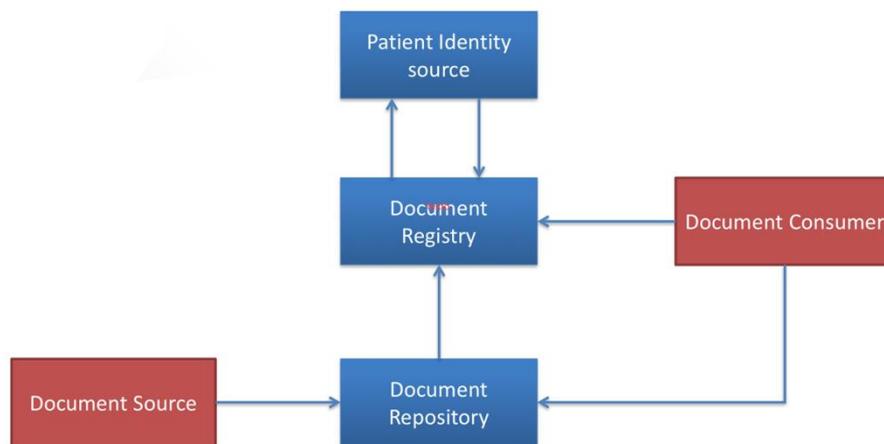


Figura 5: Actores XDS

- Document Registry: Gestiona la metadata de cada documento almacenado.
- Document Repository: Responsable de la persistencia de los documentos recibidos del Document Source, envía los metadatos de cada documento al Registry y responde a las solicitudes de recuperación del Document Consumer.
- Document Source: Produce y publica los documentos dentro del XDS.
- Document Consumer: Consume documentos del XDS. Consulta documentos y los recupera.

2.9 Perfil PIX

El perfil PIX define los actores y transacciones (mensajes HL7) necesarios para mantener un registro maestro de identificadores de pacientes y proporcionar esta información a otras aplicaciones.

El perfil PIX soporta la referencia de múltiples identificadores de pacientes que pertenecen a diferentes dominios de identificación. Esta referencia de múltiples identificadores puede ser usada por un servicio de consulta de identificación, con el fin de relacionar la información de un paciente sin importar si éste tiene distintos identificadores en diferentes dominios. Cuando esta mensajería es usada con el Maestro Índice de Pacientes es posible unificar la identificación de un paciente.[14]

Los actores del PIX son:

- Patient Identity Source: Genera la notificación de los eventos de la actualización de la información que se utiliza para la identificación de un paciente al Patient Identifier Cross Reference Manager.
- Patient Identity Consumer: Determina la identificación de un paciente en diferentes dominios usando los servicios del Patient Identifier Cross Reference Manager

- Patient Cross Reference Manager: Gestiona la identificación cruzada de pacientes en diferentes dominios, basados en la información que recibe de los Patient Identity Source

2.10 Enterprise Master Patient Index

Un Enterprise Master Patient Index (EMPI) es un sistema que se encarga de mantener información de identificación de pacientes. El EMPI puede ser considerado como una variación del PIX. El PIX a su vez está definido para ser compatible con el EMPI.

Por lo general, EMPI se basa en la coincidencia de la información del paciente de cada dominio independiente con el fin de vincular los sucesivos "registros" que tuvo el mismo paciente en diferentes sistemas.

EMPI se construye a través de técnicas de vinculación de registros que miden la probabilidad de que dos "personas" locales representen al mismo paciente, determinando si un par de registros es una coincidencia, no coincidencia o posible coincidencia. Si el puntaje de verosimilitud está por encima del umbral de confianza, los dos personajes están vinculados y la asociación queda guardada en el EMPI. Un umbral alto implica una elevada probabilidad de que los dos registros que se comparan sean del mismo paciente, pero habrá un elevado número de indeterminaciones. En cambio un umbral más bajo "resuelve siempre" pero a costa de errores que pueden ser tolerados a consecuencia de tolerar que dos elementos no sean idénticos.[15]

2.11 OID: Object ID

Un OID es un identificador global y único de objetos definido por la Organización internacional ISO. Hay muchas formas en que este puede ser usado; dentro del estándar internacional de intercambio de datos en salud HL7, los OID fueron escogidos para representar los catálogos y registros utilizados en los procesos de interoperabilidad semántica.

Un OID está representado por medio del formato de números y puntos (p. ej. "2.16.840.1.113883.3.1"); este formato es especificado por la IETF (Internet Engineering Task Force). Cada número decimal en la cadena representa una ruta en el directorio con estructura de árbol de la ASN-1 (Abstract Syntax Notation One), que generalmente es mantenida por la autoridad de asignación del país en cuestión.

Los OID están compuestos por nodos y arcos, o ramas en estructura de árbol, en donde el número de mayor nivel hacia la izquierda representa la raíz y el de mayor nivel hacia la derecha representa una hoja.

2.12 Registro de OID en Uruguay

AGESIC es la "Agencia para el Desarrollo del Gobierno de Gestión Electrónica y la Sociedad de la Información y del Conocimiento". Es un organismo que depende de la Presidencia de la República y que tiene como objetivo mejorar los servicios al ciudadano

utilizando las posibilidades que brindan las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). AGESIC como organización de fomento del gobierno electrónico, desarrolla la base de los procesos de interoperabilidad.

La asignación y gestión de OID del país es responsabilidad de la denominada UNAOID. En Uruguay la UNAOID, dependencia de la AGESIC, es la responsable de la administración de los OID asignados a la Raíz del Uruguay y gestiona su definición y estructura.

2.13 Estructura de OID

En Uruguay cualquier organización pública o privada puede disponer y hacer uso de un OID para identificar objetos o personas, así como su estructura organizativa. UNAOID ha adoptado definiciones para el uso de un OID en Uruguay, a partir de la raíz nacional 2.16.858 asignada por los organismos internacionales ISO e ITU.

UNAOID define las políticas para la asignación dentro de su nodo raíz para el Uruguay, con el propósito de gestionar de forma organizada su asignación y que su estructura sea conforme a las diferentes necesidades de identificadores únicos que se requieren dentro del estado. Con el fin de entregar recomendaciones para el mejor uso y apropiación de los OID en el Uruguay se definen 3 subramas o arcos principales:

- 2.16.858.0 Identificador de organizaciones
- 2.16.858.1 Identifica Personas
- 2.16.858.2 Identifica Objetos

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el OID para identificar a la persona de C.I 3.412.789-1:

2.16.858.1.858.68909.34127891

En donde:

2.16.858.1: Representa las personas
858: Código de país ISO3166
68909: Tipo de Documento
34127891: Es la cedula de la persona

En cuanto a la identificación de un objeto, la estructura a seguir es la siguiente:

2.16.858.2. [ID Organización].[TipoObjeto]

La Tabla 1 resume los identificadores con los que se construyen los OID para diferentes objetos en Salud.uy [16]

TABLA 1: ESTRUCTURA OID PARA PERSONAS

Id	Descripción
67430	Historia Clínica Electrónica
71867	Repositorio de documentos electrónicos
72591	Modelo de Plantilla Digital
72768	Sistemas de Información de Salud (HIS, SIS, HealthInformationSystems)
72769	Sistemas de Archivo y Transmisión de Imágenes (PACS, SATI, Picture And CommunicationInformationSystems)
72770	Sistemas de Información Imagenológica (SII, RIS, IIS, ImagenologicalInformationSystem, RadiologicalInformationSystems)
72771	Sistemas de Información de Laboratorios (sinónimos asociados: SIL, LIS, LaboratoryInformationSystems)

2.14 Norma de almacenamiento y comunicación de imágenes médicas DICOM

Con la introducción de la tomografía computarizada y de otras técnicas de imagen de diagnóstico médico digital en la década de los 70 y con el incremento del uso de computadoras en hospitales, la “American College of Radiology” (ACR) y la “National Electrical Manufacturers Association” (NEMA) reconoció la emergente necesidad de un método estándar para transferir imágenes e información asociada entre dispositivos de distintos fabricantes.

La ACR y NEMA crearon un comité en 1983 para crear el estándar DICOM.

Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) es el estándar para la comunicación y administración de información de imágenes médicas y datos relacionados. DICOM permite la interoperabilidad de equipamiento de imágenes médicas especificando protocolos de red, sintaxis y semántica de mensajes y servicios de almacenamiento así como también formatos de archivos y estructura de directorio médico para facilitar el acceso a las imágenes e información relacionada.[17]

2.15 Algoritmo de Montecarlo

Los métodos de Monte Carlo (MC) son técnicas estocásticas basadas en el uso de números aleatorios y probabilidad estadística para investigar problemas. Los MC son una colección de diferentes métodos para ejecutar el mismo proceso: este proceso

involucra la ejecución de varias simulaciones usando números aleatorios y distribuciones probabilísticas para obtener una aproximación a la respuesta del problema. Uno de los usos más importantes de estos métodos es la evaluación de integrales complicadas como las integrales multidimensionales. [18]

La técnica de Monte Carlo es el método más preciso para el cálculo de la planificación de tratamiento de radioterapia, que puede computar con exactitud la dosis bajo casi todas las circunstancias. [19]

Los sistemas existentes de manejo de dosis utilizan extensivamente estas técnicas para el cálculo de dosis.

2.16 Programa Salud.uy

Salud.uy surge en 2012 como una iniciativa del gobierno y en particular de la Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC) en conjunto con Presidencia de la República y los Ministerios de Salud y Economía y Finanzas. Uruguay entendió como una necesidad la incorporación de las tecnologías de información y comunicación (TIC) en el área de la salud y por lo tanto crea una política de Estado de largo aliento. Los objetivos perseguidos eran la modernización de los procesos en el área, el avance de políticas gubernamentales y mejoras en la calidad de las prestaciones recibidas por la población.

Salud.uy reúne a los actores del sistema de salud en torno a las definiciones estratégicas en el área de la informática médica con un enfoque centrado en el usuario.[20]

2.17 Estándares de referencia de SALUD.UY

El programa SALUD.UY ha definido estándares y lineamientos de informática médica, así como ha establecido el contexto técnico y regulatorio habilitante para hacer posible y segura la Historia Clínica Electrónica Nacional (HCEN), que se pueden encontrar en el documento “Guía de Estándares Internacionales de informática en Salud”

TABLA 2: ESCENARIOS Y ESTANDARES ASOCIADOS

Escenario de Interoperabilidad	Estándar
Estructura de documentos clínicos	HL7 V3 CDA R2
Índice maestro de pacientes	Perfil IHE PIX-PDQ, EMPI
Codificación de observaciones de laboratorio	LOINC

Codificación de terminología clínica	SNOMED-CT
--------------------------------------	-----------

2.18 Situación actual de SALUD.UY

Para que las organizaciones comenzaran a adoptar la HCEN, SALUD.UY implementó un plan de adopción en el año 2015 que consiste en el pasaje de estándares, lineamientos y componentes de software de la HCEN hacia los prestadores de servicios de salud, monitoreando su trabajo.[21]

En una primera etapa, participaron una selección de los prestadores integrales y parciales del subsector privado y estatal que participan del Consejo Asesor de Salud.uy, Sanidad Militar y la Administración de los Servicios de Salud del Estado (ASSE). Actualmente, todos los prestadores de servicios de salud integrales y parciales están comprendidos con distintos niveles de madurez en el Plan de Adopción para la HCEN.

La incorporación de tecnología por parte de los prestadores de servicios de salud es imprescindible para lograr la continuidad asistencial y mejora en la calidad de los procesos. El programa define 5 etapas de evolución para los prestadores, en cada una de estas se listan los aspectos de interoperabilidad que tienen que ser resueltos por los prestadores:

- Etapa 1: Identificación
 - Conexión a la red salud
 - Envío de información de personas (PIX)
- Etapa 2: Normalización
 - Generar CDA
 - Uso de Códigos Nacionales
- Etapa 3: Publicación
 - Registro de datos clínicos
 - Uso de servicios terminológicos
- Etapa 4: Modelo Unificado
 - Obtener registro de eventos clínicos
 - Obtener datos clínicos
 - Registro de eventos sanitarios
 - Uso de modelo unificado de HC

- Etapa 5: Analítica
 - Uso de terminología clínica
 - Publicación de información clínica basada en SNOMED.

3 Sistemas de Registro de Radiaciones Ionizantes

En este capítulo se presenta el estado del arte en la implementación de la protección radiológica. Se verá cómo muchos conceptos vistos anteriormente son llevados a la práctica.

Existe una alta variedad de sistemas de monitoreo de dosis disponibles en el mercado, cada uno con distintas funcionalidades ajustándose a la demanda. Describimos a continuación algunos de estos sistemas, los cuales nos ayudarán a determinar las funcionalidades a incluir en **CUENTARADIO**. [22]

3.1 JOINT COMMISSION

La Joint Commission es una organización sin fines de lucro que acredita y certifica organizaciones de la salud y programas en Estados Unidos. Su misión es la de promover los cuidados médicos del público, en colaboración con otros interesados, mediante la evaluación de organizaciones de la salud e inspirarlos a mejorar promoviendo la seguridad y cuidados efectivo del más alto valor y calidad.

CUENTARADIO tiene objetivos compatibles con los de la Joint Commission, que constituye una posible guía en el desarrollo de aplicaciones y sistemas que tiendan a dar mejor calidad a los cuidados médicos en nuestro país. Es por esto que el proyecto se basa en los requerimientos de diagnóstico por imagen de la Joint Commission como guía. [4]

3.2 Control de la exposición a las radiaciones ionizantes

El control de la exposición a las radiaciones ionizantes (Radiation Exposure Monitoring - REM) es una descripción de un método para monitorear la exposición a la radiación (Profile es esta descripción). El Profile permite recolectar y distribuir información sobre la exposición estimada de un paciente a la radiación, resultante de procedimientos de imagenología.

El REM Profile requiere que el equipamiento exporte la información en un formato standard. Luego los sistemas de reportes pueden consultar estos objetos desde un archivo o recibirlos directamente desde los equipos de imagen. Como requerimiento se espera que estos sistemas de reporte de radiación generen análisis de QA de dosis relevante y produzcan los reportes relacionados. El profile también indica cómo estos sistemas de reporte pueden enviar informes a registros centralizados.

La ventaja de tener un profile de métodos automatizados es que nos permite recolectar información y evaluarla sin imponer carga administrativa significativa en el personal, de esta manera liberándolos para el cuidado de los pacientes.[23]

3.3 Radiation Dose Monitor de MedSquare

MedSquare es uno de los proveedores europeos líderes en soluciones de imagenología médica. MedSquare ofrece una alta variedad de productos DICOM que facilitan las actividades diarias de los departamentos de radiología. MedSquare provee un sistema de monitoreo de dosis, cuyas principales características son las siguientes [24], [25] :

- Generación automática de reportes de dosis y su envío a la persona pertinente. Se proveen dos tipos de reportes: reporte estadístico sobre modalidades y procedimientos y reportes de pacientes.
- Utilización de la dosis efectiva como medida fundamental y su cálculo a partir de los estándares ICRP-106 y ICRP-128, incluyendo a los niños
- Integración con Virtual Phantoms, que utiliza algoritmos de Monte Carlo para el cálculo promedio de dosis depositada en cada órgano.

3.4 DoseWatch de General Electric

DoseWatch toma en cuenta a las mujeres embarazadas y los riesgos de radiación sobre el feto de manera formal. Para esto utiliza el método de Angel que considera las dimensiones de la madre, la posición del feto y el método de Monte Carlo. [26]

En cuanto a pediatría, DoseWatch utiliza el método de Moore para el cálculo de la dosis a los órganos de los niños, que son una población más sensible a la radiación.

Por el lado de los procedimientos intervencionistas, los seguimientos y tratamientos de los pacientes se planifican en base a la dosis pico en la piel (PSD, peak skin dose). Sin el uso de un sistema automatizado, la tarea de estimar el PSD le lleva horas al médico.

Este sistema también utiliza la dosis efectiva como medida relevante para todo el cuerpo y utiliza las fórmulas presentadas por la ICRP. [27]

El sistema permite obtener información de las dosis conectándose a múltiples dispositivos y utilizando los encabezados DICOM. En concreto, simplifica la tarea de recolectar, analizar e interpretar métricas de dosis y obtención de parámetros a lo largo de dispositivos de CT, intervencionistas, malograrías, radiografías y radioscopia.[28]

3.5 Dosetrack de Sectra

Dosetrack de Sectra es una solución web que permite monitorizar las dosis de radiación de pacientes y asegurar que son tan bajas como sea razonablemente posible (principio ALARA). El sistema automáticamente recoge, almacena y monitorea la información proveniente de todos los dispositivos conectados permitiendo ahorrar tiempo y facilitando el análisis. Permite además rastrear y comparar niveles de radiación entre dispositivos, exámenes o pacientes. Genera alertas cuando los niveles de radiación

superan los límites. Puede exportar información para informar a las autoridades reguladoras o para más análisis en Excel.

Mediante la monitorización del equipamiento, se puede detectar si un dispositivo de rayos X está exponiendo a los pacientes a demasiada radiación. Esto permite identificar posibles fallos que resulten en un incremento en la dosis de radiación.

Los sistemas proveen análisis de capacidades para optimización de dosis que permiten a la organización cumplir sus responsabilidades bajo los principios de ALARA. Esto ayuda a identificar las acciones más apropiadas, como cambiar de dispositivo para determinado procedimiento, entrenamiento del personal para optimizar el uso de los dispositivos o revisión de protocolos de imagen para asegurar mejor uso del equipamiento y del personal.

Esta solución soporta IHE Radiation Exposure Monitoring Profile y el estándar DICOM MPPS, habilitando la conexión de la mayoría de los dispositivos para conseguir una mejor solución de monitoreo de dosis.[29]

3.6 VirtualDose de Virtual Phantoms

Virtual Phantoms ofrece una solución web que permite realizar cálculos de dosis de radiación muy precisos utilizando modelos de pacientes en 3D y 4D junto con métodos de Monte Carlo.

Virtual Dose consiste de dos herramientas separadas: VirtualDoseCT para dosis de tomografía computada, y VirtualDoseIR, para dosis de radiología intervencionista.

VirtualDoseCT permite la configuración de varios parámetros para el cálculo de la dosis. Se puede configurar entre otros: paciente virtual (fantoma virtual), protocolo a utilizar, CT scanner (especificando el fabricante, y luego el modelo), bowtie filter, beam collimation y kvp, mAs, CTDIw, pitch, factores de ponderación de tejido (se puede elegir entre ICRP103 o ICRP60), entre otros.

VirtualDoseIR permite la configuración del paciente virtual a utilizar, dirección del rayo, campo de visión, voltaje, filtro, Tipo de cálculo de dosis (utilizando el producto dosis área o tasa de Kerma). [30]

En la Figura 6 se puede apreciar el resultado en forma gráfica o tabulada de la dosis en tejidos y órganos.

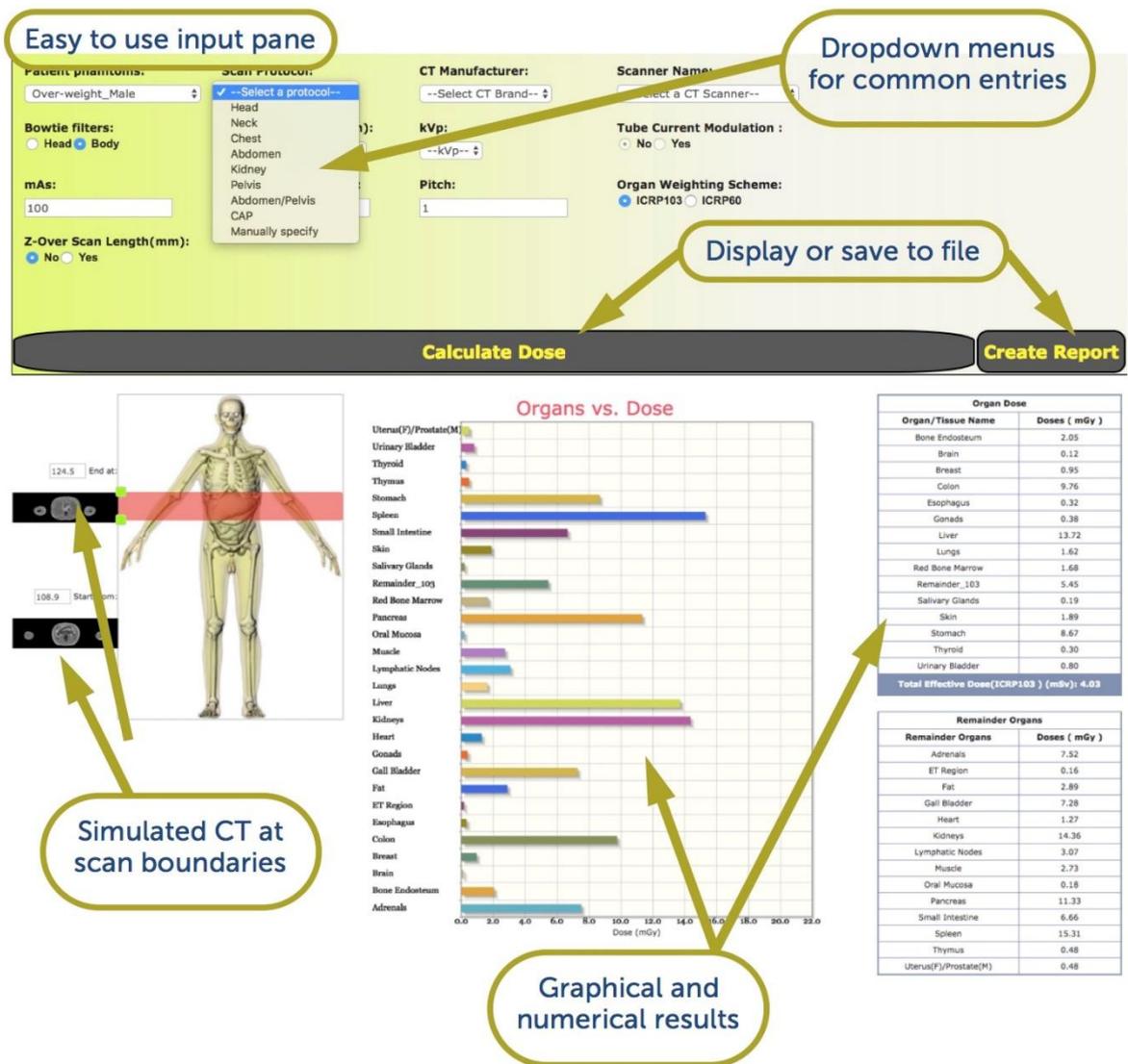


Figura 6: Interfaz Gráfica de VirtualDose

3.7 Medida a registrar

Es necesario cuantificar el riesgo de la radiación para poder analizar datos, prevenir y gestionar de la mejor manera posible el cuidado de las personas. **CUENTARADIO** se pensó con la idea de tener una medida única que representa la radiación acumulada en la persona y por ende ofrecer un indicador personal de evolución de la RI que recibe a lo largo de su vida.

CUENTARADIO utiliza la dosis efectiva como principal magnitud de medida de la RI que a su vez sirva de base para decisiones clínicas. La elección de la “dosis efectiva” deriva del estudio de las recomendaciones de la ICRP ([31]) y de los sistemas actuales de monitoreo de dosis reseñados en este capítulo hasta 3.6. Sin embargo, se reconoce que

es necesaria la incorporación de otras magnitudes a **CUENTARADIO**, que permitan evaluar de manera diferente el riesgo producido por la radiación en las personas. [32]

En concreto se propone incorporar a **CUENTARADIO** en trabajos futuros las siguientes medidas:

- CTDIvol: describe la radiación resultante del scanner independiente del tamaño del paciente.
- DLP (Dose Length Product): describe la cantidad total de energía entregada al paciente.
- Dosis Efectiva: está definida como la suma de las dosis equivalentes ponderadas por factores de radio-sensibilidad relativa en tejidos.
- SSDE (Size Specific Dose Estimate): dosis absorbida estimada teniendo en cuenta el tamaño del paciente.

3.8 Registro Ocupacional de Dosis en el Hospital de Clínicas

En lo que refiere al registro de la dosis ocupacional recibida por los técnicos que trabajan en imagenología con RI, se usan los llamados “dosímetros” que son pequeños artefactos colocados en la túnica del técnico y que miden la cantidad de dosis ocupacional. Los dosímetros son llevados una vez por mes a una empresa que se encarga de revelarlos, la empresa envía al hospital una planilla en papel con los datos de los técnicos y su correspondiente dosis ocupacional registrada por el dosímetro en el mes. Este registro de dosimetría no se encuentra digitalizado y puede contener valores de dosis que no son reales, ya que no todos los funcionarios llevan el dosímetro consigo todo el tiempo. Otro factor a tener en cuenta es que el dosímetro no mide de forma exacta la cantidad de dosis, esto sumado a los puntos anteriores permiten concluir que el método empleado para registrar la dosis ocupacional en el hospital y en la mayoría de las instituciones del país y del Continente Americano podría mejorar.

La Figura 7 corresponde a la planilla que la empresa encargada de obtener las mediciones de los dosímetros personales de los funcionarios del Hospital de Clínicas entrega al hospital. En la planilla se puede observar para cada funcionario, el registro de dosis acumulada para el periodo evaluado. Se observa que el valor de dosis acumulada es una estimación.

INFORME MENSUAL DE DOSIS

**Institución: Hospital de Clínicas
 Área: Radiología**

Período de Monitoreo: ENERO DE 2017

DATOS DEL USUARIO				DATOS DE DOSIMETRÍA					
Nº de dosímetro	Tipo de dos.	Función Laboral	Apellido y Nombre	Período Evaluado		Dosis en el período evaluado (mSv)	Obs	Dosis acumulada en el año 2017 (mSv)	Dosis acum. en 5 años desde 2013 (mSv)
				de	a				
1365	C	Adm.		-	-	-	R	<ND	<ND
1329	C	Téc.		-	-	-	R	<ND	<ND
1311	C	Lic.		01.12.16	31.01.17	<0,05		<ND	<ND
1328	C	Téc.		01.01.17	31.01.17	<0,05		<ND	<ND
1318	C	Prep.		-	-	-	R	<ND	<ND
1330	C	Adm.		-	-	-	R	<ND	<ND
1375	C	Enf.		01.01.17	31.01.17	<0,05		<ND	<ND
1317	C	Fot.		-	-	-	R	<ND	<ND
1338	C	Dra.		-	-	-	R	<ND	<ND
1301	C	Lic.		01.12.16	31.01.17	<0,05		<ND	<ND
1342	C	Lic.		01.01.17	31.01.17	<0,05		<ND	<ND
1347	C	Lic.		-	-	-	R	<ND	0,05
1302	C	Lic.		01.01.17	31.01.17	<0,05		<ND	<ND
1308	C	Lic.		01.10.16	31.01.17	<0,05		<ND	<ND
1331	C	Aux.		-	-	-	R	<ND	<ND
1374	C	Dr.		01.01.17	31.01.17	<0,05		<ND	<ND
1321	C	Lic.		01.01.17	31.01.17	<0,05		<ND	<ND
1327	C	Enf.		-	-	-	R	<ND	<ND
1368	C	Adm.		01.12.16	31.01.17	<0,05		<ND	<ND
1316	C	Lic.		01.01.17	31.01.17	<0,05		<ND	<ND

PRINCIPIOS Y REQUISITOS BÁSICOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA (NORMA UY 100)

Justificación de las Prácticas. No se autorizará ninguna práctica o fuente de radiación ionizante que no produzca un beneficio neto positivo a los individuos expuestos o a la sociedad.

Optimización de la protección radiológica. La concepción, planificación, uso o aplicación subsiguiente de las fuentes y prácticas deberá realizarse de forma que asegure que las exposiciones se mantengan tan bajas como sea posible.

Límite de Dosis. La exposición ocupacional de cualquier trabajador debe controlarse para que los límites siguientes no sean excedidos

- A) Una dosis efectiva de 20 mSv por año, promediado en un período consecutivo de 5 años (100 mSv en 5 años)
- B) Una dosis efectiva de 50 mSv en un solo año.
- C) Una dosis equivalente para el cristalino de 20 mSv en un año
- D) Una dosis equivalente para las extremidades (manos y pies) o piel de 500 mSv en un año.

Significado de abreviaturas :

Tipo : A : ambiental, C : corporal, M : mano, B : bajo delantal. <ND : dosis menor al nivel de detección

Obs. : observaciones : E : supera límite de dosis

I : investigar causas V : película velada por luz

S : exposición inusual D : película dañada (calor, humedad)

R : sin recambio

L : monitoreo interrumpido

T : película contaminada

P : película pasada de fecha

Copia de este informe es remitida al Ministerio de Industria, Energía y Minería, Autoridad Reguladora Nacional en Radioprotección, de acuerdo a lo establecido en la Ley 16736 del 12/1/98.

Certificado:  Comprobado:  Fecha: 19/2/2017

Medirad Ltda.

Figura 7: Planilla de exposición ocupacional de los funcionarios del Hospital de Clínica correspondiente a ENERO del 2017.

3.9 Registro asistencial de Dosis en el Hospital de Clínicas

A continuación, se describe el proceso de atención y registro de dosis a pacientes, los datos que se obtuvieron provienen del área de radiología del Hospital de Clínicas de Montevideo.

1. Primero el paciente concurre al área de radiología con la prescripción del médico para realizarse el estudio correspondiente.
2. Dependiendo del tipo de estudio solicitado por el médico, el paciente es llevado al sector correspondiente (tomógrafo, rayos X, etc.).
3. En cada uno de estos sectores se encuentran los técnicos encargados de llevar a cabo el estudio, este proceso comprende tanto el manejo del equipo de imagenología como el de asistencia al paciente siguiendo todos los protocolos de seguridad requeridos.
4. El técnico encargado de realizar el estudio es el que manipula el equipo para tomar la imagen. Los principales parámetros que el técnico configura en el dispositivo son:
 - Región del cuerpo
 - Voltaje
 - Amperaje
 - Tiempo de exposición
5. Una vez realizado el estudio correspondiente, el técnico de turno registra los siguientes datos en una planilla de papel:
 - Fecha del estudio
 - Número de registro médico del paciente
 - Nombre y apellido del paciente
 - Tipo de estudio
 - Región del cuerpo donde se irradia
 - El piso y servicio de origen del paciente (por ejemplo, Emergencia, CTI, Piso 1)

En cuanto a la dosis aplicada al paciente en el estudio podemos observar que no se registra la cantidad suministrada. Una de las razones, es que no todos los equipos muestran la cantidad de dosis aplicada en cada estudio, tal como podemos ver en la siguiente imagen tomada de un equipo antiguo del Hospital de Clínicas que se utiliza

para rayos X. Como se puede ver en la figura, la consola del equipo permite únicamente ajustar los valores del voltaje, amperaje y tiempo. La cantidad de dosis suministrada no está disponible en el equipo.



Figura 8: Panel de control de máquina de rayos x del Hospital de Clínicas tomada el 13/10/2017

En cambio, otros equipos más actuales como el tomógrafo si registran la dosis absorbida por el paciente tal como se puede ver en la siguiente imagen tomada en el sector de tomografía del hospital. De todas formas, estos valores no se registran en la planilla de estudios realizados a pacientes, ni tampoco le son comunicados.

mAs total 4764		DLP total 679 mGy*cm					
	Scan	kV	mAs / ref.	CTDIvol mGy	DLP mGy*cm	TI s	cSL mm
Posición del paciente H-SP	1	120		0.25(L)	6.40	2.8	0.6
Topograma	2	120	186 / 150	14.28(L)	349.20	1.0	0.6
Cuello S/C	3	120	180 / 150	13.77(L)	323.64	1.0	0.6
Cuello C/C							

Figura 9: Resultados de un estudio de Tomografía Computarizada tomada el 13/10/2017

Es importante destacar que, en un mismo estudio, el técnico puede repetir más de una vez el procedimiento para tomar la imagen, esto hace que la dosis sobre el paciente sea mucho mayor incluso.

3.10 Oportunidades de mejora

Luego de analizar la información anterior se puede observar que existe una necesidad muy importante de informatizar los procesos anteriormente descritos. La implementación de un sistema que registre y mantenga un historial dosimétrico permitiría a los usuarios saber la dosis acumulada que llevan a lo largo de su vida. Esto generaría una conciencia global sobre la radioprotección, permitiendo a los distintos actores de la salud adoptar el uso de mejores prácticas. Por otro lado, sería de mucha utilidad que el sistema se comuniquen con la historia clínica electrónica nacional (HCEN), al hacer esto, los datos de dosis y estudios radiológicos se anexarían junto con el resto de la información clínica del paciente, esto supondría una herramienta para la toma de decisiones por parte de los médicos, logrando así una mejora en cuanto a la trazabilidad y calidad de atención.

La información guardada en el sistema podría ser utilizada para generar reportes estadísticos, de esta manera se podrían obtener indicadores relevantes que permitan tomar nuevas variables que no se utilizan actualmente en consideración. Estos reportes se realizarían en tiempo real.

3.11 Registro Nacional de Dosis de Suiza

El registro nacional de dosis comenzó a funcionar en Suiza en 1990. Consiste en una base de datos mantenida por la "Federal Office of Public Health" y contiene los datos personales, de empleo y dosimétricos de todos los trabajadores de la radiación del país. Los datos de los trabajadores se transfieren de servicios de dosimetría al registro central cada mes o cada tres meses. El cometido de este registro es asistir a las autoridades nacionales a controlar y salvaguardar la dosis ocupacional y permitir evaluaciones estadísticas.

Las regulaciones de protección contra la radiación surgen en 1994, basadas en las recomendaciones de la ICRP. Se introducen límites inferiores para la dosis anual, para el promedio de dosis en cinco años, y para mujeres embarazadas. [33]

3.12 Registro Nacional de Dosis de Australia

Se estableció en el 2010 en principio para la minería y molienda de uranio y luego se expande a todos los trabajadores ocupacionalmente expuestos en Australia. La ANRDR (Australian National Radiation Dose Register) es una base de datos electrónica diseñada para guardar y mantener los registros de dosis de trabajadores que son ocupacionalmente expuestos a la radiación. Actualmente la ANRDR se limita a trabajadores en la industria de la minería y molienda del uranio, minería de minerales e industria del procesado y entidades gubernamentales.

Con la expansión de la ANRDR se está intentando incluir a trabajadores expuestos a la radiación de otros sectores como los sectores médicos y aviación. Los trabajadores

pueden solicitar una copia de su Historial de Dosis el cual contiene un reporte de historial de dosis con las dosis recibidas mientras ha trabajado en las industrias mencionadas dentro de Australia (siempre y cuando se haya registrado con la ANRDR).[34]

3.13 Dose Record Keeping en Reino Unido

Dose Record Keeping (DRK) involucra el registro de todas las dosis de radiación recibidas por un individuo durante un empleo dado. Cada persona registrada es reconocida por su número de seguro social (NIN - National Insurance Number) y cada registro de dosis es propiedad del empleador.

Un registro de dosis de radiación es un registro de todas las evaluaciones de dosis realizadas por un individuo mientras trabajaba para un empleador particular. Cuando el empleado deja el empleo, el registro es cerrado y cuando este se une a un empleador diferente, se abre un nuevo registro de dosis. [35]

Los registros de dosis pueden ser mantenidos por empleados que son clasificados o sin clasificar. Para los empleadores, esto puede servir como medida de seguridad o con propósitos de calidad. Un empleado que es designado como clasificado bajo la Regulación 20 de IRR99 debe estar registrado por DRK con un ADS (Approved Dosimetry Service). En resumen, las regulaciones marcan que:

- Cualquier persona que recibe una dosis efectiva que exceda los 6 mSv, o una dosis equivalente que exceda tres décimas de un límite de dosis relevante, debe ser designado como una persona clasificada.
- Para ser designadas como una persona clasificada, el empleado debe ser mayor de 18 años y físicamente apto.
- Personas clasificadas deben mantenerse así hasta el fin del año excepto en el ámbito médico o cuando cambian de empleo, a menos que al cambiar de trabajo, la radiación que reciben sea despreciable.

3.14 Registro Nacional de Dosis de Canadá

El registro nacional de Dosis (NDR - National Dose Registry) contiene los registros de dosis de individuos que son monitoreados por exposición ocupacional a radiación ionizante. Comenzó a recolectar datos desde 1951 y ahora tiene registros de más de medio millón de trabajadores, incluyendo más de 100.000 que son actualmente monitoreados.

Las funciones del NDR son las de asistir en controles regulatorios, notificando a las autoridades sobre exposiciones dentro de su jurisdicción, evaluar estadísticas para responder solicitudes de información de los entes reguladores, contribuir a la investigación médica y conocimiento científico de los riesgos de la exposición ocupacional a RI, proveer historiales de registros de trabajadores a las organizaciones

para la planificación del trabajo e información necesaria para casos de compensación económica por daños.[36]

3.15 Iniciativa de Reducción de la Radiación en Estados Unidos

La FDA (Food and Drug Administration) intenta comenzar una Iniciativa para reducir la exposición a radiación innecesaria de Imágenes Médicas. En especial se enfoca en los tipos de procedimientos asociadas a altas dosis de RI, que son la CT, radioscopia y medicina nuclear.

Por medio de esta iniciativa, la FDA desea, en colaboración directa e indirecta con otros, mitigar los factores que inducen la exposición innecesaria a la radiación de estos tres tipos de procedimientos. El objetivo de estos esfuerzos es apoyar los beneficios asociadas con imágenes médicas mientras se reduce su riesgo.[37]

3.16 Dose Index Registry de Estados Unidos

El Registro Índice de Dosis (DIR - Dose Index Registry) es un registro de datos que permite a las instituciones médicas comparar sus índices de dosis provenientes de CT con valores regionales y nacionales. Información relacionada a índices de dosis de todos los exámenes CTS es recolecta, anonimizada y se transmite al ACR, y luego se guarda en una base de datos. Luego se entregan informes periódicos a las instituciones comparando sus resultados por parte del cuerpo y tipo de examen. [38]

3.17 Otros registros de dosis

Como se pudo apreciar, existe una preocupación generalizada frente a la exposición de radiación, sobre todo la ocupacional. Hay esfuerzos de parte de países importantes por tener un control sobre la exposición a RI que se ve reflejada en tener registros numerables para cada individuo de las diferentes dosis a la que ha sido expuesto, además de movimientos regulatorios como los de la FDA.

Además de los ya mencionados, hay registros nacionales de dosis en Sudáfrica y Francia.[39], [40]

3.18 Comparación de distintos Sistemas

Para ver una tabla comparativa entre varios sistemas de monitoreo de dosis referirse a [41]

4 Análisis y Diseño

Se describe en las siguientes secciones los distintos elementos que conforman la solución presentada. Se definen los distintos parámetros usados en el sistema e indicadores que se deducen a partir de los datos, así como los requerimientos tanto funcionales como no funcionales. Por último, se detalla el diseño del sistema, así como también las decisiones que fueron tomadas y la arquitectura planteada.

4.1 Especificación de requerimientos

4.1.1 Definición de datos utilizados en CUENTARADIO

Para lograr el cometido de registrar una dosis de radiación, es necesario describir los distintos parámetros y medidas que utiliza el sistema. Se especifican los roles de las personas involucradas, las modalidades (tipos de procedimientos médicos), zonas del cuerpo humano, órganos del cuerpo humano, dosis efectiva y cantidad de estudios.

Roles

CUENTARADIO define roles para cada usuario del sistema. Un usuario puede tener varios roles. Los mismos son utilizados para saber que funcionalidades le corresponde al usuario logeado en la aplicación y que permisos tiene sobre los datos. Los roles son: Paciente, Médico y Técnico Radiólogo.

Modalidades

DICOM llama “modalidad” a cada método de imágenes médicas. **CUENTARADIO** se basa en el estándar DICOM de las distintas modalidades. Se muestra en la TABLA 3 los códigos DICOM y modalidades correspondientes que se usarán.

TABLA 3: LISTA DE CÓDIGOS DICOM ASOCIADOS A LAS MODALIDADES OBTENIDOS EN [17]

Código DICOM	Modalidad
CR	Radiografía Computada (CR)
CT	Tomografía Computada
DX	Radiografía Digital (DR)
ES	Endoscopia
IO	Radiografía Intra-oral
MG	Mamografía
OT	Otro
PT	Tomografía por Emisión de Positrones (PET)

PX	Rayos X panorámico
RF	Radio Fluoroscopia
RG	Imagen Radiográfica
ST	Tomografía computarizada de Emisión Monofotónica
XA	Angiograma de Rayos X

La lista fue puesta a punto en reuniones interdisciplinarias sobre el tema.

Zonas del cuerpo

Para poder realizar un completo análisis de los datos, se decidió asignar zonas del cuerpo a las dosis de los pacientes, que corresponden con el área expuesta más relevante a la exposición de la radiación ionizante. Se definió con el cuerpo médico del Hospital de Clínica las siguientes regiones:

Partes del Cuerpo
Abdomen y Pelvis
Mamas
Tórax
Columna
Extremidades
Cabeza
Sin especificar
Cuerpo Entero

La lista fue puesta a punto en reuniones interdisciplinarias sobre el tema.

Órganos del cuerpo

Para poder calcular la dosis efectiva utilizando las fórmulas propuestas por la ICRP es necesario conocer la dosis absorbida por cada órgano del cuerpo. Los órganos listados son los siguientes y son aquellos para los cuales la ICRP ha definido factores de ponderación. Referirse a la TABLA 6: FACTORES DE PONDERACIÓN DE LA RADIACIÓN RECOMENDADOS

TABLA 4: TABLA DE ORGANOS Y TEJIDOS DEL CUERPO OBTENIDOS DE [31]

Tejidos y Órganos del Cuerpo
gónadas
vejiga
esófago
hígado
tiroides
superficie del hueso
cerebro
glándulas salivales
piel
médula ósea
colon
pulmón
estómago
mamas
glándulas adrenales
región extratorácica
vesícula
corazón
riñones
nódulos linfáticos
músculo
mucosa oral
páncreas
próstata
intestino delgado
bazo
timo
útero

Dosis efectiva estimada

La dosis efectiva estimada (DEE) es la unidad básica que registra **CUENTARADIO** y es un valor que depende del tipo de estudio. La DEE es estimada porque depende de muchos factores como la técnica utilizada dentro del tipo de estudio, la persona a la cual se irradia, entre otros factores.

Cantidad de Estudios

Es la cantidad de estudios que se realizó un ciudadano a lo largo de un período de tiempo.

4.1.2 Definición de medidas calculadas en CUENTARADIO

CUENTARADIO define indicadores poblacionales a partir de las medidas básicas.

Dosis efectiva media estimada por examen

Definimos:

E : conjunto de estudios médicos

R_i : conjunto de registros de dosis según un tipo de examen i .

$d(r)$: dosis efectiva media para un registro de dosis r .

Entonces la dosis efectiva media estimada por examen es

$$\sum_{e \in E} \frac{\left(\sum_{r \in R_e} \frac{d(r)}{|R_e|} \right)}{|E|}$$

Dosis efectiva media estimada por paciente

P : conjunto de pacientes

R_i : conjunto de registros de dosis según de un ciudadano i .

$d(r)$: dosis efectiva media para un registro de dosis r .

Entonces la dosis efectiva media estimada por paciente es:

$$\sum_{p \in P} \frac{\sum_{r \in R_p} d(r)}{|P|}$$

Dosis efectiva promedio por modalidad y parte del cuerpo

Indica la dosis efectiva por modalidad y parte del cuerpo para una población en un periodo de tiempo.

	Cabeza	Tórax	Mamas	Abdomen y Pelvis	Columna	Extremidades	Cuerpo Entero	Sin especificar
Tomografía Computada	4.795	4.607	0	4.099	4.985	0	0	0
Radiografía Computada (CR)	0	0	0	0	0	0	0	0
Endoscopia	0	0	0	4.703	0	0	0	4.791
Tomografía por Emisión de Positrones (PET)	0	0	0	0	0	0	0	0
Imagen Radiografica	0	0	0	0	0	0	0	3.931
Tomografía computarizada de Emisión Monofotónica (SPECT)	0	0	0	0	0	0	0	0
Angiograma de Rayos X	0	0	0	0	0	0	0	0
Radio Fluoroscopia	0	0	0	0	0	0	0	5.123
Radiografía Digital (DR)	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamografía	0	4.515	0	5.076	4.958	5.206	0	0
Radiografía Intra-oral	0	0	4.479	0	0	0	0	0
Rayos X panoramico	4.709	0	0	0	0	0	0	0
Otro	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 10: Indicador multidimensional de dosis efectiva por modalidad y parte del cuerpo de CUENTARADIO

Cantidad de exámenes por modalidad y parte del cuerpo

Indica la cantidad de registros de dosis por modalidad y parte del cuerpo para una población en un periodo de tiempo.

	Cabeza	Tórax	Mamas	Abdomen y Pelvis	Columna	Extremidades	Cuerpo Entero	Sin especificar
Tomografía Computada	106	51	0	19	29	0	0	0
Radiografía Computada (CR)	0	0	0	0	0	0	0	0
Endoscopia	0	0	0	18	0	0	0	33
Tomografía por Emisión de Positrones (PET)	0	0	0	0	0	0	0	0
Imagen Radiografica	0	0	0	0	0	0	0	9
Tomografía computarizada de Emisión Monofotónica (SPECT)	0	0	0	0	0	0	0	0
Angiograma de Rayos X	0	0	0	0	0	0	0	0
Radio Fluoroscopia	0	0	0	0	0	0	0	10
Radiografía Digital (DR)	0	0	0	0	0	0	0	0
Mamografía	0	16	0	20	9	11	0	0
Radiografía Intra-oral	0	0	10	0	0	0	0	0
Rayos X panoramico	31	0	0	0	0	0	0	0
Otro	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 11: Indicador multidimensional de cantidad de estudios por modalidad y parte del cuerpo de CUENTARADIO

4.1.3 Requerimientos funcionales

A continuación, se presentan los distintos casos de uso. Para ello utilizaremos la metodología UML [42]

Nombre: Registrar usuario

Objetivo: El administrador o el técnico da de alta un nuevo paciente en el sistema.

Actores: Administrador, usuario no registrado, técnico
Precondiciones:
Descripción: Se ingresan los datos del usuario y el sistema lo registra en la base de datos. El usuario se ingresa en el EMPI si no existe.
Flujo Normal: <ol style="list-style-type: none"> 1. El administrador ingresa el documento de identidad y el correo electrónico, nombre y apellido, fecha de nacimiento, género y rol del nuevo usuario. 2. El administrador da de alta el nuevo usuario en el sistema y en el EMPI si el mismo no existía previamente en el mismo. 3. El sistema manda un correo electrónico al usuario no registrado para que complete el flujo. 4. El usuario no registrado accede a la aplicación por primera vez a través del correo electrónico de registro. 5. El sistema le solicita que ingrese la contraseña y los datos personales que no se hayan podido obtener del EMPI. 6. El usuario confirma el registro.
Flujos Alternativos: <ol style="list-style-type: none"> 1A. El administrador decide cargar los datos a partir del EMPI. 2A. Existe un paciente con la cédula de identidad o email correspondiente. El sistema despliega un mensaje de error acorde. 4A. El usuario decide cancelar el registro.
Postcondiciones: -El usuario nuevo queda dado de alta en el sistema y en el EMPI.

Nombre: Login
Objetivo: El usuario ingresa al sistema.

Actores: Usuario
Precondiciones: -El usuario se encuentra registrado en el sistema.
Descripción: El usuario ingresa sus credenciales y es autenticado y validado por el sistema.
Flujo Normal: 1. El usuario ingresa su cédula de identidad y contraseña. 2. El sistema verifica las credenciales del usuario y el usuario es autorizado a continuar. 3. El sistema genera un log en la actividad.
Flujos Alternativos: 2A. El usuario ingresa incorrectamente sus credenciales. El sistema despliega un mensaje de error acorde.
Postcondiciones: -Se guarda un registro nuevo en el log de actividades.

Nombre: Logout
Objetivo: El usuario se desconecta del sistema.
Actores: Pacientes, Médicos, Radiólogos
Precondiciones: -El usuario se encuentra registrado en el sistema. -El usuario se encuentra logueado en el sistema.
Descripción: El usuario cierra sesión y desconectado del sistema.

<p>Flujo Normal:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario cierra sesión.
<p>Postcondiciones: El usuario ya no se encuentra logueado en el sistema</p>

<p>Nombre: Buscar persona</p>
<p>Objetivo: Realizar una búsqueda de una persona en el sistema.</p>
<p>Actores: Médicos, Radiólogos</p>
<p>Precondiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> -El usuario se encuentra registrado en el sistema. -El usuario se encuentra logueado en el sistema.
<p>Descripción: El usuario ingresa en un campo el documento o el nombre de la persona a buscar y le da la opción de búsqueda, el sistema le responde con todas las personas que se relacionen con el filtro de búsqueda utilizado.</p>
<p>Flujo Normal:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario ingresa en un campo de texto el nombre o el documento de la persona. 2. El sistema devuelve una lista de todos los usuarios que responden al filtro de búsqueda.

<p>Nombre: Registrar Dosis</p>
<p>Objetivo: Dar de alta un estudio con su correspondiente dosis</p>
<p>Actores: Radiólogos</p>

Precondiciones:

- El usuario cuenta con los permisos necesarios para efectuar la operación.
- El usuario se encuentra logueado en el sistema.

Descripción: El usuario ingresara el estudio junto con los datos dosimétricos de una persona en su historial de dosis.

Flujo Normal:

1. El usuario selecciona la opción de ingreso de dosis.
2. El usuario ingresa los datos correspondientes a la dosis recibida por el paciente: Paciente, Tipo de estudio, fecha, sieverts, datos clínicos, institución, equipo médico, médico que prescribe (opcional).
3. El usuario da de alta el nuevo registro de historial dosimétrico para el paciente.
4. El sistema verifica que los datos ingresados son correctos y hace efectivo el registro.
5. El sistema genera un log en la actividad del paciente.

Flujos Alternativos:

- 2A. El usuario no está registrado en el sistema o detecta alguna inconsistencia en los datos ingresados. El sistema despliega un mensaje de error acorde.
- 2B. El usuario ingresa los datos del paciente para registrarlo por primera vez.
- 2C. El usuario confirma la dosis.
- *. El usuario decide cancelar el registro.
- 3A. No hay conexión a internet, entonces los datos de la dosis se guardan para su posterior sincronización con el servidor.

Postcondiciones:

- Se agrega un nuevo registro al historial dosimétrico del paciente en el sistema.
- Se agrega un nuevo registro en el log de actividades.

Nombre: Ver historial paciente

Objetivo: El usuario consulta el historial dosimétrico de un paciente
Actores: Médicos, Técnico
Precondiciones: -El usuario se encuentra logueado al sistema.
Descripción: El usuario ingresa el paciente que desea consultar y el sistema muestra los datos correspondientes a su historial dosimétrico.
Flujo Normal: 1.El usuario busca una persona. 2. El usuario ingresa al historial. 3. El sistema le muestra un resumen con todos los registros de dosis de dicha persona, y la dosis efectiva para dicha persona. 4. El sistema registra un log de actividad.
Flujos Alternativos: 2A. El médico o técnico no tiene permiso para ver el historial. El sistema muestra un mensaje correspondiente
Postcondiciones: -Se agrega un nuevo registro en el log de actividades.

Nombre: Ver historial personal
Objetivo: El paciente consulta su historial dosimétrico
Actores: Paciente
Precondiciones: -El usuario se encuentra logueado al sistema.
Descripción: El paciente accede a su historial de dosimétrico.

<p>Flujo Normal:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.El paciente accede a la sección historial de dosis. 2. La aplicación muestra un listado con las dosis realizadas del paciente. 3. El sistema le muestra un resumen con todos los registros de dosis de dicha persona, y la dosis efectiva para dicha persona. 4. El sistema registra un log de actividad.
<p>Postcondiciones:</p> <p>-Se agrega un nuevo registro en el log de actividades.</p>

<p>Nombre: Ver Información de Dosis</p>
<p>Objetivo: El usuario accede a la información que contiene un registro.</p>
<p>Actores: Pacientes, Médicos, Técnico</p>
<p>Precondiciones:</p> <p>-El usuario se encuentra registrado en el sistema.</p> <p>-El usuario tiene al menos un estudio radiológico asociado.</p>
<p>Descripción: El usuario selecciona un estudio y el sistema muestra la información detallada.</p>
<p>Flujo Normal:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario selecciona un registro dentro de su historial de dosis. 2. El sistema despliega la información del registro seleccionado al usuario.

<p>Nombre: Registro CDA automático</p>
<p>Objetivo: El sistema genera automáticamente un registro CDA anual por cada persona.</p>

Actores: Tiempo
Precondiciones: Existe al menos un registro en el historial dosimétrico del usuario en el sistema.
Descripción: El sistema genera automáticamente un registro CDA una vez por año para cada persona, para evitar la sobrecarga en una fecha específica en la cual se generan todos los CDA se va a realizar esta acción para cada persona al momento de la fecha de cumpleaños.
Flujo Normal: <ol style="list-style-type: none"> 1. Una vez al día el sistema dispara una consulta para obtener todas las personas que cumplan ese día y tengan un año de antigüedad en el sistema. 2. Para cada persona dentro de esa lista se genera un CDA.
Postcondiciones: Se genera un CDA para las personas y se almacena en el sistema

Nombre: Registro CDA manual
Objetivo: El médico registra un CDA de la consulta médica en la historia clínica del paciente.
Actores: Médico
Precondiciones: <ul style="list-style-type: none"> -El paciente se encuentra registrado en el sistema -Existe al menos un registro en el historial dosimétrico del usuario en el sistema.
Descripción: El médico desea registrar un CDA con la información de la consulta médica, en la historia clínica del paciente.
Flujo Normal: <ol style="list-style-type: none"> 1. El médico busca al usuario en el sistema. 2. El médico ingresa los datos de la consulta en un formulario. 3. El médico da de alta los datos en el sistema.

<p>4. El sistema verifica que los datos sean correctos.</p> <p>5. El sistema genera un CDA con los datos proporcionados y los persiste.</p> <p>6. El sistema genera un log en la actividad del usuario.</p>
<p>Flujos Alternativos:</p> <p>1A. El usuario no existe.</p> <p>4A. El sistema detecta que los datos son incorrectos.</p> <p>5A. Existe algún error al registrar el CDA</p> <p>El sistema despliega un mensaje de error acorde.</p>
<p>Postcondiciones:</p> <p>-El usuario queda registrado en el sistema.</p> <p>-Se agrega un nuevo registro en el log de actividades.</p>

<p>Nombre: Consultar estudios realizados</p>
<p>Objetivo: El Radiólogo consulta los estudios que ingresó en el sistema</p>
<p>Actores: Radiólogo</p>
<p>Descripción: El técnico radiólogo consulta los estudios que dio de alta en el sistema que los lista todos ordenados por fecha de ingreso.</p>
<p>Flujo Normal:</p> <p>1.El técnico solicita al sistema los estudios que dio de alta.</p> <p>2.El sistema lista todos los estudios ingresados por el técnico.</p>

<p>Nombre: Ver estadísticas poblacionales</p>
<p>Objetivo: El administrador puede acceder a estadísticas e indicadores poblacionales</p>

Actores: Administrador
Descripción: El administrador accede a la sección de estadísticas e indicadores poblacionales en la interfaz correspondiente y obtiene una visualización de los indicadores “cantidad de exámenes”, “dosis efectiva estimada promedio por examen”, “cantidad de pacientes” y “dosis efectiva estimada promedio por paciente”; así como también las gráficas de “dosis efectiva estimada en el tiempo” y “cantidad de estudios en el tiempo”. También se visualizan tablas de dosis efectivas en función de modalidad y parte del cuerpo y tablas de cantidad de exámenes en función de modalidad y parte del cuerpo.
Flujo Normal: 1.El administrador ingresa al sitio administrador. 2.El administrador accede a la sección estadísticas poblacionales.

Nombre: Sincronización de dosis pendientes
Objetivo: Sincronizar dosis guardadas en el dispositivo del técnico
Actores: Administrador
Descripción: El administrador accede al listado de dosis pendientes, puede ver la información individual de cada una de ellas y finalmente sincronizarlas con el servidor.
Flujo Normal: 1.El técnico ingresa desde la aplicación móvil a la sección dosis pendientes. 2.El técnico presiona el botón sincronizar dosis. 3.El servidor da de alta las dosis satisfactoriamente.
Flujos Alternativos: 3A. Hay un error al procesar una dosis. 3B. El técnico edita los datos de la dosis y sincroniza nuevamente.
Postcondiciones: Se crean los registros de dosis pendiente y se persisten en el sistema.

Nombre: Registro de exposición ocupacional
Objetivo: Registrar la exposición ocupacional de los funcionarios que trabajan con radiación ionizante
Actores: Técnico
Descripción: El técnico registra en la aplicación su exposición ocupacional mensual.
Flujo Normal: <ol style="list-style-type: none"> 1.El técnico ingresa desde la aplicación móvil a la sección exposición ocupacional. 2.El técnico obtiene un listado de las exposiciones ocupacionales mensuales. 3.El técnico presiona el botón “registrar”. 4.El técnico selecciona el mes e ingresa la dosis efectiva correspondiente. 5.El técnico da de alta el nuevo registro.
Flujos Alternativos: <ol style="list-style-type: none"> 5A. Si ya existe un registro para el mes indicado, se sobrescribe el mismo.
Postcondiciones: Se crea un nuevo registro de exposición ocupacional asociado al técnico y se persiste en el sistema.

4.1.4 Requerimientos no funcionales

Portabilidad

Uno de los propósitos del proyecto es empoderar al ciudadano sobre su historial de radiación. Es por esto que **CUENTARADIO** hace accesible esta información a través de dispositivos móviles. Además, es una manera práctica para los técnicos de registrar las dosis sin recurrir a dispositivos especiales.

Usabilidad / Interfaz

Los usuarios que deben interactuar con el software son personas de diversas edades, instituciones y con diferente manejo de la tecnología, lo que hace necesario lograr un diseño que simplifique la experiencia de usabilidad para todos ellos.

Operatividad

La naturaleza del trabajo de los técnicos radiólogos requiere que el registro de datos sea lo más rápido y eficiente posible, minimizando errores lo máximo posible y no entorpeciendo el trabajo de los mismos.

Conectividad

Debido a la infraestructura donde operan los técnicos, es posible que ocurran problemas de conexión a la red, es por esto que **CUENTARADIO** debe tener un modo “desconectado” en caso de la ausencia de conexión a internet, y operar normalmente, hasta sincronizar la información cuando se recobra la conectividad.

Seguridad

CUENTARADIO debe intercambiar datos con la Plataforma del Programa Salud.UY y por lo tanto debe cumplir con requisitos de Seguridad exigidos por AGESIC como ser la utilización de certificados digitales. Asimismo, se debe manipular adecuadamente la información ya que se trata de datos personales de los involucrados, almacenando en forma anónima dichos datos.

Interoperabilidad

CUENTARADIO promueve el uso de la Historia Clínica en la cual registra información acerca de los registros de dosis de las personas. Esto implica seguir los lineamientos e integrarse con la plataforma definida por el programa Salud.uy.

Internacionalización

CUENTARADIO es un sistema que nace con una estructura de varios idiomas, sin lengua privilegiada, lo que le debe dar la facilidad de saltar de un idioma a otro al toque de una tecla. Los letreros son manejados por una numeración que apunta a una tabla cuyas columnas van siendo traducidas o mantenidas por personal NO informático.

4.2 Diseño del sistema

4.2.1 Introducción

Este capítulo expone las decisiones de diseño que fueron tomadas. Se presentan diagramas de secuencia de casos de uso relevantes, arquitectura de la aplicación, los componentes de la misma y su intercomunicación, patrones de diseño usados, así como también modelado de la realidad.

4.2.2 Diagrama de secuencia del Sistema

En base a los casos de uso descritos en la sección anterior se diseñaron los diagramas de secuencia más relevantes y complejos de **CUENTARADIO** que permiten una mejor comprensión. Por cada diagrama se explican brevemente cada una de las funciones involucradas. Se tuvo en cuenta que **CUENTARADIO** debe tener memoria ya que durante toda la sesión debe recordar al usuario junto con los datos de la sesión actual.

Signup

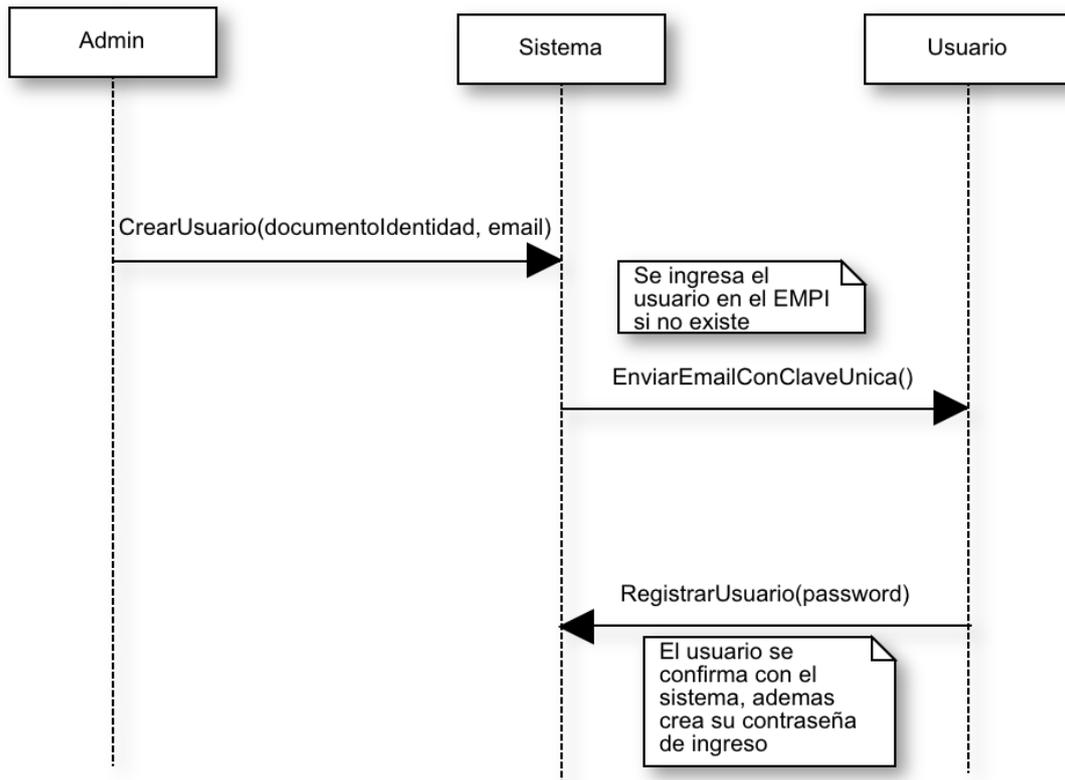


Figura 12: Diagrama de secuencia del registro de usuario

La Figura 12 muestra la interacción entre los actores y el sistema a la hora de dar de alta un nuevo usuario. Para ello, un administrador registra los datos del nuevo usuario (documento de identidad, email, nombre, apellido, genero, fecha de nacimiento, etc.) además de su rol en la aplicación (paciente, médico o técnico). Al momento de ingresarlo en el sistema, éste corrobora su existencia en la base de datos de todos los usuarios o personas del país (Índice Nacional de Usuarios en Salud INUS, ex EMPI) y, si no existe, genera un nuevo registro. Finalmente lo da de alta en el sistema y se le envía un email para que el usuario pueda acceder a la aplicación móvil. El usuario a través de una clave de acceso única verifica si sus datos son correctos o los edita y además crea su password para acceder a la aplicación. Al finalizar el usuario se confirma en el sistema.

Registro de Dosis

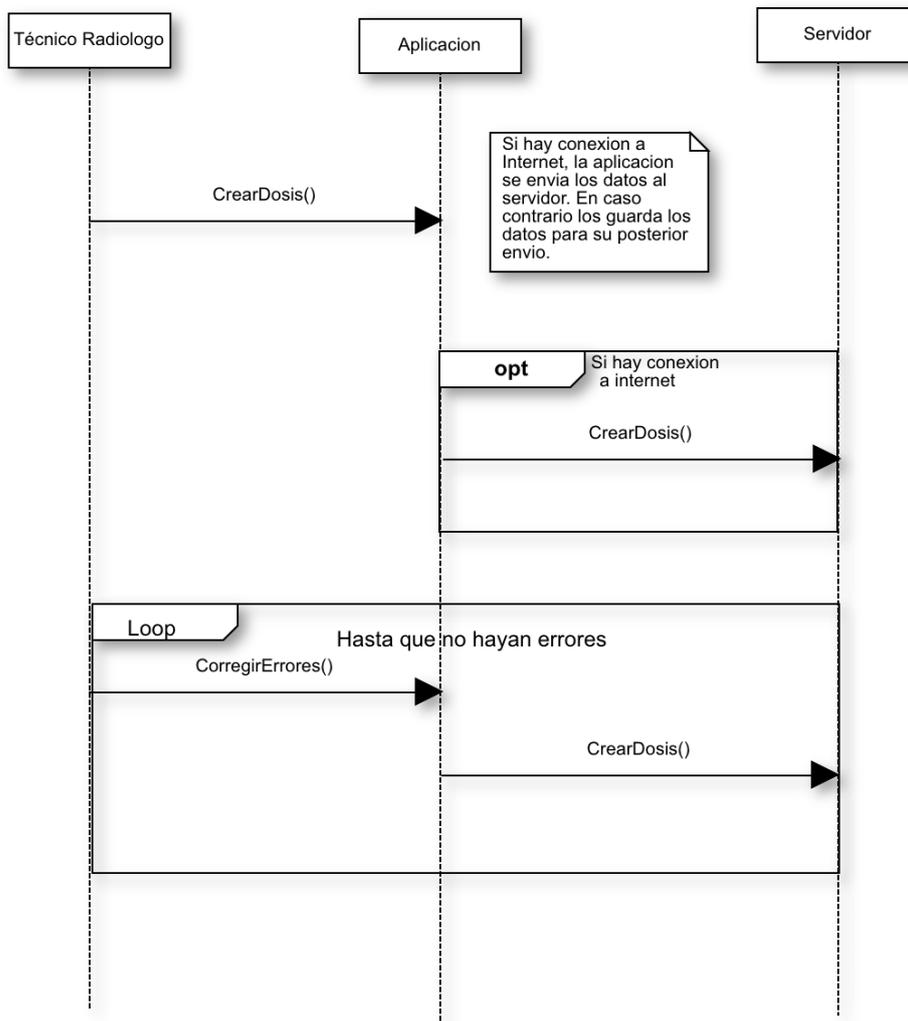


Figura 13: Diagrama de Secuencia del Registro de dosis

El registro de dosis es realizado por un usuario con rol técnico radiólogo que registra los datos de la dosis en cuestión (tipo de estudio, dosis efectiva, equipo utilizado, paciente, etc.) y si existe conexión a internet, la aplicación envía los datos al servidor. En caso contrario los guarda en una base de datos del dispositivo móvil para su posterior sincronización. Si el servidor indica algún error, el usuario puede corregirlo y volver a enviar los datos al servidor.

Sincronizar dosis pendientes

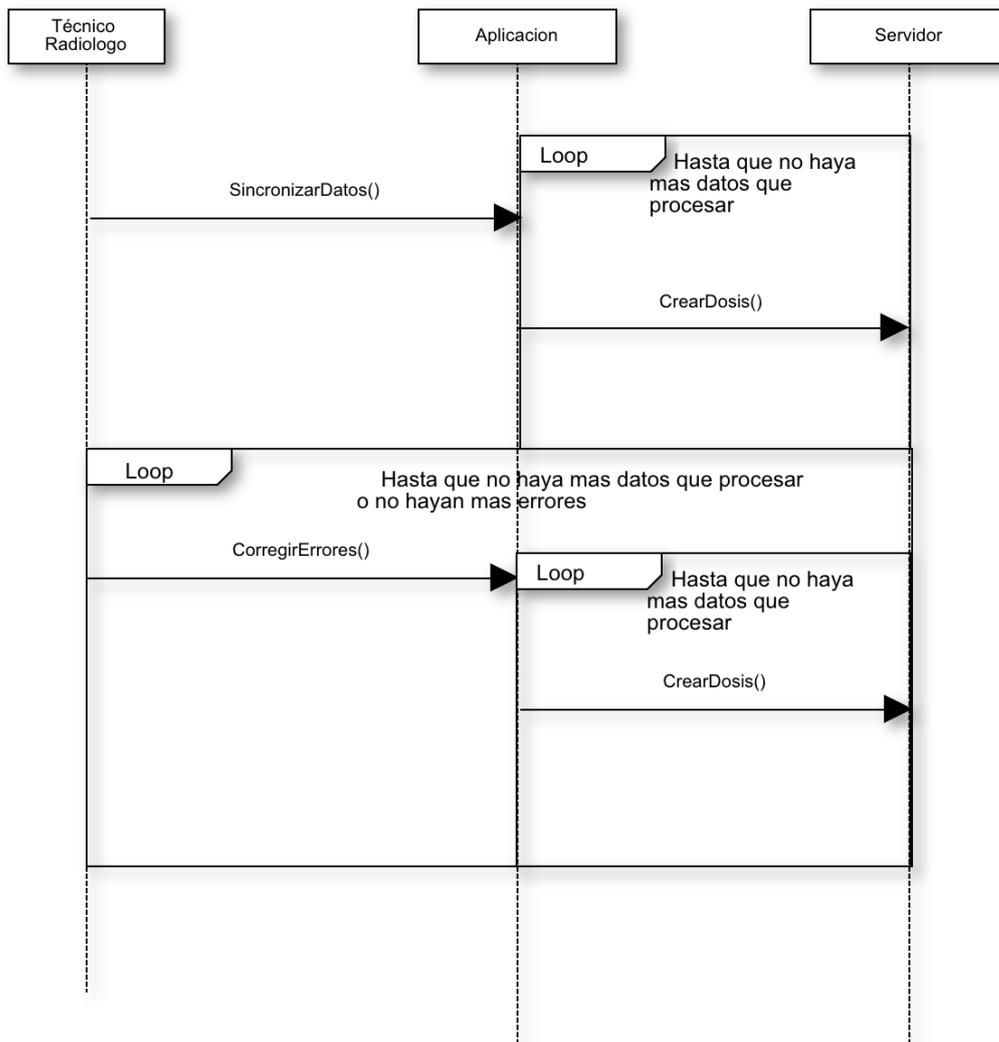


Figura 14: Diagrama de secuencia de la sincronización de dosis pendientes (modo offlline)

Si el usuario registró dosis sin una conexión a internet establecida, entonces se generan dosis pendientes. Cuando la conexión a internet se restablezca, el sistema intentará enviar los datos al servidor. Si el servidor indica un error, el usuario corrige los datos y tiene la opción de procesarlos en el momento.

Ver Historial del Paciente

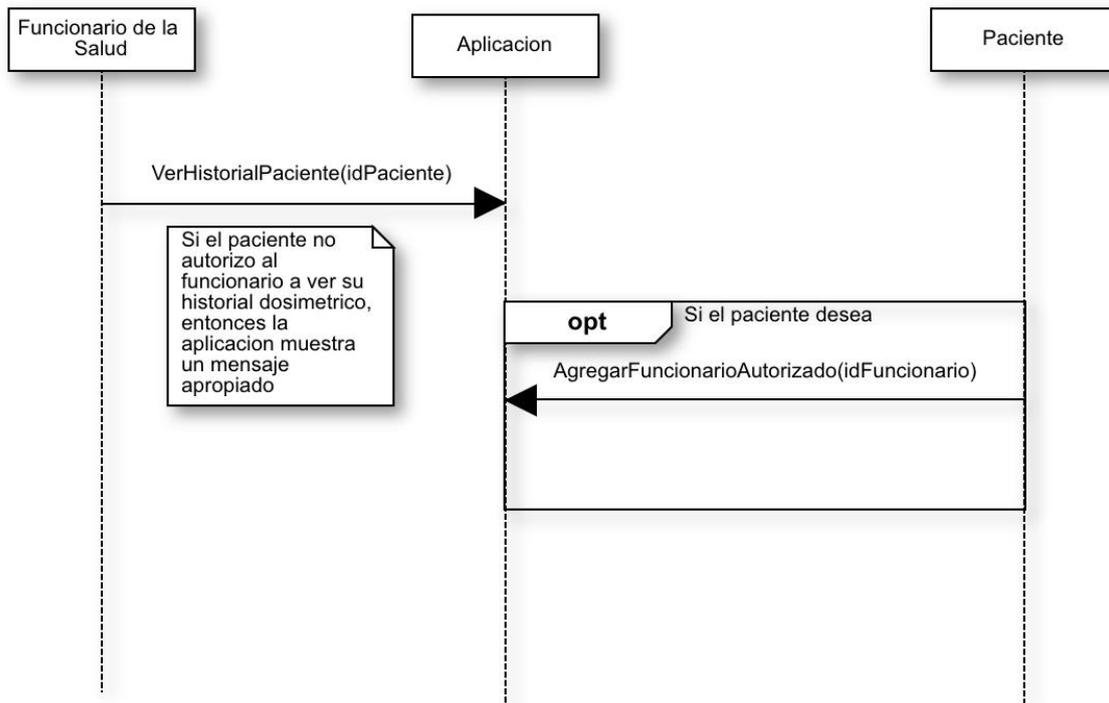


Figura 15: Diagrama de secuencia de Ver Historial de Pacientes

Un usuario con rol técnico o médico puede ver el historial dosimétrico de un paciente solo si el paciente autorizó al usuario. Para ello debe agregarlo a su lista de autorizados. En caso contrario, cuando el usuario desee ver el historial, el sistema no lo permite y la aplicación muestra un mensaje correspondiente.

4.3 Arquitectura del sistema

Se presenta la arquitectura general del sistema. El sistema se compone del servidor y la aplicación móvil. A su vez el servidor se compone de una aplicación rails, un módulo hecho en java, una base de datos SQL y una base de datos NO SQL. Para la base de datos SQL se utilizó PostgreSQL como manejador y para la NO SQL se utilizó MongoDB.

La aplicación móvil es una aplicación hecha en React Native.

Se realiza la comunicación entre la aplicación y el servidor utilizando el protocolo HTTP dado que es una arquitectura REST. Además, el sistema consume servicios de salud.uy, mediante un middleware hecho en java y utilizando protocolos SOAP para la comunicación.

4.4 Arquitectura en 3 capas

En concreto, la programación por capas es una forma de programar bajo un objetivo principal: que las distintas lógicas presentes en la aplicación se separen y posean estructuras bien definidas.

En general, suele plantearse esta visión sobre tres niveles o capas:

1. La capa de presentación: Esta capa se encarga de proveer una interfaz entre el sistema y el usuario. Básicamente, se responsabiliza de que se le comunique información al usuario por parte del sistema y viceversa, manteniendo una comunicación exclusiva con la capa de negocio que veremos a continuación. Además, dentro de esta capa entraría aquello que el usuario “ve” cuando se conecta a la aplicación.

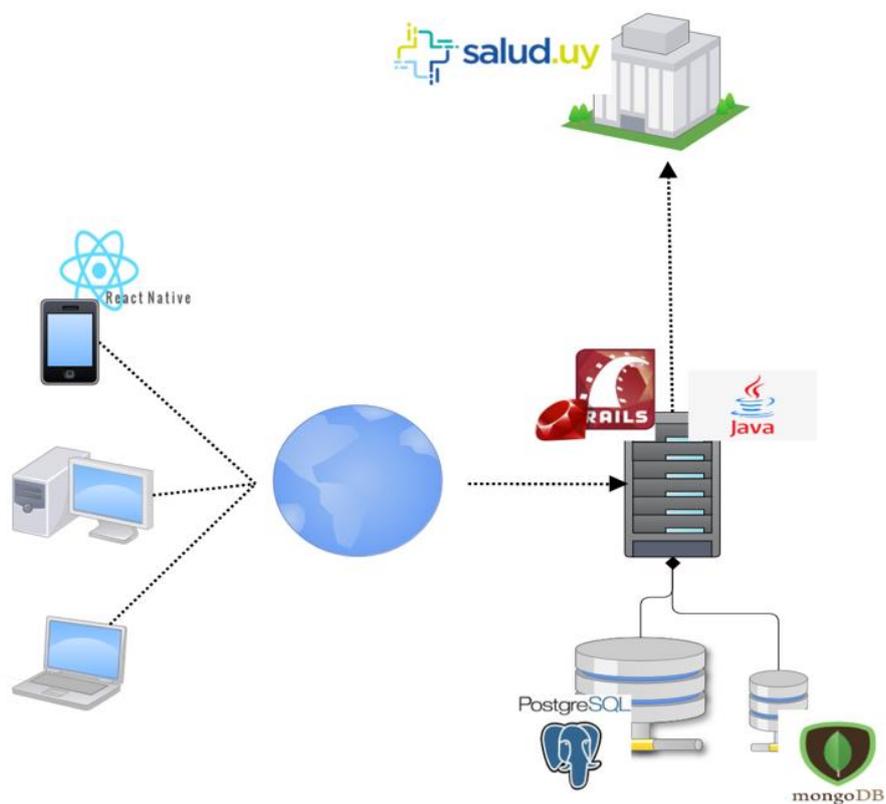
2. La capa de negocio: Es la capa que contiene los procesos a realizar con la información recibida desde la capa de presentación, las peticiones que el usuario ha realizado, y responsabilizándose de que se le envíen las respuestas adecuadas a la capa de presentación. Podríamos verla como una capa intermedia, a medio camino entre la capa de presentación y la capa de datos, puesto que se relaciona con ambas y por supuesto, procesa también la información devuelta por la capa de datos.

3. La capa de datos: Por último, la capa donde se almacenan los datos. Mediante la capa de negocio, se puede encargar de ofrecer, modificar, almacenar, borrar y recuperar datos, mediante el gestor (o los gestores) de bases de datos que la aplicación requiera.

4.5 Arquitectura planteada

La **presentación** muestra los elementos de la arquitectura de **CUENTARADIO**.

Figura 16 presenta los elementos de la arquitectura de



CUENTARADIO.

Figura 16: Distribución de componentes de la arquitectura de CUENTARADIO

4.5.1 Componentes de la arquitectura

Capa Presentación: se compone de la aplicación móvil y el sitio administrador. La aplicación móvil construida con el framework React Native y se comunica con el servidor mediante el protocolo HTTP. El sitio administrador es un sitio web renderizado por el servidor.

Capa Lógica: En esta capa se encuentra la aplicación Ruby on Rails que se encarga de atender pedidos que llegan tanto del administrador como de la aplicación móvil. Además, se encuentra el middleware para la comunicación con el EMPI y servicios de salud.uy.

Capa de Datos: Se encuentra el motor de base de datos PostgreSQL que almacena los datos de la aplicación como usuarios, dosis, estudios, etc.; además se encuentra el motor de base de datos MongoDB el cual contiene el diccionario SNOMED.

4.6 CUENTARADIO - Aplicación Móvil

4.6.1 Funcionalidades

Registro de dosis de paciente

Es la funcionalidad principal de la aplicación. Un usuario con rol Técnico Radiólogo puede registrar las dosis de radiación recibidas por los pacientes.

Registro de exposición ocupacional de los técnicos

Los Técnicos Radiólogos pueden registrar su propia dosis de exposición ocupacional mensual para llevar un control personal y verificar que están dentro de los límites anuales impuestos por los estándares de ICRP.

Ver registros de un paciente

Los Técnicos Radiólogos, así como también los Médicos pueden ver los registros de dosis de un paciente para llevar a cabo decisiones a corto y largo plazo que beneficien al paciente.

Ver registros que realizó un técnico

Los Técnicos Radiólogos pueden ver los registros que realizaron a los pacientes.

Generar CDA

El Médico tiene la posibilidad de generar una CDA en la historia clínica del paciente a la hora de la consulta con el mismo.

Ver mis registros de dosis

Como Usuario de **CUENTARADIO**, puedo ver una lista de registros de dosis junto con información detallada de cada uno.

Cambiar de idioma

En todo momento, el usuario puede mantenerse en su operación, pero saltar de un idioma a otro, al toque de un símbolo.

4.6.2 Arquitectura y diseño

La arquitectura que se utilizó para la aplicación móvil es la de Redux. Redux es un “contenedor de estados predecibles” para aplicaciones Javascript. Está fuertemente basado en la arquitectura Flux, el patrón CQRS y Event Sourcing.[43]–[46]

Flux

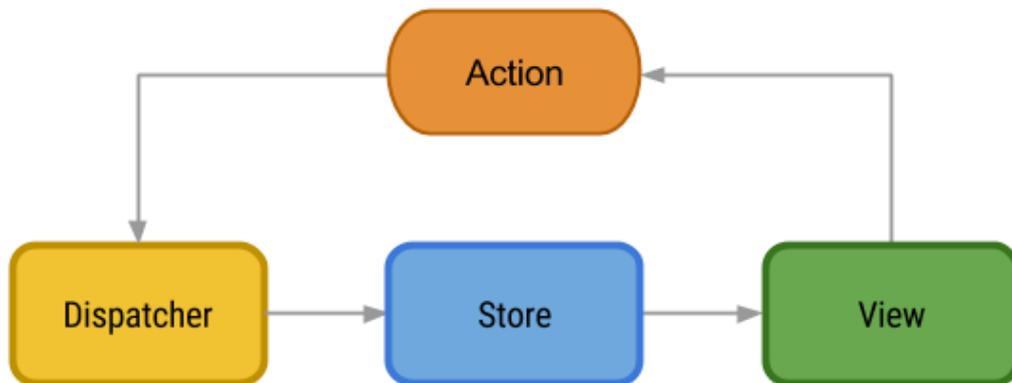


Figura 17: Elementos y su interacción de la arquitectura Flux

Flux es un patrón para manejar el flujo de la información en una aplicación. El concepto más importante es que los datos fluyen en una dirección.[46]

Se describen los principales elementos:

- Dispatcher: recibe acciones y los despacha a las stores que se registraron con el dispatcher. Todas las store recibirán todas las acciones.
- Store: Una store mantiene los datos de la aplicación. Se registran con el dispatcher de la aplicación para que puedan recibir acciones. La información en una store deberá solamente mutar en respuesta a una acción. No debe haber setters públicos en una store, solo getters. Las store deciden a qué acción van a responder. Debería haber múltiples store en una aplicación
- Action: Las actions definen la API interna de la aplicación. Capturan la manera en la cual los distintos componentes interactúan en la aplicación.
- View: Los datos de las store son mostrados en las views. Cuando una view utiliza datos de una store, debe suscribirse a eventos de cambios de esa store. Luego cuando la store emita un cambio, la view puede conseguir la nuevos datos y volver a renderizar. Las actions son despachadas desde las vistas en respuesta a una interacción del usuario con alguna parte de la aplicación.

CQRS

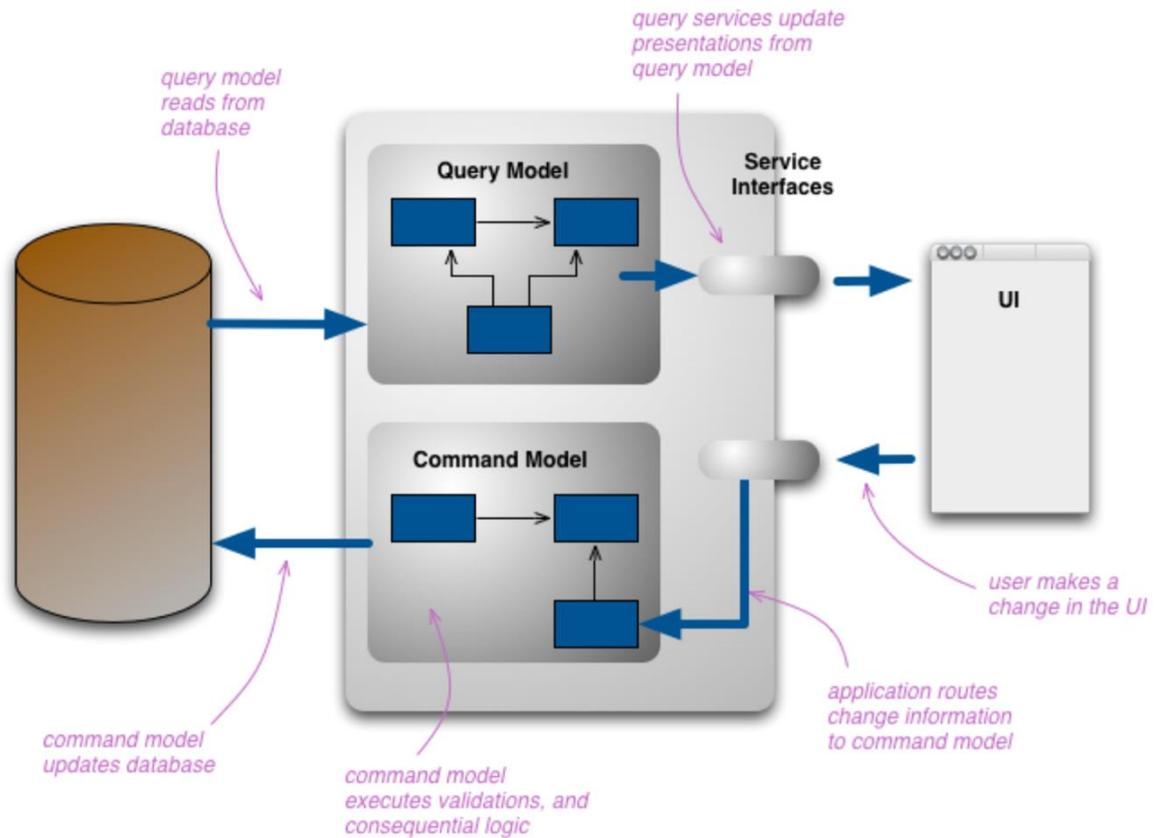


Figura 18: Esquema del patrón CQRS

CQRS se entiende por **Command Query Responsibility Segregation**. Se refiere a la noción de que se pueden usar modelos diferentes para actualizar la información y para leer la información. El enfoque clásico que se usa para interactuar con la información de un sistema es el CRUD (Create, Read, Update, Delete). Se tiene un modelo mental de alguna estructura de registro donde se pueden crear nuevos registros, leer, actualizar y eliminar. En los casos simples esto es suficiente.

A medida que el sistema crece, nos alejamos del único modelo. Se hace necesario ver la información de una manera distinta a la almacenada. En algunos casos aplicaran validaciones que permitan ciertas combinaciones de datos a ser guardados.

Es necesario comenzar a ver múltiples representaciones de la información, a la manera de las “vistas” de una base de datos. El cambio que propone CQRS es la separación del modelo conceptual en diferentes modelos para su actualización y vista (Command y Query, respectivamente). La explicación es que para muchos problemas con dominios complejos, tener el mismo modelo conceptual para actualizar y mostrar lleva a modelos más complejos.[44]

EventSourcing

En muchos casos consultar el estado de la aplicación es suficiente. Sin embargo, a veces también es importante saber cómo se llegó a ese estado. EventSourcing permite que todos los cambios a una aplicación se guarden como una secuencia de eventos. Se pueden consultar a esos eventos pero también se puede utilizar el log de eventos para reconstruir estados pasados.[43]

Redux

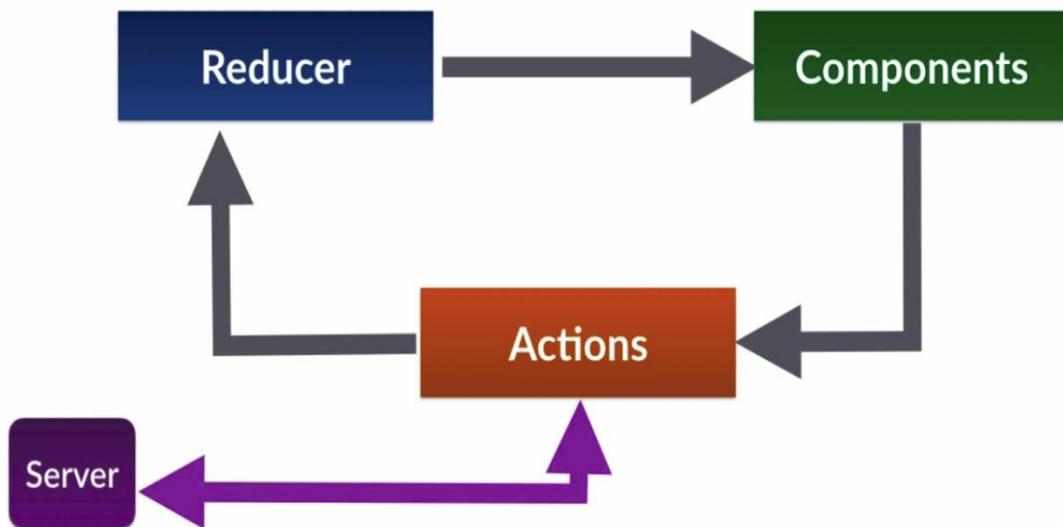


Figura 19: Elemento y sus interacciones de una arquitectura Redux

Redux es una variación de la arquitectura flux que introduce algunas mejoras en cuanto a la organización de código y otros elementos.

Redux se basa en tres principios:

- Única fuente de la verdad: el estado de toda la aplicación se guarda en un único objeto dentro de un único store.
- El estado es de solo lectura: la única forma de cambiar el estado es emitiendo una acción, un objeto describiendo lo que sucedió.
- Los cambios son hechos con funciones puras: para especificar cómo el estado cambia en respuesta a una acción, lo hacemos a través de reducers puros.

Teniendo en cuenta los tres principios se puede describir el funcionamiento general de una aplicación redux.

El estado de la aplicación es representado a través de un único objeto. Este objeto es como un modelo excepto que no tiene setters. Esto es debido a que diferentes partes del código no puedan cambiar el estado arbitrariamente, generando bugs difíciles de

reproducir. Para cambiar algo en la aplicación, se necesita despachar una acción. Una acción es un objeto que describe lo que sucedió. Esto nos permite tener un claro entendimiento de lo que sucede en nuestra aplicación. Si algo cambia, sabemos porque lo hizo. Finalmente, para unir al estado con las acciones, se escriben funciones puras llamadas reducers. Los reducers son solo una función que toma un estado y una acción como argumentos y retorna el siguiente estado de la aplicación. Habitualmente lo que se hace es que se escriben varios reducers que manejan partes del estado de la aplicación.[45]

4.6.3 Componentes de la aplicación Móvil

A continuación, se describen los elementos más relevantes de la aplicación móvil en función de la arquitectura Redux utilizada.

Reducers

- **offlineReducer:** este reducer se encarga de mantener el subestado correspondiente a las dosis pendientes que se almacenan por estar en modo desconectado.
- **userReducer:** este reducer se encarga de mantener el subestado correspondiente a la sesión y datos del usuario.
- **dosesReducer:** mantiene el registro de dosis, así como también los datos respectivos a una única dosis al momento de visualizar y crear una dosis.
- **examinationsReducer:** mantiene los estudios médicos disponibles.
- **patientsReducer:** mantiene una lista de usuarios al momento de buscar.
- **doctorsReducer:** listado de médicos.

Componentes

- **CreateDose:** componente encargado de la creación de una dosis.
- **DoseHistory:** renderiza el historial dosimétrico de un usuario.
- **DoseInformation:** muestra información de una dosis seleccionada.
- **OccupationalExposureHistory:** Muestra el listado de exposiciones ocupacionales por mes de un técnico radiólogo.
- **RevisionHistory:** muestra el historial de versiones de una dosis.
- **RevisionInformation:** muestra la información de una revisión. Específicamente muestra que cambios se realizaron sobre los datos de una dosis.
- **TechnicianCreatedDoses:** listado de dosis creadas por un técnico radiólogo.
- **createOccupationalExposure:** creación del registro de la exposición ocupacional mensual de un técnico.

4.7 CUENTARADIO - Servidor

4.7.1 Funcionalidades

El servidor web se encarga de recibir los pedidos HTTP y redirigirlos al stack del proyecto Ruby on Rails. En nuestro caso, se buscó un servidor web rápido y con un alto manejo de concurrencia. Es por esto que elegimos Puma, que tiene estas características. Puma es considerado el servidor web multihilo más rápido y con mejor uso de memoria dentro de los servidores web disponibles. [47]

Puma soporta cualquier aplicación Rack, siendo Ruby on Rails una de ellas. Siguiendo este conjunto de especificaciones el servidor web traduce el pedido HTTP a un lenguaje mucho más entendible para el proyecto Ruby on Rails.

4.7.2 Arquitectura y Diseño

La arquitectura del servidor se basa en el patrón MVC (Model-View-Controller). En esta sección describimos los elementos más importantes.

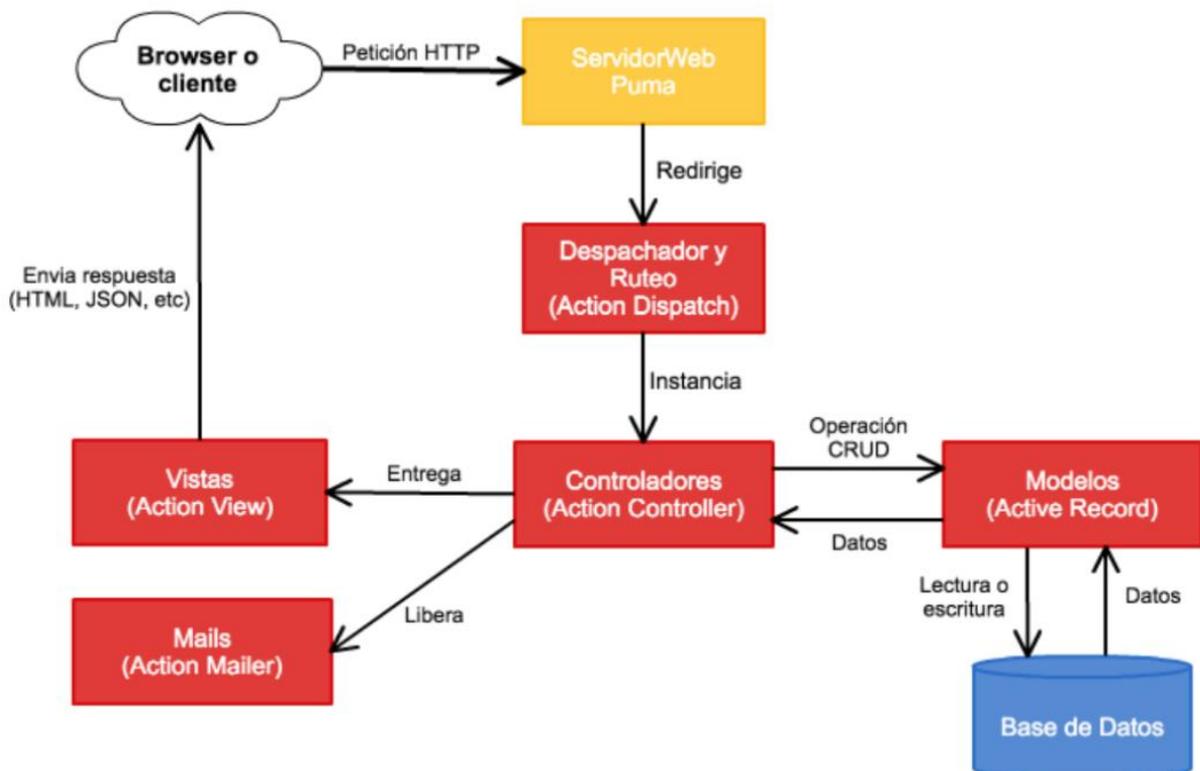


Figura 20: Elementos y sus componentes de un proyecto Ruby on Rails

Despachador y Ruteo

El servidor web muchas veces no es considerado parte del stack de un proyecto Ruby on Rails. Por lo tanto, el despachador es el primer componente involucrado cuando llega un pedido HTTP.

El despachador ActionDispatch se encarga del ruteo, parseo de parámetros, manejo de cookies y manejo de sesión, entre otras tareas.

El ruteo es una tarea muy importante, significa mapear una URL y un método HTTP a un controlador Rails y un método del mismo. Esta tarea es considerada invisible para el programador, que solamente define las rutas en el archivo de configuración routes.rb.

Vale destacar que cada una de las rutas de la API están bajo el espacio de direcciones /api/v1, mientras que las rutas expuestas para el usuario administrador por /admin, en el caso de la pantalla principal del panel de administración.

Por otra parte, un usuario está habilitado a acceder y manipular los datos en el panel de administración mediante el manejo de cookies y session. Sin embargo, estos conceptos no tienen sentido en la API, el usuario debe enviar un token para identificarse en cada petición. [47]

Controladores

El módulo ActionDispatch determina qué controlador y qué método será utilizado para la petición, creando una instancia de dicho controlador e indicando que ejecute dicho método.

Las tareas que realiza el controlador son: comunicarse con los modelos en primer lugar y luego retornar la vista correspondiente junto con el estado de la respuesta. Por esto se dice que se debe seguir el enfoque de modelos gordos y controladores delgados, dado que son simplemente un intermediario entre los modelos y las vistas.

En los controladores también se realizan tareas como el procesamiento de los parámetros que llegan en una petición, manejo de cookies y sesión.

Como se mencionó anteriormente, la API y el panel de administración se dividen en rutas separadas semánticamente. En el caso de los controladores sucede lo mismo. Aquellos relacionados a la API se encuentran bajo la carpeta api/v1 y los relacionadas al panel de administración bajo la carpeta /admin. [48]

Modelos

Los modelos son los encargados de la comunicación con la base de datos, así como también del manejo de gran parte de la lógica de negocios.

Para lograr lo primero, es necesario introducir a uno de los principales módulos de Ruby on Rails, ActiveRecord, el cual es un ORM.

Un ORM se encarga de conectar objetos de la capa de aplicación con tablas de una base de datos relacional. De esta manera las propiedades y relaciones entre objetos de la capa de aplicación pueden ser consultadas y almacenadas fácilmente en la base de datos sin necesidad de escribir SQL. Es importante destacar que el ORM también permite implementar consultas SQL si es necesario, algo común en consultas de alta complejidad. Sin embargo, dado que es un ORM muy completo y con alta madurez, permite realizar la gran mayoría de las operaciones SQL.

El manejo de la lógica de negocios está intrínsecamente relacionado con la comunicación con la base de datos, ya sea para almacenar o consultar datos. El tratamiento u operaciones con los datos es realizado en los modelos.

Cabe destacar que el framework Ruby on Rails ha evolucionado y ante la necesidad de liberar de responsabilidades a modelos extremadamente grandes, nuevos componentes han surgido. Por ejemplo, se implementaron servicios para comunicación con APIs externas, o presentadores para exponer datos que el modelo ya expone, pero con distinta organización.

A diferencia de las rutas y los controladores, los modelos son compartidos por la API y el panel de administración. Esto es posible ya que ambos manejan los mismos datos y aplican a la misma lógica de negocio. Esta es una de las grandes ventajas de tener ambos componentes, la API y el panel de administración en el mismo proyecto Ruby on Rails. Models , [45]

Vistas

Una vista es la forma en la cual la aplicación expone los resultados de la petición HTTP al cliente. Como se mencionó, cada método de un controlador responde a determinada ruta expuesta por el sistema, por lo cual también tiene su vista correspondiente.

La misma puede tener diferentes formatos, en el caso de nuestro proyecto Ruby on Rails estas son HTML con código ruby embebido en el caso del panel administrador o JSON en el caso de la API.

Las vistas HTML con código ruby embebido son instancias de la clase `ActionView::Base`. El módulo `ActionView` provee un número muy grande de helpers para el manejo de diferentes escenarios clásicos en las vistas. Por ejemplo, formato adecuado de una fecha.

Las vistas con formato JSON son generados por la gema `Jbuilder`, con la cual los integrantes han tenido muy buenas experiencias. Views , [45]

Emails

Los mails funcionan de manera muy similar a los controladores, cada mailer hereda de la clase `ActionMailer::Base` y tiene una vista asociada para cada uno de sus métodos.

Básicamente, la vista se usa para reflejar el cuerpo del mail que recibirá el remitente y comúnmente tiene formato HTML con código Ruby embebido. Las vistas pueden ser texto plano, dando soporte a clientes que no soporten el despliegue de correos con código HTML.

Dado que el envío de un mail puede tomar suficiente tiempo como para ser percibido por el usuario y retrasar la respuesta, es importante destacar que se envían en background. Para esto se utiliza la gema Delayed Job, la cual serializa el código a ejecutar, lo guarda en la base de datos y luego lo ejecuta en proceso aparte. Action Mailer Basics , [45]

Diagrama de clase de diseño

Como última sección dentro del capítulo de arquitectura, se presenta el diagrama de clases para la API Ruby on Rails para una mejor comprensión de la estructura de clases, sus atributos, operaciones y relaciones entre los objetos. Cada artefacto del modelo UML presentado a continuación hace referencia a modelos Ruby on Rail, como se explicó, los modelos son los encargados de la lógica de negocio y la comunicación con la base de datos.

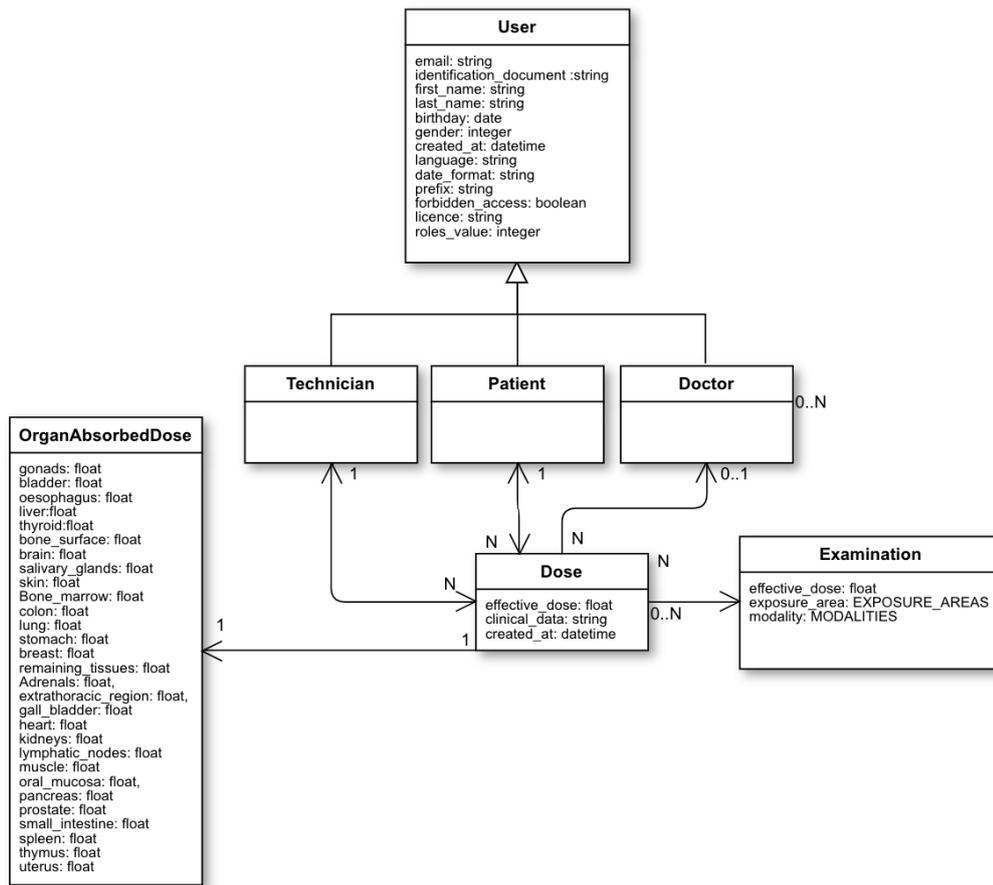


Figura 21: Diagrama de clase de diseño de **CUENTARADIO** (diagrama mínimo)

4.8 CUENTARADIO - Administrador

The screenshot displays the 'Dose' management interface. At the top, there is a navigation menu with options like Dashboard, Activity Logs, Administrators, Cda Configuration, Devices, Dose (selected), Equipments, Exámenes Medicos, Institutions, Poblational Statistics, System Configurations, Technicians, and Users. The user is logged in as 'admin@example.com'. Below the navigation, there is a 'Batch Actions' dropdown and a table of records. The table has columns for 'examination', 'patient', 'institution', 'effective dose', 'created at', and 'updated at'. Each row includes a 'View' link. To the right of the table is a 'Filters' sidebar with dropdown menus for 'DOCTOR' and 'INSTITUTION', and input fields for 'EFFECTIVE DOSE', 'CREATED AT', and 'UPDATED AT'. There are 'Filter' and 'Clear Filters' buttons at the bottom of the sidebar.

<input type="checkbox"/>	examination	patient	institution	effective dose	created at	updated at	
<input type="checkbox"/>	CT of cervical spine	Alexis Tarsaguala		6.0	October 20, 2017 00:00	December 06, 2017 12:15	View
<input type="checkbox"/>	CT of chest	Maria Outeda		7.0	October 20, 2017 00:00	December 06, 2017 12:15	View
<input type="checkbox"/>	Computed tomography of skull (procedure)	Ruben Mauro		2.0	October 24, 2017 00:00	December 06, 2017 12:15	View
<input type="checkbox"/>	Computed tomography of skull (procedure)	Carlos Sanchez		2.0	October 24, 2017 00:00	December 06, 2017 12:15	View
<input type="checkbox"/>	Computed tomography of skull (procedure)	Washington Villagran		2.0	October 24, 2017 00:00	December 06, 2017 12:15	View
<input type="checkbox"/>	CT of abdominal wall	Andrea De los santos		10.0	October 13, 2017 00:00	December 06, 2017 12:15	View
<input type="checkbox"/>	Computed tomography angiography of coronary arteries (procedure)	Alba Palacio		12.0	October 20, 2017 00:00	December 06, 2017 12:15	View
<input type="checkbox"/>	CT of chest	Juan Figueroa		7.0	October 20, 2017 00:00	December 06, 2017 12:15	View

Figura 22: Interfaz Gráfica del administrador de CUENTARADIO, versión 16/06/2018

4.8.1 Funcionalidades

Gestión de usuarios

Permite agregar usuarios al Sistema, ver su información personal o editar ciertos datos.

Carga de exámenes médicos

Se pueden cargar exámenes médicos junto con su dosis efectiva estimada y parte del cuerpo afectada.

Estadísticas poblacionales

Permite analizar los datos de los registros médicos que fueron generados por los técnicos y ver indicadores (definidos en la sección de descripción de la solución) y además ver gráficas en el tiempo. También se pueden aplicar filtros sobre los datos para analizar una población que cumpla con ciertas condiciones y exportarlos a un archivo para poderlos procesar con un programa de hoja de cálculos (por ejemplo, Excel).

Ordenar

Agregar Orden

Filtros

Coincidir **todos** condiciones Remove

Remove

Dosis Efectiva **menor que** 0.3

Agregar Condición Agregar grupo de condiciones

Coincidir **cualquier** condiciones Remove

Remove

Fecha de Creación **menor que** 12/01/2015

Agregar Condición Agregar grupo de condiciones

Agregar grupo de condiciones

Numero de Bins

Buscar Exportar a CSV

Figura 23: Interfaz gráfica de los filtros de la sección de estadísticas poblacionales

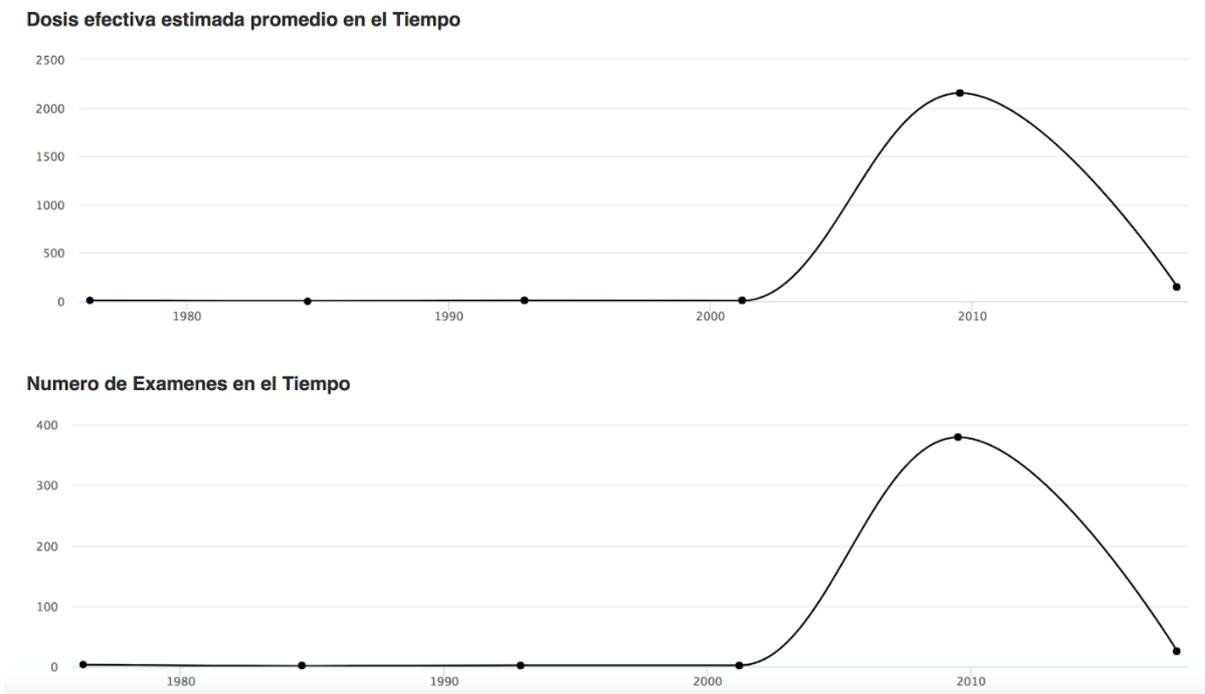


Figura 24: Gráficas generadas en la sección estadísticas poblacionales

Gestión de instituciones

Permite ver, crear y editar instituciones médicas.

Configuración del Sistema

Permite realizar configuraciones globales sobre el sistema como parámetros del CDA generado para los pacientes, límites anuales de exposición ocupacional, configuración sobre las gráficas generadas para las estadísticas poblaciones, etc.

4.9 CUENTARADIO – Middleware

El middleware es el componente de la arquitectura que consume los servicios brindados por el EMPI y a su vez expone los servicios que utiliza CUENTARADIO. Este componente es necesario debido a que la implementación actual realiza la comunicación a través de Web Services SOAP, que como protocolo no tiene un buen soporte por parte de Rails por lo cual se decidió incluir el middleware.

Por otro lado, al utilizar este componente para la comunicación con el EMPI se logra generar una abstracción, con lo cual los cambios en la implementación del EMPI de SaludUy no van a impactar directamente en **CUENTARADIO**.

4.9.1 Funcionalidades

Búsqueda de persona

El servicio de consulta de persona recibe como parámetro el identificador de la persona y retorna sus datos personales de la persona con dicho identificados. Los datos retornados son los siguientes:

- Identificador
- Email
- Nombre
- Apellido
- Fecha de nacimiento
- Genero

Alta de persona

Este servicio permite agregar una persona al registro del EMPI en caso de que la misma no se encuentre en el sistema. Si bien se contempla agregar este servicio el mismo no debería ser usado por **CUENTARADIO** debido a que las personas que se van a realizar un estudio deberían estar en el sistema de salud de alguna forma. Se agregar para contemplar los casos bordes en los cuales la misma no esté.

4.9.2 Arquitectura

Arquitectura Cuentaradio-Middleware

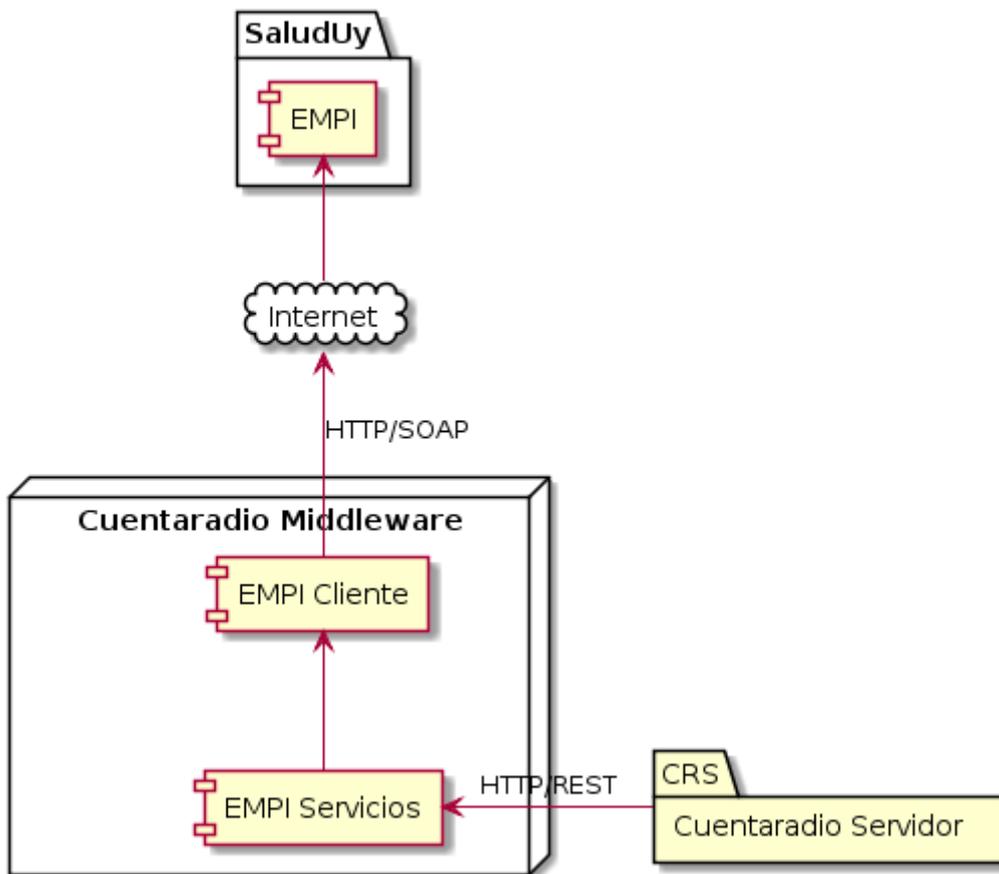


Figura 25: CUENTARADIO middleware arquitectura

El sistema cuenta con dos componentes:

- **EMPI Cliente:** Este componente es el encargado de consumir los servicios expuestos por EMPI, el mismo realiza la autenticación y luego consume los servicios correspondientes a la funcionalidad que se está Re ejecutando. La comunicación con el EMPI es atreves de internet mediante el protocolo SOAP sobre HTTP.
- **EMPI Servicios:** Este componente expone los servicios ofrecidos por el middleware al Servidor **CUENTARADIO**, mediante el protocolo REST sobre HTTP. El mismo consume las funcionalidades provistas por EMPI Cliente.

5 Modelo de datos

En este capítulo se hablará de la estructura de los datos que se utilizan para representar el sistema.

Se comienza describiendo el formato de los datos intercambiados con el sistema de salud. Luego se detallan la representación de los datos tanto en el servidor como en la aplicación móvil.

5.1 Estructura del CDA

Como se ha mencionado en los anteriores capítulos, los datos clínicos de los pacientes siguen el formato estándar HL7 V3 CDA-R2 para intercambio de documentos clínicos basado en el lenguaje estructurado XML.

Para la implementación del CDA se siguió la “Guía de implementación CDA Mínimo HL7 V3-R2” del portal Salud.uy. En dicho documento se detalla la estructura del CDA y la semántica de sus campos.

La figura 25 muestra la estructura general del CDA.

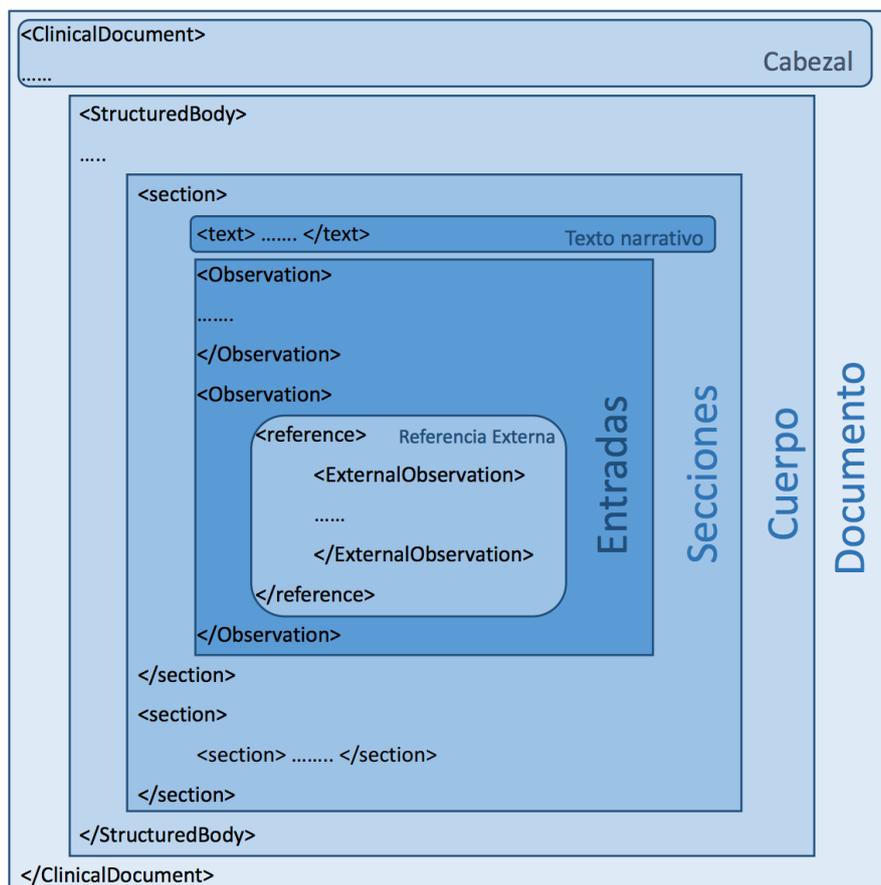


Figura 26: Estructura general del CDA

La implementación realizada se conoce como un “CDA Nivel 1”, esto quiere decir que se codifican únicamente los elementos del cabezal.

5.2 Elemento Raíz: Clinical Document

ClinicalDocument debe ser la raíz del documento al que se aplica esta guía, conjuntamente con el “namespace” definido que debe figurar como urn:hl7-org.v3 Este elemento debe estar presente como se presenta en el ejemplo siguiente:

```
<ClinicalDocument xmlns="urn:hl7-org:v3" xmlns:mif="urn:hl7-org:v3/mif"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:voc="urn:hl7-
org:v3/voc" xsi:schemaLocation="urn:hl7-org:v3 CDA.xsd" >
...
</ClinicalDocument>
```

5.3 Cabezal CDA

La cabecera identifica y clasifica el documento; proporciona información sobre la autenticación, el encuentro, el paciente y el proveedor, y establece el contexto del documento como un todo.

Elementos del cabezal:

1. typeID
2. id
3. code
4. effectiveTime
5. confidentialityCode
6. recordTarget
7. author
8. custodian

5.4 Cabezal CDA: typeID

Este elemento referencia a una estructura fija del esquema del CDA normativo del HL7 la cual debe ser incluida para dar conformidad al estándar CDA.

```
<typeId root="2.16.840.1.113883.1.3" extension="POCD_HD000040">
```

5.5 Cabezal CDA: id

Este elemento representa la identificación única del documento, de carácter obligatorio. Este atributo identifica y distingue universalmente al documento del resto de los documentos.

```
<id root="2.16.858.2.[idOrganización].[Familia de items].x"
    extension="x"/>
```

En el id debe figurar el OID de la institución de salud que generó el CDA.

Se puede utilizar la definición realizada dentro del estándar del sistema de expediente Electrónico de AGESIC, identificando al documento como "Historia Clínica Electrónica:

2.16.858.2.[IdOrganización].[67430].AAAAMMDDHHMMSS.[ConsecutivoInterno]

Ejemplo válido de id:

```
<id root="2.16.858.2.10003153.67430.20130530150748.1"/>
```

Donde:

2.16.858.2=Objetos Uruguay

10003153=Cooperativa Médica de Rocha

67430=Historia Clínica Electrónica

20130530=Fecha AAAAMMDD - ISO 8601:2004

150748=Hora HHMMSS - ISO 8601:2004

1=Consecutivo Interno

5.6 Cabecal CDA: code

Este elemento, de carácter obligatorio, representa a la clase o tipo del documento que refiere (ej: informe radiológico, nota de evolución, epicrisis, descripción operatoria, entre otros). La codificación usada y recomendada es LOINC.

```
<code codeSystem="2.16.840.1.113883.6.1" code="34133-9"
    codeSystemName="LOINC" displayName="Epicrisis - Informe al
    Alta"/>
```

5.7 Cabecal CDA: effectiveTime

Este elemento, de carácter obligatorio, representa la fecha del acto médico. Es la fecha de creación original de documento (fecha completa en que el documento empezó a existir).

La fecha y el tiempo están codificados según la norma ISO - 8601 en su forma extendida (yyyymmddhhmmss)

```
<effectiveTime value="20130830110830-0300"/>
```

5.8 Cabezal CDA: confidentialityCode

Confidencialidad normal:

```
<confidentialityCode code="N" codeSystem="2.16.840.1.113883.5.25"/>
```

Confidencialidad restringida:

```
<confidentialityCode code="R" codeSystem="2.16.840.1.113883.5.25"/>
```

Confidencialidad muy restringida:

```
<confidentialityCode code="V" codeSystem="2.16.840.1.113883.5.25"/>
```

5.9 Cabezal CDA: recordTarget

Representa la persona a la que pertenece ese documento clínico. Normalmente coincide con el sujeto sobre el que se está realizando la documentación de las pruebas/observaciones, entre otros; pero puede que no sea así, ej: una muestra de tejido, un feto, otros.

Dentro del recordTarget tenemos las etiquetas:

A. **patientRole**: Representa el rol de la persona objeto del documento, por defecto el valor que tiene es "PAT"

B. **id**: Este elemento identifica a la persona (paciente), y deberá alinearse a la GUÍA DE IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS elaborada por el programa Salud.uy.

```
<id root="2.16.858.1.858.68909.12345678"/>
```

C. **patient**: Datos personales y demográficos de la persona/paciente, siguiendo la pauta de elementos obligatorios para asegurar una correcta identificación del paciente descrita en la guía de identificación de personas.

```
<birthTime value="19541125"/>
</patient>
```

5.10 Cabezal CDA: author

El elemento author se utiliza para representar al autor (persona o máquina) del documento clínico, que en general será el médico o profesional del equipo de salud que realice el acto.

La clase author requiere los elementos:

A. **time**: Indica el tiempo en que la persona o dispositivo comenzaron su participación como autor

```
<time value="20130830113000-300"/>
```

B. **assignedAuthor**: El elemento assignedAuthor refiere al autor del documento y por lo tanto requiere un id para su identificación unívoca.

```
<assignedAuthor>
  <id root="2.16.858.2.10000675.69586" extension="3456"/>
  <!-- Identificador del profesional de la salud.
  El root 2.16.858.2.10000675.69586 identifica al registro de Profesionales como
  catálogo provisto por el SNIS, y en la extensión se encuentra el número de
  habilitación del profesional en dicho catálogo (3456).
  En caso de no contar con el número de profesional o no corresponder su
  registro, deberá utilizarse el identificador de persona definido por la UNAOID,
  sin extensión.
  <id root="2.16.858.1.858.68909.12345678"/>
-->
```

5.11 Cabezal CDA: custodian

El elemento custodian representa la organización que está a cargo de la conservación del documento. El elemento custodian es la organización a cargo del cuidado y la seguridad del documento. Todos los documentos CDA tienen exactamente un elemento custodian.

```
<custodian>
  <assignedCustodian>
    <representedCustodianOrganization>
      <id root="2.16.858.0.2.16.86.1.0.0.21270104001"/>
      <!-- Identificador de la Organización definido por la UNAOID-->
      <name>Prestador de Salud X</name>
    </representedCustodianOrganization>
  </assignedCustodian>
</custodian>
```

5.12 Cuerpo del CDA: nonXMLBody

Un elemento nonXMLBody contiene un elemento **text**, que tienen un atributo opcional **mediaType** que identifica la codificación de los datos encapsulados, e identifica un método para interpretar o presentar los datos.

Los valores preferidos para mediaType incluyen "image/gif", "image/tiff", "text/rtf", "application/pdf", "image/g3fax", "text/html", "image/jpeg", "image/png", y "text/plain", siendo este último su valor por defecto.

Un elemento text puede contener un elemento **reference** o **thumbnail**. El elemento reference tiene un atributo requerido: **value**, que contiene una URL apuntando al objeto externo.

Adicionalmente, el contenido narrativo puede incorporarse dentro del propio CDA. El atributo `representation` del tipo de datos ED permite indicar si el contenido es un texto, o una codificación en base 64. Representación en base 64 debe realizarse según codificación definida en RFC 2045.

```
<component>
  <nonXMLBody>
    <text><reference value="paciente.txt"/></text>
  </nonXMLBody>
</component>
```

5.13 CDA CUENTARADIO

Como se mencionó al principio de este capítulo el diseño del CDA utilizado por **CUENTARADIO** sigue la implementación de un CDA Nivel 1 en el que solamente se codifican los valores del cabezal. Es por esto que el CDA generado por la aplicación se conoce como “CDA mínimo”, esto es porque la información que se registra en el documento es la mínima indispensable para que este logre su cometido. Al generarse el CDA, **CUENTARADIO** genera un archivo en formato pdf con datos que identifican al paciente (nombre completo, fecha de nacimiento, género, etc.) y además con gráficas que muestran su evolución de radiación al correr de los años, así como también se muestra un listado de estudios que involucraron RI.

El CDA generado por **CUENTARADIO** posee un cuerpo no estructurado (`nonXMLBody`) que contiene la referencia al archivo pdf que contiene la información clínica del documento en cuestión.

El documento CDA generado por la aplicación se almacena en un bucket de Amazon S3 a modo de prueba de concepto. Es de interés para un trabajo a futuro guardar los archivos CDA en el XDS local y nacional.

La Figura 27 muestra el código XML que representa el CDA generado por **CUENTARADIO**.

```

<ClinicalDocument>
  <typeId root="2.16.840.1.113883.1.3" extension="POCD_HD000040"/>
  <id root="2.16.858.2.10005091.67430.20180321151917.11.1"/>
  <code code="67430" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.1" codeSystemName="LOINC"/>
  <effectiveTime value="20180321"/>
  <confidentialityCode code="N" codeSystem="2.16.840.1.113883.5.25"/>
  <recordTarget>
    <patientRole>
      <id root="2.16.858.1.858.68909.Patient"/>
      <patient>
        <name>
          <family>Mernies</family>
          <given>Ivonne</given>
        </name>
        <administrativeGenderCode codeSystem="2.16.858.2.10000675.69600"/>
        <birthTime value="19750404"/>
      </patient>
    </patientRole>
  </recordTarget>
  <author>
    <time value="20180321"/>
    <assignedAuthor>
      <id root="2.16.858.0.0.1.10.2.3.1.1.2.19"/>
    </assignedAuthor>
  </author>
  <custodian>
    <assignedCustodian>
      <representedCustodianOrganization>
        <id root="2.16.858.0.0.1.10.2.3.1.1.2.19"/>
        <name>cuentaradio</name>
      </representedCustodianOrganization>
    </assignedCustodian>
  </custodian>
  <component>
    <nonXmlBody>
      <text representation="B64" mediaType="application/pdf">
        BINARIO DEL PDF
      </text>
    </nonXmlBody>
  </component>
</ClinicalDocument>

```

Figura 27: CDA generado por CUENTARADIO

Además, el CDA incluye un PDF con el resumen dosimétrico del Paciente. Para más detalle referirse a Anexo B: Resumen Dosimétrico.

5.14 Datos Internos al servidor web y a la aplicación móvil

Referirse a Datos Internos al servidor y Datos Internos a la aplicación móvil en Anexo E: Manual del Desarrollador

6 Implementación

6.1 CUENTARADIO - Servidor

6.1.1 Tecnologías usadas

El servidor de **CUENTARADIO** se desarrolló utilizando el framework de aplicaciones web Ruby on Rails, escrito en el lenguaje de programación Ruby.[48]

Los principales factores tomados en cuenta para elegir esta tecnología fueron:

- entorno de desarrollo conocido: todos los integrantes del grupo tienen experiencia con el lenguaje y el framework, lo cual hace más rápida la implementación.
- lenguaje de código abierto: el principal beneficio es la libre redistribución de los productos implementados en esta plataforma.
- cuenta con una comunidad activa y extensa: esto resulta sumamente beneficioso para resolver problemas que puedan presentarse, ya que existe registro de miles de ellos que han sido publicados y resueltos. Además, se puede llegar a obtener una rápida y útil respuesta si surge una duda o problema desconocido.
- versatilidad para construir aplicaciones web con amplia variedad de bibliotecas disponibles.

Base de datos

Se utilizó el motor de base de datos Postgresql por ser uno de los estándares de facto para aplicaciones Ruby on Rails y que además cuenta con grandes ventajas como[49] :

- mejor soporte de la comunidad
- confiabilidad y estabilidad
- extensible
- multi plataforma
- diseñado para ambientes de alto volumen

Roles

Los roles se implementaron mediante una codificación en binario en la cual la posición del dígito se mapea a un rol. Este sistema nos permite flexibilidad en cuanto a que es fácil representar nuevos roles y además permite a varios usuarios tener varios roles.

Formalizando tenemos que:

$$N = (x_0x_1x_2 \dots x_k)_{10}$$

y, además

$$x_i = \begin{cases} 0, & \text{si el usuario no tiene el rol } i \\ 1, & \text{si el usuario tiene el rol } i \end{cases}$$

En donde k es la cantidad de roles en el sistema, y N es la representación del número binario en base 10. Este valor se almacena en la base de datos.

Concretamente en **CUENTARADIO**, al haber tres roles se necesitan tres dígitos:

$$x_0x_1x_2$$

Donde la posición 0 representa el rol paciente, la posición 1 representa el rol técnico y la posición 2 representa el rol médico.

De esta manera, recurrimos a operaciones binarias como el OR bit a bit y el AND bit a bit para poder hacer consultas sobre estos valores. Por ejemplo, para saber si un usuario tiene rol paciente y técnico se consulta por:

$$x_0x_1x_2 \text{ AND } 101 == 101$$

La otra alternativa que se pensó fue representar los roles mediante clases y asociaciones, pero la solución presentada anteriormente resultó más atractiva además de los beneficios ya mencionados y era suficiente para los propósitos del sistema.

Implementación de Diccionario Médico

Se utilizó el diccionario médico SNOMED Internacional versión del 31/01/2018 junto con la extensión española versión del 30/04/2018. Para su implementación se utilizó una base de datos no relacional para cargar su modelo de datos.

Se decidió utilizar una base de datos no relacional en principio porque disponíamos de un proyecto OpenSource que usamos como base para entender cómo realizar las consultas y contenía los scripts necesarios para cargar al base de datos en una base de datos no relacional [50]. En segundo lugar, SNOMED CT no forma parte del modelo de negocio del sistema, por lo que tiene sentido que exista una separación entre estos datos. En concreto se utilizó mongoDB por ser de mayor popularidad en relación a los otros manejadores investigados según Google Trends[51].

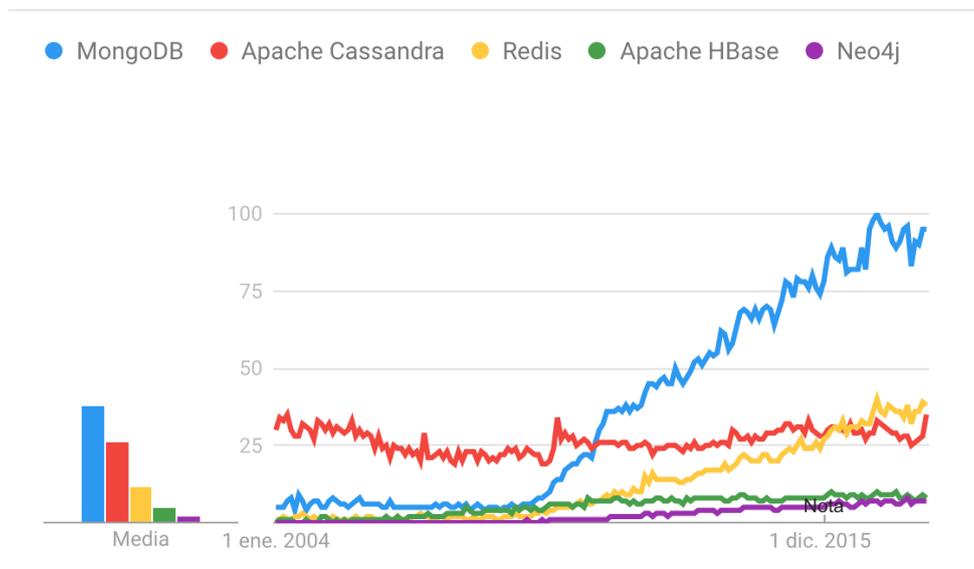


Figura 28: Grafica comparativa de popularidad en función del tiempo entre los distintos manejadores de base de datos no sql generado por GoogleTrends.

Generador de CDA

Para la generación del CDA se utilizó la gema ruby-cda la cual permite mapear clases ruby a nodo de CDA. La idea es que se instancian los nodos a utilizar mediante estas clases, realizando las asociaciones correspondientes entre las clases de manera que se genere la estructura XML apropiada. Esta librería permite la creación del documento CDA de forma fácil y conveniente, respetando el estándar del documento.[52]

Por ejemplo, tenemos que un documento clínico se genera de la siguiente manera instanciando la clase Cda::ClinicalDocument de la siguiente manera:

```
clinical_document = Cda::ClinicalDocument.new(
  type_id: build_type_id,
  id: build_id,
  code: build_code,
  effective_time: build_effective_time,
  confidentiality_code: build_confidentiality_code,
  record_target: build_record_target,
  author: [build_author],
  custodian: build_custodian,
  component: build_component
)
```

Figura 29: Código de creación de un objeto que representa un documento CDA usando clases Ruby

Se setean los atributos del nodo y además las asociaciones y luego se genera el documento mediante:

```
builder = Cda::XmlBuilder.new(clinical_document, "ClinicalDocument")
builder.xml = Nokogiri::XML::Builder.new
doc = builder.build_document
```

Figura 30: Código de generación del documento CDA a partir de una instancia.

Se utiliza un constructor de archivo XML, pasándole como parámetro la instancia del documento a generar.

Planificador de tareas de Heroku

Para poder generar los reportes anuales de las dosis de pacientes se generan CDA automáticamente. Esto se implementó mediante una tarea “rake” y el algoritmo que se utilizó fue de generar un reporte anual para cada usuario en su fecha de nacimiento para no sobrecargar el sistema y generarlos todos en un mismo momento. [53]

```
User.where(
  "created_at::date < (current_date - interval '1 year')::date AND
  to_char(birthday, 'MMDD') = to_char(current_date, 'MMDD')"
).find_each do |user|
  user.generate_cda(User.doctors.first, true)
end
```

Figura 31: Código que genera los CDA de los pacientes el día de su cumpleaños.

Envío de correos electrónicos

Para poder implementar todos los casos de uso satisfactoriamente fue necesario utilizar un servicio de entrega de correo electrónico. Se utilizó SendGrid para este motivo debido a la experiencia que tenían los integrantes del proyecto con el mismo en el ámbito profesional y además porque se hizo uso del pack estudiantil que provee la plataforma github. El mismo provee la entrega gratuita de 15000 correos electrónicos de forma gratuita.[54]

Almacenamiento Externo

Se utiliza el servicio S3 de Amazon para almacenar datos de la aplicación en Internet. El servicio es en esencia almacenamiento en internet y provee de una interfaz de servicios web simple para almacenar y obtener cualquier dato. Permite alta escalabilidad, confiabilidad, rapidez y almacenamiento barato.

Log de Actividades

Como un log de actividad puede haberse generado por varias razones, para representar el origen de la actividad se utilizó un tipo de asociación especial de Ruby on Rails llamada Asociación Polimórfica.

Una asociación Polimórfica permite asociar un objeto con varios tipos de objetos mediante la misma relación.

```
class ActivityLog < ApplicationRecord
  belongs_to :logeable, polymorphic: true
end

class Dose < ApplicationRecord
  has_many :activity_log, as: :logeable
end

class User < ApplicationRecord
  has_many :activity_log, as: :logeable
end
```

Figura 32: Modelos usando asociación polimórfica

De esta manera podemos registrar los diferentes eventos que dan origen a la actividad que se desea registrar.

A nivel de base de datos esto se representa de la siguiente manera:

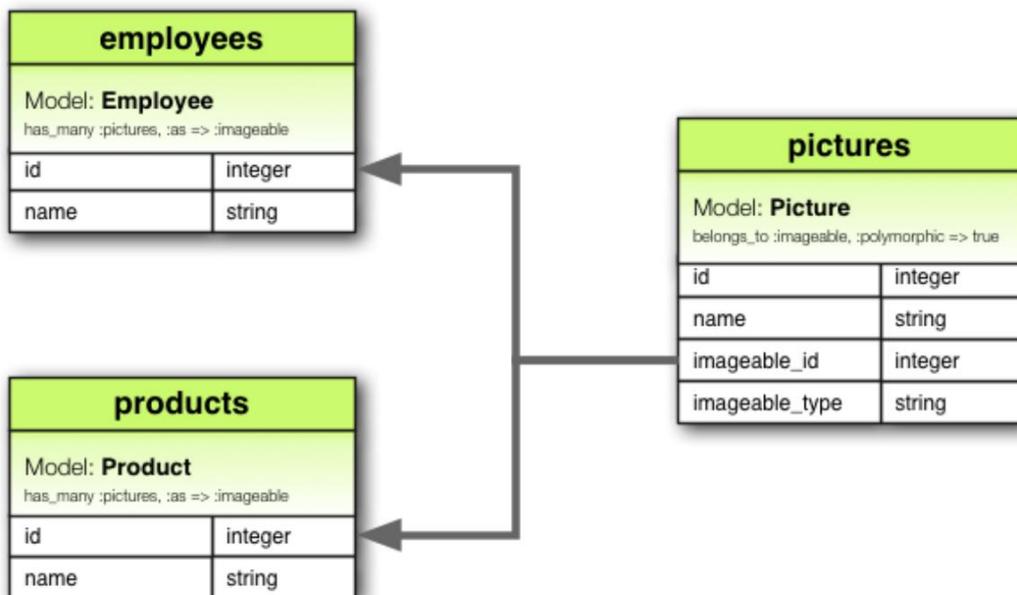


Figura 33: Modelo Entidad Relación de una asociación polimórfica

Como se puede apreciar en la Figura 33: Modelo Entidad Relación de una asociación polimórfica, se agregan los campos id y tipo para identificar a que entidad se pertenece.

Histogramas basados en agregación

Para poder mostrar los datos en función del tiempo, **CUENTARADIO** utiliza histogramas basado en agregación. Los histogramas son gráficas que representan la distribución de frecuencias. Es basado en agregación debido a que dinámicamente se crean “cubetas” (buckets o bins en inglés) sobre algún campo de dato. De esta manera se agrupan los registros en estas cubetas. Por ejemplo, en **CUENTARADIO**, el campo principal de agregación es el tiempo, entonces es posible agrupar los datos en una cantidad específica de grupos para su análisis y **CUENTARADIO** calculará el intervalo correspondiente.

La fórmula de agregación es la siguiente:

```
bucket_key = Math.floor((value - offset) / interval) * interval + offset
```

El problema que resuelve la agregación es que debido a la gran cantidad de registros de dosis que habrá en el Sistema, no es factible cargar esos datos en memoria al mismo tiempo, a menos de disponer un hardware adecuado.

Internacionalización

La internacionalización en el servidor es resuelta directamente por Ruby on Rails. Existe un directorio con archivos en formato YAML, uno por cada idioma. El formato YAML se utiliza para serializar datos. Un ejemplo de archivo de traducción puede encontrarse en la sección.

Estos archivos se cargan se deserializan y se cargan en diccionarios en memoria y luego es posible realizar las traducciones de la siguiente manera:

```
I18n.t("activerecord.attributes.dose")
```

En cada request, se setea en un header HTTP el idioma del usuario y se indica al servidor el idioma a utilizar para dicho request.

Seguridad

Al igual que la internacionalización el framework Ruby on Rails implementa mecanismos de seguridad en las aplicaciones. A continuación se describen dichos mecanismos.

- Las cookies de sesión son encriptadas de forma tal que se evita que un posible atacante pueda obtener datos o modificarla, este mecanismo no protege contra un ataque de robo de sesión, un atacante potencial podría obtener la sesión inspeccionando el tráfico a través de una red no segura y utilizarla para ganar acceso en nombre de otro usuario.

- Para mitigar el riesgo comentado en el punto anterior se configura al servidor para que utilice HTTPS, de esta forma todo el tráfico que se envía por la red va encriptado. En caso de que un atacante lo intercepte no podría obtener información útil del mismo.
- Se sanitizan los parámetros de entrada de la aplicación para evitar las inyecciones de sql y los ataques XSS

Aparte de los mecanismos provistos por Rubi on Rails se utiliza la gema devise_token_auth para gestionar la autenticación de usuarios la cual permite la creación y el accesos de usuarios.

6.2 CUENTARADIO – Administrador

6.2.1 Tecnologías utilizadas

El administrador se creó a partir de la gema “ActiveAdmin” el cual provee de un DSL para poder generar interfaces de usuario amigables en poco tiempo. Además, cuenta con fácil integración con Rails.

Este sitio permite realizar diversas tareas desde manejo de datos de la aplicación hasta configuración general de **CUENTARADIO**. Entre otros se pueden agregar usuarios, ver registros de dosis, agregar nuevos estudios médicos e instituciones.

Además, a través del sitio administrador se accede a la sección de estadísticas poblacionales en donde se puede analizar los datos que se han generado con la aplicación sobre el conjunto de la población, aplicar filtros sobre distintos parámetros como sexo, edad, institución, dosis efectiva, etc.

Estadísticas poblacionales

Las estadísticas poblacionales se implementaron usando tecnología HTML/CSS, Javascript y código Rails embebido. Las páginas web se renderizan del lado servidor y se envían al cliente.

Esta sección está compuesta por filtros aplicables sobre el conjunto de datos del sistema. Para esto se utilizó Ransack la cual es una gema para ruby que provee un DSL para poder crear consultas SQL complejas de manera gráfica.

Para la generación de gráficas se utilizó la gema chartkick la cual tiene una interfaz para el lenguaje ruby y permite generar atractivas gráficas con javascript.

Generación de Consultas SQL mediante UI

Ransack permite la creación de formularios de búsqueda simples y también complejos. Es una manera de generar consultas en la capa de presentación.

En el controlador se genera la consulta SQL a partir del parámetro “q” que proviene de la vista.

```
def index
  @q = Person.ransack(params[:q])
  @people = @q.result(distinct: true)
end
```

Y en la vista se tiene que:

```
<%= search_form_for @q do |f| %>

# busca si el campo nombre contiene..
<%= f.label :name_cont %>
<%= f.search_field :name_cont %>

# Busca si el titulo de un articulo asociado comienzo con...
<%= f.label :articles_title_start %>
<%= f.search_field :articles_title_start %>

<%= f.submit %>
<% end %>
```

Lo importante a destacar es que Ransack tiene una gran lista de “matchers”. Entre otros encontramos:

Predicado	Descripción
*_eq	igual
*_not_eq	No igual
*_matches	machea, usando LIKE
*_does_not_match	no machea, usando LIKE
*_matches_any	Machea con cualquier
*_matches_all	Machea con todos
*_lt	Menor que
*_lteq	Menor o igual que

Además, el uso avanzado de Ransack permite realizar agrupaciones complejas mediante conectores lógicos.

```
artists = Artist.ransack(name_cont: 'foo', style_cont: 'bar', m: 'or')
=> Ransack::Search<class: Artist, base: Grouping <conditions: [
  Condition <attributes: ["name"], predicate: cont, values: ["foo"]>,
  Condition <attributes: ["style"], predicate: cont, values: ["bar"]>
], combinator: or>>

artists.result.to_sql
=> "SELECT \"artists\".* FROM \"artists\"
  WHERE ((\"artists\".\"name\" ILIKE '%foo%'
  OR \"artists\".\"style\" ILIKE '%bar%'))"
```

Figura 34: Ejemplo de generación de consulta SQL usando Ransack

El código que se muestra en la Figura 34, se busca artistas cuyo nombre comience con “foo” o cuyo estilo comience con “bar”.

6.3 CUENTARADIO - Middleware

6.3.1 Tecnologías usadas

El módulo que conecta el Servidor **CUENTARADIO** con el EMPI se realizó en Java en conjunto con la librería Jersey en su versión 1.19, la cual es utilizada para desarrollar una API REST la cual va a ser el punto de comunicación con el Servidor **CUENTARADIO**.

Esta decisión fue tomada para mitigar un riesgo de tecnologías ya conocido por los integrantes. En concreto, se sabe que la versión del EMPI que maneja Salud.uy utiliza protocolos SOAP para la comunicación externa con el mismo. Por otro lado, existen pocas librerías Ruby para manejo de este protocolo y ya se ha tenido problemas en ambientes de producción por uno de los integrantes en el ámbito profesional.

Para mitigar este problema de antemano se decidió crear un módulo escrito en Java, el cual cuenta con una amplia variedad de librerías para manejo de protocolo SOAP ya utilizadas previamente por los integrantes.

6.4 CUENTARADIO – Aplicación móvil

6.4.1 Tecnologías usadas

La aplicación móvil fue creada con el framework React Native. Éste framework nos permite generar aplicaciones nativas a partir de un código en común. Las aplicaciones son escritas en el lenguaje Javascript con una extensión del mismo llamada JSX.

React Native provee de una API para comunicarnos con funcionalidades del dispositivo, así como de componentes que podemos utilizar para la aplicación que estamos desarrollando.

Además, necesitamos una manera de organizar el código. Es donde entra en juego la arquitectura Redux. Esta arquitectura se basa en mantener predecibles los estados en los que se encuentra nuestra aplicación. De esta manera, nos permite una mayor facilidad para corregir errores y comportamientos inesperados, a la vez que provee al código de una organización.

ECMAScript 6

Se utilizó la versión 6 de ECMAScript para desarrollar la aplicación móvil. Corresponde con la especificación estándar del lenguaje de programación Javascript. Es un lenguaje

de programación interpretado, se define como orientado a objetos, basado en prototipos, imperativo, débilmente tipado y dinámico.

Uso de Promesas

Para el desarrollo de la aplicación se hizo un uso extensivo de las llamadas Promesas (Promise). El objeto **Promise** (Promesa) es usado para computaciones asíncronas. Una promesa representa un valor que puede estar disponible ahora, en el futuro, o nunca.

Principalmente se utilizaron para realizar las llamadas al servidor. El beneficio fundamental de usar Promesas permite mayor legibilidad del código, evitando el anidamiento de callbacks.

```
var img1 = document.querySelector('.img-1');

img1.addEventListener('load', function() {
  // woo yey image loaded
});

img1.addEventListener('error', function() {
  // argh everything's broken
});
```

```
var img1 = document.querySelector('.img-1');

img1.then(function() {
  // woo yey image loaded
}).catch(function () {
  // argh everything's broken
});
```

Modo Offline

Para implementar el modo offline, se hizo uso del plugin `redux-persist`. El mismo guarda el estado de la aplicación en una base de datos de clave-valor asíncrona provista por `react-native`, `AsyncStorage`.

Finalmente, la aplicación realiza consultas periódicas por conectividad al servidor y cuando la consulta es exitosa, envía al servidor las dosis guardadas que estaban pendientes por falta de conectividad al momento de su realización.

Internacionalización

La Internacionalización en la aplicación móvil se implementó mediante un archivo en formato JSON con la siguiente estructura:

```
lan: {
  palabral: traduccion_de_palabral,
  palabral: traduccion_de_palabral,
  palabral: traduccion_de_palabral,
  palabral: traduccion_de_palabral,
}
```

El archivo de traducción consiste en un diccionario “lan”, indexado por palabra y cuyos valores son la traducción en el lenguaje “lan”.

Deep Linking

Deep links son URLs que llevan al usuario directamente a un contenido específico de una aplicación en concreto. **CUENTARADIO** utiliza deep links en sus correos electrónicos de registro de usuario y olvido de contraseña para dirigir al usuario a la interfaz correspondiente en la aplicación.

En el caso de los sistemas Android, esto se logra mediante los llamados “Intent”. Una Intent es un objeto de acción que se puede usar para solicitar una acción de otro componente de la aplicación.

Los Intent se declaran en el archivo Manifest.xml de la siguiente manera:

```
<intent-filter android:label="@string/filter_view_example_gizmos">
  <action android:name="android.intent.action.VIEW" />
  <category android:name="android.intent.category.DEFAULT" />
  <category android:name="android.intent.category.BROWSABLE"
/>

  <data android:scheme="cuentaradio"/>
</intent-filter>
```

Se especifica el esquema al que responde y el host. En el caso de **CUENTARADIO**, las url tendrán el siguiente formato: **CUENTARADIO://** (sin esquema).

Entonces, por ejemplo, la URL para registrar a un usuario tiene la forma:

```
cuentaRadioApp://registration_confirmation/?confirmation_token=AKF&first_name=admin&email=admin@example.com
```

Se pueden además especificar query strings en la URL.

Cuando el usuario clickea la URL en el mail, el sistema operativo identifica el esquema y abre un menú desplegable con aplicaciones que pueden ejecutar el contenido. Luego de que el usuario selecciona **CUENTARADIO**, éste sabe que fue invocado mediante un intent, parsea la ruta y los parámetros, y redirige al usuario a la interfaz correspondiente.

7 Gestión de Calidad

Para garantizar el correcto funcionamiento del Sistema a nivel general, hay ciertos puntos importantes a validar.

En primer lugar, resulta relevante que la aplicación móvil funcione correctamente en los diferentes tipos de dispositivos, diferentes versiones de Android, y que al mismo tiempo sea manejable y entendible por los médicos.

En cuanto al administrador web, las principales funcionalidades a ser probadas son las relativas a la gestión de las diferentes variables del sistema y la visualización correcta de estadísticas, verificando además que las mismas son actualizadas en tiempo real.

Debemos prestar atención a ciertos aspectos de calidad del código escrito para permitir su mantenibilidad a lo largo del tiempo.

Debemos asegurarnos que los componentes individuales del sistema funcionen correctamente para luego poder probar fuertemente la integración de los componentes y el flujo del Sistema como un todo. Para esto se deben ejecutar pruebas individuales para cada componente y además pruebas que exijan al sistema en su totalidad, haciendo funcionar a sus componentes en conjunto y bajo una situación de carga. A continuación, se explican en cada una de las secciones los puntos anteriormente mencionados.

7.1 Calidad del código

Tomamos como medida de calidad de las pruebas la cobertura de código, la cual mide el grado en que el código ha sido comprobado. En este caso se consideró que 85% del código cubierto es suficiente y el resultado fue que las pruebas cubren un 89.29% del código.

7.2 Pruebas unitarias

Se realizaron pruebas unitarias de la mayoría de los controladores relevantes del servidor. De esta manera nos aseguramos que la lógica individual del sistema funcione correctamente. Además, se garantiza la consistencia de las funcionalidades frente a cambios en el código.

Los test unitarios se programaron mediante el estándar de ruby on rails, Rspec. Este es un framework para el desarrollo orientado al comportamiento (BDD - behavior driven development en inglés) compuesto por múltiples librerías.

Se muestra en la Figura 35 un ejemplo de la metodología adoptada.

```

context 'with correct params' do
  before do
    params = {
      user: {
        identification_document: user.identification_document,
        password: password
      }
    }
    post new_user_session_path, params: params, as: :json
  end

  it 'returns success' do
    expect(response).to be_success
  end

  it 'returns the user' do
    response_expected = {
      id: user.id,
      email: user.email,
      identificationDocument: user.identification_document,
      gender: user.gender,
      firstName: user.first_name,
      lastName: user.last_name,
      birthday: user.birthday.strftime('%Y-%m-%d'),
      name: user.full_name
    }.with_indifferent_access
    expect(json[:user]).to include(response_expected)
  end

  it 'returns a valid client and access token' do
    token = response.header['access-token']
    client = response.header['client']
    expect(user.reload.valid_token?(token, client)).to be_truthy
  end
end

```

Figura 35: Ejemplo de testing unitario en Ruby on Rails, utilizando Rspec

Se crea un contexto, el cual representa un escenario particular dentro del caso de uso general (en este caso es un login con credenciales correctas). Las pruebas se programaban dentro de los bloques “it” los cuales tienen cierta expectativa que se debe cumplir para que el caso de uso pase la prueba. Por ejemplo, la primera prueba indica que se espera que la respuesta sea exitosa (la respuesta http debe tener status 200).

7.3 Pruebas Funcionales y Optimizaciones

Previo a las pruebas de usabilidad se realizaron pruebas manuales de todas las funcionalidades de la aplicación móvil. Entre las fallas más comunes se encontraron errores de renderizado y de manejo de variables internas a la aplicación que degradaban las animaciones de las transiciones, desembocando en una pobre experiencia de usuario. Sin embargo, uno de los problemas más importantes fue el tiempo de respuesta del servidor, el cual fue descubierto luego de cargar un gran volumen de datos.

En primera instancia para atacar el problema, se detectó que el tamaño de la respuesta generada por el servidor en formato JSON era muy pesada y contiene información

irrelevante, por lo que se decidió reducir las respuestas de las vistas para mitigar el problema.

```
Started GET "/api/v1/doses/a9697aa7-dc3e-487d-9981-28d76e1a29d5" for 192.168.0.100 at 2018-04-04 14:20:53 -0300
Processing by Api::V1::DosesController#show as JSON
Parameters: {"id"=>"a9697aa7-dc3e-487d-9981-28d76e1a29d5", "dose"=>{}}
Rendering api/v1/doses/show.json.jbuilder
Rendered api/v1/users/_info.json.jbuilder (5512.1ms)
Rendered api/v1/shared/institutions/_info.json.jbuilder (1.7ms)
Rendered api/v1/shared/institutions/_info.json.jbuilder (0.2ms)
Rendered api/v1/users/_info.json.jbuilder (5191.5ms)
Rendered api/v1/shared/examination/_info.json.jbuilder (4.7ms)
Rendered api/v1/users/_info.json.jbuilder (5401.2ms)
Rendered api/v1/shared/doses/_info.json.jbuilder (16143.9ms)
Rendered api/v1/doses/show.json.jbuilder (16145.7ms)
Completed 200 OK in 16561ms (Views: 16148.7ms | ActiveRecord: 0.0ms)
```

Figura 36: Tiempos de respuesta de la API del servicio de "Ver Registro de Dosis"

En la Figura 36 podemos apreciar que el tiempo de respuesta en renderizar la información de una dosis es de 16 segundos aproximadamente, claramente inaceptable.

```
Started GET "/api/v1/doses/a9697aa7-dc3e-487d-9981-28d76e1a29d5" for 192.168.0.100 at 2018-04-04 9:04 -0300
Processing by Api::V1::DosesController#show as JSON
Parameters: {"id"=>"a9697aa7-dc3e-487d-9981-28d76e1a29d5", "dose"=>{}}
Rendering api/v1/doses/show.json.jbuilder
Rendered api/v1/users/_short_info.json.jbuilder (0.6ms)
Rendered api/v1/shared/institutions/_info.json.jbuilder (0.6ms)
Rendered api/v1/users/_short_info.json.jbuilder (0.4ms)
Rendered api/v1/shared/examination/_info.json.jbuilder (10.5ms)
Rendered api/v1/users/_short_info.json.jbuilder (0.2ms)
Rendered api/v1/shared/doses/_info.json.jbuilder (47.1ms)
Rendered api/v1/doses/show.json.jbuilder (50.0ms)
Completed 200 OK in 583ms (Views: 54.6ms | ActiveRecord: 0.0ms)
```

Figura 37: Tiempos de respuesta del servicio "Ver Registro de Dosis" luego de la optimización

Luego de la optimización el tiempo de respuesta pasa a ser de 54 ms, como apreciamos en la Figura 37. En concreto, para este ejemplo, se redujo la información del paciente.

Si bien algunos endpoints mejoraron en tiempo de respuesta, no fue así el caso de los listados, los cuales tenían un tiempo de respuesta de 10 segundos en promedio.

```

Started GET "/api/v1/patients?page=1&per_page=25&query=patient&" for 192.168.0.105 at 2018-04-17 14:3
9:18 -0300
Processing by Api::V1::PatientsController#index as JSON
Parameters: {"page"=>"1", "per_page"=>"25", "query"=>"patient", "patient"=>{}}
Rendering api/v1/patients/index.json.jbuilder
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (5.3ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.6ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (4.3ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.9ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.4ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (3.0ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.4ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (3.0ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (3.3ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.9ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.5ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.4ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.9ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.6ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.7ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.4ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.3ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (3.2ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.9ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.6ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.7ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.3ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (3.5ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.6ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.5ms)
Rendered api/v1/shared/_paginated.json.jbuilder (0.5ms)
Rendered api/v1/patients/index.json.jbuilder (9538.1ms)
Completed 200 OK in 9561ms (Views: 9541.8ms | ActiveRecord: 0.0ms)

```

Figura 38: Tiempo de respuesta del servicio "Ver Pacientes"

Tras investigar se llegó a la conclusión de que el problema era la gema pg_search (que permite utilizar la función de full text search del manejador de base de datos postgres) para la búsqueda por varios criterios de pacientes.

Como primer enfoque se decidió en limitar la cantidad de criterios a solo búsqueda por documento de identidad, primer nombre y apellido. El tiempo de respuesta había sido reducido a la mitad, pero seguía dependiendo del tamaño de la tabla de pacientes. La solución era agregar índices especiales a estos campos llamados gin y gist index. Los mismos requerían convertir los campos a utilizar a tipo de dato tsvector. Se optó por una solución más simple y que se ajustaba a los requerimientos, la cual fue la de utilizar el operador LIKE junto con expresiones regulares en una sencilla búsqueda SQL, además de agregar un índice por los campos cedula de identidad, primer nombre y apellido. Los resultados fueron satisfactorios ya que el tiempo de respuesta se redujo a 180 ms en promedio, como se ve en la Figura 39.

```

Started GET "/api/v1/patients?page=1&per_page=25&query=patient&" for 192.168.0.105 at 2018-04-17 14:4
1:18 -0300
Processing by Api::V1::PatientsController#index as JSON
Parameters: {"page"=>"1", "per_page"=>"25", "query"=>"patient", "patient"=>{}}
Rendering api/v1/patients/index.json.jbuilder
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (21.2ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.9ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (14.9ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (3.5ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (3.3ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.6ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (3.7ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (3.5ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.8ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.5ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.5ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.7ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.7ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.6ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.5ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.7ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (3.2ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (3.4ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.9ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (3.0ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.8ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.9ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.4ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.7ms)
Rendered api/v1/patients/_short_info.json.jbuilder (2.8ms)
Rendered api/v1/shared/_paginated.json.jbuilder (0.6ms)
Rendered api/v1/patients/index.json.jbuilder (182.7ms)
Completed 200 OK in 202ms (Views: 186.8ms | ActiveRecord: 0.0ms)

```

Figura 39: Tiempo de respuesta del servicio "Ver Pacientes" luego de la optimización.

Además de las optimizaciones se mejoraron aspectos visuales menores en las vistas, así como también la minimización de excepciones en las vistas.

7.4 Pruebas de Usabilidad

Para la realización de las pruebas de usabilidad se trabajó con la colaboración en conjunto de los técnicos en radiología y especialistas médicos en el Hospital de Clínicas.

El área de radiología en el hospital se divide en dos grandes sectores, uno donde se encuentra el tomógrafo y el otro donde se encuentran los dispositivos de rayos, cada uno de dichos sectores cuenta con un equipo de técnicos encargados de operar con el dispositivo imagenológico en cuestión.

Las pruebas consistían en que los usuarios técnicos radiólogos descargaran la aplicación desde su celular en el Play Store para luego poder loguearse y acceder a las principales funcionalidades del sistema.

En total se registraron 15 horas de prueba para ambos sectores cubriendo los turnos de la mañana y la tarde, en que la totalidad de los usuarios manifestó aprobación en cuanto a la interfaz de la aplicación, calificándola de intuitiva y fácil de operar.

Uno de los principales puntos que destacaron fue el autocompletado de los campos según el tipo de estudio seleccionado, y la capacidad del sistema de “recordar” cuáles fueron los estudios más usados por el técnico, permitiéndole al usuario trabajar de forma rápida sin la necesidad de llenar muchos campos por cuenta propia.

Por otro lado, el principal problema que se presentó fue la poca o nula conectividad a internet que presentaba el área, que derivó en la necesidad de contar con un modo sin conexión que brinde soporte a las operaciones más relevantes del sistema como el registro de dosis.

7.5 Pruebas de Portabilidad

Es necesario comprobar que la aplicación se puede utilizar en una variada gama de dispositivos. Es por eso que mediante el uso de simuladores que emulan los dispositivos verdaderos, se realizaron pruebas de portabilidad que mismas consisten en ejecutar los distintos casos de uso de la aplicación y funcionalidades y verificar que tenían un comportamiento correcto y similar en todos los dispositivos.

Los dispositivos de prueba fueron los siguientes:

TABLA 5: DISPOSITIVOS MÓVILES Y SUS SISTEMAS OPERATIVOS CORRESPONDIENTES

Apple	Android
iPhone 8	Samsung s8/Android 7
iPhone 7	Samsung s7/Android 6
iPhone 6	Samsung s6/Android 5

Para el caso de iPhone se decidió ir hasta la versión 6 debido a que cada vez son menos frecuentes las versiones anteriores, quedando las mismas obsoletas y siendo reemplazadas por las nuevas versiones. El sistema operativo es el mismo para todas las versiones. En el caso de Android, el sistema depende del vendedor y el dispositivo. Hay numerosas variedades de sistemas operativos y dispositivos. Además, cada vendedor puede customizar el sistema operativo agregando funcionalidades extras. En primera instancia se decidió probar la aplicación sobre celulares pertenecientes a Samsung por ser una de las marcas más comunes. Además, se probaron las últimas versiones de Android que, al contrario de Apple siguen siendo utilizadas ya que dependen de la compatibilidad de cada dispositivo (dispositivos más viejos tienden a tener versiones más viejas de android).

7.6 Pruebas de Performance

El objetivo de las pruebas de performance consiste en mitigar los riesgos asociados al desempeño del sistema, en la presente sección se describe el diseño y la ejecución de las mismas.

7.6.1 Escenario de pruebas

Una parte central de las pruebas de performance es la definición del escenario que se va a simular al ejecutar las pruebas. Este escenario es un modelo automatizado que representa la interacción que realizan los usuarios reales sobre el sistema. En él se especifica, entre otros detalles, la cantidad de usuarios que van a ejecutar cada una de las funcionalidades seleccionadas, así como el tipo de usuario que realizará la ejecución.

Flujos ejecutados

Dado que el sistema es nuevo y no se cuenta con datos de uso reales, se definieron 3 flujos funcionales los cuales se seleccionaron por ser los más críticos para la operativa del sistema, a su vez dichos flujos se espera que sean los utilizados por parte de los usuarios. A continuación, se detallan los flujos automatizados.

- Flujo 1 - Login:
 - Un usuario ingresando al sistema con credenciales válidas.
- Flujo 2 - Ingreso de dosis:
 - El técnico accede a la opción Registro de dosis.
 - El técnico ingresa los datos correspondientes a la dosis a ingresar.
 - El técnico confirma la dosis ingresada.
- Flujo 3 - Consulta de dosis:
 - El médico accede a la opción Búsqueda de paciente.
 - El médico ingresa la identificación del paciente.
 - El médico selecciona un paciente de la lista de resultados.

Infraestructura bajo prueba

Se creó un ambiente exclusivo para la ejecución de las pruebas, el mismo se encuentra alojado en Heroku. El mismo cuenta con todos los componentes que se van a utilizar en el sistema de producción, pero con menor cantidad de recursos de lo que se espera debido a los costos del servicio provisto por Heroku.

En concreto, Heroku dispone de dynos que son contenedores de aplicaciones. Las características de los mismos son las siguientes:

- Si la aplicación no recibe tráfico en 30 min, el dyno entra en un estado de suspensión
- Cuentan con 512 MB RAM
- Comparte una sola CPU

- No es dedicado (pueden estar se ejecutando aplicaciones de otros usuarios)

Ejecuciones

Para las ejecuciones se definieron escenarios de 10 minutos para cada uno de los flujos automatizado. En primera instancia se ejecutó un baseline (un usuario virtual realizando varias ejecuciones) para cada flujo, con el propósito de obtener el mejor tiempo posible dado que es el único usuario interactuando con el sistema. Esta ejecución sirve para luego poder comparar las ejecuciones con más cargas y ver cuánto se degrada el sistema al aumentar la misma.

Dado que no se cuenta con datos reales en cuanto a las cantidades de usuarios que se espera que utilicen el sistema y que se presenta la restricción en cuanto al ambiente de pruebas descrita anteriormente, se definió con carga máxima para cada uno de los escenarios 100 UV (usuarios virtuales).

La metodología utilizada para alcanzar el máximo definido fue empezar con poca carga e ir aumentando gradualmente hasta llegar al esperado. De esta forma se pudieron detectar los errores más importantes en las primeras ejecuciones y refinar el sistema hasta llegar al máximo esperado. Cada ejecución tiene un tiempo de ramp-up que es el tiempo que demoran en ingresar todos los usuarios al sistema.

También se definió una ejecución que combinó todos los flujos funcionales definidos con duración de una hora. De esta forma se valida que no se presenten problemas de performance cuando interactúan varios flujos en el sistema al mismo tiempo y además realizar una prueba de mayor duración comprobar que el sistema no sufre degradación con el tiempo.

En resumen, los escenarios ejecutados fueron los siguientes:

- Escenario 100% de la carga durante 10 minutos para los tres flujos definidos con un ramp-up de 1 minuto, este escenario se ejecutará varias veces escalando gradualmente la carga en cada ejecución de la siguiente manera, 10%, 50%, 80% hasta llegar a la ejecución del 100% de la carga esperada.
- Escenario de endurance, una ejecución que combina los tres flujos durante una hora con 60 UV distribuidos de la siguiente forma:
 - 20 UV realizando el Flujo 1 - Login.
 - 20 UV realizando el Flujo 2 - Ingreso de dosis
 - 20 UV realizando el Flujo 3 - Consulta de dosis

7.6.2 Resultado de las ejecuciones

Para el análisis del resultado se decidió utilizar el percentil 90, que indica el valor por debajo del cual se encuentra el 90% de medidas y el restante 10% son mayores. Este indicador se suele utilizar para establecer criterios de aceptación, indicando que el 90% de las muestras están por debajo.

A diferencia del promedio este indicador nos permite descartar los valores extremos en un cálculo de media, que puede resultar influenciadas por los “outliers” o pocos valores con mucho peso que pueden dar lugar a una mala interpretación de los resultados.

Flujo 1 - Login

Este flujo realiza una única petición al servicio `/api/v1/users/sign_in`

En la gráfica de la Figura 40 se pueden ver los percentiles 90 de los tiempos de respuesta obtenidos durante las ejecuciones con diferente carga. Se puede ver que hay un aumento importante en los tiempos de respuestas cuando se pasa de una carga de 10 UV a 50 UV.

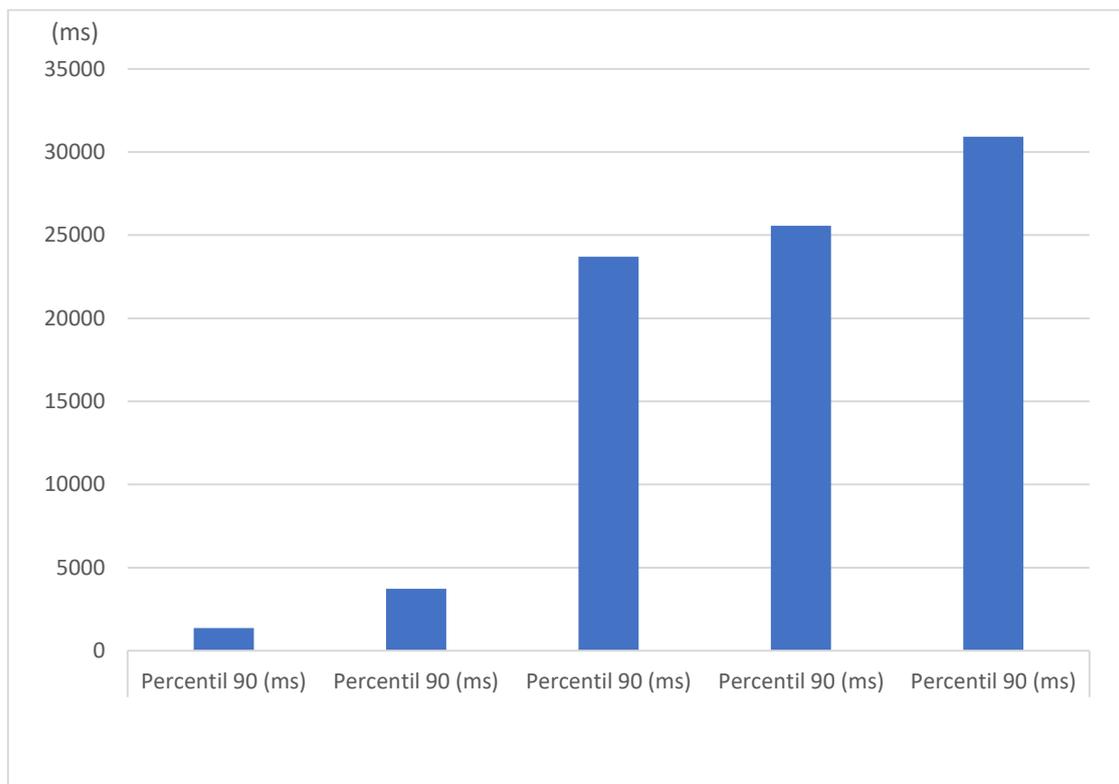


Figura 40: Flujo 1 - Login - Percentil de tiempos de respuesta

De la gráfica de la Figura 40 se detecta un aumento en los tiempos de respuesta considerable al momento de pasar de 10 UV a 50 UV, dado las limitaciones en cuanto al ambiente de pruebas es de esperarse un rápido aumento de los tiempos de respuesta al aumentar los UV. Al aumentar un 30% más de la carga este aumento en los tiempos se presenta en menor medida, pero al llegar al 100% de la carga esperada se vuelve a ver otro crecimiento importante. Caba aclarar que al momento de llegar al 100% de la carga se detectó que el 30% de los pedidos ejecutados fallaron, por lo que en este punto se considera que el sistema se encuentra saturado.

En la Figura 41 correspondiente a la ejecución con 100 UV se puede ver como los tiempos de respuestas aumentan gradualmente en el principio de la prueba, para luego mantenerse constante durante el resto de la ejecución.

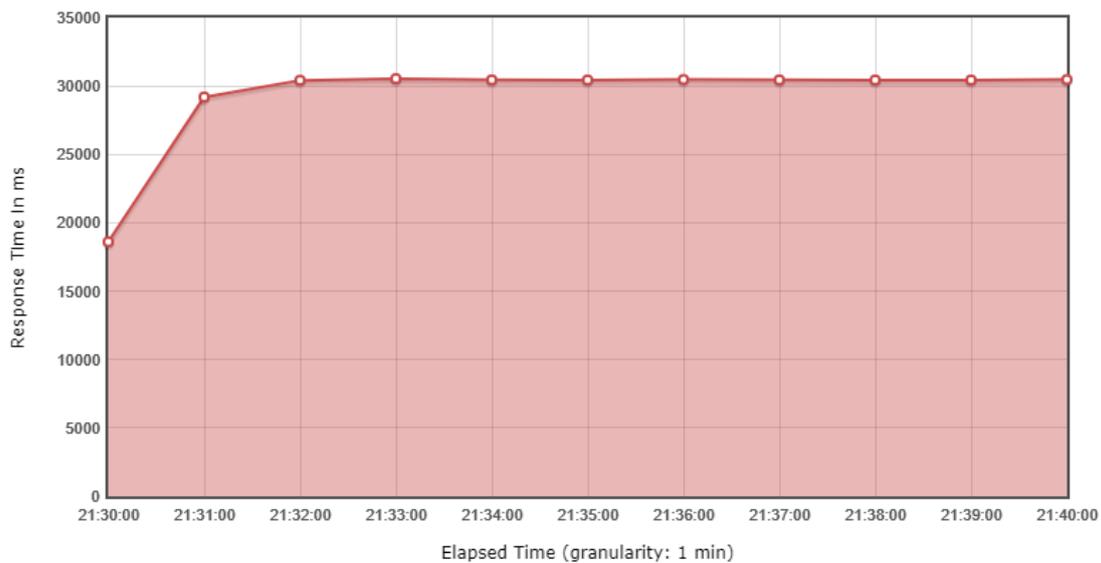


Figura 41: Ejecución 100 UV - Tiempos de respuestas en función del tiempo transcurrido. Gráfica obtenida con el software JMeter utilizado para ejecución y análisis de las pruebas

Este aumento en los tiempos corresponde al aumento en los usuarios, los cuales van aumentando en la medida que transcurre el tiempo de la prueba. Como se ven en la gráfica de la Figura 42.

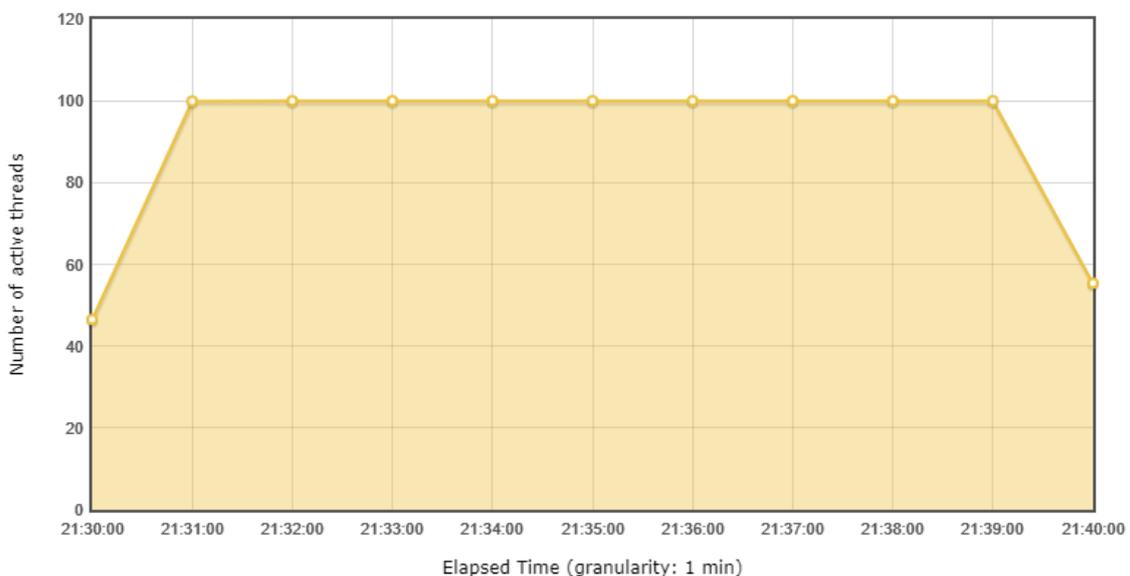


Figura 42: Ejecución 100 UV - UV activos en función del tiempo transcurrido. Gráfica obtenida con el software JMeter utilizado para ejecución y análisis de las pruebas

Se puede ver un comportamiento similar en las otras ejecuciones con menor carga.

El flujo de login es el más costoso en cuanto a uso de recursos, este flujo es particular debido a que al ser una aplicación mobile que mantiene la sesión, el escenario esperado es que se realicen en simultáneo varios inicios de sesión una única vez al momento de

la salida a producción de **CUENTARADIO** para luego bajar a ser un flujo ejecutado ocasionalmente.

Por lo dicho anteriormente se debería tener especial cuidado al momento de la salida en producción. Una opción válida sería aumentar los recursos durante la primera etapa, en otro caso se podría utilizar una estrategia para habilitar a realizar el login en distintas etapas.

Flujo 2 - Ingreso de dosis

Este flujo está compuesto por los siguientes 3 pedidos:

- /api/v1/doctors
- /api/v1/patients
- /api/v1/patients/:patientId/doses

los cuales se ejecutan en ese orden.

En este caso se puede ver que el percentil de los tiempos de respuesta correspondientes al baseline y a la ejecución con 10 UV se encuentran en el mismo orden, detectándose un ligero aumento en la ejecución correspondiente al baseline al momento de realizar el pedido /api/v1/patients. Este aumento está dado porque se obtiene un tiempo máximo al realizar el primer pedido a dicho servicio, para luego decrecer durante el transcurso de la prueba debido al uso de cache provisto por rails. Dado que la ejecución correspondiente al baseline realiza menos pedidos, al momento de calcular este comportamiento impacta al momento de calcular los percentiles 90. Un comportamiento similar, pero en menor medida ocurre en el pedido /api/v1/doctors.

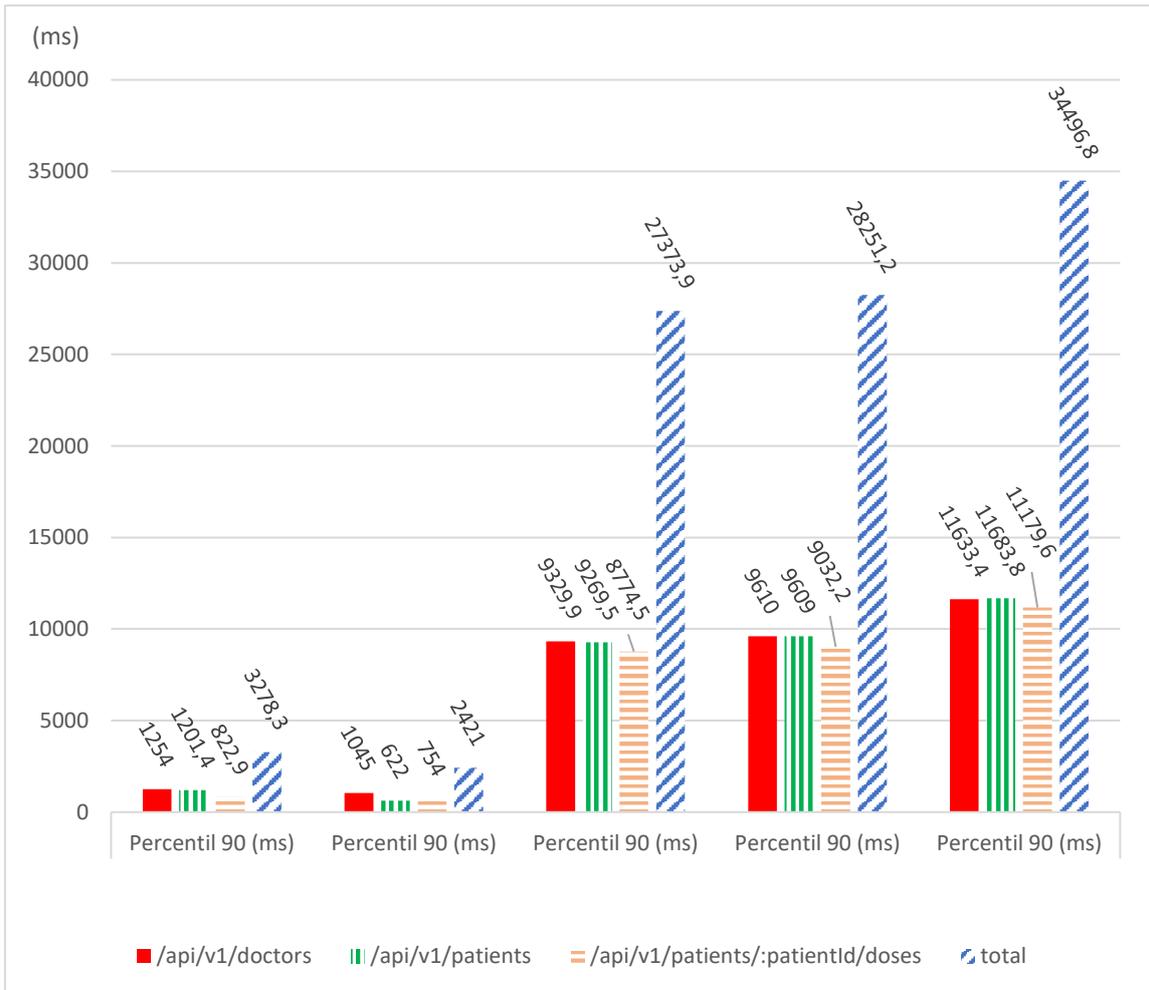


Figura 43: Flujo 2 - Ingresar Dosis - Percentil de tiempos de respuesta

El comportamiento antes mencionado se puede ver en la gráfica de la Figura 44 que muestra los tiempos de respuesta a lo largo de la prueba.

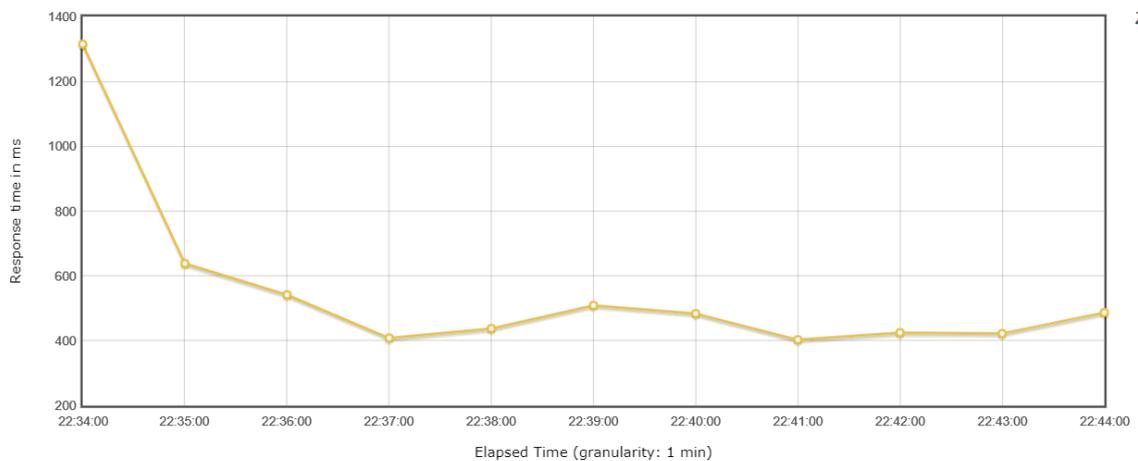


Figura 44: Flujo 2 – Ingreso de Dosis – 10 UV tiempos de respuestas en función del tiempo transcurrido. Gráfica obtenida con el software JMeter utilizado para ejecución y análisis de las pruebas

Luego en las ejecuciones posteriores al aumentar la carga (a partir de 50 UV) se detecta que el sistema se degrada de la misma forma que se vio en la ejecución del Flujo 1 - Login. A partir de este punto empiezan a ocurrir errores al momento de consumir los servicios, por lo que en este punto el sistema no está respondiendo correctamente.

Flujo 3 – Consulta de dosis

Este flujo está compuesto por 2 pedidos ejecutados en el siguiente orden:

- /api/v1/user/doses?
- /api/v1/doses/:doseId

En este caso se vuelve a repetir el comportamiento descrito en el Flujo 2 pero con un aumento en los tiempos de respuesta menor. Se vuelve a detectar que la ejecución correspondiente a 10 UV tiene tiempos de respuesta menores a los obtenidos en el baseline.

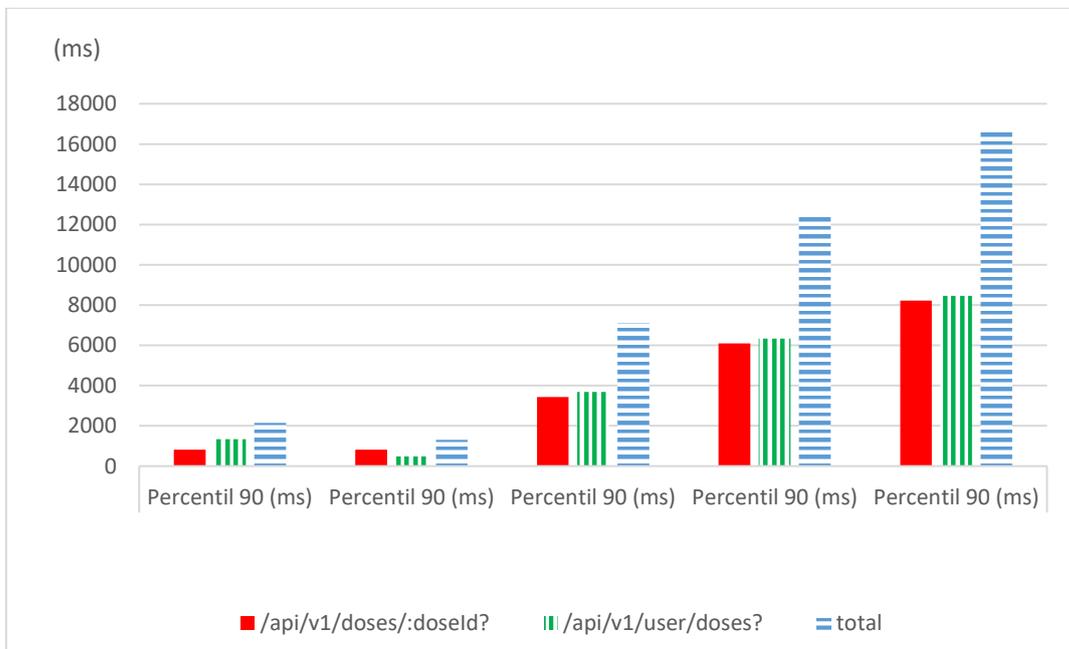


Figura 45: Flujo 3 - Consulta de Dosis - Percentil de tiempos de respuesta

En este caso se puede ver que el pedido `/api/v1/user/doses?` disminuye los tiempos de respuestas a lo largo de la prueba mientras que el pedido `/api/v1/doses/:doseId` se mantiene constante.

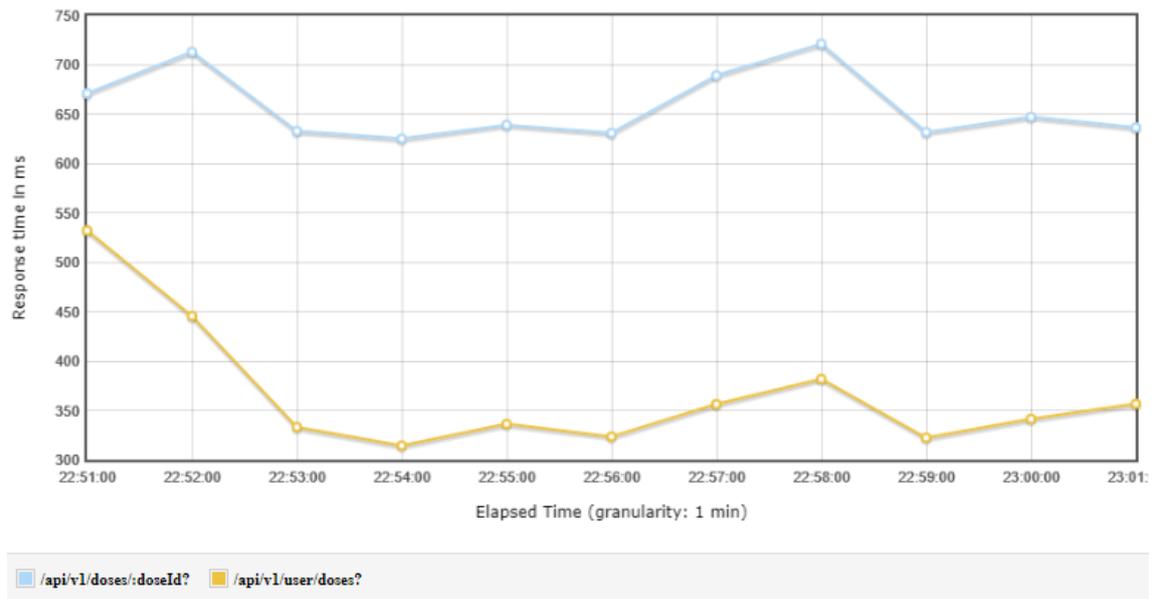


Figura 46: Flujo 3 – Consulta de Dosis – 10 UV tiempos de respuestas en función del tiempo transcurrido. Gráfica obtenida con el software JMeter utilizado para ejecución y análisis de las pruebas

En este caso si bien hay un aumento en los tiempos de respuestas el mismo no es tan elevado como en los dos flujos anteriores. Peor de todas formas se ve una degradación importante del sistema.

Prueba de endurance

El objetivo de las pruebas de endurance es determinar si el sistema presenta degradación con el tiempo, como podría ser un memory leak. Estos escenarios ejecutan una carga moderada durante un periodo de tiempo mayor al resto de las pruebas.

En esta prueba se ejecutó una carga de 60 UV, en las otras 3 ejecuciones con una carga de 50 UV se notaba un deterioro importante en los tiempos de respuestas, esto se vuelve a repetir en esta ejecución. En la siguiente grafica se puede ver una comparación de los tiempos de respuestas de los baselines de cada flujo con los tiempos de respuesta de la prueba de endurance.

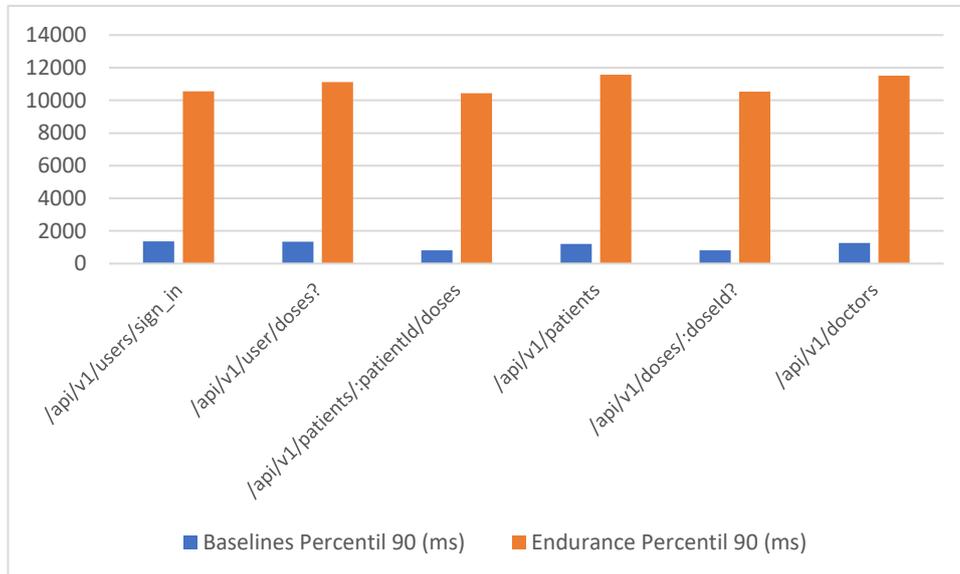


Figura 47: Comparación de tiempos de respuesta

Si bien este es un dato importante, este comportamiento ya se había detectado en las pruebas con menor carga. En este caso lo que interesaba probar fue si se presentaba degradación a lo largo del tiempo. Como se puede ver en la siguiente grafica esta degradación no existe, los tiempos de respuesta de todos los pedidos se mantiene constante luego del momento en el cual están todos UV interactuando con el sistema.

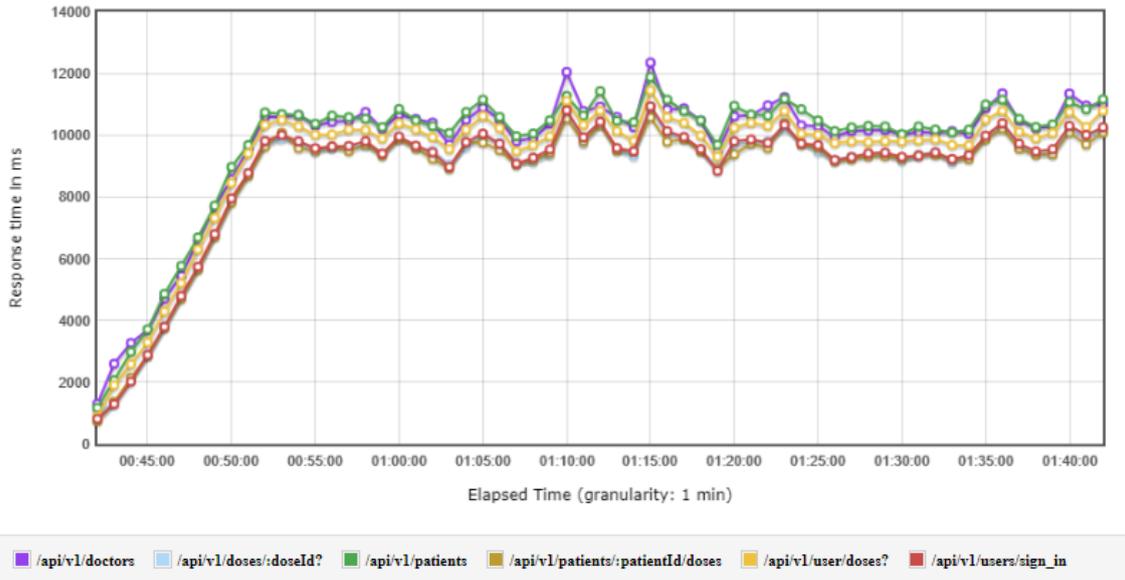


Figura 48: Tiempos de respuesta prueba de endurance

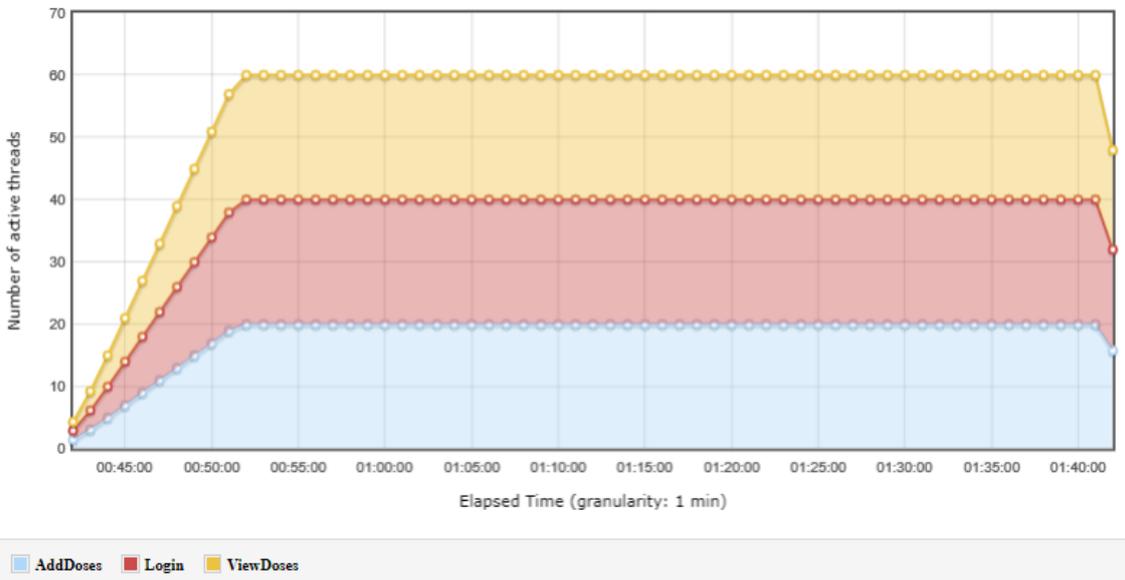


Figura 49: Usuarios activos prueba de endurance

Conclusiones

- La infraestructura actual no soporta una carga elevada, esto se debe a que se está utilizando un ambiente gratuito de Heroku, compartido con otros sistemas. Se deberían repetir las pruebas de performance en un ambiente dedicado y con mayor cantidad de recursos para poder determinar qué infraestructura sería necesaria para el sistema en producción.

- Los flujos 1 - Login y 2 - Ingreso de dosis son los que más exigen al sistema, el flujo 3 - Consulta de dosis utiliza menos recursos que los anteriores.
- No se detectaron indicios de degradación a lo largo del tiempo durante la ejecución de una hora.
- El funcionamiento de la memoria cache al momento de realizar las búsquedas funciona correctamente y presenta beneficios para el sistema.

8 Tutorial de CUENTARADIO App

Esta sección tiene como objetivo introducir a nuevos usuarios en el manejo de la aplicación. Se comienza presentando los tipos de usuarios y sus credenciales de prueba. Luego para cada tipo de usuario se presentan las funcionalidades más importantes que la aplicación provee.

La aplicación se puede descargar desde Google Play accediendo al siguiente enlace:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.CUENTARADIO>

8.1 Login

La aplicación permite el acceso tanto a médicos, técnicos y pacientes (Usuarios). Las credenciales de prueba de los mismos son:

ID	Contraseña
Patient	12345678
Technician	12345678
Doctor	12345678



Universidad de la República
Uruguay
nib
núcleo de ingeniería biomédica

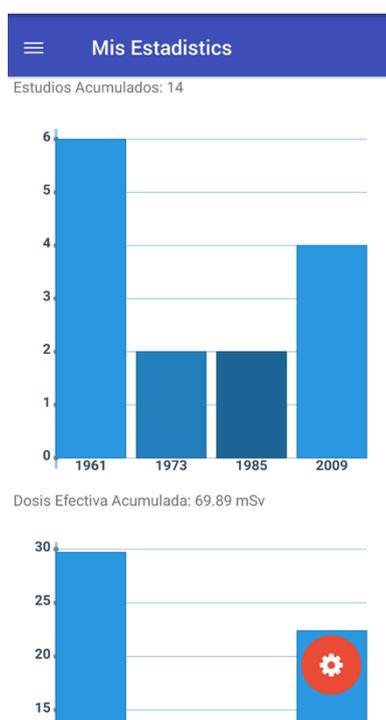
 **CuentaRadio**

[Forgot password?](#)

8.2 Paciente

Se presentan las funcionalidades de un Usuario de la aplicación.

8.2.1 Ver Estadísticas



La primera pantalla que el usuario ve es la de sus estadísticas. A menos que el usuario no tenga ninguna dosis ingresada, se muestran graficas correspondientes a su dosis efectiva acumulada a través de los años y la cantidad de exámenes.

8.2.2 Historial de dosis y Detalles de Dosis

El usuario puede consultar su historial de dosis desde el menú y presionando “Historial de Dosis”. Luego puede ver el detalle de cada una presionando el respectivo registro.

Historial de Do...
tomografía computarizada de pared abdominal Dosis efectiva: 0.4 mSv Creado: 16/05/2018
tomografía computarizada de pared abdominal Dosis efectiva: 10 mSv Creado: 16/05/2018
tomografía computarizada de pared abdominal Dosis efectiva: 10 mSv Creado: 16/05/2018
tomografía computarizada de cráneo Dosis efectiva: 2 mSv Creado: 26/10/2017
tomografía computarizada de tórax Dosis efectiva: 2.175 mSv Creado: 01/07/1996
tomografía computarizada, densitometría ósea Dosis efectiva: 8.902 mSv Creado: 26/03/1988

← Versiones
Paciente Patient Miguel Falero
Fecha del estudio 16/05/2018
Tipo de estudio tomografía computarizada de pared abdominal
Dosis efectiva (mSv) 0.4
Doctor Doctor Einar Kovacek
Tecnico Technician Jeremie Tremblay
Notas Clinicas

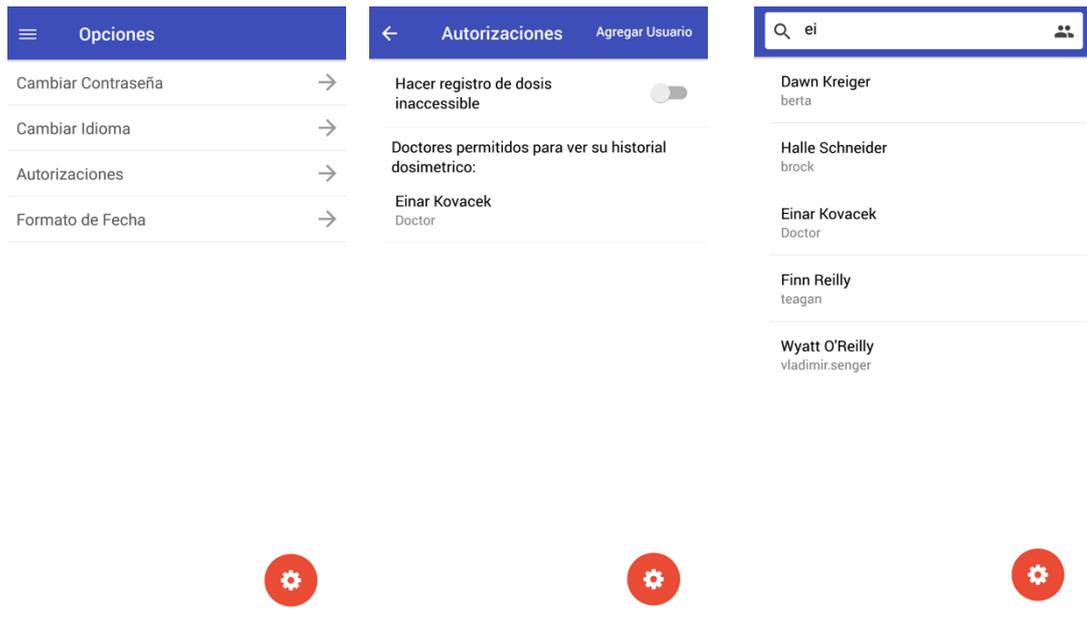
8.2.3 Log de Actividades

Desde el menú, ingresando a Log de Actividades, se puede ver el registro de actividades. En concreto, se muestran los ingresos y modificaciones de registros de dosis del usuario y accesos al historial de dosis del usuario.

Log de Activid...
Jeremie Tremblay ha actualizado el registro de dosis de tomografía computarizada de pared abdominal de Miguel Falero el 25/05/2018
Einar Kovacek ha accedido al historial dosimetrico de Miguel Falero el 16/05/2018
Jeremie Tremblay ha actualizado el registro de dosis de tomografía computarizada de pared abdominal de Miguel Falero el 16/05/2018
Jeremie Tremblay ha registrado una dosis el 16/05/2018
Jeremie Tremblay ha registrado una dosis el 16/05/2018
Jeremie Tremblay ha registrado una dosis el 16/05/2018
Einar Kovacek ha accedido al historial dosimetrico de Miguel Falero el 11/05/2018

8.2.4 Dar Permiso a Médico

Para que un médico pueda tener acceso al historial de dosis de un usuario, es necesario que el usuario le de autorización. Para ello, el usuario debe ingresar desde el menú a opciones, autorizaciones y agregar al médico. En autorizaciones se muestra la lista de médicos habilitados. Además, se puede deshabilitar el acceso a los registros de manera global mediante el botón “Hacer registro de dosis inaccesible”.



8.3 Técnico

El técnico tiene las mismas funcionalidades que un usuario común además de las funcionalidades que se describen a continuación.

8.3.1 Ingresar Dosis

Desde el menú ingresar a “Registrar Dosis”. El Técnico busca a un paciente (similar a búsqueda de médico), selecciona un procedimiento presionando debajo de “Tipo de estudio”; un valor de dosis efectiva es sugerido pero el técnico puede modificarlo si lo desea; puede seleccionar un médico que prescriba el estudio, escribe algún dato clínico relevante y selecciona el dispositivo medico con la que se está trabajando. Finalmente presiona “Registrar Dosis”.

Q Buscar 

tomografía computarizada de pared abdominal

tomografía computarizada de colon

pielografía intravenosa sin examen radiológico de riñón, uréter y vejiga

radiografía diagnóstica seriada del tubo digestivo superior

radiografía de la columna cervical

radiografía de las partes blandas del brazo

tomografía computarizada de cráneo

tomografía computarizada de cabeza sin contraste (procedimiento)

tomografía computarizada de columna vertebral cervical 

Paciente
68140498

Julio Patiño

Tipo de estudio
tomografía computarizada de colon

Dosis efectiva (mSv)
6

Doctor
Doctor
Einar Kovacek

Notas Clinicas

Modalidad
Hospital de Clinicas - ASPIRE Cristalle

 Registrar Dosis

8.3.2 Ingresar Dosis en Modo Offline

Si el usuario tiene poca o nula disponibilidad a Internet, la aplicación se lo indica. En este caso solo necesita especificar el documento de identidad del paciente. Al presionar “Registrar Dosis”, la aplicación le indica que su dosis ha sido guardada. Cuando se retome la conectividad, las dosis almacenadas son enviadas al servidor automáticamente.

☰ Registrar Dosis Más usados

Paciente

Tipo de estudio
tomografía computarizada de colon

Dosis efectiva (mSv)
6

Doctor
Doctor
Einar Kovacek

Notas Clinicas

Modalidad
Hospital de Clinicas - ASPIRE Cristalle 

You are offline

Paciente

Tipo de estudio

Dosis efectiva (mSv)

Exito
La dosis ha sido guardada

OK

Modalidad

Registrar Dosis 

You are offline

Las dosis guardadas para su posterior envío se pueden ver en la sección “Dosis Pendientes”. El usuario puede ver si hay dosis aun por procesar debido a que alguna de ellas presenta algún error.



8.3.3 Dosis Registradas

El técnico puede acceder a los registros de dosis que él ha registrado desde el menú, ingresando a “Historial de Dosis Registradas”.

8.3.4 Exposición Ocupacional

El técnico puede registrar su exposición ocupacional mensual desde el menú, ingresando a “Exposición Ocupacional”. Se muestran los registros que el técnico registro. A la hora de registrar, selecciona el mes y la dosis efectiva. Si registra un mes ya ingresado, se sobre-escribe con el ultimo valor ingresado.



8.3.5 Cambiar Institución

El usuario puede cambiar la institución donde está trabajando actualmente desde el menú ingresando a “Opciones” o mediante el menú rápido, (tuerca, botón rojo), presionando “Cambiar Institución Actual”.



No hay información disponible para mostrar.

A medida que se ingresen tus datos de radiacion en el sistema, habrá información, así como:

Cambiar Idioma

dosis, estadísticas, tu dosis efectiva acumulada, entre otros.

Cambiar Institucion Actual

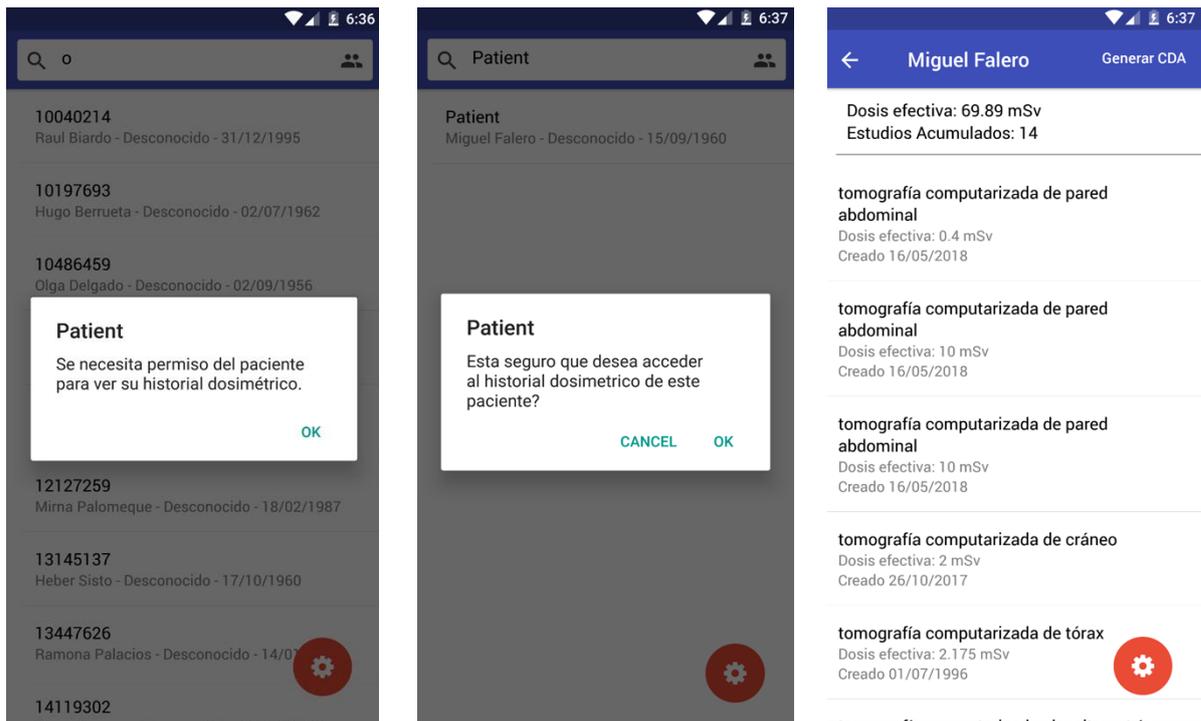
Agregar Nuevo Paciente



8.4 Médico

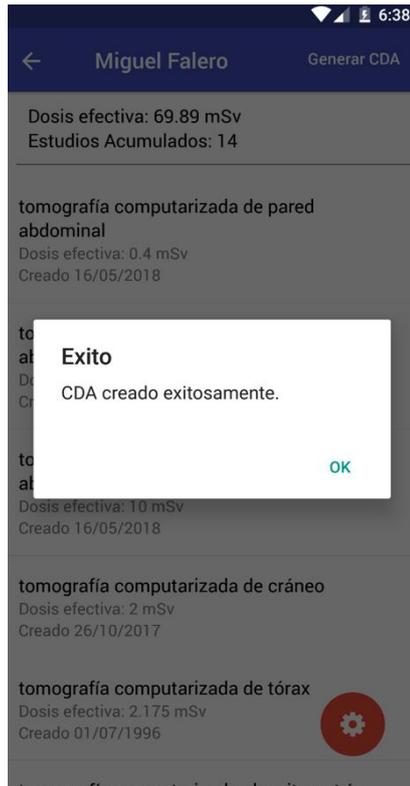
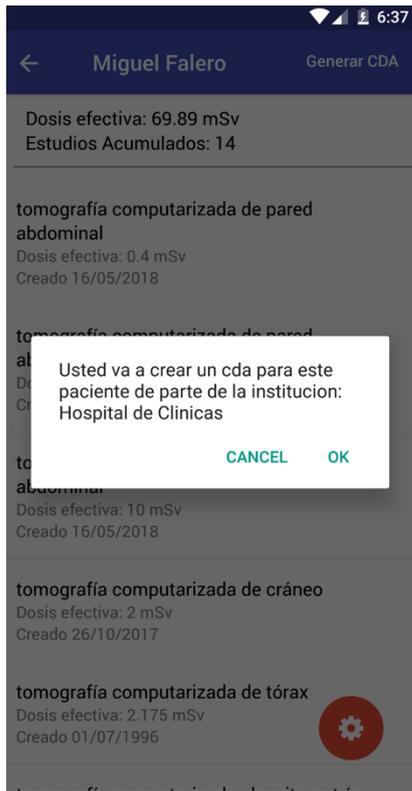
8.4.1 Buscar Paciente y Ver Historial

El médico puede buscar un paciente (desde el menú, ingresando a “Buscar Paciente”) pero debe tener autorización por parte del paciente (como se mencionó en secciones anteriores). Sino tiene autorización la aplicación le muestra un mensaje correspondiente.



8.4.2 Generar CDA de un Paciente

El Médico puede generar un CDA a demanda con la información dosimétrica del paciente. Para ello presiona “Generar CDA” desde el historial de dosis del paciente, el sistema le indica si desea confirmar la acción y al finalizar le indica en caso de éxito.



9 Gestión del proyecto

9.1 Descripción

El proyecto **CUENTARADIO** fue llevado a cabo en plena colaboración conjunta de sus integrantes, mediante reuniones semanales y además trabajo remoto. Las reuniones semanales cumplieron el propósito de integración de conocimientos durante todo el proyecto, así como también de desarrollo en los meses de desarrollo del software.

Para el desarrollo del proyecto fueron importantes las reuniones interdisciplinarias con los tutores del proyecto, la Dra. Olga Lillo docente de Biofísica y Clínica en Radioterapia, el Ing. Antonio López Arredondo de Informática Médica y el Ing. Franco Simini, además de incluir reuniones con docentes médicos, docentes técnicos radiólogos y profesionales del programa Salud.uy ocasionalmente. El concepto de “cliente” del proyecto fue sustituido por la colaboración interdisciplinaria que permitió avanzar en la conceptualización original de **CUENTARADIO** que no hubiera sido posible siguiendo el esquema de separación de saberes y de responsabilidades.

9.2 Proceso de Desarrollo

Se adoptó una fusión entre metodologías ágiles y en cascada para el desarrollo de **CUENTARADIO**. No se siguió una metodología particular como Scrum, Extreme Programming o RUP (Rational Unified Process), sino que se adoptaron los conceptos y principios de las mismas, adaptadas a las necesidades propias del proyecto.

La primera fase del proyecto se caracterizó por seguir una metodología en cascada, en la cual se siguieron las etapas clásicas, las cuales fueron: Investigación, Estado del Arte, Análisis, Diseño, Implementación y Verificación.

Dentro de la fase de Implementación se adoptó un enfoque ágil caracterizado por:

- La constante validación por parte del cuerpo interdisciplinario
- Organización de desarrollo en base a sprints. Un sprint consiste en la planificación previa de los features que se van a desarrollar, seguido de la implementación y finalizando con la validación.
- En esta fase se consideró el cambio de requisitos como algo normal, rápidamente actuando proactivamente por satisfacer las necesidades que el proyecto requería.
- El trabajo fue en conjunto con el cuerpo interdisciplinario, quienes aportaban valor al producto mediante feedback y conocimiento médico.
- Siempre se entregó un software funcional

9.3 Hitos importantes del proyecto

Se enumeran a continuación los diferentes hitos que han marcado diferentes etapas del proyecto.

3/3/2016 - Postulación al proyecto de grado

21/04/2016 - Definición de alcance con el tutor

13/10/2016 - Presentación del proyecto y de un prototipo inicial en Ingeniería de Muestra

8/12/2017 - Reunión de consolidación del trabajo con cuerpo médico y tutores (Olga Lillo, Mariella Terán, Víctor Ezquerro, Liliana Servente)

9.4 Cronograma

Abril 2016 – Agosto 2016 – Investigación del estado del arte, así como también estudio de conceptos relacionados a la radiación.

Septiembre 2016 – Noviembre 2016 – Especificación de Requerimientos, definición de casos de uso. Preparación para ingeniería de muestra y prototipado.

Febrero 2017 – Abril 2017 – Diseño de casos de uso, definición de arquitectura de la aplicación, diseño de interfaces de usuario.

Mayo 2017 – Noviembre 2017 – Definición de tecnologías a utilizar, implementación del sistema completo.

Diciembre 2017 – Pruebas de usabilidad con técnicos radiólogos.

La gráfica a continuación muestra la cantidad de horas utilizada para las distintas tareas a lo largo del transcurso del proyecto.

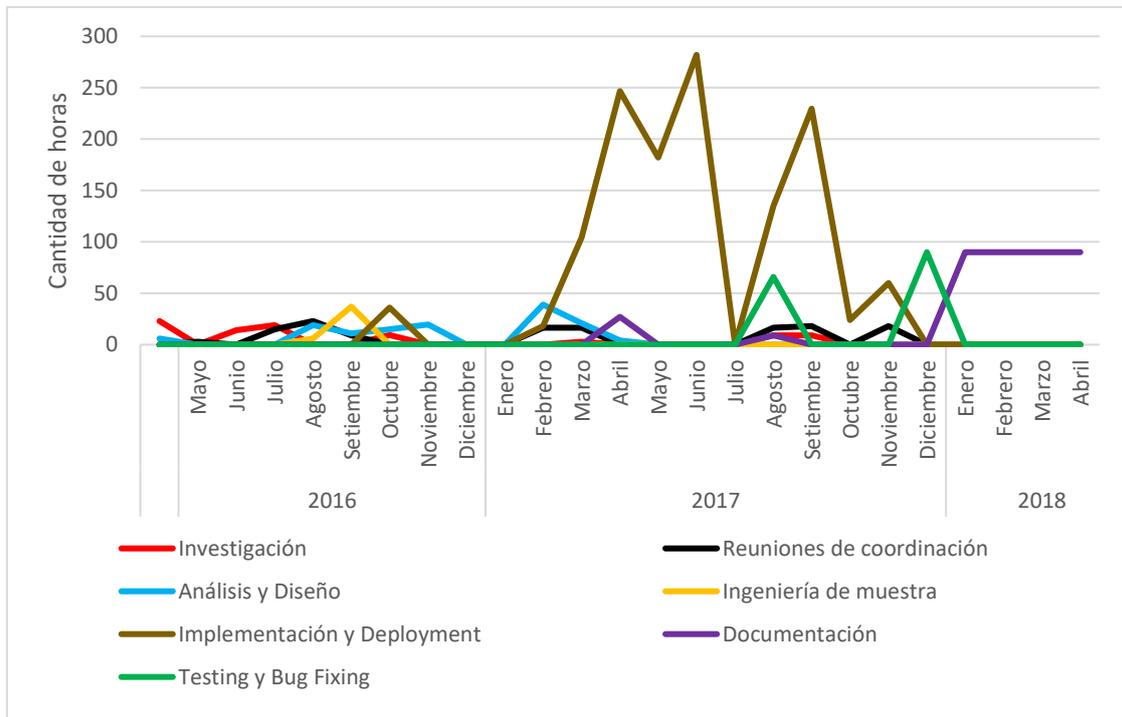


Figura 50: Grafica de cantidad de horas a lo largo del tiempo por tarea

En total se ejecutaron 2269 horas a lo largo del proyecto, en la Figura 50 se puede ver cómo fueron distribuidas dichas horas en las distintas tareas.

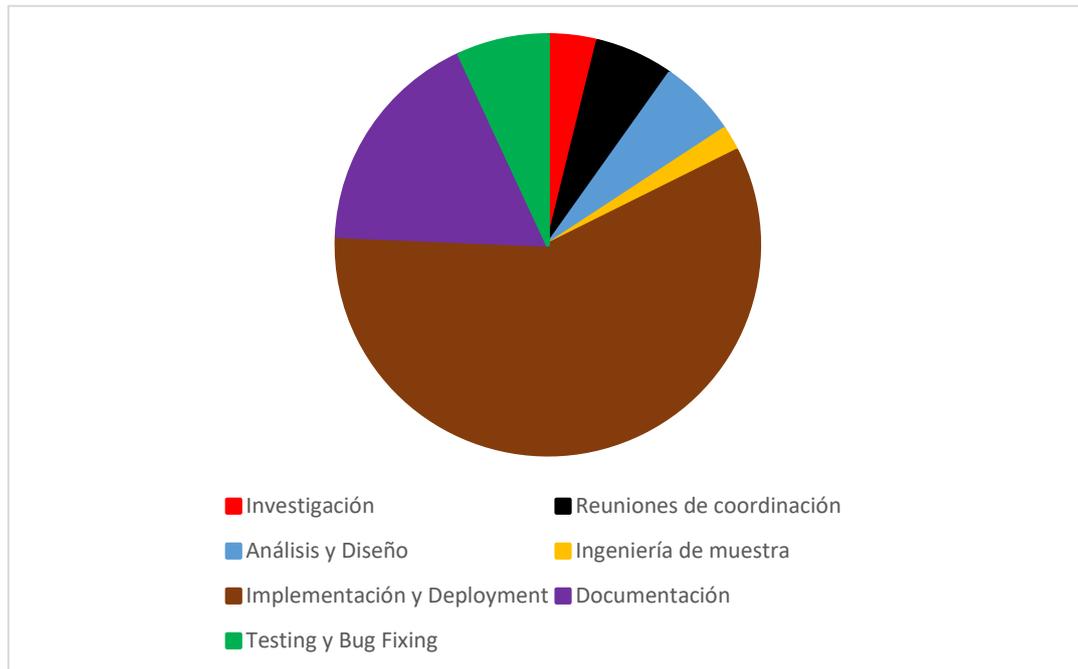


Figura 51: Distribución de horas entre las tareas

9.5 Implementación

Se presentan gráficas que corresponden a la dedicación invertida en la etapa de implementación tanto sobre el servidor como en la aplicación móvil. Como medida se utilizó el commit. Un commit corresponde un conjunto de cambios realizados sobre el código que se está desarrollando. Las gráficas a continuación corresponden al año 2017.

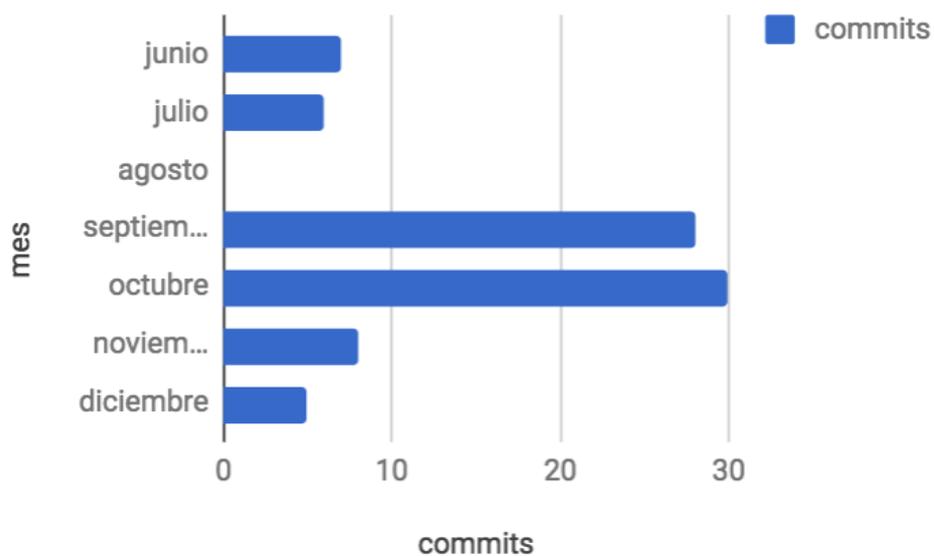


Figura 52: Gráfica de commits del servidor por mes

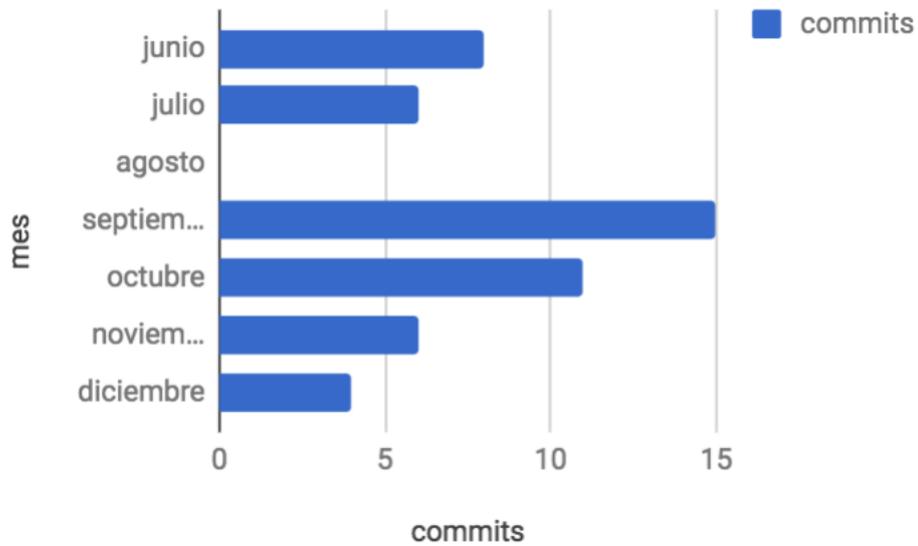


Figura 53: Gráfica de commits de la aplicación móvil por mes

Se puede apreciar en las gráficas de la Figura 52 y Figura 53 como la intensidad del trabajo aumenta, alcanzando su mayor valor en los meses de septiembre y octubre, en donde se desarrolló el núcleo de ambos, el servidor y la aplicación. Los meses restantes fueron dedicados a depurar errores.

10 Conclusiones y trabajo a futuro

10.1 Conclusiones

El prototipo de **CUENTARADIO** construido cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados al comienzo del proyecto: registrar las dosis de radiación ionizante impartidas a los pacientes en estudios de imagenología, ingresar el registro de la RI recibida para su posterior ingreso por decisión de un médico a la Historia Clínica Electrónica del paciente, y a su vez generar en tiempo real estadísticas poblacionales. Queda demostrado de esta manera que la realización de un sistema de estas características es técnicamente factible.

CUENTARADIO cumple un papel innovador en Uruguay y en el mundo al registrar las dosis de radiación de sus ciudadanos. Desde el punto de vista internacional, nos posicionamos a la vanguardia junto a países como Suiza, Chile, Canadá, Reino Unido, Estados Unidos, Francia, entre otros.

El resultado del proyecto es el punto de partida para la contribución de información relevante para asesorar tanto al equipo de salud como a las personas expuestas, pero además permite el intercambio y la cooperación entre países que recorren la mismo camino.

Por otro lado, la solución intentó adaptarse a los estándares propuestos por el programa SALUD.UY para, entre otros, promover la integración con la historia clínica nacional (HCEN). Sin embargo, la investigación concluyó que es necesaria una mayor madurez del programa para poder acoplarse satisfactoriamente al inus (ex EMPI) y a los repositorios de HCEN.

Para que **CUENTARADIO** aporte un valor agregado real al registro dosimétrico nacional es necesario un compromiso entre los técnicos radiólogos que utilizaran la aplicación en la realización de estudios de imagenología; los médicos que podrán usar el sistema como una herramienta de evaluación para el paciente; así como también de las instituciones para apoyar la iniciativa.

10.2 Dificultades encontradas

CUENTARADIO necesitaba una medida para poder cuantificar la dosis absorbida por los usuarios durante estudios de imagenología con radiaciones ionizantes. Debido al aspecto innovador de esta medida no fue fácil. Además, debía conformar con los estándares médicos y debía ser factible de obtener en la práctica del técnico radiólogo

Debido a que el programa SALUD.UY se encuentra en etapas de desarrollo, no fue posible la integración de los servicios que provee la plataforma. Es muy posible incluso que se deban adaptar los servicios que consume **CUENTARADIO** del ambiente de pruebas local para contemplar los cambios que la plataforma provea.

10.3 Trabajo a futuro

En esta sección se presentan mejoras posibles al sistema creado, así como extensiones, que permitan mejorar la calidad de información obtenida y mejoras a la experiencia de usuario.

10.3.1 Algoritmo de Montecarlo para cálculo de dosis

La técnica de Montecarlo es el método más preciso para el cálculo de dosis en tratamiento de radioterapia. Es por eso que **CUENTARADIO** se beneficiaría al incorporar esta funcionalidad al sistema.

10.3.2 Integración con dispositivos de imagenología

Para facilitar aún más el proceso de registro de dosis por parte de los técnicos y a su vez minimizar el riesgo de error humano a la hora del ingreso de datos, es posible interconectar los dispositivos de imagenología al sistema. No se pudo contar con un relevamiento adecuado para poder realizar esta integración, pero se espera que a futuro sea posible.

10.3.3 Uso de cédula de identidad electrónica

Se pueden aplicar todos los beneficios de la nueva cédula de identidad electrónica a **CUENTARADIO**, como por ejemplo la firma digital. Esto permitirá verificar la veracidad de la persona que genera el documento CDA, que se almacena como una página más dentro de la historia clínica electrónica del paciente.

10.3.4 Generación de alertas sobre estadísticas

En futuras versiones de la aplicación se podría aprovechar la generación de estadísticas en tiempo real para generar notificaciones y alertas cuyos destinatarios podrían ser actores del Sistema Nacional de Salud. Estas notificaciones podrían alertar cuando se supera un umbral de radiación a la población del país, cuando se ha incrementado la cantidad de estudios para un paciente en particular, etc.

11 Lecciones Aprendidas

La tabla siguiente lista las lecciones aprendidas durante el Proyecto **CUENTARADIO**. Estas lecciones esta categorizadas por etapa del proceso y se proporcionan descripciones, impactos, y recomendaciones para proyectos futuros. Se incluyen tanto fracasos como éxitos.

Categoría	Nombre	Descripción	Impacto	Conclusión/Recomendación
Investigación	Desconocimiento del Tema a desarrollar	Los integrantes del proyecto no poseían el conocimiento adecuado del tema. En concreto, se requerían conceptos de medicina, radiación ionizante y radioproteccion .	Imprecisión a la hora de desarrollar los requisitos del sistema, así como también del alcance.	Mejorar las habilidades de investigación que se requieren para llevar adelante un proyecto interdisciplinario.
Investigación	Búsqueda de información confiable.	Falta de experiencia en la búsqueda de fuentes de información confiables.	El valor científico del proyecto se ve comprometido.	Desarrollar la capacidad de reconocer fuentes confiables de información.
Estado del Arte	Estudio de Sistemas similares.	Si bien se encontraron sistemas similares al que se pretendía desarrollar, la mayoría eran sistemas propietarios.	No pudimos evaluar con profundidad las especificaciones que deberían contar un sistema como el que se quiere construir.	Es importante estar al tanto de sistemas similares que ya se estén utilizando en escenarios reales para tener una base en el desarrollo de un sistema y no reinventar la rueda.

Gestión del Proyecto	Coordinación con los actores del proyecto.	El proyecto se realizó en conjunto con varios profesionales y docentes de distintas áreas. Esto generó una dificultad al momento de la coordinación entre los mismos y al intercambio de conocimiento dentro de cada área de expertise.	Las reuniones de coordinación no se pudieron coordinar inmediatamente requiriendo que se preparen con anticipación. También se tuvo hacer un esfuerzo para entenderse entre los distintos actores.	Se consigue tener todas las reuniones necesarias y las mismas tuvieron el valor requerido para aportar al proyecto. Se logró una comunicación fluida entre un equipo interdisciplinario.
Validación	Interacción con los usuarios finales especializados.	El fin de CUENTARADIO fue brindar una herramienta la cual pudiera ser utilizada por médicos y técnicos radiólogos para esto se requirió trabajar en conjunto con varios usuarios con el fin de lograr una herramienta que cumpliera las expectativas. Este trabajo con los usuarios fue difícil de coordinar debido a la demanda de trabajo en sus respectivas áreas.	No lograr tener una aplicación que resulte fácilmente utilizable por los usuarios especializados lo cual impactaría en la aceptación de la misma.	Pese a las dificultades se pudieron realizar varias pruebas de usabilidad las cuales permitieron mejorar la usabilidad de la aplicación.

Análisis y Diseño	Análisis de requerimientos incompletos.	En la etapa de análisis no se relevaron todos los requerimientos necesarios.	Detectar características del sistema en la etapa de implementación generando un costo extra de adaptar la solución.	Se pudo implementar los requerimientos detectados tardíamente, pero requirió trabajo extra por parte del equipo.
Gestión de Proyecto	Alcance indefinido.	El alcance del proyecto se cerró en una etapa tardía.	Se definieron nuevas características del en etapas posteriores al análisis y diseño.	Esto ocasiono que se tuviera que cambiar varias veces el diseño y la implementación lo cual impacto en la duración del proyecto. Se debió haber definido un alcance en mutuo acuerdo con todos los interesados en etapas más tempranas.
Implementación	Elección de Tecnología.	Consistió en la selección del stack tecnológico a utilizar: lenguajes, frameworks, herramientas de desarrollo.	Hubo un impacto directamente sobre los tiempos de implementación, que se vieron minimizados.	La elección de la tecnología es un aspecto con impacto multidimensional, desde el alcance del proyecto, hasta la completitud del mismo.
Gestión del Proyecto	Elección de la metodología de desarrollo.	La determinación de las metodologías en diferentes etapas y aprovechar sus ventajas al contrario de	Se tenía una perspectiva global de lo que se quería lograr al terminar el proyecto. A su vez se acogió el cambio y se	Tanto la rigurosidad y organización de la metodología en cascada como la flexibilidad brindada por la metodología

		apegarse a una sola metodología en todo el proyecto.	pudo responder de manera inmediata y satisfactoria al mismo.	ágil fueron claves para el desarrollo del proyecto.
Validación	Metodología de validación con usuarios finales.	Para las pruebas de usabilidad con usuarios no se definió una metodología concreta.	Las pruebas de usabilidad fueron difíciles llevar a cabo.	Si se hubiera utilizado una metodología las pruebas se hubieran realizado de mejor forma y hubieran devuelto un mejor resultado.
Gestión de Calidad	Infraestructura de pruebas.	No se pudo dimensionar la infraestructura de prueba acorde a la carga esperada debido a los costos los servidores.	Las pruebas de performance están ejecutando un escenario menor al esperado.	Es importante contar con la infraestructura de producción para garantizar que el sistema se va a comportar correctamente según la carga esperado.
Interoperabilidad	Interacción con SaludUy	El sistema se tiene que incorporar en el ecosistema de SaludUy, pero no se contó con el acceso al mismo debido a las políticas de seguridad.	La integración con SaludUy se realizó a través de sistemas similares y mocks	Se puede apreciar como las políticas organizacionales impactan directamente sobre el desarrollo de un proyecto.
Interoperabilidad	Integración con componentes externos.	Integrar sistemas o componentes externos puede traer riesgos tecnológicos al proyecto debido a que esta fuera del	Imposibilidad de completar una funcionalidad debido a fallas en el sistema externo.	Se debe estudiar los componentes externos a integrar en etapas tempranas del proyecto y evaluar si es

		alcance de los integrantes.		factible integrarlas.
Documentación	Documentación tardía.	Se cometió el error de no realizar una documentación formal apenas empezó el proyecto.	Se insumió una gran cantidad de tiempo recopilando la información estudiada y documentando en las etapas tardías, tiempo que podría haberse usado para otras tareas.	La documentación es tan importante como las demás tareas del proyecto, y tenerla actualizada desde el principio es importante.

12 Bibliografía

- [1] J. I. Ten Morón, E. Vañó Carruana, and J. Arrazola García, “Sistemas de registro automatico de pacientes en instalaciones de radiología digital. Historial dosimetrico,” *Radiologia*, vol. 55, no. SUPPL.2, pp. 35–40, 2013.
- [2] C. Borrás, “Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes,” *FMC Form. Medica Contin. en Aten. Primaria*, vol. 19, no. 2, pp. 68–77, 2011.
- [3] K. Fernandes, T. L. Levin, T. Miller, A. H. Schoenfeld, and E. S. Amis, “Evaluating an Image Gently and Image Wisely Campaign in a Multihospital Health Care System,” *J. Am. Coll. Radiol.*, vol. 13, no. 8, pp. 1010–1017, Aug. 2016.
- [4] The Joint Commission, “Diagnostic Imaging Requirements,” 2015. [Online]. Available: https://www.jointcommission.org/assets/1/18/AHC_DiagImagingRpt_MK_2015_0806.pdf. [Accessed: 25-Apr-2018].
- [5] F. William P. Shuman, MD and D. A. B. . Kalpana Kanal, Ph.D., “G.HealthCare, Dose Management,” 2013. [Online]. Available: <http://www3.gehealthcare.com/~media/documents/us-global/products/dose-management/white-papers/gehc-whitepaper-universityofwa-medical-center.pdf>. [Accessed: 17-Aug-2016].
- [6] G. E. Healthcare, “Beyond Compliance : Dose Management for Meaningful Change,” 2016. [Online]. Available: <http://www3.gehealthcare.com/~media/documents/us-global/products/dose-management/white-papers/dosemanagementwhitepaperjb41681us.pdf>. [Accessed: 18-Aug-2016].
- [7] “International Organization for Standards.” [Online]. Available: <https://www.iso.org/standards.html>. [Accessed: 13-May-2018].
- [8] “Health Level Seven International.” [Online]. Available: <http://www.hl7.org/about/index.cfm?ref=common>. [Accessed: 13-May-2018].
- [9] “Corepoint Health - HL7.” [Online]. Available: <https://corepointhealth.com/resource-center/hl7-resources/hl7-cda>. [Accessed: 13-May-2018].
- [10] “Guía de Introducción a SNOMED CT.” [Online]. Available: https://hcn.salud.uy/documents/22124/23644/doc_StarterGuide_Current-SP_20140521.pdf/048e20ad-1e41-4403-ae0c-7948c52afd3a. [Accessed: 13-May-2018].
- [11] “LOINC — The freely available standard for identifying health measurements, observations, and documents.” [Online]. Available: <https://loinc.org/>. [Accessed: 13-May-2018].
- [12] “IHE.” [Online]. Available: <http://www.ihe-e.org/>. [Accessed: 13-May-2018].
- [13] L. Rossana, O. Ing, M. Bouza, and I. F. Portilla, “Guías Técnicas del Programa SaludUY.” [Online]. Available: <https://hcn.salud.uy/documents/22124/30596/7+Guías+Técnicas/1785507c-9e57-4e03-b599-fd5451b8be42?version=1.0>. [Accessed: 13-May-2018].

- [14] Saluduy, "Perfiles PIX/PDQ - HCEN." [Online]. Available: <https://hcen.salud.uy/web/pub/pix/pdq>. [Accessed: 13-May-2018].
- [15] L. S. Ribeiro, F. Honorio, J. L. Oliveira, and C. Costa, "Leveraging XDS-I and PIX workflows for validating cross-enterprise patient identity linkage," in *2013 IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom 2013)*, 2013, pp. 286–288.
- [16] P. Saluduy, "Guia para la gestion de OID," 2017. [Online]. Available: https://hcen.salud.uy/documents/22124/23622/J1SaludUy_OIDS_11.pdf/f689a67f-3600-4430-9217-26e8b8b31847. [Accessed: 13-May-2018].
- [17] DICOM Library, "DICOM Library - DICOM Codes and Modalities." [Online]. Available: <https://www.dicomlibrary.com/dicom/modality/>. [Accessed: 16-Jun-2018].
- [18] D. E. Raeside, "Monte Carlo principles and applications.," *Phys. Med. Biol.*, vol. 21, no. 2, pp. 181–97, Mar. 1976.
- [19] K. Jabbari, "Review of fast monte carlo codes for dose calculation in radiation therapy treatment planning.," *J. Med. Signals Sens.*, vol. 1, no. 1, pp. 73–86, Jan. 2011.
- [20] "SaludyUY - ¿Qué es?" [Online]. Available: https://www.agesic.gub.uy/innovaportal/v/4422/19/agesic/que_es.html. [Accessed: 14-May-2018].
- [21] SaludUY, "Plan de adopción - HCEN." [Online]. Available: <https://hcen.salud.uy/web/pub/plan-de-adopcion>. [Accessed: 14-May-2018].
- [22] "Imaging Technology News." [Online]. Available: <https://www.itnonline.com/>. [Accessed: 14-May-2018].
- [23] IHE, "Radiation exposure monitoring: a new IHE profile." [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/s00247-010-1903-4>. [Accessed: 14-May-2018].
- [24] "Medical Imaging | Medsquare." [Online]. Available: <https://www.medsquare.com/en/about-us/>. [Accessed: 14-May-2018].
- [25] MedSquare, "Radiation Dose Monitor." [Online]. Available: https://www.medsquare.com/medcontent/uploads/2017/10/JFR2017_New-features.pdf. [Accessed: 14-May-2018].
- [26] E. Angel, C. V. Wellnitz, M. M. Goodsitt, N. Yaghmai, J. J. DeMarco, C. H. Cagnon, J. W. Sayre, D. D. Cody, D. M. Stevens, A. N. Primak, C. H. McCollough, and M. F. McNitt-Gray, "Radiation Dose to the Fetus for Pregnant Patients Undergoing Multidetector CT Imaging: Monte Carlo Simulations Estimating Fetal Dose for a Range of Gestational Age and Patient Size," *Radiology*, vol. 249, no. 1, pp. 220–227, Oct. 2008.
- [27] General Electric, "DoseWatch Release 2.3," 2018. [Online]. Available: <http://www3.gehealthcare.com/~media/documents/us-global/products/dose-management/brochures/dosewatchrelease23customerpresentation.pdf>. [Accessed: 24-Apr-2018].
- [28] G. Radiation and D. Data, "DoseWatch GE Healthcare Gathering Radiation Dose Data," 2018. [Online]. Available: <http://www3.gehealthcare.com/~media/documents/us-global/products/dose>

- management/abstracts/gehc-gathering-dose-data.pdf. [Accessed: 24-Apr-2018].
- [29] “Sectra DoseTrack | Sectra Medical.” [Online]. Available: <https://sectra.com/medical/product/sectra-dosetrack/>. [Accessed: 14-May-2018].
- [30] “Virtual Phantoms.” [Online]. Available: <http://www.virtualphantoms.com>. [Accessed: 14-May-2018].
- [31] ICRP, “Las recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica.,” *Publicación 103*, 2007.
- [32] G. Healthcare, A. Shaw, and G. Healthcare, “Delivering the Right Dose,” *Journal of Physics: Conference Series*, 2004. [Online]. Available: <http://www3.gehealthcare.com/~media/documents/us-global/products/dose-management/abstracts/gehc-wp-delivering-the-right-dose.pdf>. [Accessed: 24-Apr-2018].
- [33] M. Moser, “The national dose registry for radiation workers in Switzerland.,” *Health Phys.*, vol. 69, no. 6, pp. 979–86, Dec. 1995.
- [34] “The Australian National Radiation Dose Register | ARPANSA.” [Online]. Available: <https://www.arpansa.gov.au/our-services/monitoring/australian-national-radiation-dose-register>. [Accessed: 13-May-2018].
- [35] Public Health England, “Personal Dosimetry Service - Dose Record Keeping.” [Online]. Available: <https://www.phe-protectionservices.org.uk/pds/service/doserecordkeeping/>. [Accessed: 13-May-2018].
- [36] Government of Canada, “National Dose Registry - Canada.ca.” [Online]. Available: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/occupational-health-safety/occupational-radiation/national-dose-registry.html>. [Accessed: 13-May-2018].
- [37] U.S Food and Drug Administration, “Initiative to Reduce Unnecessary Radiation Exposure from Medical Imaging,” 2018. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/Radiation-EmittingProducts/RadiationSafety/RadiationDoseReduction/ucm199994.htm>. [Accessed: 13-May-2018].
- [38] American College of Radiology, “Dose Index Registry.” [Online]. Available: <https://www.acr.org/Practice-Management-Quality-Informatics/Registries/Dose-Index-Registry>. [Accessed: 13-May-2018].
- [39] P. Scanff, D. Crescini, H. Roy, Y. Billarand, and A. Rannou, “NATIONAL DOSE REGISTER IN FRANCE WITHIN THE NATIONAL INFORMATION SYSTEM SISERI,” *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 170, no. 1–4, pp. 429–432, Sep. 2016.
- [40] National Nuclear Regulation, “National Dose Register.” [Online]. Available: <http://www.nnr.co.za/establishment-national-dose-register-south-africa/>. [Accessed: 13-May-2018].
- [41] Imaging Technology News, “Comparison chart.” [Online]. Available: <https://www.itnonline.com/chart>. [Accessed: 18-Jun-2018].
- [42] M. Fowler, *UML distilled : a brief guide to the standard object modeling language*. Addison-Wesley, 2004.

- [43] Martin Fowler, "Event Sourcing." [Online]. Available: <https://martinfowler.com/eaDev/EventSourcing.html>. [Accessed: 14-May-2018].
- [44] Martin Fowler, "CQRS." [Online]. Available: <https://martinfowler.com/bliki/CQRS.html>. [Accessed: 14-May-2018].
- [45] "Redux." [Online]. Available: <https://redux.js.org/>. [Accessed: 14-May-2018].
- [46] Facebook, "Flux | Application Architecture for Building User Interfaces." [Online]. Available: <https://facebook.github.io/flux/>. [Accessed: 14-May-2018].
- [47] "A Modern, Concurrent Web Server for Ruby - Puma." [Online]. Available: <http://puma.io/>. [Accessed: 14-May-2018].
- [48] "Ruby on Rails Guides." [Online]. Available: <http://guides.rubyonrails.org/>. [Accessed: 14-May-2018].
- [49] "PostgreSQL." [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/about/>. [Accessed: 14-May-2018].
- [50] S. International, "Repositorio de código de SNOMED International." [Online]. Available: <https://github.com/IHTSDO>. [Accessed: 17-May-2017].
- [51] "MongoDB." [Online]. Available: <https://www.mongodb.com/>. [Accessed: 14-May-2018].
- [52] Kapranov, "ruby-cda gem." [Online]. Available: <https://github.com/Kapranov/ruby-cda>. [Accessed: 12-Jun-2017].
- [53] "Heroku Scheduler." [Online]. Available: <https://devcenter.heroku.com/articles/scheduler>. [Accessed: 14-May-2018].
- [54] "Email Delivery Service | SendGrid." [Online]. Available: <https://sendgrid.com/>. [Accessed: 14-May-2018].
- [55] O. Lillo Cressatti, *Biofísica de radiaciones ionizantes Aplicaciones en medicina*, Preliminar. 2012.
- [56] I. of M. (US) C. for R. and E. of the M. U. P. of the N. R. Commission, K.-L. D. Gottfried, and G. Penn, "Clinical Applications of Ionizing Radiation," 1996.
- [57] "Patient Safety - Radiation Dose in X-Ray and CT Exams." [Online]. Available: <https://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?pg=safety-xray>. [Accessed: 16-May-2018].

ANEXO A: Radiación Ionizante y Radioprotección

En este capítulo se expondrán los temas básicos de radio-protección que tienen relevancia para el diseño de **CUENTARADIO**.

13.1 Conceptos sobre radiación ionizante

13.1.1 La Radiación Ionizante

Se le llama radiación a la propagación y transferencia de energía en el espacio con dirección y sentido. La fuente emisora puede ser natural o artificial. [55]

La radiación se puede clasificar en radiaciones no ionizantes, que son las que no tienen suficiente energía como para romper los enlaces que unen los átomos del medio que irradian, y en radiaciones ionizantes (RI), que tienen suficiente energía como para producir ionizaciones en el medio. A éstas últimas nos referiremos.

13.1.2 Radiaciones ionizantes

Naturalmente la mayor parte de la RI proviene de la corteza terrestre, en todos los materiales existen bajo la forma de radioisótopos en diferentes concentraciones según el tipo de material y la región donde se encuentre. Otra parte de la radiación ionizante proviene del espacio (radiación electromagnética solar, rayos cósmicos). [55]

A su vez existen fuentes de radiación ionizante artificiales, que son aproximadamente el 20% de la radiación total a la que estamos expuestos. La mayor parte de la exposición a radiación artificial es debido a los procedimientos médicos. Otra forma de exposición (aumentada respecto al promedio natural), que no es deliberada, se da en los trabajadores de la medicina durante procedimientos con radiación, trabajadores de instalaciones industriales, tripulantes de aviones, trabajadores mineros, instalaciones de gas natural, entre otros. En los casos en que, por razones laborales, se recibe dosis de RI en forma no deliberada dichos trabajadores deben usar dosímetro personal y se fija un límite de radiación anual al que **nunca** se debe llegar. [55]

Las RI tienen la capacidad de producir cambios atómicos y/o moleculares como excitación e ionización durante el proceso de absorción de la energía por parte del material biológico. Los eventos físicos de excitación e ionización de los átomos son los que inician la cadena de procesos bioquímicos que conducen a los eventos biológicos observables.

Las radiaciones usadas en medicina se pueden clasificar en corpusculares y electromagnéticas.

La radiación electromagnética se propaga a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. [55]

La radiación corpuscular consiste en partículas de materia en movimiento, tienen masa en reposo. La energía transportada por este tipo de radiación es cinética. Las partículas cargadas ionizan directamente las moléculas o átomos del material biológico con los que interactúan.

13.1.3 Medidas de las radiaciones ionizantes

Cuando la RI incide en un medio absorbente como los tejidos corporales, parte de su energía es transferida al medio a través de la producción de ionizaciones y excitaciones atómicas.

A la cantidad de energía depositada se denomina Dosis (D) y a la cantidad de energía depositada por unidad de masa del medio absorbente se la conoce como Dosis absorbida (D_{abs}).

Dosis de exposición: Es la carga liberada por la RI por unidad de masa de aire. La unidad es el Roentgen (R).

Actividad: Se refiere al número de desintegraciones del material radioactivo en la unidad de tiempo. La unidad usada actualmente es el Becquerel (Bq).

Dosis absorbida: Es la energía impartida por unidad de masa del volumen que se desea irradiar. La unidad es el Gray (Gy).

13.1.4 Efectos de la radiación ionizante

A grandes rasgos los efectos adversos en individuos por exposición a RI se pueden dividir en dos categorías:

- Efecto determinista (reacciones tisulares)
- Efecto estocástico (cáncer y efectos heredables)

Efectos deterministas

Las reacciones tisulares se caracterizan por presentar umbral de dosis. La razón de dicho umbral es que es necesario el daño por radiación a determinada cantidad de células en un tejido u órgano para que se haga clínicamente relevante la disminución de su función.

Las reacciones tisulares tempranas (días a semanas), pueden ser del tipo inflamatorio o pueden ser reacciones inmediatas que resultan de la pérdida celular.

Las reacciones tisulares tardías (meses a años) puede ser del tipo genérico si son causadas por un daño directo a un tejido o del tipo secuencial si se producen como resultado del daño celular temprano.

El Comité Internacional de Radio Protección o por sus siglas en inglés el ICRP, desarrolló a partir de datos biológicos y clínicos una estimación sobre los mecanismos celulares y tisulares implicados en las reacciones tisulares y los umbrales de dosis que aplican a los

órganos y tejidos más importantes. Hasta la dosis de 100 mGy (mili Gray, es la unidad que mide la energía impartida por la radiación ionizante a cierta masa) se estima que ningún tejido expresa un deterioro funcional clínicamente relevante. Dicho umbral vale tanto para dosis agudas únicas, como para dosis bajas y prolongadas. El gray se define en Dosis absorbida [31, p. 45]

Efectos estocásticos

En el caso del cáncer, los estudios epidemiológicos y experimentales proporcionan evidencia del riesgo de la radiación a dosis de alrededor de 100 mSv o menores aunque con incertidumbres. En el caso de enfermedades heredables, aunque no existe evidencia directa de los riesgos de la RI en las personas, las observaciones experimentales indican fuertemente que esos riesgos para las futuras generaciones deberían estar incluidos en el sistema de protección.

En base a datos epidemiológicos (Hiroshima, Nagasaki y Chernobyl) y de experimentación, se tiene que con dosis mayores a 100 mSv, la relación entre efectos estocásticos y dosis es lineal, por debajo de 100 mSv se estima en base a experimentación biológica que la generación de cáncer o efectos heredables es posible. El Sievert se define en la sección “Dosis efectiva (E) y factores de ponderación en tejidos” y es una unidad de riesgo de presentar alteraciones de la salud. 100 mSv corresponden a 100 mGy cuando la exposición es corporal total y por Rx como después veremos. Se asume una relación lineal entre probabilidad de ocurrencia de efectos estocásticos y dosis de RI para todo el rango de dosis. En el caso de los riesgos heredables continúa sin haber evidencia directa de que la exposición de los padres a la RI conduzca a un exceso de enfermedad heredable en la progenie. Por lo dicho se continúa incluyendo el riesgo de los efectos heredables en sistemas de protección radiológica. Existen ciertos informes que argumentan en base a datos genéticos de los supervivientes de las bombas atómicas y de ratones, que en el pasado el riesgo de enfermedades heredable tendió a ser sobreestimado. [31]

La ICRP actualmente expresa los riesgos genéticos sólo hasta la segunda generación. Se estima que este procedimiento subestimó significativamente los efectos heredables. La UNSCEAR (2001) considera que no hay diferencia sustancial entre los riesgos genéticos expresados a 2 y 10 generaciones. [31, p. 46]

Efectos radiológicos en el embrión y el feto

Se han examinado los riesgos de reacciones tisulares y de malformación en el embrión y el feto irradiado y se confirma la susceptibilidad embrionaria a efectos letales de la radiación en el periodo de pre-implantación del desarrollo embrionario, a dosis por debajo de 100 mGy se considera que estos efectos no existen.

Con respecto a la inducción de malformaciones, los datos dan fuerza a la opinión de que existen patrones de radio-sensibilidad in útero, dependiendo de la edad gestacional encontrándose la máxima sensibilidad durante el periodo de organogénesis. En base a estudios con animales se estima que existe una dosis umbral de alrededor de 100 mGy para la inducción a malformaciones. En el período pre-implantación (10 días posteriores

a la concepción) el efecto es de todo o nada. En la etapa fetal tardía no se ven efectos determinísticos, pero hay evidencia de probabilidad de efectos estocásticos (ej: carcinogénesis en la niñez). [15, p. 51]

13.2 Aplicaciones médicas de la radiación ionizante

Las aplicaciones diagnósticas y terapéuticas de la RI varían desde una simple placa de tórax hasta el complejo tratamiento de un tumor de cerebro. Cada uno de estos procedimientos benefician a los pacientes. Describimos solamente el uso diagnóstico de la radiación ionizante ya que los usos terapéuticos están fuera del alcance de este proyecto.

El uso diagnóstico de la RI se divide en radiología y medicina nuclear. En radiología la administración de la radiación es externa y en medicina nuclear es interna.

Radiología

La radiología se originó con el uso de la RI para diagnosticar alteraciones de estructura y fracturas. Se realiza mediante tres técnicas: radiografía, tomografías computarizada y radioscopia. El principio físico en que se basan es la transmisión de rayos X producidos por una fuente externa y la radiación interactúa con el tejido mediante absorción o esparcimiento. Las tres técnicas se basan en distintos mecanismos para detectar, ver o grabar los rayos X emergentes del cuerpo del paciente. En todos los casos esto produce un efecto indeseable pero inevitable que es el depósito de radiación en el paciente.

Encontramos dentro de la radiología los exámenes convencionales (radiografías de tórax, extremidades, cráneo, mamografía, etc.) y además exámenes de contraste en los que el paciente ingiere o se le inyecta algún compuesto con bario o sodio para mejorar el contraste en la imagen de rayos x. Se debe tener en cuenta que durante la radioscopia se debe seguir el contraste con exposición permanente o con exposiciones seriadas hasta obtener la imagen diagnóstica, ya sea tracto digestivo, tracto urinario y médula espinal entre otros.

Medicina Nuclear

Medicina Nuclear es la especialidad médica y de laboratorio que emplea las propiedades de nucleídos radiactivos para evaluar condiciones metabólicas, fisiológicas y patológicas del cuerpo. Se basan en radiofármacos (fármacos que contienen un elemento radiactivo), para realizar estudios en tiroides, sistema cardiaco, riñones, etc.

En imagenología nuclear, se les inyectan pequeñas dosis de radiofármacos a los pacientes por vía intravenosa o por ingesta o inhalación, el cual es distribuido en el cuerpo de acuerdo a las características del fármaco. Rayos γ (Gamma) o electrones (según el tipo de radioisótopo) son emitidos desde la región corporal donde se concentra el radiofármaco. En el caso de emisión γ son registrados por un dispositivo llamado cámara gamma. A pesar de que las imágenes son menos precisas que las imágenes en radiología, la utilidad de esta técnica radica en poder observar las funciones fisiológicas de los órganos antes que anatómicas.[56]

13.3 Protección Radiológica

La protección radiológica es un término general aplicado a la protección de personas y del entorno de los efectos nocivos de la radiación.

13.3.1 Comisión Internacional de Protección Radiológica

En el Congreso Internacional de Radiología de 1928 se crea la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP es su sigla en inglés), cuyo objetivo es lograr la protección radiológica de los seres humanos. Por primera vez se formulan recomendaciones generales de protección médica laboral mediante la limitación de la cantidad de horas de trabajo con fuentes médicas.

El sistema de protección radiológica recomendado por la ICRP está basado en la suposición de que, manteniendo dosis por debajo de aproximadamente 100 mSv, un aumento en la dosis producirá un incremento directamente proporcional de la probabilidad de desarrollar un cáncer o efectos heredables. Este modelo se conoce como “lineal sin umbral” o LNT por sus siglas en inglés, y es el adoptado por la Comisión para su sistema de protección radiológica.[31]

El sistema de protección de la Comisión se basa, además, en tres principios:

- **Justificación:** Cualquier exposición adicional a la natural de RI debe estar **JUSTIFICADA**, esto es: el beneficio inmediato debe ser mucho mayor que el riesgo.
- **Optimización de la Protección:** Bajo el concepto de ALARA (As Low As Reasonably Achievable) la dosis debe ser la apropiada para obtener el beneficio no menor con una dosis no mayor teniendo en cuenta factores económicos y sociales. Es preocupación mayor que por limitaciones económicas u otras razones, algunos países no compran equipos nuevos con los que se harían procedimientos con menos exposición. Sería importante exigir, en base a principios de solidaridad y equidad planetaria, que en todos los países se mejoraran los dosímetros y las instalaciones.
- **Aplicación de los límites de las dosis:** En situaciones de exposición incidental o planificada para fuentes reguladas, que no consistan en exposiciones médicas de pacientes, la dosis total de cualquier individuo no debería exceder los límites pertinentes recomendados por la Comisión. Para pacientes se fijan dosis de referencia y un límite, que es la dosis que no debe ser sobrepasada bajo ningún concepto.

13.3.2 Magnitudes empleadas en protección radiológica

Para evaluar el daño al individuo por la dosis absorbida de RI, la Comisión ha creado magnitudes especiales. Estas magnitudes se relacionan con la energía depositada en los órganos y tejidos, así como también la calidad del tipo de radiación y la sensibilidad de los tejidos y órganos involucrados. [15, p. 56]

Dosis absorbida

Es la magnitud física básica de dosis y se define como $D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$ donde $d\bar{\epsilon}$ es la energía media impartida por la radiación ionizante a la masa dm . Su unidad es el JK^{-1} y su nombre es el Gray (Gy). Es una magnitud medible y existen estándares para determinar su valor.

Cálculo de la dosis promedio

En la práctica, cuando se usa la magnitud de dosis absorbida, se promedian las dosis en Gy recibidas por los volúmenes de tejido.

“ Se supone que para las dosis bajas, para los objetivos de la protección radiológica, el valor medio de la dosis absorbida promediada en un órgano o tejido específico puede correlacionarse con suficiente exactitud con el detrimento de la radiación para los efectos estocásticos en ese tejido. Calcular las dosis absorbidas promedio en órganos o tejidos y totalizar las dosis medias ponderadas en los diferentes órganos y tejidos del cuerpo humano constituye la base para la definición de las magnitudes de protección, que se utilizan para limitar los efectos estocásticos a dosis bajas.” Cálculo de la dosis promedio [31, p. 56]

El detrimento es definido por la ICRP como “un concepto utilizado para cuantificar los efectos dañinos para la salud de la exposición a radiación en diferentes partes del cuerpo. ICRP [15, p. 19]

Dosis equivalente (H) y factores de ponderación de radiaciones

La magnitud de protección, dosis equivalente de la dosis absorbida promedio, del tejido u órgano y del tipo de radiación y se calcula como $H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$, donde w_R es el factor de ponderación de la radiación para la radiación R. La suma se realiza sobre todos los tipos de radiación R. Su unidad es el JK^{-1} y recibe el nombre de sievert (Sv).

TABLA 6: FACTORES DE PONDERACIÓN DE LA RADIACIÓN RECOMENDADOS

Tipo de radiación	Factor de ponderación de la radiación w_R
Fotones	1
Electrones ^a y muones	1
Protones y piones cargados	2
Partículas alfa ,Fragmentos de fisión, lones pesados	20
Neutrones	Una función continua de la energía del neutrón (ver Figura 1 y Ecuación. 4,3)

Todos los valores están relacionados a la radiación incidente en el cuerpo o, para las fuentes de radiación internas, emitidas por radionucleido(s) incorporado(s).

Los factores de ponderación w_R son calculados a partir de la Transferencia Lineal de Energía diferencial entre radiaciones y la Eficacia Biológica Relativa de las mismas.

Dosis efectiva (E) y factores de ponderación en tejidos

La dosis efectiva está definida como la suma de las dosis equivalentes ponderadas por factores de radio-sensibilidad relativa en tejidos. Se calcula como $E = \sum_T w_T H_T$, donde H_T es la dosis equivalente. La suma se realiza sobre todos los tejidos y órganos del cuerpo humano con diferente radio-sensibilidad a los efectos estocásticos de la radiación. Los valores de w_T se escogen para representar las contribuciones individuales de cada órgano individual al detrimento total de la radiación para efectos estocásticos en el caso de calcular la dosis efectiva en procedimientos médicos, en el caso de los trabajos o el público también se toman en cuenta los efectos determinísticos .

TABLA 7: FACTORES DE PONDERACIÓN DE LOS TEJIDOS RECOMENDADOS

Tejido	w_T	$\sum w_T$
Medula ósea, colon, pulmón, estómago, mama, resto de los tejidos *	0,12	0,72
Gónadas	0,08	0,08
Vejiga, esófago, hígado, tiroides	0,04	0,16
Superficie del hueso, cerebro, glándulas salivales, piel	0,01	0,04
	Total	1,00

* Resto de los Tejidos: Adrenales, región extra torácica (ET), vesícula, corazón, riñones, nódulos linfáticos, músculo, mucosa oral, páncreas, próstata, intestino delgado, bazo, timo, útero/cérvix

Determinación de la dosis efectiva

Conceptualmente H y E no son dosis, son magnitudes operacionales que estiman la probabilidad de daño. Dichas magnitudes operacionales son estimadas a partir del valor medido de dosis en Gy ponderado por w_R y w_T .

“Para el cálculo de coeficientes de conversión de la exposición externa, en la evaluación de la dosis debida a diversos campos de radiación se usan maniqués (en inglés phantoms) computacionales. Para el cálculo de los coeficientes de dosis debidas a la incorporación de radionucleidos, se usan modelos biocinéticas para los radionucleidos,

datos fisiológicos de referencia, y maniqués (phantoms) computacionales... “ 4.3.5. Determinación de la dosis efectiva - ICRP pag 61.

Aplicación de la dosis efectiva

Los usos principales y primarios de la dosis efectiva para trabajadores expuestos y para el público en general son:

- la evaluación prospectiva de la dosis en la planificación y optimización de la protección y
- la evaluación retrospectiva de la dosis para demostrar cumplimiento de límites para público y restricciones de dosis para trabajadores.

“En las evaluaciones retrospectivas de las dosis a individuos específicos que pueden exceder sustancialmente los límites de dosis, la dosis efectiva puede proveer una primera medida aproximada del detrimento general. Si la dosis de radiación y el riesgo necesitan ser evaluados de una manera más exacta, son necesarias estimaciones adicionales específicas de las dosis a órganos o tejidos, sobre todo si se necesitan los riesgos específicos a los órganos de determinados individuos.” Aplicación de la dosis efectiva[15, p. 66]

Para trabajadores y público se calcula la dosis equivalente y se asume irradiación de cuerpo entero, donde el valor de H es igual a E. [15]

Para pacientes, toma importancia la region estudiada y por lo tanto irradiada. En este caso la dosis equivalente se pondera por un factor de tejidos dado por la radiosensibilidad a efectos estocasticos de cada tejido irradiado. En las exposiciones a pacientes para obtener imágenes medicas, los efectos a tener en cuenta son los estocasticos, ya que los deterministicos son descartados por las bajas dosis de las exposiciones que se encuentran por debajo del umbral presencia de estos efectos.

13.4 Sistema de protección radiológica en seres humanos

13.4.1 Definición de fuente

La Comisión define a una “fuente” como “...cualquier entidad física o procedimiento que da lugar a dosis de radiación potencialmente cuantificables en una persona o grupo de personas...”. Puede ser una fuente física (material radiactivo o rayos x), una instalación (hospital o central nuclear) o procedimientos o grupos de fuentes físicas que tienen características similares (radiación ambiental o de fondo, procedimientos de medicina nuclear). [15, p.72]

13.4.2 Tipos de situaciones de exposición

Las recomendaciones son aplicables a todas las fuentes e individuos expuestos en las siguientes situaciones (que son todas las posibles).

- Situación de exposición controlada: son situaciones que implican la deliberada introducción y operación de fuentes.
- Situación de exposición de emergencia: son situaciones que pueden ocurrir durante la operación de una situación planificada, o como consecuencia de un acto malévolo, o cualquier otra situación inesperada y requieren la adopción de acciones urgentes a fin de evitar o reducir las consecuencias no deseadas.
- Situación de exposición existente: son situaciones de exposición que ya existen cuando debe tomarse una decisión sobre su control, incluyendo las situaciones de exposición prolongadas después de emergencias.

13.4.3 Categorías de Exposición

La comisión distingue tres categorías de exposiciones.

- Exposición Ocupacional: toda exposición a radiaciones de los trabajadores sufridas como resultado de su trabajo.
- Exposición al público: comprende todas las exposiciones que no sean ocupacionales ni médicas de pacientes. La exposición al público por fuentes naturales es la más grande. También la exposición al embrión o feto de trabajadoras embarazadas se considera exposición al público.
- Exposición médica de pacientes: este tipo de exposición ocurre en procedimientos diagnósticos, intervencionistas y terapéuticos.

13.4.4 Identificación de Individuos Expuestos

Se distinguen al menos tres categorías de individuos que participan en las categorías de exposición mencionadas anteriormente.

- Trabajadores: La Comisión define al trabajador como toda persona empleada, ya sea a tiempo completo, a tiempo parcial, o transitoriamente, por un empleador y a quién se le han reconocido derechos y deberes respecto a la protección radiológica ocupacional. En el caso del trabajador autónomo se considera que tiene los deberes del empleador y del trabajador. Quienes ejercen en profesiones médicas que involucran el empleo de radiación son trabajadores ocupacionalmente expuestos.
- Miembros del Público: La Comisión define como miembro del público a todo individuo sujeto a una exposición que no es ocupacional ni médica. A la exposición de los miembros del público contribuye una gama de diferentes fuentes naturales y artificiales.
- Pacientes: La Comisión define al paciente como un individuo que recibe una exposición asociada a un procedimiento diagnóstico, intervencionista, o terapéutico.

13.4.5 Restricciones de dosis y niveles de referencia

Estos conceptos se emplean junto con la optimización de la protección para restringir las dosis individuales.

Es necesario definir niveles de dosis y la idea general es no sobrepasarlos y a su vez intentar reducir todas las dosis tan bajo como sea razonablemente posible.

Restricciones de dosis (para trabajadores)

La restricción de dosis se aplica a los trabajadores. Las instalaciones se fabrican de manera que si hay incidentes, los trabajadores no reciban más dosis que el la restricción de dosis que es un 30% aproximadamente del Límite de dosis estipulado.

Una restricción de dosis es una limitación prospectiva de la dosis individual que puede provocar una fuente dada en situaciones de exposición planificada (excepto en la exposición médica de pacientes), la cual sirve como límite superior de las dosis previstas en los análisis de optimización de la protección para esa fuente. Es un nivel de dosis tal que, si las dosis provocadas por la fuente de exposición superan dicho nivel, resulta improbable que la protección correspondiente a esa fuente esté optimizada, por lo que casi siempre se deberá actuar para reducir tales dosis.

Niveles de referencia (para pacientes)

En situaciones de exposición planificada, los niveles de referencia representan el nivel de dosis o de riesgo por encima del cual se considera inadecuado aceptar que se produzcan exposiciones, para los cuales, deberían planificarse y optimizarse acciones protectoras. El valor escogido para un nivel de referencia dependerá de las circunstancias prevalecientes en la situación de exposición en consideración.

A dosis superiores a 100 mSv, comienzan a evidenciarse los efectos deterministas y existe una mayor probabilidad de cáncer. Por estas razones, a los efectos del radiodiagnóstico la Comisión considera que el valor máximo para un nivel de referencia es de 100 mSv, tanto en caso de que la dosis sea recibida en un año o en forma aguda. Exposiciones superiores a 100 mSv recibidas en un año o en forma aguda sólo se justificaría en circunstancias extremas, ya sea porque la exposición es inevitable o porque se trata de situaciones excepcionales como salvar vidas o prevenir un desastre grave. Ningún otro beneficio social o individual compensaría exposiciones tan altas

13.4.6 Límites de Dosis

En el caso de la exposición ocupacional, el ICRP recomienda un límite de dosis efectiva de 20 mSv en un año, promediado a lo largo de 5 años (100 mSv en 5 años), con el requisito adicional que la dosis no supere 50 mSv en un año cualquiera. Queda implícito en estos límites que cualquier restricción de dosis utilizado para la optimización no debería superar 20 mSv en un año cualquiera.

Para exposición del público en situaciones de exposición planificada, la Comisión continúa recomendando que el límite debería expresarse como una dosis efectiva de 1 mSv por año. En situaciones especiales pueden considerarse dosis superiores con la restricción de que el promedio a lo largo de 5 años no supere 1 mSv por año.

13.5 Resumen

En esta sección se presentó un marco teórico sobre la temática en cuestión, así como también el marco de protección existente actualmente.

También se aprecian beneficios y riesgos de utilizar radiación ionizante. Es inviable dejar de usar este tipo de radiación debido al valor que aporta a la sociedad ya sea para diagnóstico o tratamiento médico. No obstante sí podemos usarla de manera controlada y justificando su uso para cada paciente, evitando a los mismos a sobreexposición innecesaria, y haciendo uso de las recomendaciones de la ICRP. Lo que se busca en concreto es implementar un sistema de monitoreo de dosis. El presente trabajo busca una manera de llevar a cabo este objetivo, basándose en estándares de protección radiológica y sistemas comerciales existentes, a la vez que intenta acompasar los constantes impulsos de países importantes por tener un mayor control a exposiciones de radiación.

14 Anexo B: Resumen Dosimétrico

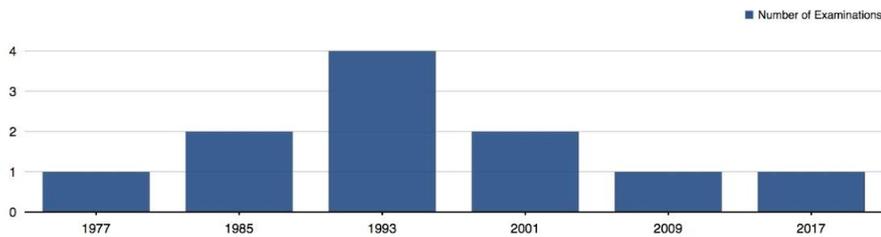
La Figura 54 muestra el archivo pdf que se adjunta junto con el CDA del paciente y se guarda en su historia clínica electrónica. Se pueden apreciar en el mismo sus datos básicos junto con su información dosimétrica (cantidad de exámenes médicos, dosis efectiva acumulada promedio y lista detallada de exámenes).

Dosimetry Summary

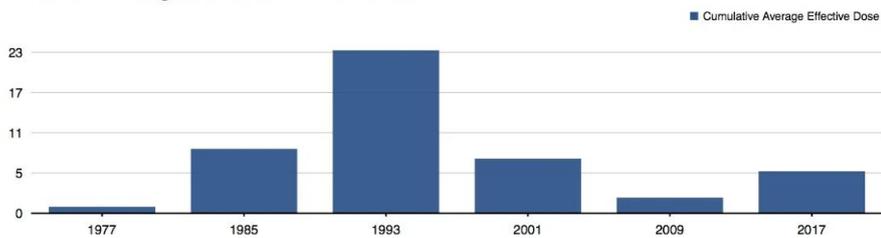
21/03/2018 15:19

Full Name: Ivonne Mernies
 Identification Document: Patient
 Gender: Female
 Birthday: 04/04/1975

Number of Examinations: 11



Cumulative Average Effective Dose: 49.469 mSv



Examination	Effective dose(mSv)	Exposure Area	Modality	Created at
Computed tomography of colon (procedure)	6.0	Abdomen and Pelvis	Computed Tomography	13/10/2017

Computed tomography of skull (procedure)	1.543	Head	Computed Tomography	23/11/1994
Not found	2.238	Head	Computed Tomography	27/03/2012
Computed tomography of skull (procedure)	2.705	Head	Computed Tomography	27/04/1998
Computed tomography of skull (procedure)	2.116	Head	Computed Tomography	07/10/2005
CT of cervical spine	9.957	Column	Computed Tomography	25/08/1996
Low dose computed tomography of chest	0.934	Chest	Computed Tomography	16/11/1977
CT of chest	6.729	Chest	Computed Tomography	07/02/1986
IVP - Intravenous pyelogram	9.073	Abdomen and Pelvis	Endoscopy	20/11/1994
Computed tomography of colon (procedure)	5.697	Abdomen and Pelvis	Computed Tomography	12/08/2007
Computerized tomography, bone density study	2.477	unspecified	Endoscopy	15/12/1989

Figura 54: Resumen dosimetrico de un paciente

Anexo C: Ingeniería De Muestra

Ingeniería de Muestra es el evento anual que organiza la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en conjunto con su Fundación Julio Ricaldoni, donde se presentan proyectos, investigaciones y emprendimientos de estudiantes y docentes, con el fin de exhibir las actividades que se realizan en la Institución.

El proyecto **CUENTARADIO** se presentó en Ingeniería de Muestra los días 13, 14 y 15 del 2016. Para el evento, se implementó un prototipo para simular registros de dosis. De esta manera se pedía a los espectadores sus datos personales, así como también si recordaban algún estudio que implique radiación ionizante.

El prototipo se basaba en una página web donde se registraba la dosis del paciente y una aplicación móvil hecha con la tecnología híbrida Ionic en donde los espectadores podían ver el ingreso, y de esa manera haciéndose una idea de la utilidad del proyecto.

El evento fue importante para poder presentar el proyecto a la comunidad, además de recibir sugerencias de personas interesadas en el tema ya sea ciudadanos o médicos especializados.

A continuación, presentamos el poster de Ingeniería de Muestra 2016.

CUENTARADIO Historia personal de radiación ionizante

Sebastián Lorenzo, Federico Martínez y Pablo Minetti,
Prof. Agr. Dra. O. Lillo, Prof. Adj. Ing. A. López y Prof. Ing. F. Simini

INCO, Departamento de Biofísica- Fmed y nib



núcleo de ingeniería biomédica - Montevideo | Uruguay

100 años de la denominación de la Facultad de Ingeniería

CUENTARADIO empodera al ciudadano



En medicina hay procedimientos de imágenes y de terapia con radiaciones ionizantes (RI), cuyos efectos biológicos son acumulativos. La dosis absorbida por tejidos se suma a la dosis absorbida por RI naturales. Los estudios basados en Hiroshima y Nagasaki indican una relación entre dosis absorbida y probabilidad carcinogénesis. Las dosis usadas en radio-diagnóstico son más bajas. Extrapolando, se indican los exámenes evaluando la relación Beneficio/Riesgo con un criterio general para cada paciente.

CUENTARADIO brinda al ciudadano la información de su nivel de exposición artificial, ayudando a optimizar el balance Beneficio/Riesgo para cada individuo, y se integra a las políticas de protección radiológica de la población.

CUENTARADIO y la historia de radiaciones recibidas



CUENTARADIO le brinda a toda persona el acceso a su historial de radiación recibida en su vida y a su vez les brinda a los médicos y organismos de protección radiológica una herramienta de apoyo en la toma de decisiones.



Arquitectura y operación de CUENTARADIO

CUENTARADIO está diseñado como una aplicación web la cual permite a las distintas instituciones que realizan radio-diagnóstico y terapia declarar la cantidad de radiación tanto a los pacientes como a su personal médico y auxiliar. A su vez permite tanto a los médicos como a la población acceder a esta cuenta corriente de radiación, y brinda un sistema de alertas.

Cuenta también con una aplicación mobile la cual facilita el acceso a esta información desde cualquier dispositivo.



SaludUy integrada



Diseñado con la escala del país entero, CUENTARADIO sigue las recomendaciones de salud.uy sobre la identificación de las personas (ciudadanos, profesionales, instituciones) y para generar elementos de la Historia Clínica Electrónica Nacional (HCEN) de cada paciente en formato CDA (Computer Document Architecture).

Ingeniería de Muestra - octubre 2016



Figura 55: Póster de CUENTARADIO presentado en Ingeniería de Muestra 2016

Anexo D: Tabla de Dosis Efectivas Estimadas

La siguiente tabla muestra la dosis efectiva promedio para algunos exámenes médicos. Estos datos están respaldados por la American College of Radiology (ACR) and the Radiological Society of North America (RSNA). La Tabla 8 se utiliza para cargar los datos iniciales de **CUENTARADIO**.

TABLA 8: PROCEDIMIENTOS DE IMAGENOLOGIA Y SUS DOSIS EFECTIVAS APROXIMADAS EN ADULTOS [57]

For this procedure:	* An adult's approximate effective radiation dose is:	Comparable to natural background radiation for:
ABDOMINAL REGION:		
Computed Tomography (CT)-Abdomen and Pelvis	10 mSv	3 years
Computed Tomography (CT)-Abdomen and Pelvis, repeated with and without contrast material	20 mSv	7 years
Computed Tomography (CT)-Colonography	6 mSv	2 years
Intravenous Pyelogram (IVP)	3 mSv	1 year
Radiography (X-ray)-Lower GI Tract	8 mSv	3 years
Radiography (X-ray)-Upper GI Tract	6 mSv	2 years
BONE:		
Radiography (X-ray)-Spine	1.5 mSv	6 months
Radiography (X-ray)-Extremity	0.001 mSv	3 hours
CENTRAL NERVOUS SYSTEM:		
Computed Tomography (CT)-Head	2 mSv	8 months
Computed Tomography (CT)-Head, repeated with and without contrast material	4 mSv	16 months
Computed Tomography (CT)-Spine	6 mSv	2 years
CHEST:		
Computed Tomography (CT)-Chest	7 mSv	2 years
Computed Tomography (CT)-Lung Cancer Screening	1.5 mSv	6 months
Radiography-Chest	0.1 mSv	10 days
DENTAL:		
Intraoral X-ray	0.005 mSv	1 day
HEART:		
Coronary Computed Tomography Angiography (CTA)	12 mSv	4 years
Cardiac CT for Calcium Scoring	3 mSv	1 year
MEN'S IMAGING:		
Bone Densitometry (DEXA)	0.001 mSv	3 hours
NUCLEAR MEDICINE:		
Positron Emission Tomography – Computed Tomography (PET/CT)	25 mSv	8 years
WOMEN'S IMAGING:		
Bone Densitometry (DEXA)	0.001 mSv	3 hours
Mammography	0.4 mSv	7 weeks

Anexo E: Manual del Desarrollador

15.1 Servicios de la API

A continuación se enumeran los servicios que expone la API y que son consumidos por la Aplicación móvil.

Método	Ruta	Parámetros	Descripción
GET	/api/v1/doctors	page, per_page, query	Devuelve médicos, dependiendo de la query que se haga. Paginados médicos
GET	/api/v1/modalities	page, per_page, query	Devuelve modalidades, dependiendo de la query que se haga. Paginados
GET	/api/v1/institutions	page, per_page, query	Devuelve instituciones, dependiendo de la query que se haga. Paginados
GET	/api/v1/examinations	page, per_page, query	Devuelve examinations , dependiendo de la query que se haga. Paginados. Va al snomed, base de datos no relacional..

GET	/api/v1/patients	page, per_page, query	Devuelve pacientes, dependiendo de la query que se haga. Paginados
GET	/api/v1/user/statistics		Devuelve las estadísticas del usuario logeado.
GET	/api/v1/patients/:patient_id/doses	page, per_page,	Devuelve listado de dosis de un paciente, paginados.
GET	/api/v1/doses/:dose_id/revisions	page, per_page	Devuelve las revisiones de una dosis, paginados.
GET	/api/v1/user/doses	page, per_page	Devuelve las dosis del usuario logeado.
POST	/api/v1/users	{user: { identification_document, first_name, last_name, gender: [0, 1, 2], password(8 caracteres), password_confirmation (8 caracteres), birthday confirmation_token }	Confirma a una persona que ya fue logeada en el sistema por un admin.

PUT	/api/v1/users	{user: { identification_document, first_name, last_name, gender: [0, 1, 2], password, password_confirmation, birthday, confirmation_token current_institution_id, language }	Modifica al usuario logueado
POST	/api/v1/doses/:dose_id/revisions	{ dose: { modality_id, amperage, voltage, exposure_time, grays, sieverts, clinical_data, doctor_id, institution_id, examination_id, technician_id, created_at }}	Crea una revisión para una dosis.
POST	/api/v1/patients/:patient_id/doses	{ dose: { modality_id, amperage, voltage, exposure_time, grays, sieverts, clinical_data, doctor_id, institution_id, examination_id, technician_id, created_at }}	Crea una dosis para un paciente.

GET	/api/v1/patients/:patient_id/generate_cda		Genera el CDA asociado a un paciente.
POST	/api/v1/users/sign_in	{ User: { Identification_document, password }}	Logea a un usuario
DELETE	/api/v1/users/sign_in		Deslogea a un usuario
GET	/api/v1/user/authorized_users		Lista de usuarios autorizados a ver mi registro de dosis.
GET	/api/v1/user/activity_log	page, per_page	Log de actividad relacionado con el usuario logeado.
GET	/api/v1/user/most_used_examinations		Lista de dosis más usadas por el usuario logeado. Debe ser técnico o médico.
POST	/api/v1/user/authorize	{ authorized_id }	Autorizar persona a ver mi registro de dosis por parte de usuario logeado.

DELETE	/api/v1/user/unauthorize	{ authorized_id }	Desautorizar persona a ver mi registro de dosis.
GET	/api/v1/patients/:patient_id/dosis/:id		Ver dosis de un paciente

15.2 Diagrama de Clases

Se muestra en la imagen el diagrama de diseño completo de la aplicación. Se utilizó el lenguaje de modelado UML.

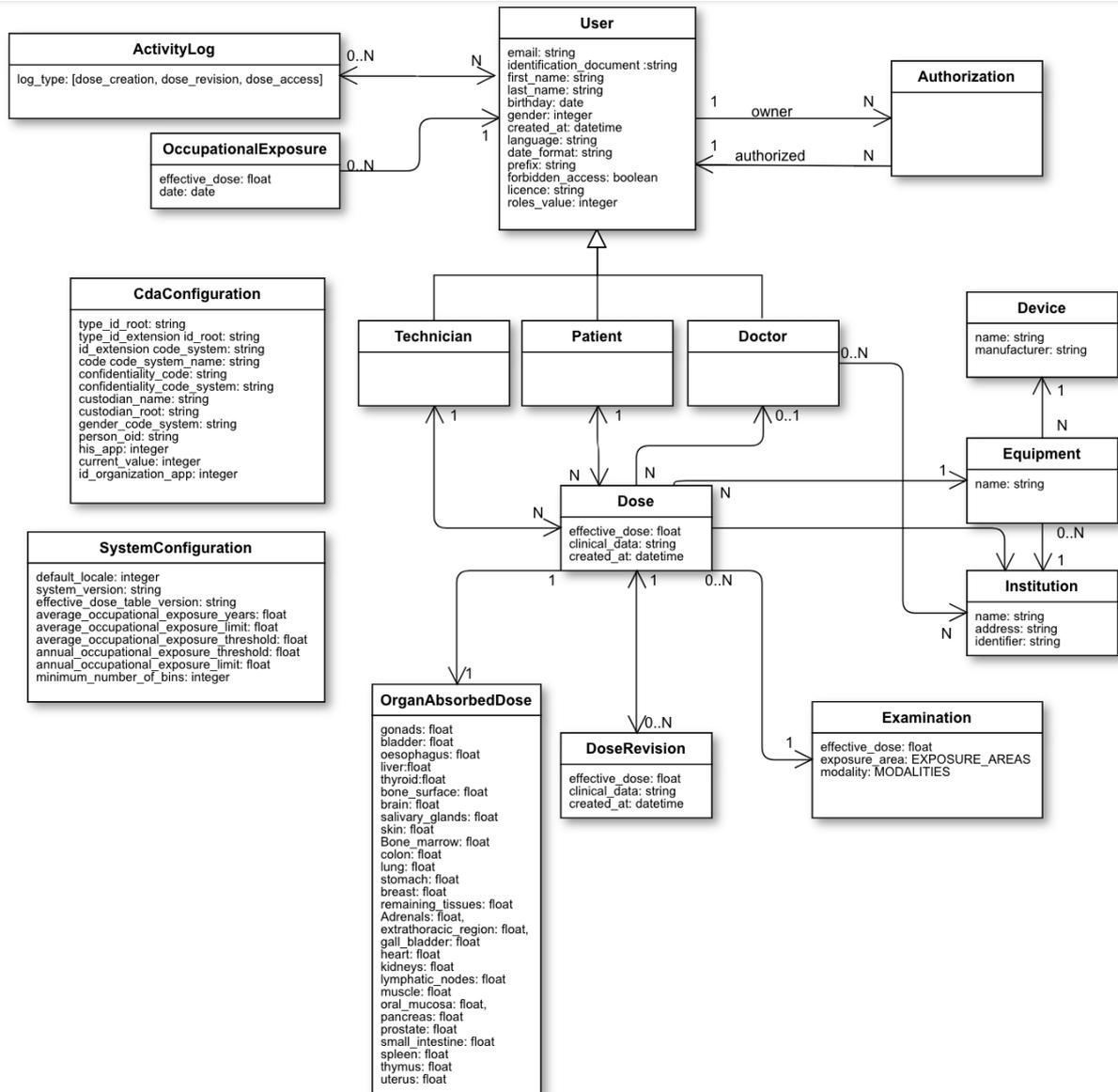


Figura 56: Diagrama de clases de diseño UML de CUENTARADIO (diagrama completo)

15.3 Tabla de Exámenes Médicos

CUENTARADIO permite cargar los estudios médicos mediante el administrador. La TABLA 9 representa la lista de estudios médicos inicial, los cuales son una asociación entre estudio médico, órgano del cuerpo, concepto de SNOMED, dosis efectiva estimada y modalidad.

TABLA 9: MAPEO DE ESTUDIO MÉDICO, DOSIS EFECTIVA, MODALIDAD Y PARTE DEL CUERPO

cuentaradio	udelar	nib		
tabla de dosis equivalentes medias	version	1		
examinatin name	concept id (snomed)	effective dose (mSv)	exposure area	modality
Tomografía Axial Computarizada (TAC) - Abdomen y Pelvis	712816007	10	3	0
Tomografía Axial Computarizada (TAC) - Colonografía	425666002	6	3	0
Pielograma Intravenoso (PIV)	32265006	3	3	2
Radiografía (rayos X) - Tracto Digestivo Superior	37385004	6	3	9
Radiografía (rayos X) - Columna	66769009	1.5	4	9
Radiografía (rayos X) - Extremidades	76573005	0.001	5	9
Tomografía Axial Computarizada (TAC) - Cabeza	169066007	2	0	0
Tomografía Axial Computarizada (TAC) - Cabeza, repetido con y sin material de contraste	383371000000000	4	0	0
Tomografía Axial Computarizada (TAC) - Columna	241578008	6	4	0
Tomografía Axial Computarizada (TAC) - Tórax	169069000	7	1	0
Tomografía Axial Computarizada (TAC) - Detección Temprana del Cáncer de Pulmón	713548006	1.5	1	0
Radiografía (rayos X) - Tórax	399208008	0.1	1	9
Rayos X intraorales	22891007	0.005	0	11
Angiografía Coronaria por Tomografía Computada (ATC)	419545005	12	7	7
TAC Cardíaco para Cuantificar Calcio	426005005	3 mSv	1	0
Densitometría Osea (DXA)	22059005	0.001 mSv	7	2
Tomografía por emisión de positrones - Tomografía computarizada (PET/TC)	82918005	25	7	4
Mamografía	469327008	0.4	2	10

15.4 Datos Internos al servidor

Como se describió en secciones anteriores, el servidor se realizó utilizando el framework Ruby on Rails. Es por eso que se mapean cada una de las entidades del sistema a un modelo Rails.

Se presentan los atributos de cada uno de los modelos así como también una breve descripción de cada uno de sus métodos públicos más importantes. Se describen brevemente las validaciones de negocio que cada objeto debe cumplir para poder ser persistido en la base de datos correspondiente.

Para describir los métodos se utiliza la nomenclatura `self.nombre_metodo` para representar un método de clase o `nombre_metodo` si es de instancia.

15.4.1 Admin User

Esta clase representa al administrador del sistema el cual tiene acceso al sitio administrador. Puede crear, modificar y eliminar registros. Además tiene acceso a las estadísticas poblacionales.

Atributos

Nombre	Tipo	Descripción
email	String	Email del administrador del sistema

Validaciones

Nombre	Descripción
Presencia de email	El email no puede ser vacío.
Unicidad de email	El email debe ser único.

15.4.2 Authorization

Esta clase se encarga de mantener los datos de los usuarios autorizados por otros usuarios para ver su historial dosimétrico.

Validaciones

Nombre	Descripción
Presencia de usuario dueño	El usuario dueño no puede ser vacío.
Presencia de usuario autorizado	El usuario autorizado no puede ser vacío.
Unicidad de usuario autorizado para el usuario dueño	El usuario dueño no autorizo al usuario autorizado previamente.

15.4.3 Cda Configuration

Es un singleton que se encarga de mantener información relevante a la generación de los CDA.

15.4.4 Organ Absorbed Dose

Mantiene información de las dosis absorbidas por cada órgano para un estudio.

Atributos

Este modelo tiene un atributo por cada órgano especificado por ICRP 103.

Métodos

Nombre	Entrada	Salida	Descripción
calculateEffectiveDose	Dosis absorbidas por órganos	Dosis efectiva	Calcula la dosis efectiva a partir de la fórmula de la ICRP.

15.4.5 Device

Se corresponde con un dispositivo de imagenología.

Atributos

Nombre	Tipo	Descripción
name	String	Nombre del dispositivo.
manufacturer	String	Nombre del fabricante

Validaciones

Nombre	Descripción
Presencia de nombre	El nombre no puede ser vacío.

Unicidad de nombre	El nombre debe ser único
--------------------	--------------------------

15.4.6 Dose

Esta clase representa un registro de una dosis para una persona. Es un singleton.

Atributos

Nombre	Tipo	Descripción
effective_dose	float	Dosis efectiva al aplicar la dosis.
clinical_data	String	Datos clínicos sobre el paciente.
created_at	Datetime	Fecha de creación del registro
revisited_at	Datetime	Fecha de modificación del registro

Métodos

Nombre	Entrada	Salida	Descripción
create_version	N/A	N/A	Genera una versión de la dosis, debido a una modificación.
self.estimated_average_effective_dose_by_patient	N/A	float	Indicador poblacional, dosis

			efectiva estimada por paciente
self.estimated_average_effective_dose_by_examination	N/A	float	Indicador poblacional, dosis efectiva estimada por examen medico
self.modality_body_part_effective_dose_indicator	N/A	Array bidimensional donde las columnas representan modalidades y las filas partes del cuerpo. Las entradas son la dosis efectiva acumulada.	Indicador poblacional, dosis por modalidad y parte del cuerpo
self.modality_body_part_number_of_examinations	N/A	Array bidimensional donde las columnas representan modalidades y las filas partes del cuerpo. Las entradas son la cantidad de	Indicador poblacional, cantidad de exámenes por modalidad y parte del cuerpo

		exámenes médicos.	
self.total_effective_dose_in_period_data	Cantidad de bins	Array de dosis acumuladas por periodo	Calcula el acumulado de dosis efectiva por periodo. El periodo depende de la cantidad de bins.
self.total_examinations_in_period_data	Cantidad de bins	Array de cantidad de exámenes médicos por periodo	Calcula el acumulado de exámenes médicos por periodo. El periodo depende de la cantidad de bins.

Validaciones

Nombre	Descripción
Presencia de paciente	El email no puede ser vacío.
Presencia de examen médico	El examen médico no puede ser vacío

15.4.7 Dose Revisión

Representa una versión de un registro de dosis. Una versión se crea luego de haber modificado el registro actual. La versión creada es el registro que se mostrará.

Atributos

Nombre	Tipo	Descripción
effective_dose	float	Dosis efectiva al aplicar la dosis.
clinical_data	String	Datos clínicos sobre el paciente.
created_at	Datetime	Fecha de creación del registro
revisited_at	Datetime	Fecha de modificación del registro

15.4.8 Equipment

Representa un dispositivo de imagenología de una institución médica.

Atributos

Nombre	Tipo	Descripción
name	string	El nombre del dispositivo de imagenología de una institución en particular.

Validaciones

Nombre	Descripción
Presencia de nombre	El nombre no puede ser vacío.
Presencia de institución	La institución no puede ser vacío
Presencia de dispositivo	El dispositivo no puede ser vacío

Unicidad de nombre	El nombre debe ser único
--------------------	--------------------------

15.4.9 Examination

Representa un estudio médico.

Atributos

Nombre	Tipo	Descripción
effective_dose	float	Dosis efectiva que implica el estudio
modality	enum MODALITIES	Modalidad del estudio médico
exposure_area	enum EXPOSURE_AREAS	Área de exposición del estudio médico

Métodos

Nombre	Entrada	Salida	Descripción
self.get_concept_by_id	N/A	Termino SNOMED del concept_id de la instancia	Realiza una búsqueda en la base de dato SNOMED del id del concepto.
self.search_term	{ query: string, per_page: numeric, Page: numeric }	Array de términos snomed	Realiza una búsqueda en la base de datos SNOMED según el parámetro query (que es una palabra o palabras clave/s a buscar

self.load_table	Archivo en formato CSV que contiene el mapeo de examen médico a término snomed, parte del cuerpo asociada al examen y dosis efectiva promedio.	N/A	Carga en la base de datos de CUENTARADIO la tabla de exámenes médicos.
-----------------	--	-----	---

Validaciones

Nombre	Descripción
Presencia de dosis efectiva	La dosis efectiva no puede ser vacío.
Presencia de dosis efectiva	El examen médico no puede ser vacío
Presencia de modalidad	La modalidad no puede ser vacía
Presencia de área de exposición	El área de exposición no puede ser vacía.

15.4.10 Institution

Representa una institución médica, en donde trabajan técnicos radiólogos y médicos, y en donde los pacientes se realizan estudios de imagenología.

Atributos

Nombre	Tipo	Descripción
ame	string	Nombre de la institución
address	String	Dirección de la institución
identifier	String	OID registrado en el sistema de saludUY

Validaciones

Nombre	Descripción
Presencia de nombre	El nombre no puede ser vacío.
Presencia de dirección	La dirección no puede ser vacía.
Unicidad de nombre	El nombre debe ser único.

15.4.11 Occupational Exposure

Representa un registro de una exposición ocupacional correspondiente a un mes.

Atributos

Nombre	Tipo	Descripción
Effective_dose	float	Dosis efectiva acumulada en un mes de trabajo
date	date	Fecha correspondiente al registro

Validaciones

Nombre	Descripción
Presencia de dosis efectiva	La dosis efectiva no puede ser vacío.
Presencia de técnico	El técnico no puede ser vacío
Presencia de fecha	La fecha no puede ser vacía

15.4.12 System Configuration

Es un singleton que contiene variables globales del sistema.

Atributos

Nombre	Tipo	Descripción
default_locale	Enum: ("en", "es")	Idioma por defecto
system_version	date	Fecha correspondiente al registro
effective_dose_table_version	String	Versión de la tabla de dosis efectivas estimadas
average_occupational_exposure_years	float	Años promedios para el cálculo de exposición ocupacional promedio
average_occupational_exposure_limit	float	Límite de exposición ocupacional promedio
annual_occupational_exposure_limit	float	Límite de exposición ocupacional anual
average_occupational_exposure_threshold	Float	Umbral de exposición ocupacional promedio
annual_occupational_exposure_threshold	Float	Umbral de exposición ocupacional anual

minimum_number_of_bins	Integer	Numero mínimo de bins para la generación de graficas poblacionales
------------------------	---------	--

15.4.13 User

Representa a un usuario del sistema.

Atributos

Nombre	Tipo	Descripción
Identification_document	Enum: ("en", "es")	Idioma por defecto
first_name	String	Nombre del usuario
last_name	String	Apellido del usuario.
birthday	Date	Fecha de nacimiento del usuario
gender	Enum: GENERO	Genero del usuario
language	String	Lenguaje que utiliza el usuario.
prefix	string	Prefijo utilizado para médicos y técnicos
forbidden_access	boolean	Indica si el usuario permite que otros usuarios vean su historial de dosis (si están agregados en la lista de autorizados)

roles_value	Integer	Representa los roles asociados al usuario.
-------------	---------	--

15.5 Datos Internos a la aplicación móvil

Es necesario representar de alguna manera los datos dentro de la aplicación móvil, que utiliza un diseño basado en Flux. En este caso, los datos consisten en un objeto en formato JSON, que representa el estado de la aplicación móvil.

```
{
  occupationalExposuresReducer: {
    occupationalExposures: array,
    measures: object
  },
  offlineReducer:{
    doses:{
      queue:array,
      current: object
    },
    isConnected: boolean
  },
  activityLogReducer:{
    activityLog: array
  },
  doseRevisionsReducer:{
    revisions: array,
    selectedRevision: object
  },
  userReducer:{
    user:{
      currentInstitution:object
    },
  },
```

```
    isLoggedIn: boolean,
    statistics:{
      totalExaminations: array,
      totalEffectiveDose: float,
      lifeEffectiveDose: float,
      lifeExaminations: float
    },
    language: string,
    authorizedUsers: array
  },
  localesReducer:{
    locales:object
  }
},
dosesReducer:{
  doses: array,
  selectedDose: object,
  editMode: boolean,
  mostUsed:array,
  dose:{}
}
},
examinationsReducer:{
  examinations: array
},
patientsReducer:{
  patients: array
},
institutionsReducer:{
  institutions: array
},
```

```
equipmentsReducer:{  
    equipments: array,  
    equipmentsOffline: array  
},  
doctorsReducer: {  
    doctors: array  
}  
}
```