



**SERVICIO PROTOTIPO DE TELECOMUNICACIONES BASADO EN
LOCALIZACIÓN PARA MONITOREAR EN LÍNEA EL ESPECTRO
RADIOELÉCTRICO**

ING. CESAR CAMILO RODRIGUEZ SÁNCHEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
MAESTRIA EN INGENIERIA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA**

2013



**SERVICIO PROTOTIPO DE TELECOMUNICACIONES BASADO EN
LOCALIZACIÓN PARA MONITOREAR EN LÍNEA EL ESPECTRO
RADIOELÉCTRICO**

ING. CESAR CAMILO RODRIGUEZ SÁNCHEZ

**Proyecto de investigación de maestría para optar el título de Magister
en Ingeniería Electrónica**

Director

Ph.D HOMERO ORTEGA BOADA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
MAESTRIA EN INGENIERIA ELECTRONICA
BUCARAMANGA**

2013

*A Dios por mantener en mi la
chispa mágica, la perseverancia y la motivación
para visualizar un horizonte de sueños
y grandes triunfos.
Y compartir con mi familia y mi novia
este nuevo logro*

AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminar mis pensamientos e ideas en las noches de concentración.

A mi Papá y mi Mamá que siempre han creído en mí, ustedes son más que padres, son mis amigos, consejeros, maestros y guías espirituales. Gracias.

A Dina, mi novia, por apoyarme incondicionalmente en cada paso de mi vida, ser una voz de aliento y motivación, por brindarme su amor y comprensión.

A mis hermanos: Rubén, Karen, Carolina y Johnny, para que la unión fraternal y el apoyo mutuo sea nuestra identidad como familia.

Al profesor Homero, que más que mi profesor y director es un gran amigo, que me orientó y aconsejó en los momentos de dudas.

A Sergio, que considero mi mejor amigo, juntos hemos compartido grandes retos y éxitos.

A todos los integrantes del Grupo RadioGIS y los que están lejos navegando por nuevos rumbos, con los que hemos aprendido y logrado excelentes metas.

A la empresa INKCO y Oscar, que me respaldaron con este proyecto de investigación.

Y a todos mis amigos, compañeros y conocidos que de alguna manera aportaron a la culminación exitosa de este gran logro.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	25
1.1 FORMULACIÓN/DECLARACIÓN DEL PROBLEMA	25
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	29
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
2. ANTECEDENTES, MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL Y SITUACIÓN ACTUAL	31
2.1 RECOMENDACIONES Y REGLAMENTACIONES DE LA UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES UIT	31
2.1.1 <i>Recomendación UIT-T SM.1537:</i>	31
2.1.2 <i>Recomendación UIT-R SM. 182-5:</i>	32
2.1.3 <i>Recomendación UIT-T K.52:</i>	33
2.2 ESTUDIOS PUBLICADOS EN IEEE RELACIONADOS CON LA GESTIÓN, VIGILANCIA Y CONTROL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	35
2.2.1 <i>Automatic radio frequency monitoring measurements</i>	35
2.2.2 <i>Automated Measurement System for Wireless Transmitters</i>	35
2.2.3 <i>Automated and remote operated system for spectrum monitoring and control in Portugal:</i> 36	
2.3 REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN (NGN).....	37
3. MODELAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	40
3.1 REQUISITOS Y CARACTERÍSTICAS DEL MODELO	40
3.1.1 <i>CONECTIVIDAD E INTERACCIÓN DE ELEMENTOS:</i>	41
3.1.2 <i>USUARIOS O ACTORES:</i>	41
3.1.3 <i>ROLES DE LOS USUARIOS:</i>	42
3.1.4 <i>PARTICIPACIÓN E INTERACCIÓN DE USUARIOS:</i>	43
3.1.5 <i>TIPOS DE ESTACIONES DE MONITOREO:</i>	44
3.1.6 <i>TIPOS DE MEDICIONES:</i>	45
3.1.7 <i>MODOS DE MEDICIÓN:</i>	45
3.1.8 <i>SERVICIOS PRINCIPALES DEL SISTEMA:</i>	46
3.2 INGENIERÍA DE REQUERIMIENTOS DE LA SOLUCIÓN	51
3.3 ARQUITECTURA DE SERVICIOS	55
3.3.1 <i>MODELADO DE PROCESOS DE NEGOCIO:</i>	57
3.3.2 <i>MODELADO DE SERVICIOS:</i>	69
3.3.3 <i>MODELADO DE PARTICIPACIÓN E INTERACCIONES USUARIOS:</i>	76
3.4 CONCLUSIONES PARCIALES	81
4. IMPLEMENTACIÓN Y PROTOTIPADO DE LA SOLUCIÓN.....	84
4.1 ARQUITECTURA Y TOPOLOGÍA DE RED	84
4.2 SERVIDOR CENTRAL DE GESTIÓN Y CONTROL	87
4.2.1 <i>SGservice: MODULO DE GESTIÓN DE SERVICIOS:</i>	88
4.2.2 <i>SGAdata: MODULO DE GESTIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS:</i>	89
4.2.3 <i>SUIweb: MODULO DE PUBLICACIÓN EN LA WEB</i>	100
4.2.4 <i>SProcess: MODULO DE PROCESAMIENTO DE DATOS:</i>	103
4.2.5 <i>RNImap: MODULO DE GESTIÓN Y PROCESAMIENTO MANCHAS RNI:</i>	114

4.2.6	SGCRinstr: MODULO DE GESTIÓN Y CONTROL REMOTO DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	120
4.3	ESTACIÓN DE MONITOREO FIJA.....	123
4.3.1	SComm: Modulo de comunicaciones de Estación Fija.....	125
4.3.2	SCLocal: Modulo de Control Local de Estación Fija.....	126
4.4	ESTACIÓN DE MONITOREO MÓVIL.....	127
4.4.1	GeoRadScanner: Modulo de escaneo geo-referenciado de radiación en estación móvil	129
4.4.2	GeoSpectScanner: Modulo de escaneo geo-referenciado de espectro en estación móvil	131
4.5	PORTALES WEB.....	132
4.5.1	Portal web de autenticación y registro de usuarios.....	133
4.5.2	Portal web de consulta de mediciones ERE y RNI.....	135
4.5.3	Portal web de consulta de manchas de radiación.....	139
4.5.4	Portal web de tele-medicación de ERE y RNI.....	139
4.6	CONCLUSIONES PARCIALES.....	142
5.	MEDICIONES DE RADIACIÓN Y ESPECTRO.....	146
5.1	CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DE RADIACIÓN EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA.....	146
5.2	CONCLUSIONES PARCIALES.....	153
6.	CONCLUSIONES FINALES.....	155
7.	RECOMENDACIONES.....	162
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	164

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los usuarios	76
Tabla 2. Interacción de los usuarios con los servicios.....	77
Tabla 3. Clasificación de los servicios.....	80
Tabla 4. Clasificación de las tablas de la base de datos UISpectrum.....	93
Tabla 5. Límites de exposición a campos electromagnéticos para telefonía móvil celular	113
Tabla 6. Especificaciones técnicas de las campañas de mediciones	147
Tabla 7. Estadística descriptiva de todos los resultados obtenidos en 564 sitios medidos y cálculo del Nivel porcentual de cumplimiento de la norma para la banda de telefonía celular	150
Tabla 8. Clasificación de la ciudad de acuerdo a los niveles de radiación.....	151

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema típico integrado de gestión y de comprobación técnica del espectro radioeléctrico (recomendación UIT-R SM.1537). Fuente [3]	32
Figura 2. Zonas de Exposición a campos electromagnéticos. Fuente [9]	33
Figura 3. Límites de intensidad de campos eléctrico. Fuente [9]	34
Figura 4. Límites de intensidad de campos magnético. Fuente [9]	34
Figura 5. Arquitectura del sistema. Fuente [11]	36
Figura 6. Arquitectura del sistema global de monitoreo del espectro en Portugal. Fuente [12]	37
Figura 7. Modelo por Capas de una Red de Próxima Generación. Fuente [13]	38
Figura 8. Diagrama General de casos de uso de los servicios ofrecidos	54
Figura 9. Arquitectura de Servicios de la solución	57
Figura 10. Mapa de procesos global para monitoreo, vigilancia y control del espectro y la radiación	58
Figura 11. Diagrama General de procesos de negocio de la solución	60
Figura 12. Diagrama del Servicio de autenticación y registro de usuarios	70
Figura 13. Diagrama del Servicio de tele-medición on line en Estaciones de monitoreo Fijas	71
Figura 14. Diagrama del Servicio de medición in-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles	73
Figura 15. Diagrama del Servicio de consulta web de mediciones ERE y RNI	74
Figura 16. Diagrama del Servicio de consulta de manchas radiación en ciudades	75
Figura 17. Diagrama de participación e interacción entre los usuarios y los servicios	81
Figura 18. Plataforma de Monitorización del Espectro y la Radiación - UISpectrum	86
Figura 19. Esquema de funcionamiento del modulo de Gestion y Almacenamiento de Datos SGAdatos	91
Figura 20. Modelo base de datos de la Plataforma de Monitorización del Espectro y la Radiación UISpectrum	95
Figura 21. Base datos Usuarios	97
Figura 22. Esquema de funcionamiento del Modulo Gestion y Administración de Usuarios SGAuser	98
Figura 23. Lista de usuarios bloqueados por errores en clave	100
Figura 24. Esquema de funcionamiento del Modulo Publicación en la web SUlweb	102
Figura 25. Esquema de funcionamiento del Modulo SProcess	104

Figura 26. Estimación de ocupación de canal. Fuente [4]	105
Figura 27. Ejemplo grafico para estimación de ocupación de espectro.....	107
Figura 28. Ejemplo Resultados Análisis de ocupación de espectro	108
Figura 29. Ejemplo grafico para calcular estadísticas de espectro	110
Figura 30. Ejemplo Resultados del servicio de cálculo de estadísticas del espectro	111
Figura 31. Límites máximos de exposición a campos electromagnéticos de la UIT para el publico. Fuente [20].....	112
Figura 32. Ejemplo resultados Servicio WS porcentaje UIT	114
Figura 33. Esquema de funcionamiento del modulo RNlmap	118
Figura 34. Ejemplo de una mancha de radiación generada por modulo RNlmap.....	119
Figura 35. Esquema de funcionamiento del modulo SGCRinstr.....	120
Figura 36. Esquema de comunicación entre el Servidor Central de Gestión y la Estación de Monitoreo Fija.....	122
Figura 37. Portal web de tele-medición de ERE y RNI.....	123
Figura 38. Estación de monitoreo fija.....	124
Figura 39. Módulos de la Estación de Monitoreo Fija.....	126
Figura 40. Configuración parámetros de los puertos en Servidor Mediciones	127
Figura 41. Estación de monitoreo móvil.....	128
Figura 42. Esquema de funcionamiento de la estación de monitoreo móvil en modo de conexión on- line.....	129
Figura 43. Ventana principal de GeoRadScanner.....	131
Figura 44. Ventana principal Modulo GeoSpectScanner	132
Figura 45. Ventana Autenticación Usuarios	133
Figura 46. Ventana de Registro nuevos usuarios	134
Figura 47. Geoportal de consulta mediciones en estaciones móviles	136
Figura 48. Portal de consulta mediciones en estaciones fijas.....	138
Figura 49. Interfaz web de usuario para tele-mediciones de radiación.....	140
Figura 50. Interfaz web de usuario para tele-mediciones de espectro.	141
Figura 51. Diagrama de procesos de la metodología para generar mapas geo-referenciados de radiación electromagnética en una ciudad.....	148
Figura 52. Mancha de radiación radioeléctrica en la ciudad de Bucaramanga realizada por la UIS.	149
Figura 53. Niveles de radiación medidos en Bucaramanga respecto a los Límites permitidos por la Ley	152

Figura 54. Graficas de distribución de probabilidad acumulada e histograma de frecuencia para mediciones realizadas en 564 sitios en la ciudad de Bucaramanga152

RESUMEN

TITULO: SERVICIO PROTOTIPO DE TELECOMUNICACIONES BASADO EN LOCALIZACIÓN PARA MONITOREAR EN LÍNEA EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO*

AUTOR: CESAR CAMILO RODRIGUEZ SANCHEZ**

PALABRAS CLAVES: Espectro radioeléctrico, monitorización, servicios, radiación no ionizante, campos electromagnéticos, convergencia, servicios web, SOA, NGN, TIC, modelo, arquitectura.

CONTENIDO:

El proceso de vigilancia y control del espectro radioeléctrico (ERE) y la radiación electromagnética no ionizante (RNI) requieren que éstos sean monitoreados constantemente usando instrumentos de medición sofisticados y costosos ubicados en diferentes sitios. Pero, en el marco de este proceso no existen medios, esquemas y herramientas para que haya *participación activa* de actores importantes, diferentes a las entidades del estado, como: los ciudadanos, las universidades y los operadores de telecomunicaciones.

Como consecuencia a esta necesidad se generan retrasos en las telecomunicaciones por la oposición en la instalación de nueva infraestructura tecnológica (torres y antenas), causada por la desinformación, intranquilidad y preocupación de la población y los Planes de Ordenamiento Territorial inadecuados de los municipios.

En este proyecto de investigación se propone diseñó un modelo tecnológico cooperativo y convergente para monitorizar el espectro radioeléctrico y la radiación no ionizante mediante servicios y aplicaciones de telecomunicaciones orientadas a un conjunto de actores con roles predefinidos (ciudadanos, universidades y operadores de telecomunicaciones) y que buscan ofrecerles participación activa en el proceso de monitorización, de acuerdo a sus intereses y necesidades. Investigación que se alinea perfectamente con las políticas y estrategias del gobierno con el *Plan Vive Digital* que busca crear un ecosistema de interacción para el uso del internet mediante aplicaciones y servicios.

Esto incentivará la auto-regulación y auto-control de todos los consumidores de espectro, los cuales tomarán un papel proactivo al suministrarles los medios y mecanismos participativos para monitorizar el ERE y RNI.

Los resultados que se esperan obtener son: un modelo prototipo para monitorizar el espectro radioeléctrico y la radiación no ionizante donde exista participación activa de actores importantes y una red básica de monitorización del espectro y la radiación.

* Proyecto de Investigación de maestría

** Facultad Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Maestría en ingeniería electrónica. Director Ph.D Homero Ortega Boada

SUMMARY

TITLE: TELECOMMUNICATIONS LOCATION SERVICE PROTOTYPE TO MONITOR ONLINE RADIOELECTRIC SPECTRUM *

AUTHOR: Eng. CESAR CAMILO RODRIGUEZ SANCHEZ**

KEY WORDS: Radio spectrum monitoring, services, non-ionizing radiation, electromagnetic fields, convergence, web services, SOA, NGN, ICTs, model, architecture.

DESCRIPTION:

Monitoring and control of radio spectrum (RS) and non-ionizing electromagnetic radiation (NIR) require to measure constantly with expensive instruments located in different sites. But there are not schemes and tools to generate participation of important stakeholders, different state entities, as citizens, universities and telecommunications operators.

There are delays at telecommunications deployment by opposition of new technology infrastructure (towers and antennas), caused by misinformation, uneasiness and concern of the population and inadequate Territorial Plans of municipalities.

In this research project proposes a model designed cooperative and convergent technology to monitor the radio spectrum and non-ionizing radiation using telecommunications services and applications oriented to a set of predefined roles actors (citizens, universities and telecommunications operators) and seek to provide active participation in the monitoring process, according to their interests and needs. This project is perfectly aligned with government policies and strategies of "Vive Digital" which seeks to create an ecosystem of interaction for internet use by applications and services.

This will encourage self-regulation and self-control of all consumers of spectrum, which take a proactive role by supplying the media and participatory mechanisms for monitoring the RS and NIR.

The results to be obtained are: a prototype model to monitor the radio spectrum and non-ionizing radiation where there is active participation of key players and a basic network monitoring and radiation spectrum

* Term paper

** Faculty of physical-mechanical engineering. Department of electrical, electronics and telecommunications. Master of Electronic Engineering. Director PhD Homero Ortega Boada

GLOSARIO

Open DataBase Connectivity (ODBC) es un estándar de acceso a las bases de datos. El objetivo de ODBC es hacer posible el acceder a cualquier dato desde cualquier aplicación, sin importar qué sistema de gestión de bases de datos (DBMS) almacene los datos¹

Datum geodésico: es un conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre en base a los cuales las medidas de la posición son tomadas y un modelo asociado de la forma de la tierra.

Ocupación de espectro: se define como la probabilidad incondicional de que un canal de frecuencia esté ocupado o sobrepase un umbral de potencia específico en cualquier instante de tiempo.

KML (Keyhole Markup Language) es un lenguaje de marcado basado en XML para representar datos geográficos en tres dimensiones, desarrollado por Google

SHP: formato de archivo informático propietario de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI.

Web Service: es un componente software programable al que se puede acceder mediante protocolos estándar diseñados para la interoperabilidad máquina a máquina a través de una red de comunicaciones.

UML: Lenguaje Unificado de Modelado, es un lenguaje gráfico utilizado para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema de software.

XML: eXtensible Markup Language, es un lenguaje de descripción de documentos, pero no incluye ninguna información relativa al diseño de los mismos

RNI: radiación electromagnética no ionizante

¹ Fuente Wikipedia. <http://es.wikipedia.org>

ERE: espectro radioeléctrico

RESTful: transferencia de Estado Representacional (Representational State Transfer) Protocolo de intercambio de mensaje para servicios web con la utilización de una interfaz simple que contiene XML y HTTP

Telemetría: adquisición remota de información referente a mediciones que son enviadas hacia algún operado o sistema

UIT: unión Internacional de Telecomunicaciones, es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las Tecnologías de la información y la comunicación encargada de regular en este sentido a nivel internacional

DSN: nombre fuente de datos (Data Source Name), por medio de este se establece conexión con una base de datos para extraer o incorporar información desde algún programa sin utilizar su propio manejador.

NGN: red de Próxima Generación (Next Generation Network), es una idea generada por la UIT describir la evolución en cuanto a la infraestructura de redes de telecomunicación y acceso telefónico con el fin de alcanzar la convergencia tecnológica de los nuevos servicios multimedia

URL: localizador de recursos uniforme (uniform resource locator), es un identificador en la web, consiste en una cadena de caracteres con la cual se asigna una dirección única a cada uno de los recursos de información disponibles en la Internet.

INTRODUCCIÓN

El espectro radioeléctrico es uno de los recursos más preciados de todas las naciones. Esto sin importar que no lo podamos percibir con los sentidos (ver, tocar, sentir o pesar), pero es tan real que sin éste ni siquiera sería posible la vida. Particularmente, para las aplicaciones que tiene en las comunicaciones, del uso eficiente del espectro depende en gran manera la posibilidad de lograr que los medios de comunicación e información estén al alcance de todas las personas, apoyando el progreso social en términos generales.

La monitorización del espectro se ha limitado tradicionalmente a un proceso aislado e independiente que se apoya en el uso de herramientas cerradas o sistemas exclusivos de los entes de regulación del estado

Este proyecto de investigación propone e implementa un modelo o esquema tecnológico, cooperativo que aprovecha los avances en TIC para apoyar el proceso de monitorización del espectro radioeléctrico y la radiación electromagnética, el cual busca ofrecer los medios, las herramientas y los servicios tecnológicos para que exista participación activa y masiva de múltiples actores en función de sus intereses, motivaciones y responsabilidades, como los investigadores, los operadores de telecomunicaciones, las autoridades, los órganos de gobierno, pero sobre todo, con la participación de la sociedad en general. El proyecto encaja dentro de las estrategias del **Plan Vive Digital** [1] que desarrolla el gobierno nacional, pues éste prevé acciones concretas para involucrar a todas las personas como parte del llamado Ecosistema Digital.

Hoy las TIC buscan construir, con la participación de todos, una sociedad cada vez más inteligente. Esto aplica también al uso eficiente del espectro y el control de los niveles de radiación asociados al espectro; además, se incentivará la auto-

regulación y auto-control de todos los consumidores de este recurso, los cuales asumirán un papel proactivo en dos sentidos principales: denunciando los casos en que descubre violaciones a las normas y apoyando el desarrollo de **infraestructura sana**.

Por ejemplo, el gerente de proyectos de una emisora de radiodifusión que quiere ampliar la cobertura del servicio que presta, aprovecha el servicio de monitoreo del espectro para examinar las posibles ubicaciones donde puede instalar su antena de transmisión, teniendo en cuenta las posibles fuentes de interferencia que existen y el área geográfica que desea cubrir. De otro lado, cualquier persona puede estar interesada simplemente en conocer que tan segura está respecto a la radiación que producen las antenas cercanas.

Es importante resaltar que este proyecto es un referente que se alinea con las estrategias de integración que propone el Centro de Investigación Científica y Tecnológica en TIC – CENTRO TIC²- del Parque Tecnológico Guatiguará de la UIS, cuyo objetivo primordial es generar investigación multidisciplinaria con base en un modelo integrador que busca ofrecer servicios y soluciones a todos los campos de la sociedad usando las TIC como elemento transversal y donde la misma sociedad sea parte indispensable y la base de esas soluciones [2].

La solución propuesta en este proyecto se basa en los lineamientos conceptuales del paradigma de la Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) para establecer, en términos de procesos de negocio y servicios, el esquema funcional de la Plataforma de Monitorización de Espectro y Radiación (UISpectrum) diseñada en el marco de este trabajo, y que permita un nivel de desacoplamiento e interoperabilidad entre los diferentes componentes que la constituyen.

² Centro TIC es una unidad adscrita a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la UIS, conformada por varios grupos de investigación interdisciplinarios articulados alrededor las TIC

El modelo de referencia que se utilizó presenta tres capas fundamentales: Capa de Servicios Básicos y Compuesto, Capa de Procesos de Negocio y Capa de Presentación.

La capa de servicios define las unidades funcionales, independientes y reutilizables que incorporan reglas de negocios, las cuales son bloques constructivos de los procesos. Éstos encapsulan la lógica dentro de un contexto como una tarea, entidad de negocio o agrupamiento; la tecnología utilizada para la implementación de esta capa es por medio de web services³, los cuales son componentes abiertos de programación dispuestos en la nube, interoperables y estandarizados

Los servicios compuestos especializados son aquellos que se forman por la composición de varios servicios básicos, lo que garantiza la capacidad de reutilización de los componentes y la adaptación a los cambios tecnológicos y del negocio. Además, ofrece gran dinamismo en el desarrollo de nuevos servicios y procesos

La capa de procesos de negocio define el flujo de invocación u orquestación de los servicios para implementar los procesos, se establecen un conjunto de tareas o actividades en el que los actores participan según un esquema de trabajo para lograr un objetivo.

La capa de presentación es el punto de acceso único de los usuarios a los servicios desarrollados, está constituida por los diferentes portales de consulta y de medición de espectro y radiación, y las aplicaciones de redes que se interconectan con la Plataforma de Monitorización.

Los usuarios son el eje fundamental de todo el modelo y la arquitectura planteada para que exista el esquema de participación e interacción deseado en el proceso global de apoyo a la monitorización del espectro y la radiación; los servicios

³ Web Service es un componente software programable al que se puede acceder mediante protocolos estándar diseñados para la interoperabilidad máquina a máquina a través de una red de comunicaciones

diseñados son las herramientas y recursos que disponen los usuarios para que ese proceso se lleve a cabo con eficiencia y de forma colaborativa.

Con este modelo los consumidores de espectro, principales clientes de la solución, utilizan los servicios habilitados por la Plataforma UISpectrum para reportar y generar todo tipo de información relacionada con el espectro, mediante la ejecución de campañas de mediciones usando la red de monitoreo de la Plataforma en diferentes estaciones fijas y móviles, consulta y análisis en la web de los resultados las mediciones realizadas previamente, consulta en línea de las manchas de radiación radioeléctrica de una ciudad procesadas por la Plataforma, reporte de quejas y denuncias relacionadas con la calidad de los servicios de radio y las irregularidades (interferencias, emisiones piratas, etc.).

Los usuarios se han clasificado de acuerdo al rol que los identifica: ciudadanos, universidades, operadores de telecomunicaciones o entes de regulación, además se clasifican por el tipo de usuarios: consulta, control remoto, control in-situ o administrador, que permite definir el nivel de interacción con los servicios del sistema.

Los servicios disponibles que ofrece UISpectrum a los usuarios para lograr sus objetivos son:

1. Servicio de autenticación y registro de usuarios
2. Servicio de Consulta Web de Mediciones del espectro y radiación no ionizante
3. Servicio de Consulta de Manchas de radiación en ciudades
4. Servicio de Tele-medicación on-line en Estaciones de Monitoreo Fijas
5. Servicio de Medición In-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles
6. Servicio de solicitud de mediciones en ubicación específica
7. Servicio de información sobre espectro y radiación
8. Servicio de quejas y denuncias

Para la implementación de la Plataforma de Monitorización UISpectrum se propone una topología de red cuya referencia principal es la recomendación internacional UIT-R SM.1537 [3] actualizada en el Manual de Comprobación Técnica del Espectro de la UIT del 2011 [4].

Además, se consideraron las características generales del “Modelo para el desarrollo de servicios basados en Localización en las condiciones de Colombia con la visión de las redes de telecomunicaciones de próxima generación”, modelo que fue propuesto por el Grupo de Investigación RadioGIS en el proyecto de maestría [5] y publicado en [6], el cual define las estrategias y esquemas para el *desarrollo de servicios* de telecomunicaciones por parte de los DStel⁴ y que está perfectamente alineado con los objetivos que se proponen con una Arquitectura Basada en Servicios (SOA).

Los componentes de red que integran la “Plataforma de Monitorización del Espectro y la Radiación UISpectrum” son:

Servidor Central de Gestión y Control que gobierna todos los servicios y recursos habilitados en la Plataforma. Cumple el papel de ente central de almacenamiento de los datos, análisis y procesamiento de la información, administración y control de la plataforma, permitiendo la gestión integrada de los diferentes tipos de estaciones de monitoreo fijas y móviles.

Las estaciones de monitoreo fijas y móviles son las unidades de medición distribuías en diferentes lugares y que ofrecen la capacidad a la Plataforma de registrar remotamente o en sitio, por medio de instrumentos, el espectro radioeléctrico y la radiación electromagnética no ionizante de forma georeferenciada. Éstas se conectan al Servidor Central de Gestión y Control usando internet, la cantidad y ubicación de las mismas dependerá de las necesidades de los entes de regulación y el grado de cooperación con las universidades y operadores de telecomunicaciones.

⁴ DStel, desarrollador de servicios de telecomunicaciones

Las estaciones de monitoreo fijas disponen de un Servidor de Mediciones Remoto por sitio, que se encarga de administrar localmente los equipos de mediciones (Analizador de espectro, medidor de campos electromagnéticos y GPS) y son la puerta de enlace con el Servidor Central de Gestión y Control. Éstas se controlan remotamente para realizar tareas de mediciones automatizadas.

Por medio de las estaciones de monitoreo móviles se realizan actividades de mediciones geo-referenciadas en diferentes sitios haciendo recorridos específicos tipo drivetest⁵ y utilizando un vehículo que transporta los equipos. La conectividad con el Servidor Central dependerá de la disposición de internet móvil (2G, 3G o 4G) en las zonas de interés.

Para verificar el funcionamiento de la Plataforma de Monitorización UISpectrum se realizaron un conjunto de campañas de mediciones utilizando una estación de monitoreo móvil y fija.

Además, con el objetivo de analizar el comportamiento de la radiación electromagnética en la ciudad de Bucaramanga, se realizó una campaña intensiva de medición de campos electromagnética en el 70% del casco urbano. Los resultados obtenidos fueron un total de 564 sitios medidos en las diferentes calles de la ciudad, información que se procesó para generar una mancha continua de radiación que muestra el comportamiento espacial de los campos electromagnéticos producidos por todas las antenas que se encuentran en la ciudad.

El presente libro que describe los resultados de la investigación realizada está organizado de la siguiente forma:

En el capítulo uno se hace una presentación del proyecto, indicando la problemática global y particular que se atacó, la importancia de estudiar los

⁵ Drivetest es un tipo de medición geo-referenciada que se ejecuta realizando recorridos en diferentes sitios.

procesos de monitorización del espectro y la radiación y se definen puntualmente los objetivos que se propusieron con este proyecto de investigación.

En el capítulo dos se presenta una recopilación de los fundamentos teóricos sobre los que se basa esta investigación, se revisaron las principales recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones relacionadas con los procesos de monitorización del espectro y la radiación, además se analizaron globalmente las principales investigaciones en el tema publicadas en la IEEE. Por último se hace una descripción de los conceptos de las Redes de Próxima Generación y la Arquitectura Orientada en Servicios.

En el capítulo tres se realiza el modelamiento detallado de la solución propuesta, se presentan los requisitos de funcionamiento de la Plataforma UISpectrum y la ingeniería de requerimientos desde un enfoque de casos de uso, se establece la arquitectura orientada a servicios que estructura la solución, así como un análisis del modelado de procesos, servicios e interacción de usuarios siguiendo los pilares conceptuales de SOA

En el capítulo cuatro se describe la implementación y prototipado de la solución con base en el modelamiento propuesto, se define la arquitectura y topología de red de la Plataforma UISpectrum, se detalla la base de datos diseñada e implementada, se describen los diferentes módulos de funcionamiento que componen el desarrollo tanto a nivel del Servidor Central de Gestión y Control como las estaciones de monitoreo fijas y móviles.

En el capítulo cinco se muestran los resultados de las mediciones de radiación y espectro ejecutadas con objetivo de verificar el funcionamiento de la Plataforma. Además, se describen los resultados de la campaña intensiva de medición de campos electromagnética realizada en el casco urbano de Bucaramanga, con el fin de analizar el comportamiento de la radiación en la ciudad producida por las antenas existentes y poner a disposición una mancha continua de radiación a la población e interesados, como parte de los servicios ofrecidos por UISpectrum y brindar tranquilidad a la comunidad.

En el capítulo seis y siete se presentan las conclusiones finales de la investigación y las recomendaciones para seguir trabajando en el tema.

1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

1.1 FORMULACIÓN/DECLARACIÓN DEL PROBLEMA

Antes de presentar el problema, resulta importante comprender una necesidad mucho más global que debe ser resuelta con la participación de todos los actores de las comunicaciones. Esta se resume en los siguientes considerandos:

- La comunidad, las universidades y los mismos operadores de telecomunicaciones no cuentan con herramientas de participación activa en el proceso de gestión del Espectro Radioeléctrico (GERE) como un recurso valioso de la nación.
- El espectro radioeléctrico (ERE) y la radiación electromagnética no ionizante (RNI) no son monitorizados continuamente en toda la geografía colombiana, por ello ocurren infracciones o malos usos. La comunidad, las universidades y los operadores de telecomunicaciones pueden y deben apoyar la vigilancia y control del ERE, pero no disponen de los medios y los recursos para hacerlo.
- El proceso de monitorización del espectro y la radiación en Colombia está cerrado a las entidades gubernamentales de regulación. Es de los pocos recursos donde la población no tiene participación. Por ejemplo, la población contribuye al control del agua, el aire, el ruido, etc., pero no tiene un papel activo en el monitoreo del espectro y la radiación, aun cuando le atañe directamente. La ANE⁶ promueve participaciones, pero solamente a nivel de expertos (grupo reducido) mediante discusiones de documentos particulares, como por ejemplo, el Documento de Política de Espectro [7]
- No existe participación activa de otros actores importantes (la población, las universidades y los operadores de telecomunicaciones) para monitorizar el espectro y la radiación. Pero sobre todo no existen medios que permitan

⁶ ANE: Es la Agencia Nacional del Espectro de Colombia, entidad adscrita al Ministerio de TICs

coordinar esfuerzos comunes de estos actores para convertirse en verdaderos *vigilantes del espectro y la radiación* en el país.

Las causas:

- Los equipos de medición y las herramientas de software necesarios para realizar un proceso de vigilancia y control del ERE y RNI son costosos, de difícil acceso y propietarias.
- Existen fuertes barreras de conocimiento y acceso restringido a la tecnología que imposibilita una participación masiva para monitorizar el ERE y RNI. Lo que genera alta preocupación de la población sobre los impactos en la salud de la radiación y retrasos en el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones.
- Se desaprovecha la capacidad de la academia, a pesar de que ésta cuenta con equipos modernos y personas con conocimientos y destrezas que pueden aportar en el proceso de vigilancia y control del espectro y la radiación. Las Universidades con infraestructura tecnológica se ven como entidades aisladas del proceso, sin ninguna participación.
- Se desaprovechan las capacidades de los operadores de telecomunicaciones que cuentan con tecnologías apropiadas para apoyar el proceso, ellos son actores interesados que pueden convertirse en más que *consumidores del espectro*, pueden ser auto-reguladores del espectro con un compromiso directo y responsabilidad social de sus negocios.
- Se desaprovechan las capacidades de la población que desean ser partícipes activos del proceso de monitorización, reportando irregularidades, quejas, malos usos e inclusive con ayuda de sus teléfonos inteligentes pueden emitir información geo-referenciada de importancia para la gestión del ERE.

Las consecuencias de esa necesidad:

- Baja concertación ciudadana.
- Freno a las comunicaciones, que se expresa en protestas por instalación de radiobases y nueva infraestructura tecnológica, demandas, Planes de Ordenamiento Territorial (POT) inadecuados (por ejemplo, algunos consejos municipales proponen retirar todas las torres de antenas de celulares de los cascos urbanos y ubicarlas en los alrededores, lo que es técnicamente imposible dada la naturaleza de los sistemas celulares).
- Preocupación, desinformación e intranquilidad generalizada de la población por la radiación electromagnética que generan las antenas de telecomunicaciones instaladas cerca de sus hogares, considerando los posibles efectos nocivos a la salud y al medio ambiente.
- Utilización ineficiente del ERE, uso ilegal o mal empleo, teniendo en cuenta que el proceso de vigilancia y control del espectro es reactivo, se van tomando correctivos y sanciones en la medida que se detectan irregularidades con los consumidores del espectro

Necesidad limitada al proyecto de maestría

Problema específico: El proceso de monitorización del espectro y RNI no ofrece medios, esquemas y herramientas para que en éste exista *participación activa* de actores importantes, diferentes a las entidades del estado, como: los ciudadanos, las universidades y los operadores de telecomunicaciones.

Hipótesis: El modelo que se debe utilizar para ofrecer mayor participación en el proceso de monitorización del ERE y RNI a actores como: ciudadanos, operadores de telecomunicaciones, universidades es un modelo tecnológico cooperativo y convergente basado en la web

Para probar la validez de esta hipótesis se propondrá un novedoso *modelo tecnológico cooperativo y convergente* que apoye el proceso de monitorización del ERE y RNI, modelo que tiene la filosofía de ofrecer los medios, los servicios y las herramientas técnicas para que exista participación activa de múltiples actores con roles predefinidos en el proceso, a través de una Plataforma Tecnológica de Servicios en línea que sigue las recomendaciones de la UIT e IEEE,

Además, se desarrollará un prototipo de red de monitoreo del ERE y RNI con base en el modelo tecnológico propuesto (utilizando analizador de espectro y medidores de campos), en donde se involucren *únicamente* los actores universidad y ciudadanos; esto con el fin de definir un escenario de pruebas para verificar el modelo.

Este proyecto de investigación no pretende implementar en su totalidad el modelo a proponer, ni medir la variable social “Participación” de cada uno de los actores del sistema, por limitaciones de tiempo y recursos, por lo tanto estas actividades están por fuera de los alcances del proyecto.

Por último, los aportes y contribuciones originales que se plantean en esta propuesta de investigación son:

1. Una novedosa estrategia o modelo de monitorización del espectro y la radiación donde existe participación activa por múltiples actores importante con roles definidos; así el público general, las universidades y los proveedores de servicios de radio se pueden convertir en auto-reguladores y controladores del espectro y la radiación, ya que, por intermedio de este modelo, tienen los medios para hacerlo, al crear las condiciones y las herramientas propicias.
2. Aportes en el diseño y desarrollo tecnológico en la UIS, que impliquen apropiación del conocimiento y la tecnología.
3. Mejoramiento de técnicas y sistemas para monitorear ERE y RNI.

4. Proponer herramientas y servicios tecnológicos para apoyar la vigilancia y control participativo del ERE y RNI.
5. Además se logra integrar múltiples tecnologías de los equipos de medición (no importa el fabricante), pero siguiendo los lineamientos de la UIT e IEEE

1.2 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo tecnológico cooperativo y convergente para monitorizar el espectro radioeléctrico en las bandas de los sistemas de radiodifusión AM y FM, y la radiación electromagnética no ionizante generada por la Telefonía Móvil Celular siguiendo las recomendaciones de la UIT e IEEE en donde exista participación de universidades, operadores de telecomunicaciones, ciudadanos y/o entes de regulación del estado

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Diseñar la arquitectura de red y de servicios necesaria para la interacción entre los usuarios del sistema y los instrumentos de medición del ERE y RNI, con base en las recomendaciones y lineamientos de la UIT e IEEE, que permita realizar tareas básicas de monitorización como medición de ocupación del espectro y medición de intensidad de campos electromagnéticos.
- II. Definir un sistema de gestión, control y administración de usuarios de la red de monitorización del ERE y RNI, que establezca el grado de participación de los actores (universidad, operadores de telecomunicaciones, ciudadano y/o entes reguladores del estado) dentro del proceso

- III. Diseñar un sistema que permita controlar remotamente los dispositivos de medición analizador de espectro y medidor de intensidad de campos electromagnético, adaptable a múltiples tecnologías y que permita enlazarse con un servidor de mediciones.
- IV. Desarrollar un prototipo básico de red de monitoreo del ERE y RNI con base en el modelo tecnológico propuesto (utilizando analizador de espectro y medidores de campos), que permita ofrecer el servicio de mediciones de ocupación del espectro radioeléctrico e intensidad de campos electromagnéticos y consultas en la web de los resultados de las mediciones

2. ANTECEDENTES, MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL Y SITUACIÓN ACTUAL

En este capítulo se extracta la información que aporta los datos de entrada para el desarrollo del proyecto.

2.1 Recomendaciones y Reglamentaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT

La UIT es el máximo organismo mundial en el sector de las telecomunicaciones, éste reglamenta, estandariza y recomienda estrategias que ayudan en todos los procesos relacionados con las comunicaciones. Respecto a la gestión, control y vigilancia del espectro radioeléctrico, las recomendaciones más importantes de la UIT son:

2.1.1 Recomendación UIT-T SM.1537:

Está relacionada con la automatización e integración de los sistemas de comprobación técnica del espectro y con la gestión automática del espectro.

Recomienda que: “Las administraciones que tengan la intención de adquirir nuevos sistemas de comprobación técnica y de gestión del espectro consideren la utilización de un sistema integrado y automático que emplee una base de datos relacional común con las siguientes funcionalidades: acceso remoto a los recursos del sistema, detección automática de infracción, asignación de frecuencia y concesión de licencias, herramientas para apoyar la ingeniería del espectro, medición automática de los parámetros de la señal, medición automática de la ocupación junto con mediciones opcionales de radiogoniometría, calendario de mediciones para realización inmediata o futura, moderna interfaz de usuario gráfica” [3].

Además, plantea el modelo de red que debe implementar un sistema típico integrado de gestión y de comprobación técnica del espectro radioeléctrico, ver **Figura 1**.

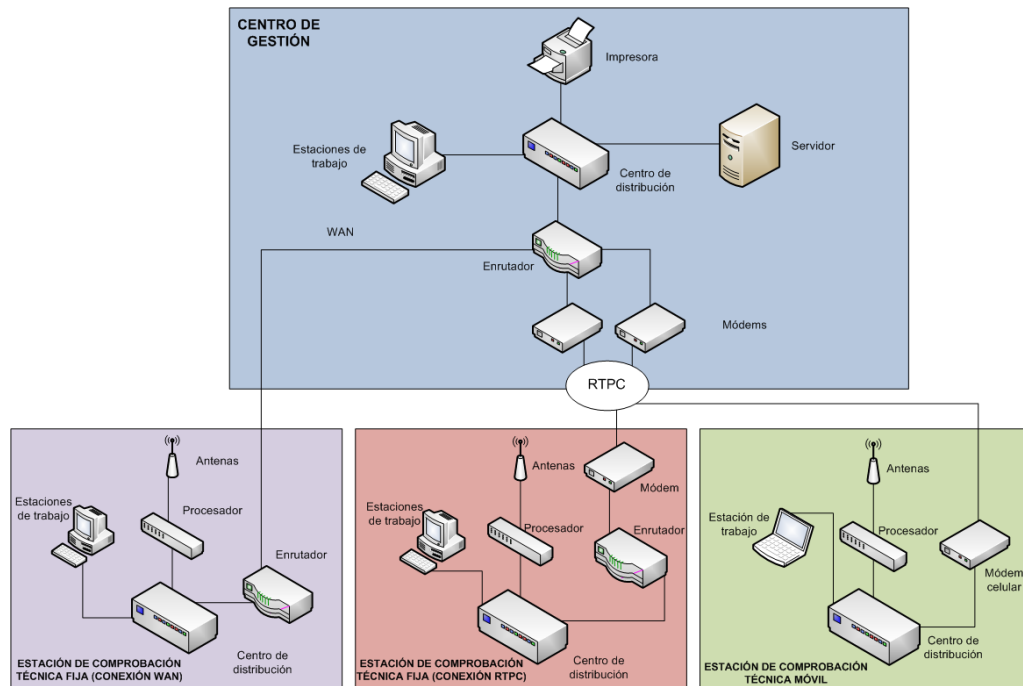


Figura 1. Sistema típico integrado de gestión y de comprobación técnica del espectro radioeléctrico (recomendación UIT-R SM.1537). Fuente [3]

2.1.2 Recomendación UIT-R SM. 182-5

Establece los parámetros necesarios para realizar un monitoreo automático de la ocupación de radiofrecuencia, recomienda además que es necesario realizar observaciones manuales de comprobación y establece que el rango de frecuencias debe ser de 2 MHz a 3 GHz, la resolución del filtro RBW está comprendido entre 10 Hz a 100 KHz y la sensibilidad del instrumento de medición se configura dependiendo de la antena [8].

2.1.3 Recomendación UIT-T K.52

Esta recomendación de la UIT establece una orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos. Presenta unos lineamientos generales, un método de cálculo y un procedimiento de evaluación de las instalaciones

Básicamente esta recomendación define que para una frecuencia determinada existe tres tipos de zonas de exposición definidos: rebasamiento, ocupacional y publico general como se muestra en la **Figura 2**. La zona de rebasamiento es aquella donde los niveles de radiación supera los límites permitidos para el cuerpo humano; por otro lado en la zona ocupacional, la radiación no sobrepasa los límites de radiación controlada (es decir, que no sobrepasa los límites permitidos para los operarios con pequeños tiempos exposición a la radiación) pero sobrepasa los límites de radiación no controlada del público en general permitida.

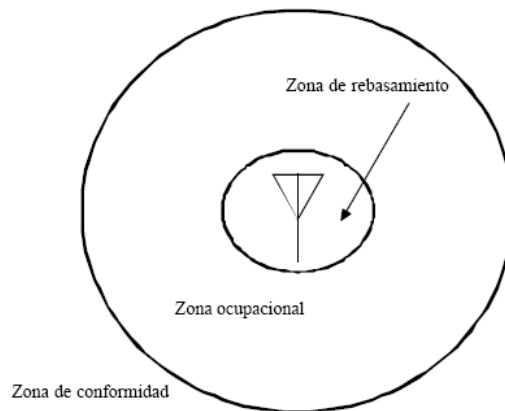


Figura 2. Zonas de Exposición a campos electromagnéticos. Fuente [9]

La **Figura 3** y **Figura 4** contiene una grafica de los límites máximos permitidos de radiación contra frecuencia para los límites de las zonas ocupacional y de conformidad.

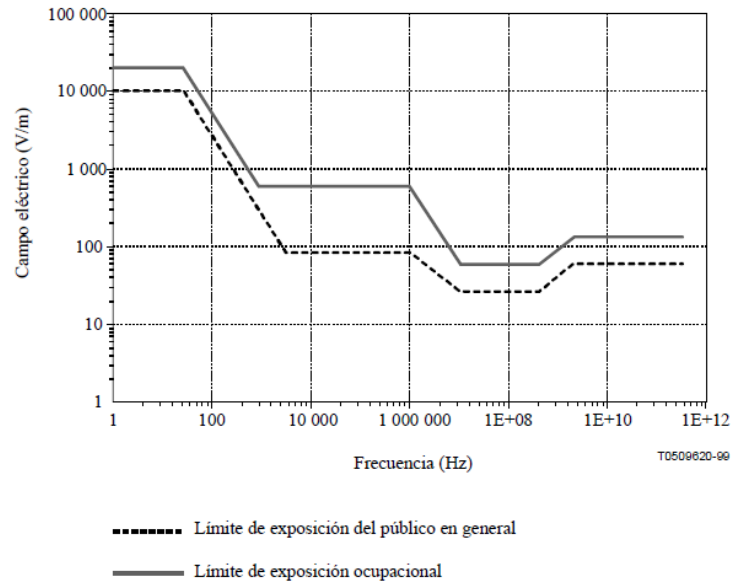


Figura 3. Límites de intensidad de campos eléctrico. Fuente [9]

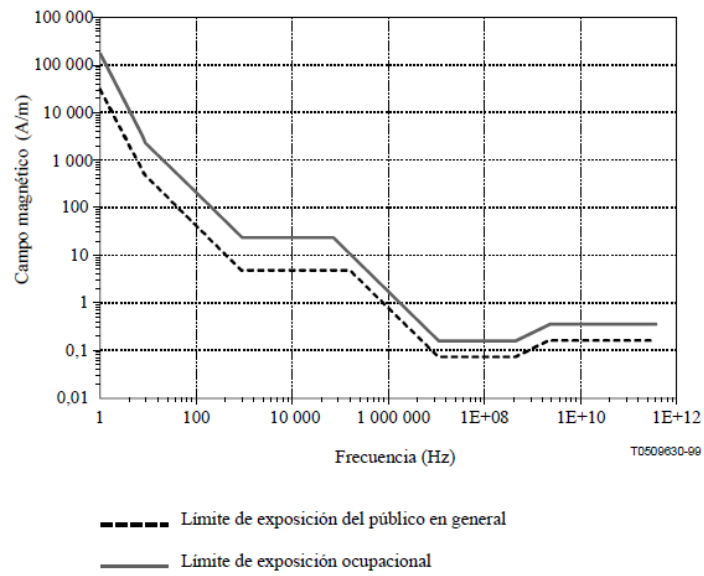


Figura 4. Límites de intensidad de campos magnético. Fuente [9]

2.2 Estudios publicados en IEEE relacionados con la gestión, vigilancia y control del espectro radioeléctrico

Las investigaciones y desarrollos más importantes publicadas en IEEE relacionadas con el monitoreo y control del espectro radioeléctrico en los últimos años se describen a continuación.

2.2.1 Automatic radio frequency monitoring measurements

Esta investigación describe las mediciones automatizadas que fueron tomadas para monitorear radares, sistemas de radionavegación, sistemas de comunicación HF y sistemas de difusión comercial en la Administración Federal de Aviación (FAA) de Estados Unidos. El Instituto de Ciencias para las Telecomunicaciones ITS diseñó el sistema automatizado de medición utilizado para realizar estas pruebas para la FAA, denominado “Radio Frequency Interference Monitoring System (RFIMS)”, el rango de frecuencias comprende desde 100 kHz a 18 GHz, el sistema integra un computador de control, analizadores de espectros y osciloscopios digitales [10].

En total 12 RFIMS fueron distribuidos en los diferentes puntos donde se encontraba la FAA en el país y algunas ubicaciones estratégicas, al finalizar el estudio se obtuvieron los resultados de las mediciones y se comprobó el funcionamiento del sistema, se recopiló información sobre ocupación del espectro, mediciones de radiación no ionizante, mediciones de espectrograma y de la antena radar ubicada en la FAA.

2.2.2 Automated Measurement System for Wireless Transmitters

En esta investigación se muestra un sistema de medición automatizado para transmisiones inalámbricas en diferentes frecuencias y esquemas de modulación. El sistema usa puertos **VISA** (Virtual Instrument Software Architecture) y COM

para la comunicación con los instrumentos de medición, en el sistema pueden operar un analizador de espectros, analizador vectorial y osciloscopio [11]. La arquitectura general del sistema se muestra en la **Figura 5**.

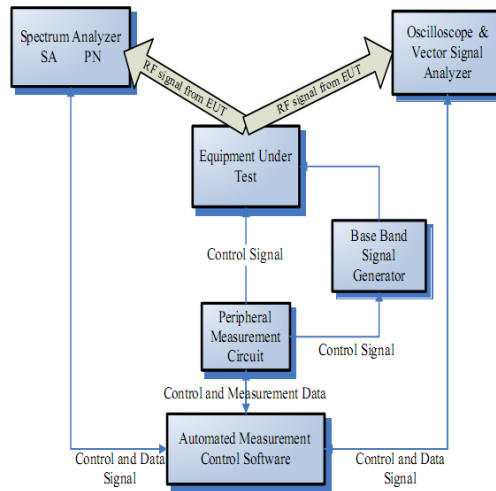


Figura 5. Arquitectura del sistema. Fuente [11]

2.2.3 Automated and remote operated system for spectrum monitoring and control in Portugal:

En esta investigación se define las características principales del Sistema Global de Control y Monitoreo del espectro radioeléctrico en todo el territorio de Portugal, que se muestra en la **Figura 6**, usando una arquitectura distribuida e implementada por ANACOM que es la Autoridad nacional de comunicaciones en ese país. Este sistema está compuesto por cuatro nodos "Spectrum Monitoring and Control Centers (SMCC)" con equipos de medición específicos en cada nodo interconectados por una red de instrumentación basada en el protocolo ethernet, lo que genera la necesidad de utilizar adaptadores de red con otras tecnologías (serial, GPIB). [12]

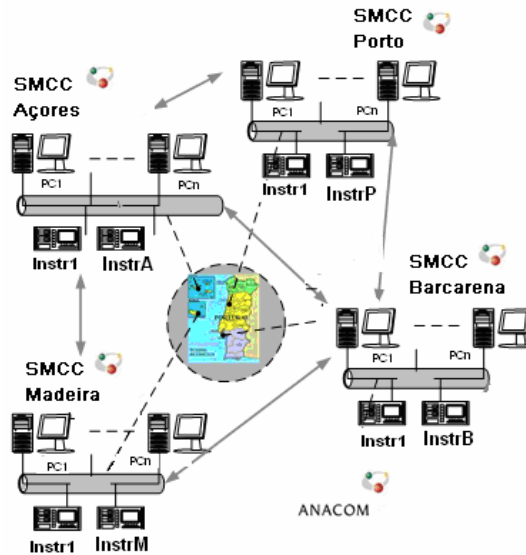


Figura 6. Arquitectura del sistema global de monitoreo del espectro en Portugal.

Fuente [12]

Las tareas de monitoreo entre nodos SMCC se realiza de manera remota usando internet. El sistema cuenta, además con tecnologías para la conmutación de antenas (AS V1.0), controlador de azimut y polarización (AP V1.0).

Los desarrollos de software de toda la arquitectura fueron realizadas usando LabVIEW. La principal desventaja que se aprecia con este sistema es el uso absoluto de un fabricante de equipos de medición Rohde & Schwarz

2.3 REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN (NGN)

Las Redes de Próxima Generación (NGN) es un modelo que integra como un todo cualquier número de redes, servicios y otros componentes como una solución de TIC. Aunque el término NGN pareciera ambiguo, porque toda nueva tecnología puede ser considera de nueva generación, no lo es, ya que se sustenta en un modelo que es tan abierto y tan flexible que puede considerarse como definitivo. Contrariamente, en los primeros modelos, como por ejemplo el Modelo OSI, el

desarrollo y explotación de las aplicaciones de redes y servicios estaban confinadas solo a los operadores y los proveedores de tecnología, con lo cual surgieron soluciones como las Redes Inteligentes (IN), las Líneas de Subscriber Digital Asíncrono (ADSL) usadas para llevar Internet a los hogares por la línea telefónica, Las Redes Públicas Conmutadas de Telefonía (PSTN), las Redes Públicas Terrestres Móviles (PLMN), las redes de televisión, las de datos, etc. Pero no existía una integración entre todas esas soluciones, prestaban servicios muy propios y no eran compatibles con las demás redes. Hoy se habla de una sola red NGN, con el modelo que se presenta en la Figura 7, abierta a todas las posibilidades tecnológicas, para que, independiente de los fabricantes y los operadores, aporten y usen aplicaciones, contenidos y otros recursos. Esto ha posibilitado el surgimiento de un nuevo actor – el desarrollador de aplicaciones de redes y servicios, que es el actor que hoy promueve el Programa del MINTIC Apps.co.

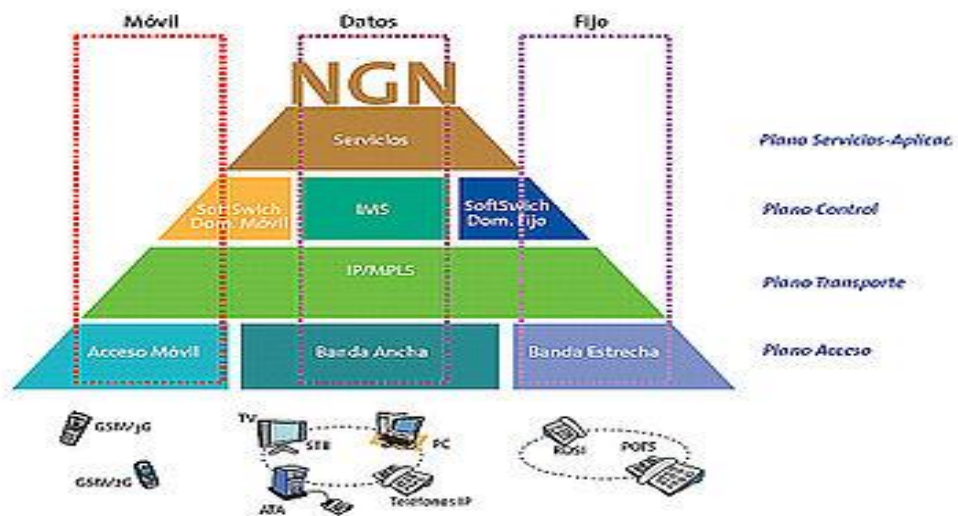


Figura 7. Modelo por Capas de una Red de Próxima Generación. Fuente [13]

Para comprender de manera rápida el sentido de esta estructura de red, revisemos el ejemplo de un servicio muy dicente: una persona frente a un televisor que está haciendo uso del servicio de Vídeo en Demanda (VoD) ofrecido

por una empresa X, la cual no es necesariamente de televisión por cable; suponiendo ahora, que, por cualquier razón, la persona debe viajar inmediatamente, apaga el televisor, pero continua viendo la película en su celular (u otro terminal), que puede estar afiliado a otra empresa y, sin ninguna interrupción. A eso se refiere la convergencia de las comunicaciones, aunque va mucho más allá. En este modelo encajan perfectamente las tecnologías actuales y futuras como WiMax o las comunicaciones móviles de tercera y cuarta generación (3G y 4G).

3. MODELAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

Este capítulo busca realizar un análisis y diseño completo de la solución propuesta que permita modelar sus características y funcionalidades desde un enfoque sistémico.

Primero se definen los requisitos fundamentales y la ingeniería de requerimientos para crear el Servicio General de telecomunicaciones basado en localización que busca monitorear en línea el espectro radioeléctrico y la radiación no ionizante

Luego es necesario diseñar la arquitectura de servicios de la solución, con base en las necesidades y requerimientos identificados y tomando como referencia conceptual el modelo general y los lineamientos que plantea el paradigma SOA

Esta arquitectura requiere modelar los principales procesos de negocio y servicios que resuelven la funcionalidad requerida en la solución

Además, es indispensable crear un esquema de participación e interacción de los usuarios con los servicios que ofrece la solución de Monitorización del espectro y la radiación, servicios que son percibidos como las herramientas y recursos que disponen los usuarios para que se apoye activamente el proceso de monitorización

3.1 REQUISITOS Y CARACTERÍSTICAS DEL MODELO

Para definir y diseñar el modelo y la arquitectura tecnológica a utilizar en esta investigación que busca crear un Servicio prototipo de telecomunicaciones basado en localización para monitorear en línea el espectro radioeléctrico y la radiación, se han establecido una serie de requisitos, características y funcionalidades mínimas, los cuales deben satisfacerse; tomando en consideración las

disposiciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ministerio de TIC de Colombia y la IEEE

3.1.1 CONECTIVIDAD E INTERACCIÓN DE ELEMENTOS

- a. *Conectividad*: Una de las premisas fundamentales de esta investigación es la capacidad de ofrecer una solución basada en la web que permita desplegar servicios en cualquier momento y desde cualquier unidad de cómputo conectado a la red de internet, con el fin de ofrecer participación activa y directa a los diferentes actores interesados en monitorizar el espectro y la radiación.
- b. *Interoperabilidad*: La interoperabilidad y flexibilidad del sistema es clave para lograr este propósito, usando protocolos y estándares de comunicación abiertos, además facilita la independencia tecnológica.
- c. *Convergencia de redes*: El modelo debe seguir el paradigma de la convergencia de las redes, usando un modelo de capas horizontal en donde el núcleo común es la red de internet y las tecnologías de acceso pueden ser diversas (inalámbrica, cableada, móvil, fija), además debe existir transparencia entre capa y capa.
- d. *Reutilización*: Las funcionalidades deben ser reutilizables y desacopladas, con el fin de lograr agilidad en el desarrollo de servicios nuevos y dinámicos

3.1.2 USUARIOS O ACTORES

Los usuarios que intervienen dentro del modelo se han clasificado en cuatro tipos, teniendo en cuenta el grado de acceso y control de los servicios y a la información que suministra, limitando las funcionalidades y capacidades de éstos y al grado de permisos que se les han habilitado.

- a. *Usuarios de consulta*: Este tipo de usuarios permite realizar cualquier tipo de consulta relacionado con el espectro y la radiación, como consulta de

mediciones ejecutadas, consulta de manchas de radiación en ciudades, consulta de información general de espectro y radiación, instaurar quejas y denuncias y solicitar mediciones en ubicaciones específicas.

- b. *Usuarios de control remoto*: Son aquellos usuarios que están habilitados para realizar mediciones remotamente (tele-medición) de espectro y radiación desde la web por medio de las diferentes estaciones de monitoreo fija habilitadas
- c. *Usuarios de control in-situ*: Están habilitados para realizar mediciones en sitio de espectro y radiación utilizando una estación de monitoreo móvil (drivetest)
- d. *Usuario administrador*: Governa todos los servicios y sistemas, sus funciones son:
 - Gestión, Control y administración de los usuarios del sistema, puede crear nuevos registros de usuarios de cualquier tipo, eliminar usuarios existentes, modificar o actualizar los datos de los usuarios registrados (tipos y roles de usuarios).
 - Habilitar o deshabilitar estaciones de monitoreo fijas o móviles.
 - Eliminar campañas de mediciones registradas en la base de datos.
 - Habilitar las manchas de radiación en ciudades para que sean visibles por los demás usuarios

3.1.3 ROLES DE LOS USUARIOS

Los roles de los usuarios permiten identificar el grado de participación de los diferentes actores y evaluar el papel proactivo dentro del proceso de monitorización del espectro radioeléctrico y la radiación no ionizante.

- a. Ciudadanos
- b. Universidades
- c. Operadores de telecomunicaciones

- d. Entes estatales de regulación (regulador estatal)

Tener en consideración que se pueden hacer diferentes combinaciones entre roles y tipos de usuario, por ejemplo: un operador específico puede ser de tipo Control remoto, pero otro operador puede ser de tipo Consulta.

3.1.4 PARTICIPACIÓN E INTERACCIÓN DE USUARIOS

La participación activa y directa de los diferentes actores en el proceso de monitorización del espectro y la radiación desde diferentes niveles de interacción es fundamental para lograr un modelo cooperativo. El proceso debe presentar tres **niveles de interacción**, los cuales tienen en cuenta el rol y los tipos de los usuarios. Estos niveles definen el grado de participación y cooperación dentro del proceso de monitorización.

- **NIVEL I.** Asociado con los usuarios ciudadanos tipo consulta, permite realizar procesos de consulta y solicitudes. En este nivel están habilitados los siguientes servicios:
 - Servicio de consulta web de mediciones de espectro y radiación
 - *Servicio de Consulta de Manchas de RNI en ciudades*
 - *Servicio de información relacionada con ERE y RNI*
 - *Servicio de quejas y denuncias* (fallas en sistemas como celulares, mala cobertura, instalación de nueva infraestructura de telecomunicaciones, fotos de ubicación de antenas y torres de telecomunicaciones, emisiones ilegales de radio)
 - *Servicio de solicitudes de mediciones* en ubicaciones específicas
- **NIVEL II.** Asociado con los usuarios Universidades y Operadores de telecomunicaciones que estén habilitados como los tipos de usuarios *control remoto* y *control in-situ*. En este nivel están habilitados los servicios del Nivel I y además los siguientes servicios de medición:

- *Servicio de Tele-medición on-line en Estaciones de Monitoreo Fijas del ERE y RNI* para estas mediciones se usan los instrumentos que están dentro de la red de monitoreo.
 - *Servicio de Medición In-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles*
- **NIVEL III.** Asociado con el usuario Ente de Regulación del Estado tipo Administrador. Encargado de vigilar, hacer seguimiento y tomar correctivos en el proceso de monitorización del ERE y RNI. Este es el nivel más alto de interacción, y gobierna todos los servicios y los usuarios. Abarca los servicios del nivel I y II, así como la administración y gestión de los usuarios, validación de las mediciones y la información de la base de datos, habilitar estaciones de monitoreo fijas y móviles a la red de monitoreo

3.1.5 TIPOS DE ESTACIONES DE MONITOREO

El Manual de Comprobación Técnica del Espectro de la Unión Internacional del Telecomunicaciones publicado en 2011, define el esquema para realizar la monitorización del espectro y la radiación mediante el uso de dos tipos de estaciones de monitoreo

- a. *Estación de monitoreo Fija:* Son estaciones que se ubican en una posición fija permanentemente y que disponen de los equipos y antenas de medición para monitorizar el espectro y la radiación, permite realizar tarea programadas automáticamente sin la intervención directa del personal técnico. Requiere que tenga habilitada la capacidad de control remoto de los instrumentos para realizar mediciones a distancia (tele-medición), requiere conectividad al sistema central por medio de internet.
- b. *Estación de monitoreo móvil:* Es aquella que se ubica en un vehículo equipado con los instrumentos de medición apropiados (analizadores de espectro, medidores de potencia, medidores de campos electromagnéticos), las antenas

de medición correspondientes para cada banda de frecuencia y un sistema de geo-posicionamiento basado en GPS, con la capacidad de conexión a un servidor central de mediciones usando internet móvil. Permite realizar mediciones tipo drivetest en diferentes lugares haciendo recorridos, con el fin de evaluar la cobertura de una señal portadora de un servicio, identificar interferencias y evaluar el comportamiento de la radiación en determinadas áreas geográficas.

3.1.6 TIPOS DE MEDICIONES

Las mediciones que están habilitadas para realizar el proceso de monitorización son de dos tipos:

- a. *Medición de Radiación RNI*: Sensa los campos electromagnéticos generados por los sistemas de telecomunicaciones en banda ancha, sumatoria de todas las fuentes de radiación, sin discriminar el aporte de cada frecuencias, con el objetivo de evaluar el nivel de cumplimiento de los límites de exposición a campos que está expuesta la población o público general
- b. *Medición de Espectro ERE*: Permite capturar el espectro radioeléctrico para una banda de frecuencias determinada durante un tiempo específico, el objetivo principal de este tipo de medición, en estaciones fijas, es evaluar el porcentaje de ocupación de espectro y determinar qué canales de frecuencias están libre y cuáles no a nivel porcentual.

3.1.7 MODOS DE MEDICIÓN

Los modos de medición hacen referencia a la forma como se ejecuta el proceso de medición y el procedimiento usado, tiene en cuenta el tiempo de captura de los datos y el desplazamiento de las estaciones de monitoreo. Existen tres modos de medición:

- a. *Medición "Modo automático/programado"*: Se definen tareas de medición que se ejecutarán durante un periodo de tiempo a partir de una fecha y hora específica, por ejemplo para hacer análisis de ocupación de espectro. Este modo está relacionado con las estaciones de monitoreo fijas.
- b. *Medición "Modo interactivo/abierto"*: Permite interacción directa con los equipos de medición de forma remota, permitiendo variar los parámetros de configuración y funciones de los instrumentos, existe realimentación instantánea (se observa la variable sensada instantáneamente).
- c. *Medición "Modo drivetest"*: Relacionado únicamente con las estaciones de monitoreo móviles ya que implican desplazamientos de un sitio a otro, de forma que la variable medida está geo-referenciada, permite evaluar la cobertura de un servicio de radio o el comportamiento de la radiación en un área determinada.

3.1.8 SERVICIOS PRINCIPALES DEL SISTEMA

- 1. *Servicio autenticación y registro de usuarios*: Este servicio permite identificar al usuario que va hacer uso de los servicios que ofrece la red de monitoreo, y dependiendo del tipo y rol del usuario habilita determinados servicios en función del nivel de interacción configurado (I, II o III). Tiene los siguientes sub-servicios
 - a. *Servicio de autenticación de usuarios*: Corresponde a un login o inicio de sesión típico por parte de los usuarios registrados en la base de datos.
 - b. *Servicio de registro de nuevos usuarios*: Permite crear nuevos registros de usuarios en la base de datos, esta función está restringida a los usuarios administradores, aunque el único usuario que se puede crear abiertamente son los usuarios de tipo consulta

- c. *Servicio de eliminación de usuarios:* Se utiliza para eliminar usuarios registrados en la base de datos, este servicio se puede ejecutar únicamente por los administradores del sistema.
 - d. *Servicio de actualización de datos de usuarios:* Permite modificar los datos de los usuarios, como correo electrónico, rol, ciudad, empresa, etc. Este servicio se puede utilizar por cualquier usuario para actualizar únicamente una cuenta propia.
2. *Servicio de Consulta Web de Mediciones del ERE y RNI:* Permite consultar por medio de la web la información de las mediciones de espectro y radiación almacenadas en la base de datos del sistema, realizadas en las diferentes estaciones de monitoreo fijas y móviles. Los sub-servicios que constituyen este servicio principal son:
- a. Servicio de consulta mediciones en Estaciones Fijas
 - b. Servicio de consulta mediciones en Estaciones Móviles
 - c. Servicio de consulta de mediciones de ERE
 - d. Servicio de consulta de mediciones de RNI
3. *Servicio de Consulta de Manchas de RNI en ciudades y municipios:* Una mancha de radiación de una ciudad es la representación geo-espacial continua de los niveles de campos electromagnéticos sobre un área geográfica representativa de la ciudad, información que se obtiene por interpolación de los datos de las mediciones tipo drivetest realizadas por las estaciones de monitoreo móvil. Esta información está disponible para ciudades donde el volumen de las mediciones cubre un alto porcentaje de las calles (70% de casco urbano)

4. *Servicio de Tele-medición o Registro on-line en Estaciones de Monitoreo Fijas del ERE y RNI:* La tele-medición online es un esquema para realizar mediciones de espectro o radiación desde internet utilizando instrumentos de medición que se encuentran en las diferentes estaciones de monitoreo fijas distribuidas en lugares distantes. Para ello es necesario ejercer un control remoto de los equipos de medición usando un navegador web tradicional. Los sub-servicios que constituyen este servicio principal son:
 - a. *Servicio de tele-medición de espectro radioeléctrico:* Permite realizar tareas de análisis de Ocupación de frecuencias en sistemas de radiodifusión AM y FM)
 - b. *Servicio de tele-medición de radiación no ionizante:* Con el fin de sensar la intensidad de campos electromagnéticos en especial de la telefonía móvil celular TCM.
 - c. *Servicio de tele-medición en Modo programado/automático:* Medición que se ejecuta durante un periodo de tiempo automáticamente para hacer análisis posteriores (ocupación de espectro o porcentaje de cumplimiento de los niveles de radiación) de los resultados guardados en la base de datos
 - d. *Servicio de tele-medición en Modo interactivo/abierto:* Son mediciones remotas instantáneas que buscan conocer el estado actual del espectro en una banda o la radiación

5. *Servicio de Medición In-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles del ERE y RNI:* Este servicio permite realizar mediciones en diferentes ubicaciones utilizando una estación de monitoreo móvil, a diferencia del servicio de tele-medición online, los instrumentos son controlados directamente pero de forma automática por el personal en sitio (usuarios de control in-situ) utilizando herramientas computarizadas que se integran con el sistema de posicionamiento global GPS. El modo de medición para este servicio es

únicamente drivetest. Los sub-servicios que constituyen este servicio principal son:

- a. *Servicio de medición in-situ en modo de conexión On-line:* Los datos son enviados directamente al Servidor Central de Mediciones para ser almacenados en la base de datos, durante el proceso de medición, cabe resaltar que esta funcionalidad depende de la conexión a internet móvil en sitio que se tenga, para áreas donde no existe posibilidad de conexión a internet, los datos quedan en espera para ser enviados
- b. *Servicio de medición in-situ en modo de conexión stand alone:* Este servicio permite realizar las mediciones sin ningún tipo de conexión con el Servidor Central de Mediciones utilizando las herramientas computarizadas correspondientes que automaticen el proceso. Al finalizar el proceso de medición se genera un reporte o informe con la información sensada, el cual puede ser enviado posteriormente al Servidor Central. Este servicio es útil cuando no se tenga internet móvil en la zona.
- c. *Servicio de medición in-situ del espectro radioeléctrico:* Este servicio permite medir el espectro radioeléctrico en una banda de frecuencias específica en diferentes lugares, esta información es útil para evaluar la cobertura de los sistemas de radio por difusión (comunicación punto multipunto).
- d. *Servicio de medición in-situ de radiación no ionizante:* Este servicio permite medir el campo radioeléctrico (campo eléctrico, magnético o densidad de potencia) en diferentes lugares, con el fin de evaluar el comportamiento de la radiación en entornos urbanos y determinar el

nivel porcentual de cumplimiento de las normas de exposición a campos que establece el MinTIC y la UIT.

6. *Servicio de solicitud de mediciones en ubicaciones específicas:* Este servicio le da la capacidad a los usuarios de consulta, como los ciudadanos o los mismos operadores de telecomunicaciones, de solicitar al Sistema realizar mediciones de espectro o radiación en una ubicación específica, ya sea usando una estación de monitoreo fija o móvil. En esta solicitud se debe indicar la causa o motivación para realizar la medición, por ejemplo, si un ciudadano tiene alguna preocupación fuerte por una antena que se encuentra en frente de la vivienda del usuario y se desea conocer los niveles de radiación generados por la misma, o por ejemplo, si un gerente de proyectos de una emisora de radiodifusión quiere ampliar la cobertura del servicio que presta, usa el servicio de solicitud de mediciones del espectro y examina las posibles fuentes de interferencia que existen y el área geográfica que desea cubrir. De esta forma los ciudadanos u otros actores realizan mediciones indirectas

7. *Servicio de información relacionada con la radiación y el espectro radioeléctrico:* Muchas de las preocupaciones que surgen en torno a los problemas relacionados con la radiación, producto de las antenas, es por falta de información clara y veraz o por desinformación proveniente de múltiples fuentes poco confiables y muchas veces falsa. Es por ello que se habilita este servicio que busca entregar información sólida, verídica, actualizada, de fuentes altamente reconocidas y que reflejen la realidad del tema, los tópicos son:
 - a. Conceptos y teoría.
 - b. Información sobre salud de la Organización Mundial de Salud
 - c. Información de la Unión Internacional de Telecomunicaciones
 - d. Información proveniente del MinTIC y la Agencia Nacional del Espectro de Colombia

- e. Situación otros países.
 - f. Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencia
8. *Servicio de quejas y denuncias:* Este servicio se habilita para convertir a los ciudadanos, universidades, operadores de telecomunicaciones en verdaderos auto-reguladores y auto-controladores del espectro y la radiación. Por medio de este servicio se puede:
- a. Reportar fallas en sistemas de telefonía celular, AM, FM y TV (mala calidad del servicio, intermitencias, caídas del servicio)
 - b. Reportar mala cobertura
 - c. Reportar instalación de nuevas antenas sin licencia
 - d. Reportar transmisión ilegal en sistemas de radiodifusión
 - e. Reportar interferencias

3.2 INGENIERÍA DE REQUERIMIENTOS DE LA SOLUCIÓN

La ingeniería de requerimientos de la solución propuesta define las interacciones entre los actores identificados y las principales funcionalidades del sistema, las cuales se han establecido en términos de servicios, ocho en total. Cada requisito se asocia con un caso de uso, término acuñado a la ingeniería del software, para representar estas interacciones se utilizan diagramas de casos de uso siguiendo los principios del Lenguaje Unificado de Modelado (UML)

Para estructurar el análisis de requisitos y sus interacciones se presenta de forma general los casos de uso en términos de los servicios identificados en la solución, el diagrama general de casos de uso de los servicios ofrecidos se muestra en la Figura 8.

Los requerimientos generales de la solución en función de los servicios son:

1. Solicitar servicio de autenticación de usuarios
2. Solicitar servicio de registro de nuevos usuarios

3. Solicitar Servicio de eliminación de usuarios
4. Solicitar servicio de actualización de datos de usuarios
5. Solicitar Servicio de tele-medición on-line en estaciones de monitoreo fijas
6. Solicitar Servicio de tele-medición de espectro radioeléctrico (Ocupacion Freq)
7. Solicitar Servicio de tele-medición de radiación no ionizante
8. Solicitar Servicio de tele-medición en Modo programado/automático
9. Solicitar Servicio de tele-medición en Modo interactivo/abierto
10. Solicitar Servicio de medición in-situ en estaciones de monitoreo móviles
11. Solicitar Servicio de medición in-situ en modo de conexión On-line
12. Solicitar Servicio de medición in-situ en modo stand alone
13. Solicitar Servicio de Consulta Web de Mediciones ERE y RNI
14. Solicitar Servicio de consulta mediciones en Estaciones Fijas
15. Solicitar Servicio de consulta mediciones Estaciones Móviles
16. Solicitar Servicio de consulta de manchas de RNI en ciudades
17. Tramitar Servicio de solicitudes de mediciones en ubicaciones específicas
18. Solicitar Servicio de información relacionada con la radiación y el espectro radioeléctrico
19. Solicitar Servicio de quejas y denuncias

En la se aprecia que no todos los usuarios interacturan con la totalidad de las funcionalidades o servicios que ofrece el sistema, esto teniendo en cuenta que los niveles de acceso a cada servicio está definido en función del tipo de usuario (administrador, consulta, constrol remoto, control in-situ).

Los casos de uso asociado con la gestion de usuarios (Solicitar servicio de registro de nuevos usuarios, Solicitar Servicio de eliminación de usuarios) son exclusivos para los usuarios tipo administrador.

Los usuarios de consulta estan asociados a una cantidad limitada de casos de uso o funcionalidades, mientras que los usuarios de control interactuan con un numero mayor de funcionalidades.

El análisis detallado de cada servicio en términos de casos de uso se describe en el **Anexo I**

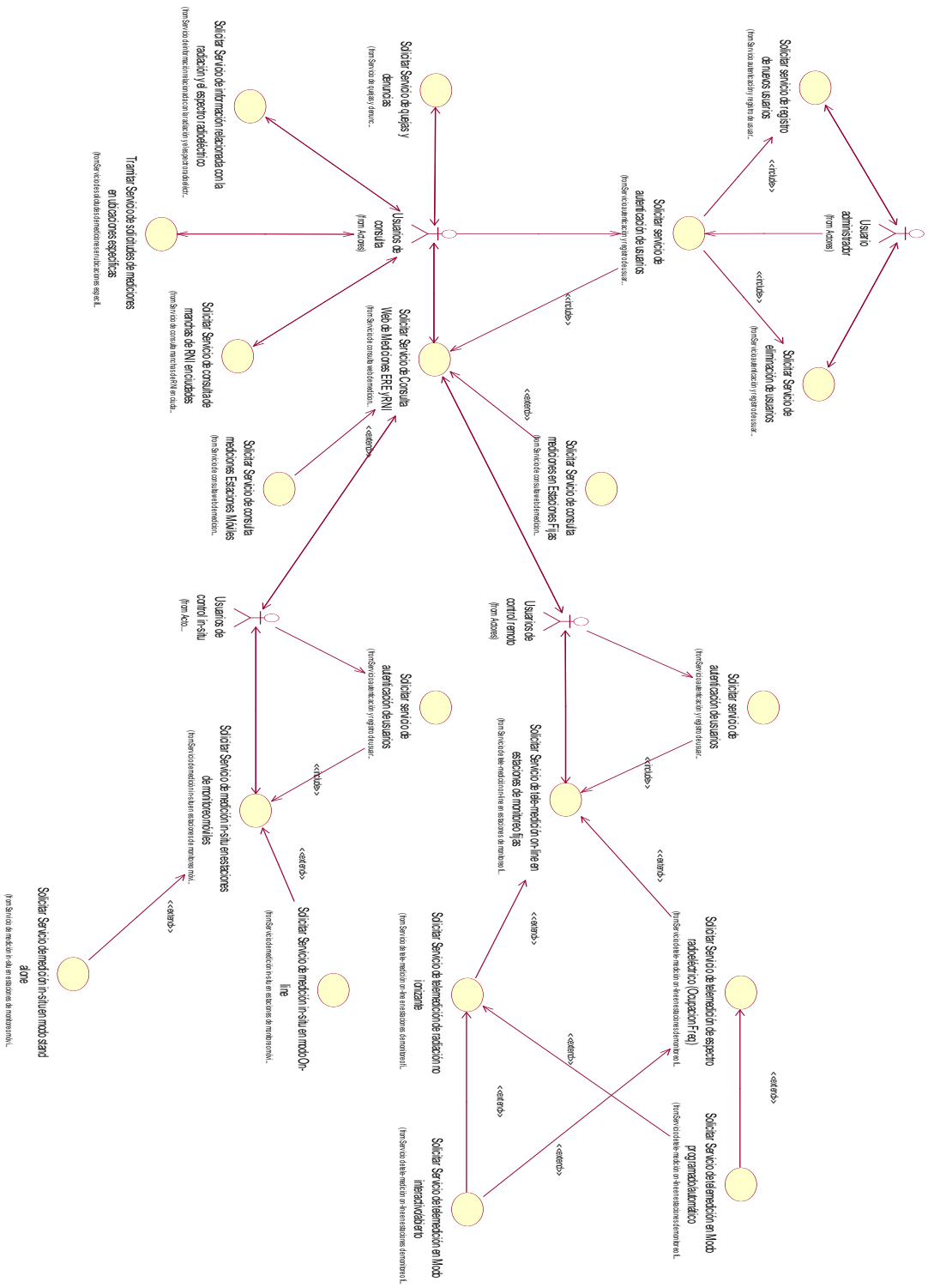


Figura 8. Diagrama General de casos de uso de los servicios ofrecidos

3.3 ARQUITECTURA DE SERVICIOS

La Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) [14] y [15] ofrece un esquema y un modelo que se ajusta totalmente a las necesidades y requerimientos planteados en la sección anterior, las características principales de esta arquitectura son:

- Está orientada totalmente a servicios y procesos de negocio
- Gran interoperabilidad y desacoplamiento de componentes
- Capacidad de reutilización de servicios
- Se basa enteramente en el uso de web services como esquema de interacción
- Gran dinamismo en el desarrollo de nuevos servicios y procesos
- Capacidad de adaptación a los cambios tecnológicos y del negocio
- Excelente sinergia entre la tecnología y el negocio
- Los usuarios usan los servicios dentro y fuera de la red, independiente de la tecnología
- La convergencia de las redes facilita su implementación

Tomando como referencia conceptual el modelo general que plantea SOA en [16] y la metodología de trabajo propuesta en [17], se diseñó una arquitectura de servicios adaptada a las necesidades de la solución que incluye todos los servicios de consulta y monitorización del espectro y la radiación, la cual se muestra en la Figura 9.

La capa de servicios básicos o de bajo nivel corresponde a aquellos servicios de grano fino que no hacen uso de otros servicios.

La capa de servicios compuestos especializados define aquellos servicios que se forman por la composición de varios servicios básicos, por ejemplo el Servicio de Autenticación y Registro de Usuarios corresponde a la unión de: Servicio de autenticación de usuarios, servicio de registro de nuevos usuarios, servicio de eliminación de usuarios y Servicio de actualización de datos de usuarios.

Los procesos de negocio definen el flujo de invocación de los servicios para implementar los procesos, se definen un conjunto de tareas o actividades en el que los actores participan según un esquema de trabajo para lograr un objetivo, tal como lo plantea.

La capa de presentación es el punto de acceso único de los usuarios a los servicios o aplicaciones de red diseñados, está constituida por los diferentes portales web tanto de consulta como medición, así como las aplicaciones de escritorio (GeoRadScanner y GeoSpectScanner) que se enlazan con el Servidor Central de Mediciones.

Un aspecto fundamental de la arquitectura propuesta es el componente de participación activa en todos los niveles de los actores involucrados en el proceso de monitorización del espectro y la radiación: Universidades, Operadores de telecomunicaciones, Ciudadanos y Entes de Regulación Estatal. De forma tal que la actividad de gestión, vigilancia y control del espectro y la radiación no es exclusiva de los organismos estatales de regulación como el Ministerio de TIC, la Agencia Nacional del Espectro (ANE) y la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC).

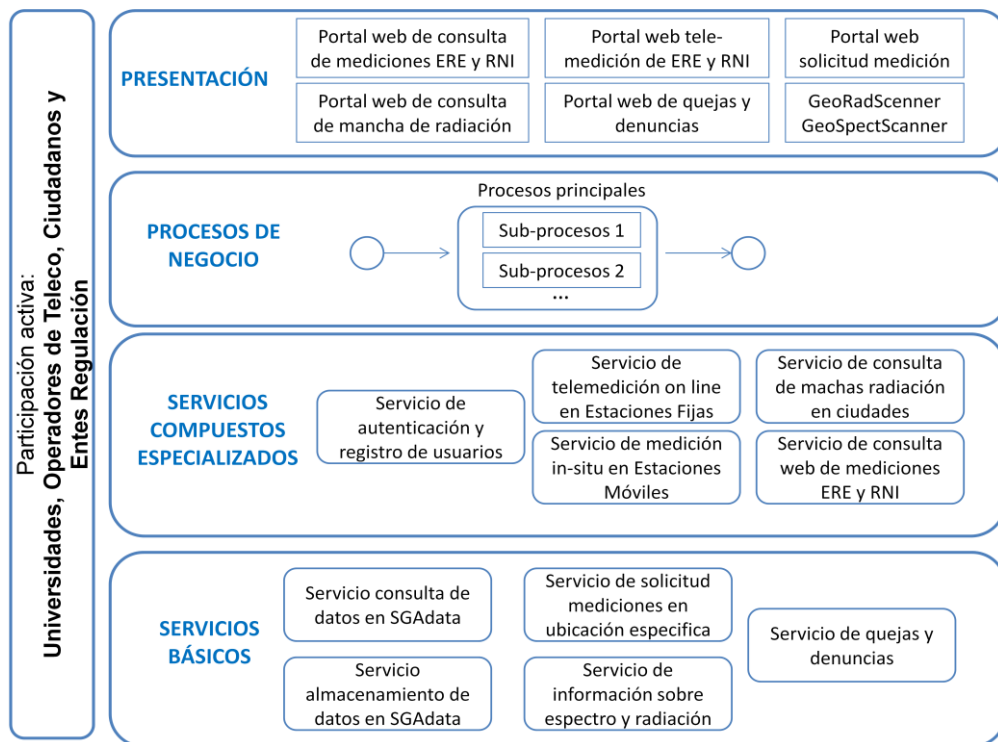


Figura 9. Arquitectura de Servicios de la solución

Con este modelo los consumidores de espectro se convierten en verdaderos auto-reguladores y auto-controladores del espectro y la radiación ya que apoyan este proceso y son actores participes al reportar todo tipo de información, usando los servicios habilitados, mediante mediciones por medio de la red de monitoreo (estaciones fijas y móviles), consulta y análisis de las mediciones, consulta de las manchas de radiación, reporte de quejas y denuncias relacionadas con la calidad de los servicios de radio y las irregularidades (interferencias, emisiones piratas, etc.)

3.3.1 MODELADO DE PROCESOS DE NEGOCIO

En el modelado de procesos de negocio se identifican los procesos de negocio y sus principales restricciones. Los procesos de negocio se describen como un conjunto de tareas en el que los actores participan según un flujo de trabajo

determinado. Estos procesos pueden organizarse en forma jerárquica hasta con dos o tres niveles de anidamiento.

En la Figura 10 se muestra el mapa de procesos global para realizar el monitoreo, vigilancia y control del espectro y la radiación como un modelo integrador donde los entes de regulación del estado (MinTIC, ANE, CRC) involucran a las universidades, operadores de telecomunicaciones y los ciudadanos en los tres niveles de procesos: estratégicos, misionales y apoyo.



Figura 10. Mapa de procesos global para monitoreo, vigilancia y control del espectro y la radiación

En el nivel superior se encuentran los procesos estratégicos y visionarios, donde se dictaminan y toman decisiones de gobierno sobre la gestión, control y vigilancia del espectro; en este nivel se definen las políticas, leyes, lineamientos necesarios para lograr esta tarea, es muy importante que los entes de regulación definan los medios de participación a otros actores como las universidades, los operadores de telecomunicaciones (operadores de redes y servicios) y los ciudadanos mediante documentos de consulta pública, foros, charlas, socialización, etc.

Los procesos misionales y tácticos hacen referencia a las actividades operativas necesarias para ejecutar las directrices tomadas a nivel estratégico, dentro de

éstos se encuentran los procesos de monitorización del espectro y la radiación basados en servicios, la ingeniería del espectro que busca evaluar e identificar interferencias y los procesos de asignación y adjudicación de canales de frecuencia dentro del espectro.

Los procesos de apoyo son aquellos sobre los que se puede soportar las actividades y procesos misionales, en donde la investigación, el desarrollo y la innovación son elementos fundamentales para generar soluciones sólidas.

Este trabajo de investigación se orienta y profundiza en los procesos de monitorización del espectro y la radiación basados en servicios utilizando la web como recurso clave de participación de los actores involucrados e interesados

PROCESOS DE NEGOCIO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Los procesos principales identificados para esta solución con base en la ingeniería de requerimientos y los servicios que se desean ofrecer son:

- I. Autenticar o Registrar Usuarios
- II. Medir remotamente en Estaciones de Monitoreo Fija
- III. Medir in-situ en Estaciones de Monitoreo Móvil
- IV. Consultar vía web Mediciones ERE/RNI
- V. Consultar manchas de radiación en Ciudades
- VI. Consultar información relacionada con ERE y RNI
- VII. Solicitar mediciones en ubicaciones específicas
- VIII. Instaurar queja o denuncia

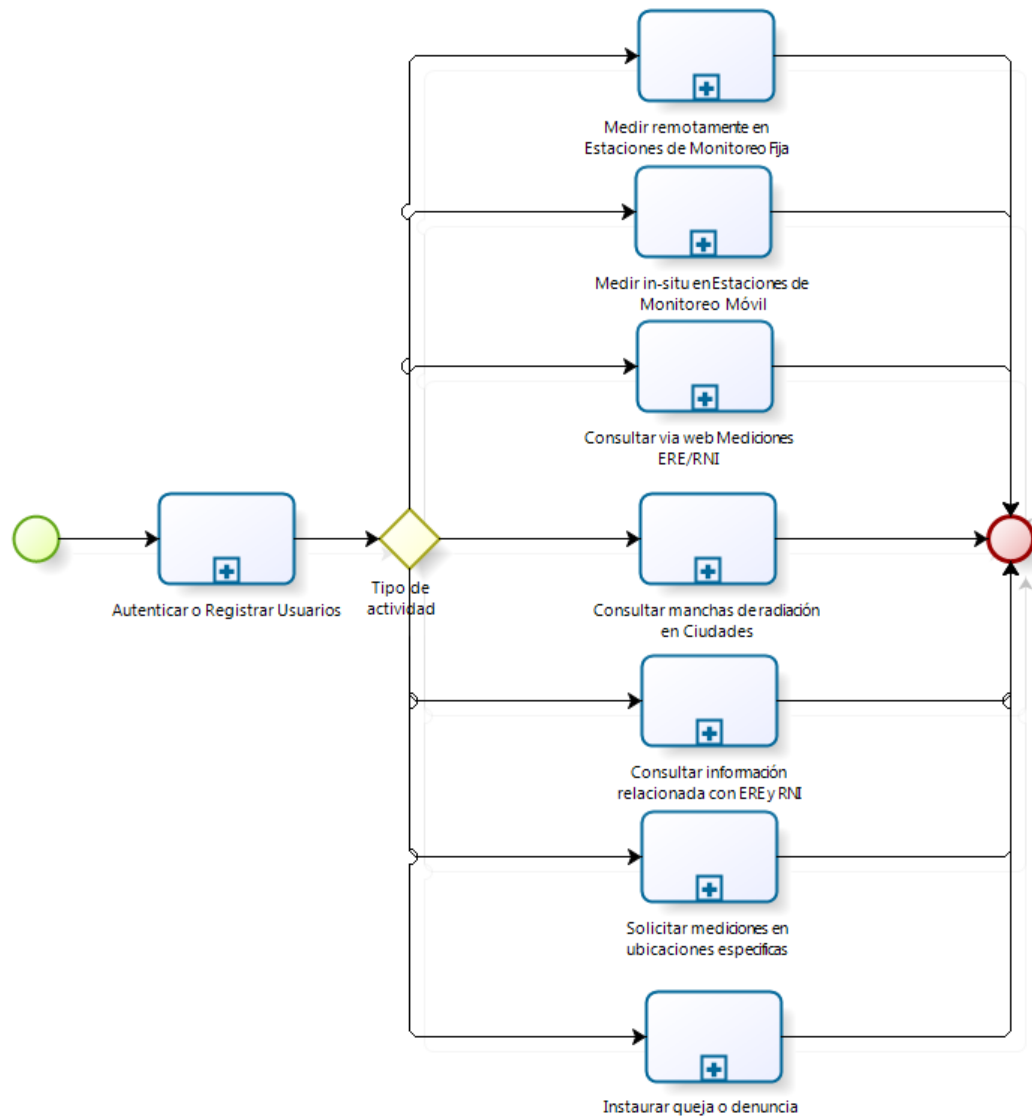


Figura 11. Diagrama General de procesos de negocio de la solución

En la Figura 11 se muestra el diagrama general de los procesos principales de negocios y sus interacciones en BPMN⁷, utilizando la herramienta BizAgi Process Modeler, cada proceso tiene asociado un conjunto de sub-procesos con el fin de estructurar y simplificar este modelamiento.

⁷ BPMN: Notación grafica estandarizada para modelar procesos de negocio

A continuación se van a describir de manera general todos los procesos que intervienen en la solución propuesta. Para examinar los detalles de cada procesos y subproceso ver **Anexo II**

3.3.1.1 Proceso Autenticar o Registrar Usuarios

Este proceso describe las actividades necesarias para que los usuarios o actores involucrados Universidades, Operadores, Ciudadanos y Entes de Regulación realicen la autenticación, registro, eliminación o actualización de sus perfiles de usuarios asociados en la Plataforma de Servicios y puedan interactuar con todos los procesos de medición, consulta y/o solicitudes del espectro y la radiación.

Este proceso tiene asociados cuatro sub-procesos: Autenticar usuarios, Registrar Usuarios, Eliminar Usuario y Actualizar datos de usuarios los cuales permiten cumplir con todos los requerimientos de los Usuarios.

- a. *Sub-proceso Autenticar usuarios:* Describe las actividades relacionadas con el inicio de sesión o “login” de los usuarios, dentro de las cuales están la validación de la clave de acceso y los mecanismos de seguridad para evitar accesos fraudulentos por terceras personas, como bloqueo temporal de la cuenta de usuario cuando se digita erróneamente la clave tres veces consecutivas.
- b. *Sub-proceso registrar nuevo usuario:* Define las actividades que permiten a los usuarios tipo administrador crear nuevos perfiles de cuentas de usuarios y habilitar los permisos correspondientes de acuerdo al tipo y rol. Para ello es necesario verificar el usuario administrador que va a realizar el proceso de registro, también es indispensable validar la unicidad del nuevo alias o Nick en la base de datos de usuarios con el fin de que no existan usuarios repetidos que generen ambigüedades y por último el registro de todos los datos en el Sistema de Gestión y Administración de Usuarios.

- c. *Sub-proceso Eliminar usuario:* Establece el mecanismo para eliminar una cuenta de usuario de la base de datos de usuarios del sistema, para ello es necesario primero verificar el usuario administrador que va a realizar el proceso, ya que este perfil es el único que puede eliminar un registro, y por último hacer efectiva la eliminación del usuario en la base de datos. Este proceso es irreversible, es decir, no se puede restablecer una cuenta luego de haber sido borrada del sistema.
- d. *Sub-proceso actualizar datos de usuario:* Define las actividades para actualizar o modificar los datos de un usuario, como el nombre, la contraseña, la ciudad, correo, empresa y rol, el tipo de usuario solo puede ser cambiado por los administradores.

3.3.1.2 Proceso Medir remotamente en Estaciones de Monitoreo Fija

Este proceso describe la secuencia de actividades necesarias para realizar mediciones remotamente (tele-medición) en estaciones de monitoreo fijas usando la web como recurso de conexión e interacción.

Para ello es necesario, en primera instancia, configurar la campaña de medición, definiendo los siguientes parámetros:

- Nombre de la campaña de medición
- Usuario que va a ejecutar la actividad.
- Tipo de medición: Medición de Espectro ERE o Medición de Radiación RNI
- Modo de medición: Modo programado, Modo interactivo
- Estación de monitoreo fija donde se va a realizar la medición
- Características del Instrumento y antena a utilizar: Tipo de instrumento, fabricante, modelo
- Unidad de medida: dBm, dBuV, W, V/m, A/m

- Fecha de inicio de la medición.

Luego configurar el Plan de medición en función del tipo. Realizar la captura remota de los datos medidos por los instrumentos en sitio (tele-medicación) teniendo en cuenta el modo de medición establecido (programado o interactivo) y por último se genera un reporte de la medición realizada.

El proceso Medir remotamente en Estaciones de Monitoreo Fija presenta tres sub-procesos claves: Configurar Plan de Medición, Medir remotamente espectro y medir remotamente radiación.

- Sub-proceso Configurar Plan de Medición:* Corresponde a la etapa de pre-ingeniería antes de realizar la medición y es clave para obtener resultados satisfactorios dado que en este sub-proceso se configura los parámetros de los instrumentos de acuerdo a las necesidades del usuario y el comportamiento del espectro radioeléctrico y la radiación en sitio.
- Sub-proceso Medir remotamente espectro:* Establece el mecanismo para capturar los datos del analizador de espectro que se encuentra en la estación de monitoreo fija seleccionada (ubicada en algún lugar distante) usando internet como medio para transferir información, en ambos sentidos, entre el usuario y el equipo de medición, este proceso se conoce como tele-medicación del espectro.

Para mediciones en modo programado la actividad de captura remota de datos del analizador de espectros se repite iterativamente durante un periodo de tiempo configurado en la Campaña de medición, el almacenamiento de datos en el Servidor Central se hace por cada trama de espectro medido. En modo interactivo la captura de datos y posterior almacenamiento se realiza una sola vez.

- Sub-proceso Medir remotamente radiación:* Define las actividades para capturar remotamente los datos del medidor de campos electromagnético

ubicado en la estación de monitoreo fija, tiene las mismas características y lógica de negocio que el caso anterior.

3.3.1.3 Proceso Medir in-situ en Estaciones de Monitoreo Móvil

El proceso de medición in-situ usando estaciones de monitoreo móvil se caracteriza porque se ejecuta en diferentes lugares o sitios distribuidos en una zona y la capacidad de geo-referenciación de los datos medidos, además, requiere que el operario o usuario de control remoto esté presente físicamente en los diferentes puntos de medición.

Es necesario realizar la configuración de la campaña y el plan de medición, como en el caso del proceso de mediciones remotas en estaciones fijas, pero con la diferencia que se debe indicar adicionalmente la cantidad de sitios a medir y el único modo de medición activo es drivetest, es decir, para mediciones in-situ no está habilitado el modo programado o interactivo (solo se usa en estaciones fijas).

Además, se requiere configurar los puertos físicos de conexión con el computador de campo y los instrumentos (analizador de espectros, medidor de campos y GPS) ya que una estación de monitoreo móvil es reconfigurable de acuerdo a las necesidades.

Presenta dos sub-procesos: Medir espectro in-situ y Medir radiación in-situ.

- a. *Sub-proceso Medir espectro in-situ:* Establece el mecanismo para capturar directamente y de forma automática los datos del analizador de espectro empleando la estación de monitoreo móvil. Los datos capturados se envían o no la base de datos del Servidor Central dependiendo del modo de conexión que se haya definido en la campaña; para modo on-line, la estación de monitoreo se enlaza con el servidor usando internet, para modo stand-alone, los datos se almacenan localmente.

- b. *Sub-proceso Medir radiación in-situ*: Define las actividades para capturar directamente y de forma automática los datos del medidor de campos electromagnético ubicado en la estación de monitoreo móvil, tiene las mismas características y lógica de negocio que el caso anterior

3.3.1.4 Proceso Consultar vía web Mediciones ERE/RNI

Una de las potencialidades de la solución propuesta es la capacidad para consultar, por medio de internet, todos los resultados de las mediciones realizadas a través de la red de monitoreo de estaciones, tanto fijas como móviles; de esta manera un usuario de consulta (ej. ciudadanos) no necesita ejecutar una campaña de medición para resolver sus inquietudes acerca del espectro o la radiación, ya que puede consultar el historial de mediciones que está almacenado en la base de datos del Servidor Central.

El proceso requiere que el usuario defina un patrón de búsqueda o filtro de las mediciones que desea consultar; para mediciones realizadas por medio de estaciones de monitoreo móvil es necesario seleccionar el departamento y la ciudad donde se desea hacer la consulta, además del tipo de medición (espectro o radiación) de acuerdo a los intereses del usuario, y como parámetro opcional el nombre de la campaña de medición.

Se identifican dos sub-procesos: Consultar mediciones Estaciones Fijas y Consultar mediciones estaciones Móviles.

- a. *Sub-proceso Consultar mediciones Estaciones Fijas*: Define las actividades necesarias para realizar consultas de mediciones ejecutadas con anterioridad en estaciones fijas.

La consulta en estaciones fijas depende del tipo de medición, para mediciones de radiación RNI los resultados de la búsqueda corresponden a la grafica de campos (eléctrico o magnético) en función del tiempo y la información relacionada con los niveles porcentuales de cumplimiento de los limites de

exposición para las bandas de telefonía celular (850 y 1900 MHz) y el límite crítico más restrictivo de la recomendación UIT-T K.52⁸.

Para mediciones de espectro en modo programado, los resultados de una consulta contienen información más detallada, los cuales son:

- Grafica de espectro por cada instante de tiempo medido. Corresponde a una grafica de intensidad de señal en dBm versus la frecuencia por cada trama o lectura capturada en una campaña.
 - Grafica con análisis estadístico del espectro: Entrega las graficas calculadas de espectro máximo, mínimo y promedio entre todas las lecturas correspondientes a una campaña de medición.
 - Grafica de espectrograma de frecuencia: corresponde a una imagen plana en tres dimensiones donde se aprecia en colores el comportamiento del espectro en el tiempo de todas las lecturas capturadas por campaña
 - Grafica y tabla de ocupación de espectro: es el resultado del análisis de la ocupación de frecuencias respecto a todas las lecturas o tramas de espectro capturadas durante el intervalo de medición; y define el porcentaje de utilización en el tiempo de cada canal de frecuencia medido, indicando los canales ocupados y libres.
- b. Sub-proceso Consultar mediciones estaciones Móviles:** Permite realizar consultas de mediciones ejecutadas con anterioridad empleando estaciones de monitoreo móviles sobre determinadas áreas, tanto de espectro como radiación.

Los resultados de la consulta de mediciones para estaciones móviles son:

- Mapa geográfico con puntos correspondientes a los lugares donde se tomaron las lecturas tanto de espectro como radiación, dependiendo del tipo de medición.

⁸ El límites más restrictivo de la recomendación UIT-T K.52 corresponde a 28 V/m o 2 A/m para el rango de frecuencias de 10-400 MHz

- Información del porcentaje de cumplimiento de los límites de exposición a campos electromagnéticos que se despliega al dar clic sobre un punto en particular
- Gráfica de espectro o radiación, a diferencia de las mediciones en estaciones fijas, los resultados de las capturas de espectro en modo drivetest corresponden a una sola trama o lectura.

3.3.1.5 Proceso Consultar manchas de radiación en ciudades

Este proceso permite publicar en la web las manchas continuas de radiación generadas a partir de los puntos de mediciones existentes en una ciudad. Para ello es necesario que el usuario seleccione los parámetros de búsqueda, es decir, filtre por departamento y ciudad la mancha que desea consultar, luego la Plataforma consulta en la base de datos los requerimientos del usuario y publica sobre el mapa de la ciudad la mancha de radiación.

3.3.1.6 Proceso Consultar información relacionada con ERE y RNI

Este proceso busca ofrecer a los usuarios una fuente sólida de información relacionada con los temas de radiación no ionizante y espectro radioeléctrico, en donde se condense los aspectos más relevantes y de actualidad

Cada actividad asociada a este proceso se invoca dependiendo del tipo de información que el usuario quiera consultar, estas actividades son:

- a. Consultar información general, conceptos y teoría.
- b. Consultar Información sobre salud de la OMS
- c. Consultar Información de la UIT
- d. Consultar Información del MinTIC y ANE
- e. Consultar situación otros países.
- f. Consultar respuestas a preguntas frecuentes

- g. Consultar cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias

3.3.1.7 Proceso Solicitar mediciones en ubicaciones específicas

Mediante este proceso todos los usuarios pueden hacer solicitudes de mediciones de espectro o radiación en ubicaciones específicas empleando las estaciones de monitoreo fijas o móviles.

Dentro de las actividades de este proceso se requiere que el usuario debe diligenciar inicialmente la solicitud de medición; el sistema valida la solicitud por intermedio de los administradores, si es una solicitud que por su naturaleza no es viable se rechaza y notifica negativamente al usuario; pero si es aprobada, entonces la solicitud de medición entra en cola de espera; cuando se va a ejecutar se tiene en cuenta el tipo de estación en donde se va a realizar la medición; y por último se notifica al usuario la respuesta de la solicitud con los resultados de la medición habilitados en el módulo de consulta web.

3.3.1.8 Proceso Instaurar queja o denuncia

Este proceso describe las actividades necesarias para instaurar una queja o denuncia relacionados con el espectro o la radiación por parte de todos los usuarios del sistema.

El usuario diligencia un formulario indicando el tipo de queja o denuncia, las cuales pueden ser:

- Reportar fallas en sistemas de telefonía celular, AM, FM y TV (mala calidad del servicio, intermitencias, caídas del servicio)
- Reportar mala cobertura
- Reportar instalación de nuevas antenas sin licencia
- Reportar transmisión ilegal en sistemas de radiodifusión
- Reportar interferencias

Luego el administrador valida la solicitud y notifica la respuesta de acuerdo con los criterios que establece la ley y los procesos de mediciones necesarios que puedan soportar esta respuesta, normalmente esta notificación la entregan los usuarios con rol Entes de Regulación Estatal (MinTIC, ANE, CRC, ANTV).

3.3.2 MODELADO DE SERVICIOS

En esta etapa del modelado se identifican los servicios como unidades funcionales, independientes, reutilizables que incorporan reglas de negocios, son bloques constructivos de los procesos de negocio. Éstos encapsulan la lógica dentro de un contexto como una tarea, entidad de negocio o agrupamiento.

Para este proyecto se definen los servicios que resuelven la funcionalidad requerida por los procesos de la solución planteada y descritos en la sección anterior. Estos servicios se representan usando una notación de círculos, tal como se plantea en [14]. Los servicios se clasifican en servicios básicos⁹ de grano fino y servicios compuestos especializados¹⁰ de grano grueso, los cuales se forman por la composición de varios servicios básicos (anidamiento) y el nivel de encapsulamiento y abstracción deseado.

Los servicios básicos que constituyen a los servicios compuestos contienen las capacidades o funcionalidades requeridas por el proceso para poder dar respuesta al servicio de mayor nivel de abstracción.

A continuación se van a mostrar los diagramas de servicios identificados y categorizados de acuerdo a los procesos, tener en consideración que en esta representación no existe el sentido de flujo de datos.

3.3.2.1 Servicio de autenticación y registro de usuarios

⁹ Servicios concretos

¹⁰ Servicios abstractos

El servicio de autenticación y registro de usuarios presenta dos niveles de abstracción y se compone por los siguientes servicios: Servicio de autenticación de usuarios, Servicio de registro de nuevos usuarios, Servicio de actualización de datos de usuarios y Servicio de eliminación de usuarios. Tal como se muestra en la **Figura 12**.

Cada uno de estos servicios tienen asociados un proceso que definen su lógica de funcionamiento, y que se han descritos anteriormente, por ejemplo: el “Servicio de autenticación de usuario” se relaciona con el sub-proceso “Autenticar usuarios”.



Figura 12. Diagrama del Servicio de autenticación y registro de usuarios

3.3.2.2 Servicio de tele-medicación on line en Estaciones de Monitoreo Fijas

El servicio de tele-medicación on-line en estaciones de monitoreo fijas presenta tres niveles de abstracción y se compone por los siguientes servicios:

- Servicio de tele-medicación de ERE (ocupación espectro)
- Servicio de tele-medicación de RNI (TMC)

- Servicio de tele-medicación modo programado/automático
- Servicio de tele-medicación modo interactivo/abierto
- Servicio de almacenamiento de datos en SGAdata

En la **Figura 13** se aprecia que el Servicio de tele-medicación de ERE (ocupación espectro) y el Servicio de tele-medicación de RNI (TMC) “reutilizan” y comparten los servicios básicos: Servicio de tele-medicación modo programado/automático, Servicio de tele-medicación modo interactivo/abierto y Servicio de almacenamiento de datos en SGAdata.

La reutilización es una de las características fundamentales de una arquitectura orientada a servicios y le ofrece el dinamismo y flexibilidad para implementar o modificar los procesos de negocio de una solución.

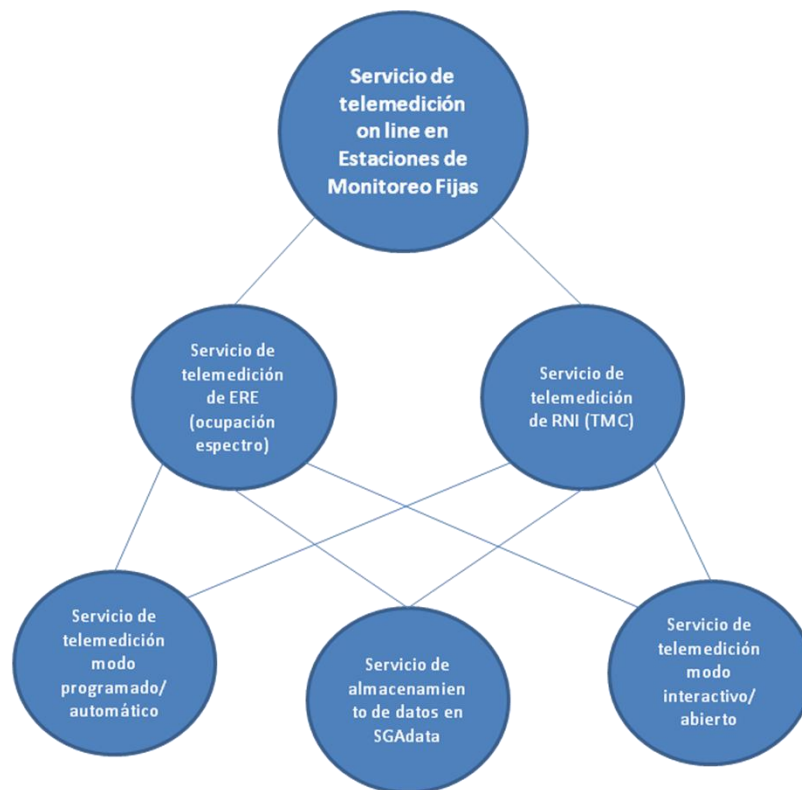


Figura 13. Diagrama del Servicio de tele-medicación on line en Estaciones de monitoreo Fijas

3.3.2.3 Servicio de medición in-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles

El Servicio de medición in-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles presenta tres niveles de abstracción y se compone por los siguientes servicios:

- Servicio de medición in-situ ERE
- Servicio de medición in-situ RNI
- Servicio de medición in-situ en modo conexión online
- Servicio de medición in-situ en modo conexión stand alone
- Servicio de almacenamiento de datos en SGAdata

Cabe resaltar que el “Servicio de medición in-situ en modo conexión online” es el único que utiliza el “Servicio de almacenamiento de datos en SGAdata”, tal como lo plantea uno de los requisitos en la ingeniería de requerimientos de la sección 3.2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** La estación de monitoreo óvil tiene la opción de enviar los datos medidos en campo al Servidor Central de Mediciones, funcionalidad que se habilita al activar el modo de conexión online. Para el modo de conexión stand-alone los datos no se envían en campo al Servidor y por ello no usa este servicio.



Figura 14. Diagrama del Servicio de medición in-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles

3.3.2.4 Servicio de consulta web de mediciones ERE y RNI

El Servicio de consulta web de mediciones ERE y RNI presenta tres niveles de abstracción, tal como se aprecia en la **Figura 15** y se compone por los siguientes servicios:

- Servicio de consulta mediciones Estaciones Fijas
- Servicio de consulta mediciones Estaciones Móviles
- Servicio de consulta de mediciones de ERE
- Servicio consulta de datos en SGAdata
- Servicio de consulta de mediciones de RNI

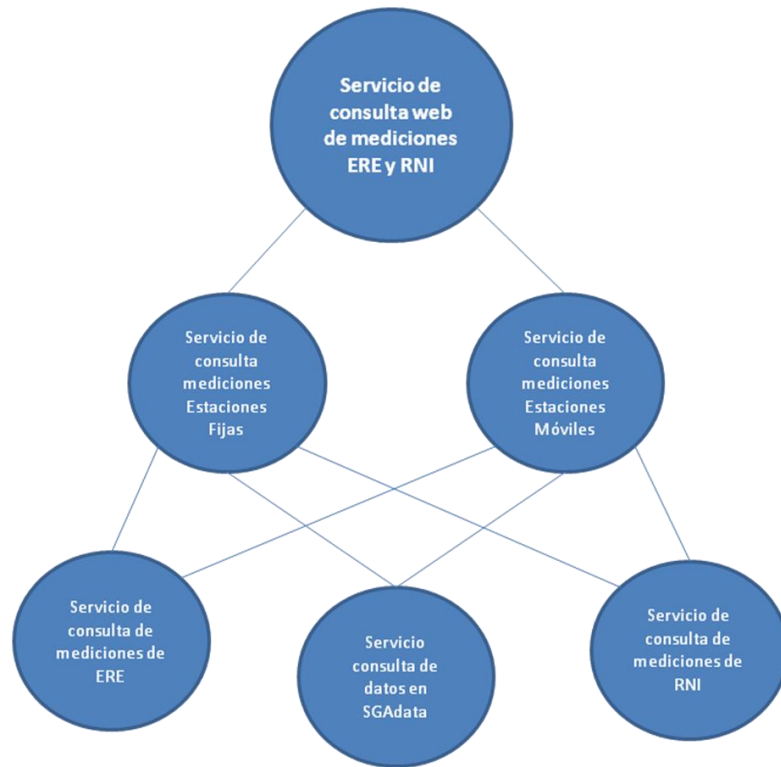


Figura 15. Diagrama del Servicio de consulta web de mediciones ERE y RNI

3.3.2.5 Servicio de consulta de manchas radiación en ciudades

El Servicio de consulta de manchas radiación en ciudades solo presenta dos niveles de abstracción y se compone por el “Servicio consulta de datos en SGAdata”, en la Figura 16 se muestra el esquema de composición.



Figura 16. Diagrama del Servicio de consulta de manchas radiación en ciudades

3.3.2.6 Servicio de información sobre espectro y radiación

El “Servicio de información sobre espectro y radiación” solo presenta un nivel de abstracción, es decir, es un servicio básico que no está compuesto por ningún otro servicio, su representación es un círculo sin ninguna relación con otros servicios

3.3.2.7 Servicio de quejas y denuncias

El “Servicio de quejas y denuncias” solo presenta un nivel de abstracción, es decir, es un servicio básico que no está compuesto por ningún otro servicio. Su representación es un círculo sin ninguna relación con otros servicios

3.3.2.8 Servicio de solicitud mediciones en ubicación específica

El “Servicio de solicitud mediciones en ubicación específica” solo presenta un nivel de abstracción, es decir, es un servicio básico que no está compuesto por ningún otro servicio. Su representación es un círculo sin ninguna relación con otros servicios

3.3.3 MODELADO DE PARTICIPACIÓN E INTERACCIONES USUARIOS

Los usuarios son el eje fundamental de todo el modelo planteado para que exista un esquema de participación e interacción en el proceso global de monitorización del espectro y la radiación; los servicios diseñados son las herramientas y recursos que disponen los usuarios para que ese proceso se lleve a cabo con eficiencia y de forma colaborativa, con el fin de generar una cultura de auto-regulación y auto-control

Los usuarios se han clasificado de acuerdo al rol que los identifica: ciudadanos, universidades, operadores de telecomunicaciones o entes de regulación, además se clasifican por el tipo de usuarios: consulta, control remoto, control in-situ o administrador, que permite definir el nivel de interacción con los servicios del sistema.

Tabla 1. Clasificación de los usuarios

TIPO ROL	Consulta	Control remoto	Control in-situ	Administrador
Ciudadanos	✓			
Universidades	✓	✓	✓	
Operadores de telecomunicaciones	✓	✓	✓	
Entes de regulación	✓	✓	✓	✓

Cada usuario del sistema tiene habilitado un perfil que le permite acceder y hacer uso de una determinada cantidad de servicios, dependiendo del tipo y rol de

usuario que este configurado en su cuenta, en la **Tabla 2** se muestra los niveles de interacción de los actores con los servicios de acuerdo al tipo y rol de usuario

Tabla 2. Interacción de los usuarios con los servicios

SERVICIOS	TIPO USUARIO	ROL USUARIO	NIVEL INTERACCIÓN
1. Servicio de autenticación de usuarios	Usuario Consulta	- Ciudadanos - Universidades - Operadores - Entes regulación	NIVEL I
2. Servicio de Consulta Web de Mediciones del ERE y RNI	Usuario Consulta	- Ciudadanos - Universidades - Operadores - Entes regulación	NIVEL I
3. Servicio de Consulta de Manchas de radiación en ciudades	Usuario Consulta	- Ciudadanos - Universidades - Operadores - Entes regulación	NIVEL I
4. Servicio de información sobre espectro y radiación	Usuario Consulta	- Ciudadanos -	NIVEL I

		Universidades - Operadores - Entes regulación	
5. Servicio de quejas y denuncias	Usuario Consulta	- Ciudadanos - Universidades - Operadores	NIVEL I
6. Servicio de solicitud de mediciones en ubicación específica	Usuario Consulta	- Ciudadanos - Universidades - Operadores	NIVEL I
7. Servicio de Tele-medicación on-line en Estaciones de Monitoreo Fijas	Usuario control remoto	- Universidades - Operadores - Entes regulación	NIVEL II
8. Servicio de Medición In-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles	Usuario control in-situ	- Universidades - Operadores - Entes regulación	NIVEL II
9. Servicios de administración, gestión y control	Usuario Administrador	- Entes regulación	NIVEL III

Cada nivel de interacción tiene habilitado los servicios de los niveles bajos o anteriores, es decir, un usuario tipo control remoto puede hacer cualquier tipo de consulta mediante los servicios numerados del 1 al 6. Los niveles de interacción no tienen habilitados los servicios de los niveles superiores, por ejemplo, un usuario tipo consulta no puede hacer uso del servicio de tele-medicación on-line en estaciones fijas.

Los servicios se agrupan para mayor simplicidad, tal como se muestra en la Tabla 3 de la siguiente forma

- ✓ **SERVICIOS DE CONSULTA:** Son aquellos que permiten consultar información del Sistema como mediciones, manchas de radiación, etc. Presenta nivel de interacción I
- ✓ **SERVICIOS DE REPORTES Y SOLICITUDES:** Permiten al usuario realizar solicitudes y reportar novedades en los sistemas de radiocomunicaciones. Presenta nivel de interacción I
- ✓ **SERVICIOS DE MEDICIONES:** Ofrecen la funcionalidad al usuario de realizar mediciones de espectro o radiación. Presenta nivel de interacción II
- ✓ **SERVICIOS DE ADMINISTRACIÓN:** Relacionados exclusivamente con los usuarios tipo Administrador, permiten crear y eliminar usuarios, y realizar tareas de configuración de la red de monitoreo como agregar estaciones de monitoreo, entre otras. Presenta nivel de interacción III

Tabla 3. Clasificación de los servicios

A. Servicios de Consulta	<ul style="list-style-type: none">• Servicio de Consulta Web de Mediciones del ERE y RNI• Servicio de Consulta de Manchas de radiación en ciudades• Servicio de información sobre espectro y radiación
B. Servicios de reportes y solicitudes	<ul style="list-style-type: none">• Servicio de solicitud de mediciones en ubicación específica• Servicio de quejas y denuncias
C. Servicios de Mediciones	<ul style="list-style-type: none">• Servicio de Tele-medición on-line en Estaciones de Monitoreo Fijas• Servicio de Medición In-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles
D. Servicios de administración	<ul style="list-style-type: none">• Servicio de registro de nuevos usuarios• Servicio de eliminación de usuarios

En la **Figura 17** se muestra el diagrama de participación e interacción entre los usuarios del sistema y los diferentes servicios existentes para lograr una inclusión activa a los actores interesados en el proceso de monitorización del espectro y la radiación en diferentes niveles.

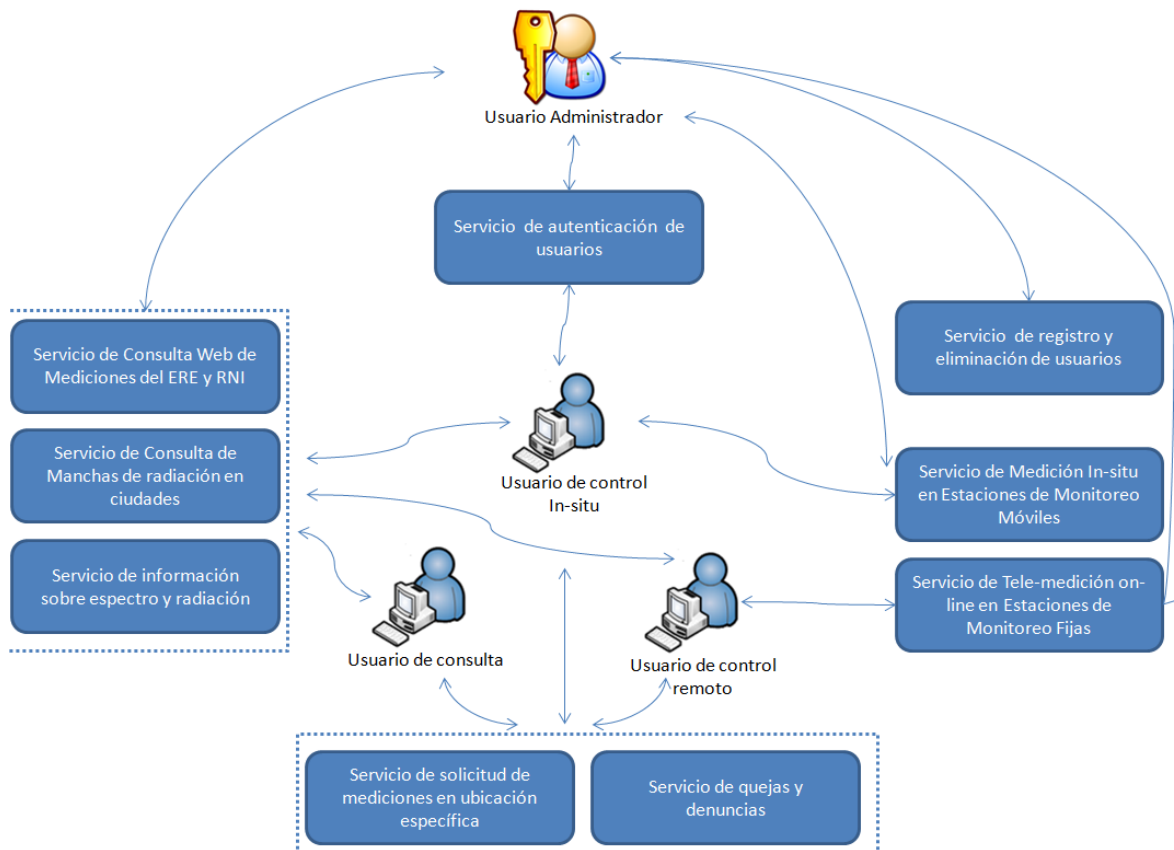


Figura 17. Diagrama de participación e interacción entre los usuarios y los servicios

3.4 CONCLUSIONES PARCIALES

- Se definieron los requisitos, características y funcionalidades para crear el Servicio General de telecomunicaciones basado en localización para monitorear en línea el espectro radioeléctrico y la radiación, además se realizó la ingeniería de requerimientos y el análisis de casos de uso para cada uno de los servicios que constituyen la solución propuesta, los cuales son: Servicio de autenticación y registro de usuarios, Servicio de Consulta Web de Mediciones del ERE y RNI, Servicio de Consulta de Manchas de radiación en ciudades, Servicio de Tele-medición on-line en Estaciones de Monitoreo Fijas, Servicio de Medición In-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles, Servicio de solicitud

de mediciones en ubicación específica, Servicio de información sobre espectro y radiación, y Servicio de quejas y denuncias.

- Se diseñó la arquitectura de servicios de la solución, con base en las necesidades y requerimientos identificados y tomando como referencia conceptual el modelo general y los lineamientos que plantea el paradigma SOA. Se definieron tres capas fundamentales: Capa de Servicios Básicos y Compuesto, Capa de Procesos de Negocio y Capa de Presentación. En la capa de servicios se establecieron las unidades funcionales y bloques constructivos independientes y reutilizables que incorporan reglas de negocios. En la capa de procesos de negocio se creó el flujo de invocación u orquestación de los servicios para implementar los procesos funcionales de la solución. Y en la capa de presentación se definieron los diferentes mecanismos de interacción con los usuarios finales.
- Se realizó el modelamiento de los principales procesos y subprocesos de negocio, utilizando la herramienta BizAgi Process Modeler, que intervienen en la arquitectura de servicios y definen el flujo de actividades e interacciones necesarias para lograr establecer las funcionalidades de la solución. Estos procesos pueden organizarse en forma jerárquica hasta con dos o tres niveles de anidamiento y están asociados a los servicios del sistema.
- Se realizó el modelamiento de los principales servicios que resuelven la funcionalidad requerida por los procesos de negocio de la solución planteada y que constituyen los bloques constructivos de los mismos. Estos servicios se representan usando una notación de círculos y creando un nivel de jerarquización o abstracción al clasificar los servicios como: servicios básicos de grano fino y servicios compuestos especializados de grano grueso, los cuales se forman por la composición de varios servicios básicos (anidamiento).

- Se diseñó el modelamiento de participación e interacción de los usuarios con los servicios que ofrece la Plataforma de Monitorización del espectro y la radiación, servicios que son percibidos como las herramientas y recursos que disponen los usuarios para que se apoye activamente el proceso de monitorización. Cada usuario del sistema tiene habilitado un perfil que le permite acceder y hacer uso de una determinada cantidad de servicios, dependiendo del tipo y rol de usuario que este configurado en su cuenta, definiendo de esta manera unos niveles de interacción con la Plataforma. Los servicios a los que tienen acceso se pueden clasificar y agrupar como: servicios de consulta, servicios de reportes y solicitudes, servicios de mediciones y servicios de administración

4. IMPLEMENTACIÓN Y PROTOTIPADO DE LA SOLUCIÓN

El proceso de implementación y prototipado de la solución parte del modelamiento realizado y los esquemas de servicios diseñados. Para esto se requiere definir la arquitectura de red necesaria para articular todos los componentes que integran la solución, como el cerebro central y las estaciones de monitoreo necesarias para realizar las mediciones.

Con el fin segmentar las funcionalidades se definieron un conjunto de módulos o sistemas que soportan los procesos y servicios requeridos tanto a nivel del Servidor Central como los módulos requeridos en las Estaciones de Monitoreo Fijas y Móviles

Este capítulo describe, además, el servicio para controlar remotamente los equipos de medición (Analizador de Espectro y Medidor de campos electromagnéticos) ubicados en una estación de monitoreo fija

También se presenta el Sistema o Modulo de Gestión, Control y Administración de usuarios de la solución como parte integral que pone a disposición los servicios a los actores interesados.

Por último se describe el esquema de procesamiento de los datos de las mediciones de espectro y radiación que permite realizar análisis sobre la ocupación, estadísticas de espectro y verificación del cumplimiento de los límites de radiación

4.1 ARQUITECTURA Y TOPOLOGÍA DE RED

En la sección anterior se definió la arquitectura de servicios, los procesos de negocio y los servicios asociados para ofrecer un esquema participativo de monitorización del espectro y radiación basado en la web, tomando como modelo conceptual de referencia la arquitectura SOA.

En esta sección se aterrizará este modelo mediante la definición de la arquitectura de red necesaria para crear una Plataforma de Monitorización del Espectro y la Radiación – UISpectrum.

Para el diseño de esta arquitectura y topología de red se toma como referencia principal la recomendación internacional UIT-R SM.1537 [3] actualizada en el Manual de Comprobación Técnica del Espectro del 2011 [4], recomendación que propone un Sistema típico integrado de gestión y comprobación técnica del espectro radioeléctrico constituido por un Centro de Gestión al que se interconectan un conjunto de Estaciones de Comprobación Técnica Fija y Estaciones de Comprobación Técnica Móviles y sobre las cuales se encuentran los instrumentos de medición necesarios (analizadores de espectro, medidores de campos, analizadores de redes, antenas).

Además, se analizó en caso de éxito en Portugal publicado en [12] del Sistema Global de Control y Monitoreo del espectro radioeléctrico implementado en todo el territorio, constituido por cuatro nodos “Spectrum Monitoring and Control Centers (SMCC)”, los cuales se controlan remotamente usando internet.

Por último se consideraron las características generales del “Modelo para el desarrollo de servicios basados en Localización en las condiciones de Colombia con la visión de las redes de telecomunicaciones de próxima generación”, modelo que fue propuesto por el Grupo de Investigación RadioGIS en el proyecto de maestría [5] y publicado en [6] y que está perfectamente alineado con los objetivos que se proponen con una Arquitectura Basada en Servicios (SOA) . Las características principales que define este modelo son:

- ✓ Desarrollo de servicios abiertos con interfaces abiertas
- ✓ Interoperabilidad entre los servicios desarrollados
- ✓ Usar internet como núcleo de conectividad.
- ✓ Usar tecnología Web Services como medio de publicación y comunicación
- ✓ Clasificar los servicios como servicios básicos y servicios especializados.
- ✓ Ocultar la complejidad de la red a los desarrolladores de servicios.

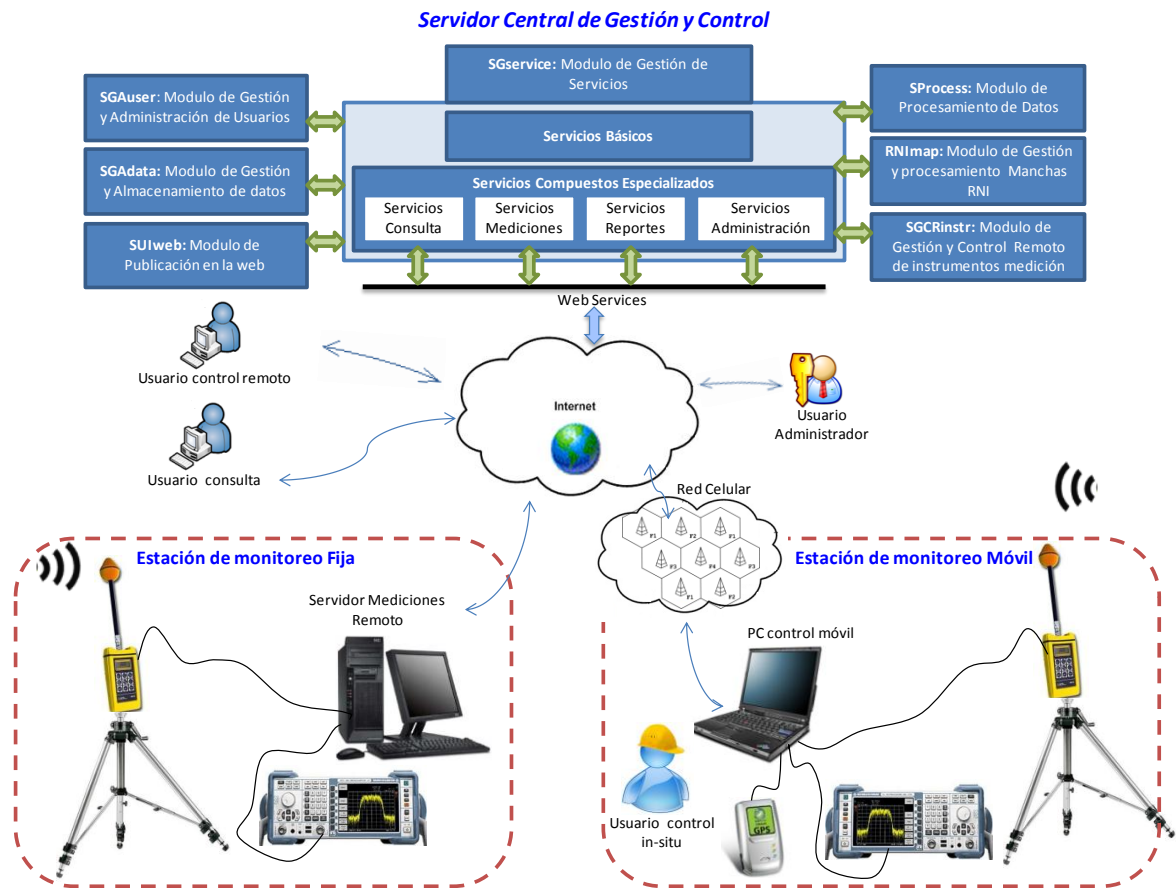


Figura 18. Plataforma de Monitorización del Espectro y la Radiación - UISpectrum

La arquitectura de red que se propone para esta investigación se muestra en la Figura 18, en donde se aprecian los diferentes componentes que integran la “Plataforma de Monitorización del Espectro y la Radiación UISpectrum” y los actores involucrados en el proceso que buscan una participación proactiva mediante el uso de los servicios habilitados

En la parte superior se encuentra el *Servidor Central de Gestión y Control* que gobierna todos los servicios y recursos habilitados en la Plataforma de Monitorización (UISpectrum).

Las estaciones de monitoreo fijas y móviles se conectan al Servidor Central de Gestión y Control usando internet, la cantidad y ubicación de las mismas dependerá de las necesidades de los entes de regulación y el grado de cooperación con las universidades y operadores de telecomunicaciones. Éstas están conformadas por los instrumentos de medición (Analizador de espectro, medidor de campos electromagnéticos y GPS) y equipos de cómputo.

Es importante resaltar que las estaciones fijas se controlan remotamente por medio del Servidor Central de Gestión y Control para realizar tareas de mediciones de espectro y radiación automatizadas. Por el contrario, las estaciones móviles requiere la interacción directa con los operarios o usuarios de control in-situ, ya que todos los equipos entran dentro de un vehículo que se deberá mover haciendo recorridos específicos y la conectividad a internet no se puede garantizar para enlazarse con el Servidor.

4.2 SERVIDOR CENTRAL DE GESTIÓN Y CONTROL

Cumple el papel de ente central de almacenamiento de los datos, análisis y procesamiento de la información, administración y control de la plataforma, permitiendo la gestión integrada de los diferentes tipos de estaciones de monitoreo fijas y móviles distribuidas en diferentes lugares.

Todas las funcionalidades del Servidor Central se ofrecen por intermedio de servicios en la web de acuerdo a los niveles de accesos y permisos que tengan los usuarios. Los servicios que se ofrece son:

1. Servicio de autenticación y registro de usuarios
2. Servicio de Consulta Web de Mediciones del ERE y RNI
3. Servicio de Consulta de Manchas de radiación en ciudades
4. Servicio de Tele-medición on-line en Estaciones de Monitoreo Fijas
5. Servicio de Medición In-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles
6. Servicio de solicitud de mediciones en ubicación específica

7. Servicio de información sobre espectro y radiación
8. Servicio de quejas y denuncias

El Servidor Central está configurado por modulo o sistemas que se encargan de gestionar, controlar y administrar los diferentes procesos que se requieren para poner a disposición de los usuarios los servicios de la Plataforma de Monitorización.

4.2.1 SGservice: MODULO DE GESTIÓN DE SERVICIOS

El modulo de gestión de servicios es el encargado de gestionar, administrar y controlar todos los servicios que son habilitados a los usuarios para que interactúen con la Plataforma de Monitorización, define qué nuevos servicios se podrán a disposición y cuáles no.

Este modulo es un contenedor de funcionalidades que se hacen visible mediante una lógica de negocio. Allí se alojan los servicios básicos y los servicios compuestos especializados, estos se agrupan en: Servicios de Consulta, Servicios de Mediciones, Servicios de Reporte y Solicitudes y Servicios de Administración.

La interfaz de comunicación que ofrece el Modulo de Gestión de Servicios con todos los componentes de la Plataforma de Monitorización (Estaciones de Monitoreo Fijas y Móviles) y las aplicaciones de usuarios es por medio de web services¹¹ tipo RESTful, lo que garantiza una total interoperabilidad e independencia de tecnologías y lenguajes de programación

La comunicación de este modulo con los otros que integran el Servidor Central de Gestión y Control es también por web services, se utiliza además el estándar XML para compartir información, lo que ofrece la posibilidad de distribuir las funcionalidades a otros servidores y hacer migraciones empleando entornos de desarrollo diferentes; esta característica brinda flexibilidad a la hora de programar

¹¹ Web Service es un componente software programable al que se puede acceder mediante protocolos estándar diseñados para la interoperabilidad maquina a máquina a través de una red de comunicaciones.

cada modulo y escalabilidad para integrar nuevos servicios o estaciones de monitoreo.

4.2.2 SGAdata: MODULO DE GESTIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

La cantidad de información y datos que fluyen desde y hacia la Plataforma de Monitorización UISpectrum es considerablemente elevada y requiere un excelente manejo, gestión y administración; esta información es producto de los resultados de las mediciones de espectro o radiación en las estaciones de monitoreo fijas o móviles, el procesamiento de los datos, los datos geográficos, la información de configuración de los instrumentos y estaciones, los datos de las cuentas de usuarios, la información suministrada por los usuarios mediante los servicios de solicitudes y reportes o cualquier otro mecanismo que contenga información relevante para la Plataforma y el usuario.

Este modulo se implementó usando el Servidor y Gestor de base de datos *Postgres*¹² el cual posee soporte para el manejo de información espacial mediante la extensión *Postgis*, esta tecnología es de código abierto y multiplataforma y permite manejar datos alfanuméricos y espaciales con total transparencia.

Los procesos de consulta, registro, modificación y eliminación de información de la base de datos se realizan por medio de los siguientes servicios:

- ✓ Servicio de almacenamiento de datos en SGAdata (**WS registro**)
- ✓ Servicio de consulta de datos en SGAdata (**WS consulta**)
- ✓ Servicio de eliminación de datos en SGAdata (**WS eliminación**)
- ✓ Servicio de modificación de datos en SGAdata (**WS modificación**)

Estos servicios se implementaron como web services para que sean consumidos internamente por los diferentes módulos del Servidor Central de Gestión y Control (llamados clientes), de acuerdo a los requerimientos y lógica de los procesos de negocio; con el fin de que el proceso de manipulación de la base de datos sea

¹² Gestor de base de datos relacionales de código abierto. <http://www.postgresql.org/>

transparente para los clientes que los consumen, ya sea el modulo de gestión y administración de usuarios, el modulo de gestión y control de instrumentos, o las aplicaciones de redes que se encuentran en las estaciones de monitoreo.

A continuación se realiza una descripción resumida de los diferentes grupos de web services desarrollados para el modulo SGAdata y que se detallan en el

Anexo III

- I. **WS registro:** Permite realizar un nuevo registro de datos en una tabla específica de la base de datos. Los parámetros de entrada corresponden a la información de los campos o columnas de la tabla que se desean almacenar. El web services responde con el ID¹³ o numero único de registro de los datos guardados.

- II. **WS consulta:** Permite consultar los datos almacenados en una tabla específica de la base de datos. El web services responde con los datos que se encuentran registrados en la tabla.

- III. **WS eliminación:** Permite eliminar registros de datos de una tabla determinada de la base de datos. El parámetro de entrada corresponde al ID del registro de la tabla que se desea borrar. El web services responde con un mensaje "OK" indicando que la operación se realizó con éxito.

- IV. **WS modificación:** Permite modificar los datos asociados a un registro de una tabla. Los parámetros de entrada son: ID del registro que se desea modificar y los nuevos datos de cada campo. El web services responde con un mensaje "OK" indicando que la operación se realizó con éxito.

¹³ El ID de cada registro es un numero único de identificación en una tabla que hace que cada registro pueda ser consultada sin ambigüedades.

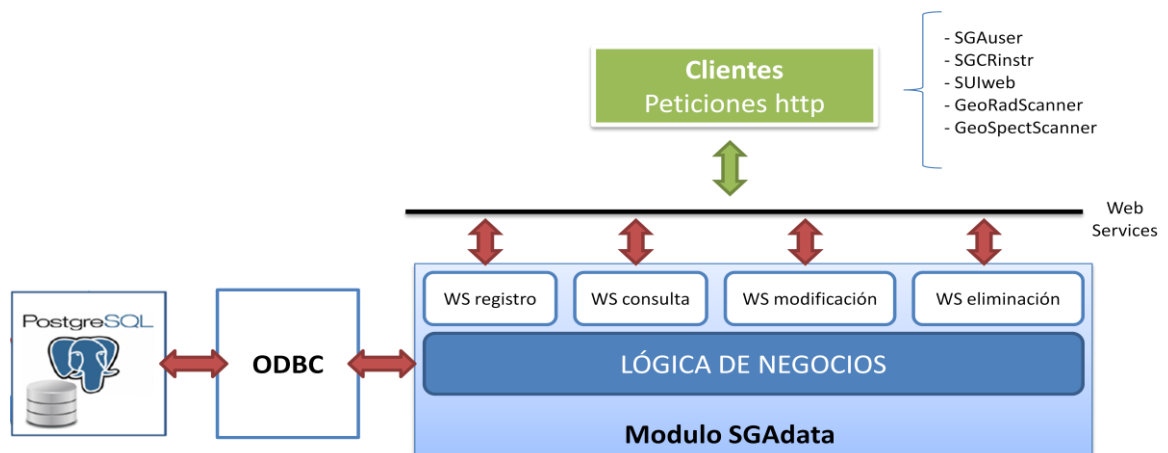


Figura 19. Esquema de funcionamiento del módulo de Gestión y Almacenamiento de Datos SGAdata

Para lograr obtener una base de datos estable, segura y transparente el módulo SGAdata no permite trabajar usando programación en SQL directamente por los clientes, toda la lógica de negocio de manipulación de base de datos es independiente de los demás módulos y la complejidad de este proceso está oculta.

En la **Figura 19** se muestra el esquema de funcionamiento del módulo SGAdata en donde un cliente (por ejemplo los módulos SGAuser, SGCRinstr, SUIweb, GeoRadScanner, GeoSpectScanner) consume uno de los web services que está público (WS consulta, WS registro, WS eliminación, WS modificación) mediante una petición HTTP, en ésta se envían los parámetros de entrada del web service y el cliente espera la respuesta dependiendo del servicio invocado. Por su parte el módulo SGAdata procesa la solicitud mediante una lógica de negocios programada y por intermedio del estándar ODBC¹⁴ se comunica con la base de datos Postgres de la Plataforma para realizar las acciones correspondientes de cada servicio.

¹⁴ Open DataBase Connectivity. estándar de acceso a las bases de datos desarrollado por SQL Access Group

4.2.2.1 Modelado de datos espaciales y alfanuméricos

El modelo de datos diseñado y desarrollado para la Plataforma de Monitorización UISpectrum corresponde a una base de datos espacial relacional que presenta un conjunto de tablas organizadas y estructuradas con información común y relevante. Este modelo se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el cual cumple con las reglas de diseño de una base de datos relacional que se definen en [18]:

a. Reglas de integridad

- Las llaves primarias de las tablas no deben tener registros nulos
- Las llaves foráneas deben estar asociadas a llaves primarias

b. Reglas de normalización

- Primera forma normal: separar grupos repetitivos
- Segunda forma normal: Separar dependencias de llaves compuestas
- Tercera forma normal: Separar dependencias de los campos diferentes a las llaves.

Con el cumplimiento de estas reglas se logra un modelo de base de datos normalizado, sin redundancia en la información, con estabilidad en la información, escalabilidad acorde al crecimiento de la base de datos y flexible a cambios o actualizaciones del modelo.

Son un total de 29 tablas interconectadas, 3 de ellas con entidades espaciales (geometrías) que representan las coordenadas geográficas asociadas a un punto en el mapa, las cuales son: “CiudadesEstudios”, “Sitios” y “EstacionesMonitoreoFijas”; Postgis codifica estos campos espaciales tomando la

latitud, longitud y Datum geodésico¹⁵ WGS84 (SRID=4326) que corresponde al punto de referencia para coordenadas geográficas en Colombia.

La base de datos está dividida en cuatro partes, tal como se muestra en la Tabla 4

Tabla 4. Clasificación de las tablas de la base de datos UISpectrum

CLASIFICACIÓN	SUB-CLASIFICACIÓN	NOMBRE TABLAS
Tablas relacionadas con usuarios		TiposUsuarios RolesUsuarios Usuarios
Tablas relacionadas con instrumentos, antenas y forma de medición		InstrumentosEstaciones AntenasEstaciones TiposMediciones ModosMediciones
Tablas relacionadas con mediciones en estaciones de monitoreo fijas	Tablas relacionadas con Campañas de Mediciones	EstacionesMonitoreoFijas ConfigEstacionesFijas CampaignasEstacionesFijas
	Tablas relacionadas con Mediciones de Espectro ERE	PlanesEREestacionesFijas LecturasEREestacionesFijas DatosEREestacionesFijas
	Tablas relacionadas con mediciones de radiación RNI	PlanesRNIestacionesFijas DatosRNIestacionesFijas ResumenRNIestacionesFijas
Tablas relacionadas con mediciones en estaciones de monitoreo móviles	Tablas relacionadas con Campañas de Mediciones	EstacionesMonitoreoMoviles ConfigEstacionesMoviles CampaignasEstacionesMoviles DepartamentoEstudios CiudadesEstudios ManchaRNI Sitios
	Tablas relacionadas con Mediciones de Espectro ERE	PlanesEREestacionesMoviles LecturasEREestacionesMoviles

¹⁵ Datum geodésico es un conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre en base a los cuales las medidas de la posición son tomadas y un modelo asociado de la forma de la tierra

	DatosEREestacionesMoviles
Tablas relacionadas con mediciones de radiación RNI	PlanesRNIestacionesMoviles
	DatosRNIestacionesMoviles
	ResumenRNIestacionesMoviles

4.2.3. SGAuser: MODULO DE GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE USUARIOS

Por el alto impacto que puede generar la Plataforma de Monitorización del espectro y la radiación y la cantidad de recursos habilitados, se hace necesario de un esquema adecuado para gestionar, controlar y administrar los usuarios del sistema.

El modulo de gestión y administración de usuarios ofrece los servicios de Autenticación de Usuarios, Registro de nuevos usuarios, Eliminación de usuarios y actualización de usuarios; para ello se diseñó e implemento una base de datos de usuarios que hace parte del modelo de datos de la Plataforma de Monitorización UISpectrum, mostrada en la Figura 21, con la siguiente información:

- ✓ Tipo de usuario
- ✓ Rol de usuario
- ✓ Alias
- ✓ Nombre
- ✓ Ciudad
- ✓ Empresa
- ✓ Email
- ✓ Contraseña

Los tipo de usuario habilitados son: Usuario Consulta, Usuario Control remoto, Usuario control in-situ, Usuario Administrador, los cuales están relacionados con los niveles de interacción y participación de los usuarios explicados en la sección anterior.

Los roles se clasifican en: Ciudadanos, Universidades, Operadores de telecomunicaciones y Entes de Regulación.

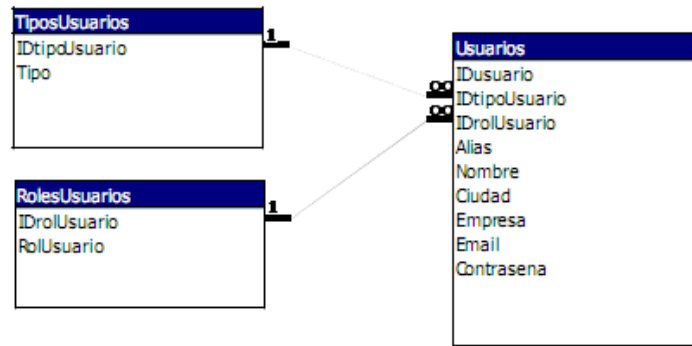


Figura 21. Base datos Usuarios

Los servicios desarrollados tipo web services para este modulo, detallados en el **Anexo III**, son:

- Servicio de autenticación de usuarios
- Servicio de autenticación de administrador
- Servicio de registro nuevos usuarios
- Servicio de validación de nombre de usuario
- Servicio de actualización de datos de usuarios
- Servicio de eliminación de usuarios
- Servicio de consulta de la tabla de usuarios
- Servicio de consulta de la tabla de roles de usuarios
- Servicio de consulta de la tabla de tipos de usuarios

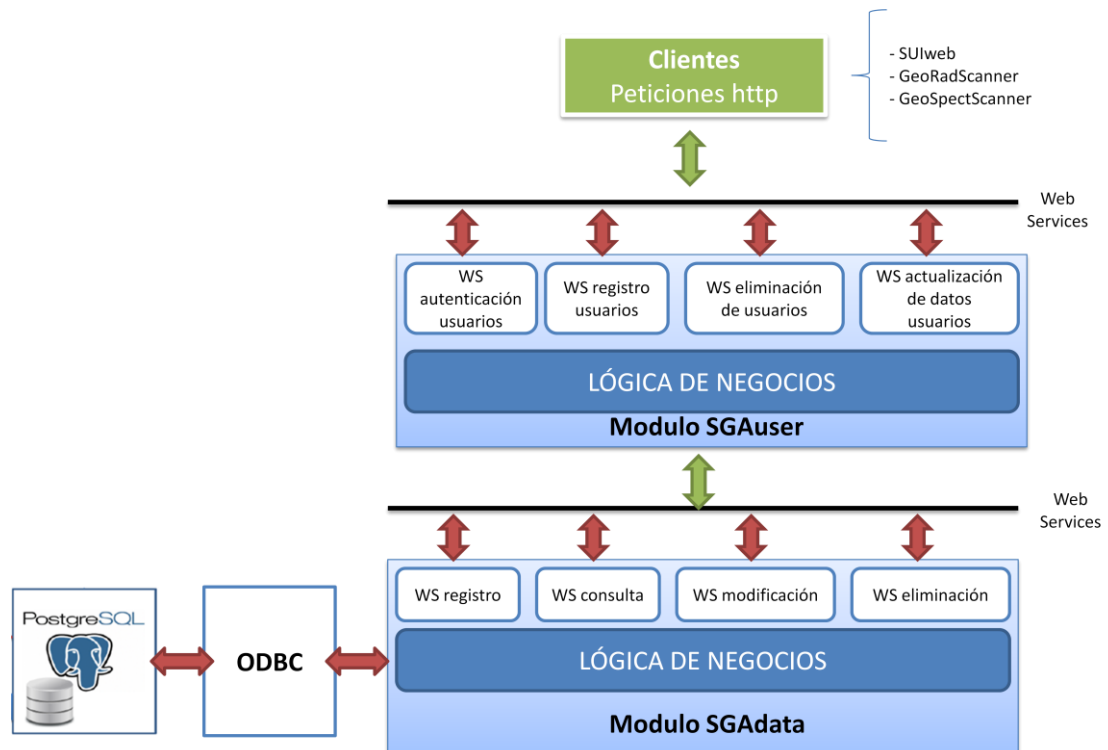


Figura 22. Esquema de funcionamiento del Módulo Gestión y Administración de Usuarios SGAuser

En la Figura 22 se muestra el esquema de funcionamiento del módulo de gestión y administración de usuarios (SGAuser), en donde un cliente (GUIweb, GeoRadScanner, GeoSpectScanner) hace una petición HTTP para consumir uno de los web services habilitados, en ésta se envían los parámetros de entrada y luego el cliente espera la respuesta del servicio. Por su parte el modulo SGAuser procesa la solicitud y dependiendo de la lógica del proceso de negocio invoca algún servicio del modulo SGAdata para que éste manipule la base de datos y haga los cambios correspondientes en las tablas respectivas, la respuesta se transmiten en cascada pasando del SGAdata, al SGAuser y por último llega al cliente que inició el proceso. Es importante notar como los servicios especializados, por ejemplo los servicios de usuario, hacen uso de los servicios básicos, en este caso del modulo SGAdata, característica de la arquitectura orientada en servicios modelada en el capítulo anterior.

Por ejemplo, el cliente invoca el servicio de autenticación de usuarios y envía los datos de Alias (Nick) y clave, el modulo SGAuser recibe esta información y seguidamente hace una petición al modulo SGAdata por medio del web service de consulta de la tabla "Usuarios", cuando recibe esta tabla, el SGAdata realiza el proceso de comparación y verificación entre los datos enviados por el cliente (alias y clave) y la tabla de Usuarios, si son correctos el modulo SGAuser envía una confirmación de autenticación exitosa junto con el ID de usuario, pero si la clave es incorrecta, entonces envía un mensaje de login fallido.

4.2.2.2 Bloqueo de usuarios por error en clave

El modulo de Gestión y Administración de usuarios tiene un mecanismo de protección de acceso a múltiples intentos erróneos en la clave (fuerza bruta), el cual consiste en una lista negra de usuarios bloqueados temporalmente cuando el numero de eventos consecutivos no exitosos de autenticación es mayor que un número determinado por el Administrador, por defecto es 3.

Esta lista de usuarios bloqueados consiste en un archivo XML almacenado en el Servidor Central donde se registra el Nick del usuario, la fecha y hora cuando se excedió el número de intentos de login permitidos.

El tiempo que demora un usuario bloqueado es configurable por el Administrador, por defecto son 12 horas, transcurrido este tiempo, el usuario es borrado de la lista de bloqueados y puede autenticarse sin problemas.

ListUserLock

User	DateLock
Camilo	10:02:22,045 p.m. 16/06/2013
Homero	10:30:30,373 p.m. 16/06/2013
Dina	11:03:55,450 p.m. 16/06/2013
Celso	12:04:11,140 p.m. 16/06/2013
Sergio	08:04:40,989 p.m. 18/06/2013

Figura 23. Lista de usuarios bloqueados por errores en clave

4.2.3 SUIweb: MODULO DE PUBLICACIÓN EN LA WEB

La característica principal de la Plataforma de Monitorización del Espectro y Radiación UISpectrum es que esté basada totalmente en la web, es por ello que los procesos finales de presentación a los usuarios o actores del sistema sea por medio de portales web donde se expongan todas las funcionalidades y servicios, (esto hace referencia al nivel superior de la arquitectura de servicios modelada en la sección anterior).

El objetivo de este modulo es ofrecer los servicios necesarios que construir las interfaces graficas de usuario disponibles en internet y accesibles de acuerdo a los niveles de permisos e interacción de los usuarios con la Plataforma.

Los web services asociados al modulo SUIweb se han clasificado en tres grupos (ver **Anexo III** para mayores detalles)

- I. *WS de consulta de mediciones en Estaciones Fijas*: Son aquellos que publican funcionalidades requeridas por el Portal web de consulta de

mediciones en estaciones fijas, como esquemas de filtros para buscar una campaña de medición específica basadas en el tipo de medición, la fecha de realización, la estación de monitoreo donde se realizó y por último el nombre de la campaña de medición.

Además, contiene los web services para extraer los datos de las gráficas de las mediciones tanto de espectro como radiación y para consultar los parámetros de la medición (Fecha y hora inicio y fin de medición, Ciudad, Estación Monitoreo Fija, Instrumentos, antenas utilizados, Frecuencia Inicial y Final, Frecuencia Central, Span, RBW, VBW, Sweet Time, Atenuación, Nivel de referencia).

Por último presenta los web services para consultar información relacionada con el nivel de cumplimiento de los límites de radiación en la estación de monitoreo donde se realizó la medición (PorcentajePromedio850, PorcentajeMax850, PorcentajePromedio1900, PorcentajeMax1900, PorcentajePromedioCritico, PorcentajeMaxCritico)

- II. *WS de consulta de mediciones en Estaciones Móviles*: Estos web services están diseñados para ser consumidos por el GeoPortal Web de consulta de mediciones Estaciones Móviles, se caracterizan por enviar datos espaciales relacionados con los puntos geográficos donde se ejecutaron las mediciones.

Ofrece funcionalidades para realizar un proceso de filtrado de las campañas de mediciones basado en el departamento, ciudad, tipo de medición, y nombre de la campaña (elemento opcional).

Igualmente, permiten enviar los datos de las mediciones de espectro y radiación en estaciones móviles, con el fin de construir las graficas, y también información de parámetros de las mediciones.

- III. *WS consulta mancha RNI*: Son web services útiles para el Portal Web de consulta de manchas de RNI, envían información espacial de la mancha de radiación generada a partir de las mediciones en formato KML¹⁶

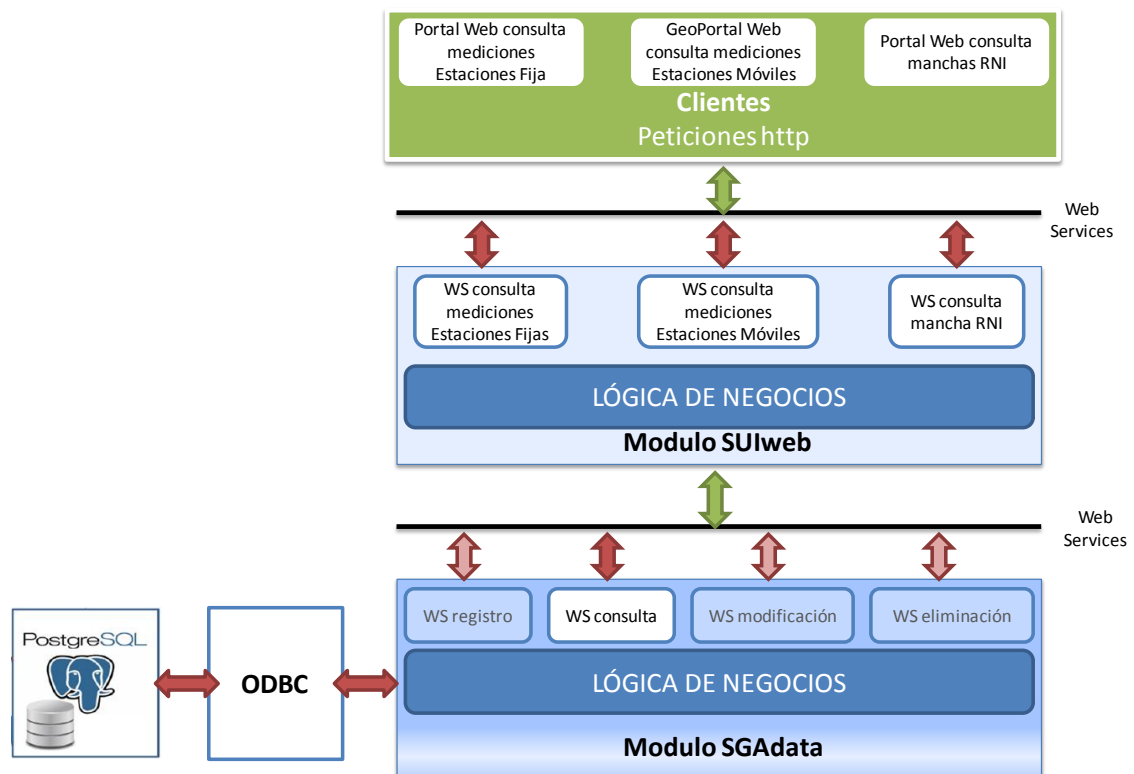


Figura 24. Esquema de funcionamiento del Modulo Publicación en la web SUlweb

La Figura 24 muestra el esquema de funcionamiento del modulo SUlweb, el cual hace uso de los servicios del modulo SGAdata. Un cliente (portal web) invoca un

¹⁶ KML es un lenguaje de marcado basado en XML para representar datos geográficos en tres dimensiones, diseñado por Google.

web service del SUIweb, éste a su vez consume los web service de consulta (WS consulta) del SGAdata para recibir información indirectamente de la base de datos, luego los resultados son transmitidos secuencialmente del SGAdata al SUIweb para ser recibidos al final por el cliente.

4.2.4 SProcess: MODULO DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos medidos que son capturados por las estaciones de monitoreo fijas y móviles deben ser procesados y convertidos en información útil para los usuarios de la Plataforma UISpectrum por intermedio de los servicios que ésta ofrece.

Es por ello que se requiere de un modulo central de procesamiento de datos SProcess y cuyos clientes son todos aquellos otros módulos que requieran de los servicios que están habilitados.

La comunicación entre los módulos es nuevamente por intermedio de web services RESTfull. Un cliente (SUIweb, GeoRadScanner, GeoSpectScanner) hace una solicitud al modulo SProcess y le envía los datos de entrada de acuerdo al servicio invocado, luego el modulo procesa los datos de acuerdo a una lógica de negocios interna (ejecución de formulas matemáticas, procesos iterativos de datos, etc.) y entrega un resultado al cliente. En la Figura 25 se muestra el esquema de funcionamiento del modulo.

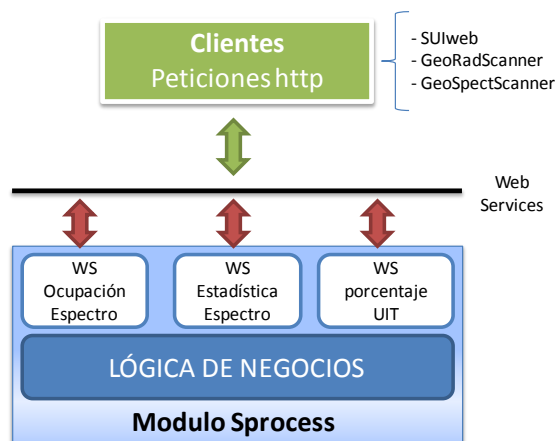


Figura 25. Esquema de funcionamiento del Módulo SProcess

Los servicios ofrecidos por SProcess se describen a continuación, para mayor información examinar el **Anexo III**.

4.2.4.1 Servicio de estimación de Ocupación de Espectro (WS Ocupación):

La UIT en [19] y [4] define la ocupación de espectro como el grado, en porcentaje, de utilización u ocupación del espectro durante un periodo de tiempo. La información de cómo, quien y cuando ocupa una banda de frecuencia no se consideran parte de la ocupación del espectro. Para propósitos de simplificación la banda de espectro analizada se sub-divide en canales de frecuencias con anchos de bandas específicos

Para hacer una estimación de la ocupación de espectro, se puede definir la ocupación de un canal de transmisión en dos estados aleatorios. Estado 1: “ocupado”, definido como el evento que, durante una observación, la intensidad de la señal en el analizador es superior a un umbral dado, y el Estado 2: cuando la señal es menor al nivel umbral. Ya que estos estados en el canal son aleatorios, su estado en un momento dado no se puede predecir. Sin embargo, se puede definir en términos de las leyes de probabilidad, como, la probabilidad

incondicional¹⁷ de que una muestra aleatoria estará por encima del umbral ha sido definida como “Ocupación” de canal. Este se expresa en porcentaje. Para calcular una estimación se debe obtener tanta información como sea posible, con el mínimo trabajo experimental [19]. La Figura 26 muestra una señal en el dominio de la frecuencia de intensidad variable, un nivel umbral de potencia definido, el espacio entre muestras (periodo de muestreo), y el número de muestras que superan el nivel umbral

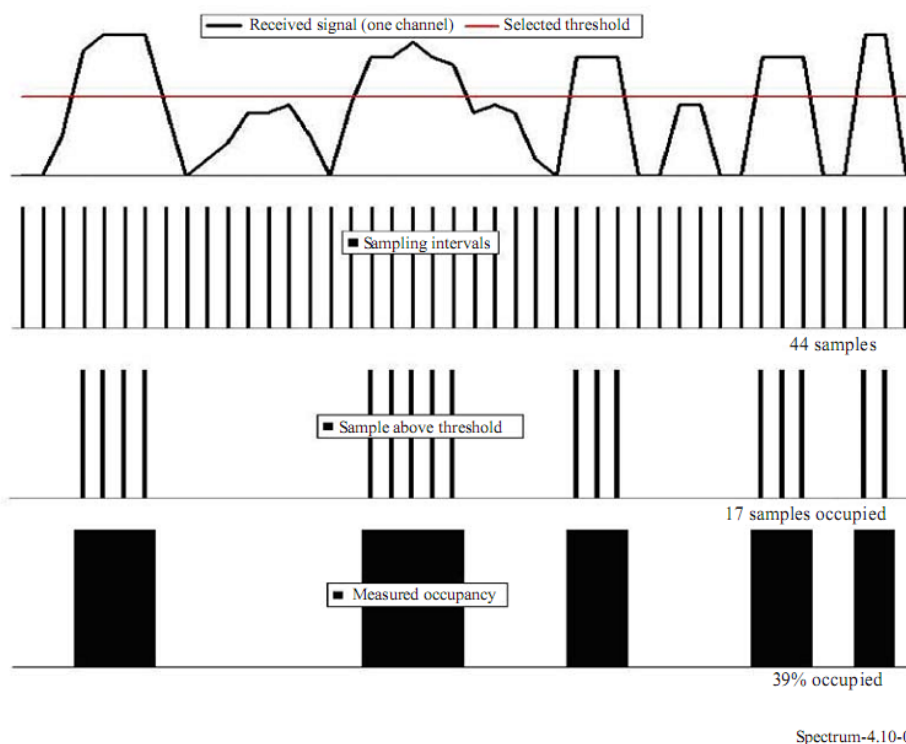


Figura 26. Estimación de ocupación de canal. Fuente [4]

El servicio de *Estimación de Ocupación de Espectro* del modulo Sprocess toma los datos de las mediciones de espectro de una campaña en modo programado,

¹⁷ **Probabilidad incondicional:** la probabilidad que un evento ocurra no depende de un resultado anterior o relacionado. Para calcular la probabilidad incondicional de un evento, la suma de los resultados del evento se divide en el total de los posibles resultados.

correspondientes a un conjunto de lecturas en diferentes instantes de tiempo durante un periodo específico, y realiza el procesamiento empelando la ecuación (1) para determinar el porcentaje de ocupación del espectro segmentado en canales de frecuencia con un ancho de banda específico.

$$\% \text{ ocupacion canal} = \frac{\# \text{ muestras superan umbral}}{\# \text{ total de muestras}} \quad (1)$$

El porcentaje de ocupación de un canal es la relación porcentual entre la cantidad de casos donde el nivel de señal del canal es mayor al umbral establecido (estado 1: ocupado) respecto a la cantidad total de muestras sensadas del canal en el tiempo.

El cliente del servicio debe indicar el ancho de banda de los canales (BWch) y el nivel de umbral de referencia (parámetros de entrada del web service), este valor debe ser lo más cercano al piso de ruido de las mediciones

El resultado final es una tabla o grafica con los porcentajes de ocupaciones de los canales definidos por el usuario, tal como se muestra en la Figura 28.

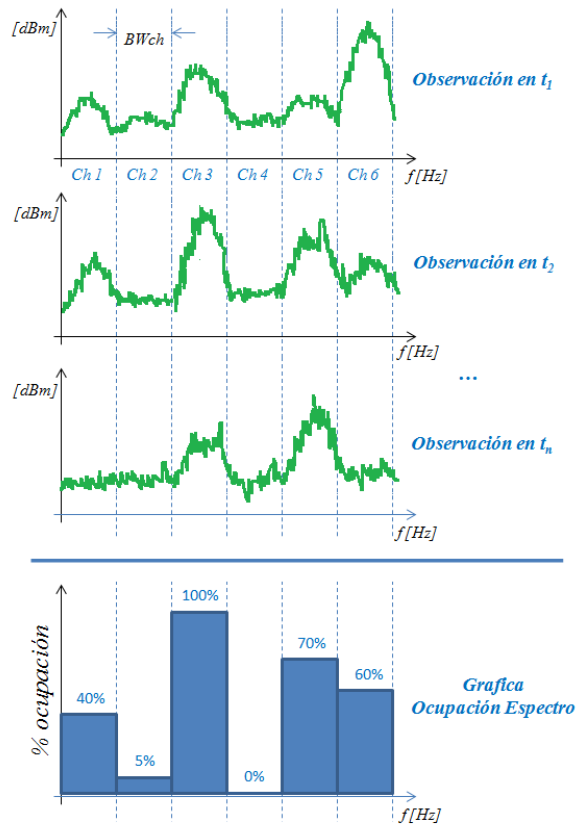



Figura 27. Ejemplo grafico para estimación de ocupación de espectro

En la Figura 27 se muestra un ejemplo visual del procedimiento para estimar la grafica de ocupación de espectro, se debe tener en consideración que la formula (1) se aplica para todo el conjunto de las muestras que constituyen las observaciones en el tiempo del espectro en un canal específico.

OCUPACIÓN DE ESPECTRO

BWcanal
1000000

Umbral
-76



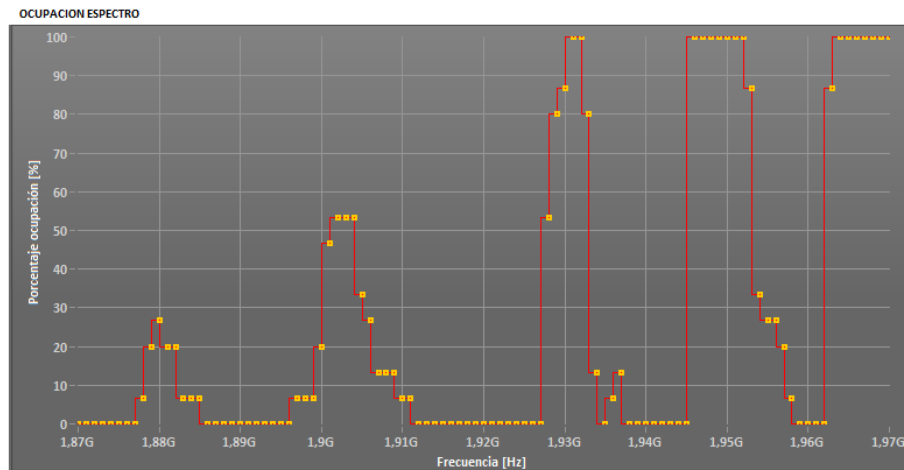


TABLA OCUPACION ESPECTRO

Canal	Frecuencia Inicio	Frecuencia Fin	% ocupacion
1	1870000000	1871000000	0,000
2	1871000000	1872000000	0,000
3	1872000000	1873000000	0,000
4	1873000000	1874000000	0,000
5	1874000000	1875000000	0,000
6	1875000000	1876000000	0,000
7	1876000000	1877000000	0,000
8	1877000000	1878000000	6,667
9	1878000000	1879000000	20,000
10	1879000000	1880000000	26,667
11	1880000000	1881000000	20,000

Figura 28. Ejemplo Resultados Análisis de ocupación de espectro

Es muy importante que en el proceso de medición del espectro se haya configurado muy bien los parámetros del instrumento, teniendo en cuenta la cantidad de canales que se desean analizar, el ancho de banda por canal, el filtro de resolución (RBW), la cantidad de muestras de frecuencia capturadas (sweet point) y la frecuencia inicial y final.

4.2.4.2 Servicio de cálculo de estadísticas del espectro (WS Estadística Espectro)

Realizar un análisis estadístico de las mediciones de espectro permite tener un panorama global de los resultados obtenidos sin tener que examinar el conjunto total de las lecturas (la cantidad total de lecturas puede llegar a ser elevado), es decir, se puede conocer el comportamiento general del espectro durante un tiempo determinado examinando las grafica promedio, máximo y mínimo.

El servicio “WS Estadística Espectro” calcula los parámetros estadísticos para una campaña de medición en modo programado, entrega como resultado los datos del Espectro Promedio, Espectro Máximo (MaxHold) y Espectro Mínimo (MinHold), los cuales se calculan a partir de todas las lecturas obtenidas para cada instante de tiempo.

El procedimiento se realiza desarrollando a nivel de programación una lógica de procesos de negocio que permita implementar las formulas (3), (4) y (5)

Sea x_{t_j, f_i} una muestra de potencia del espectro para la frecuencia f_i en un instante de tiempo t_j y sea P el conjunto de todas las muestras de potencia en tiempo y frecuencia.

$$P = \begin{bmatrix} x_{t_1, f_1} & x_{t_1, f_2} & x_{t_1, f_n} \\ x_{t_2, f_1} & x_{t_2, f_2} & x_{t_2, f_n} \\ x_{t_m, f_1} & x_{t_m, f_2} & x_{t_m, f_n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Donde n es la cantidad total de muestras de frecuencias que tiene cada trama o lectura de espectro en una observación, y m la cantidad total de observaciones de espectro en el tiempo.

El promedio de potencia para una frecuencia cualquiera f_i se calcula como \overline{X}_{f_i}

$$\overline{X}_{f_i} = \sum_{j=1}^m \frac{x_{t_j, f_i}}{m}$$

El máximo de potencia para una frecuencia cualquiera f_i se calcula como $Max X_{f_i}$

$$Max X_{f_i} = \max\{x_{t_1, f_i}, x_{t_2, f_i}, \dots, x_{t_m, f_i}\} \quad (4)$$

El mínimo de potencia para una frecuencia cualquiera f_i se calcula como $Min X_{f_i}$

$$Min X_{f_i} = \min\{x_{t_1, f_i}, x_{t_2, f_i}, \dots, x_{t_m, f_i}\} \quad (5)$$

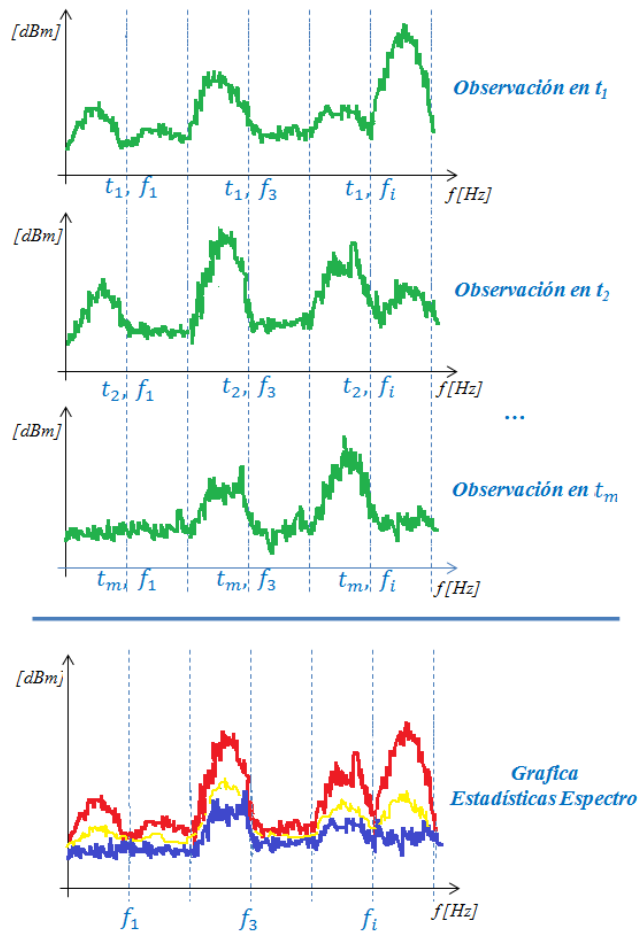


Figura 29. Ejemplo grafico para calcular estadísticas de espectro

En la Figura 29 se muestra un ejemplo visual del procedimiento para calcular los estadísticos del espectro (promedio, máximo y mínimo).

El resultado final del servicio WS Estadística Espectro son los datos vectoriales de las graficas de espectro promedio, máximo y mínimo para la campaña seleccionada por el usuario, en la Figura 30 se muestra un ejemplo de los resultados de este servicio.

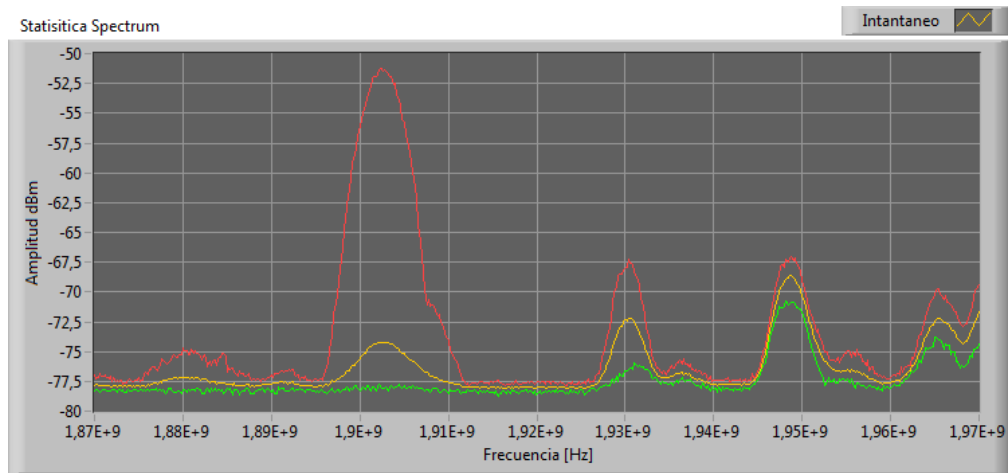


Figura 30. Ejemplo Resultados del servicio de cálculo de estadísticas del espectro

4.2.4.3 Servicio de cálculo de Porcentajes de cumplimiento de radiación UIT (WS porcentaje UIT)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)¹⁸ establece unos límites máximos de exposición a campos electromagnéticos para el público general en la recomendación UIT-T K.52 [20] de 2004, teniendo en cuenta los estudios de la OMS [21] y la Comisión Internacional para la Protección de la Energía No

¹⁸ La UIT es el organismo especializado de Telecomunicaciones encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional

ionizante (ICNIRP)¹⁹. Colombia adoptó estos límites en el decreto 195 de 2005 [22] como norma de cumplimiento nacional

Estos límites o umbrales de exposición dependen de la frecuencia de operación de las antenas o sistema analizado, tal como se muestra en la Figura 31, por ejemplo para una antena radiodifusión AM que opera en 600 kHz el límite máximo permitido es de 87 V/m, para campo eléctrico, mientras que para una antena de telefonía celular que opera el 1900 MHz el límite máximo permitido es de 59,9 V/m

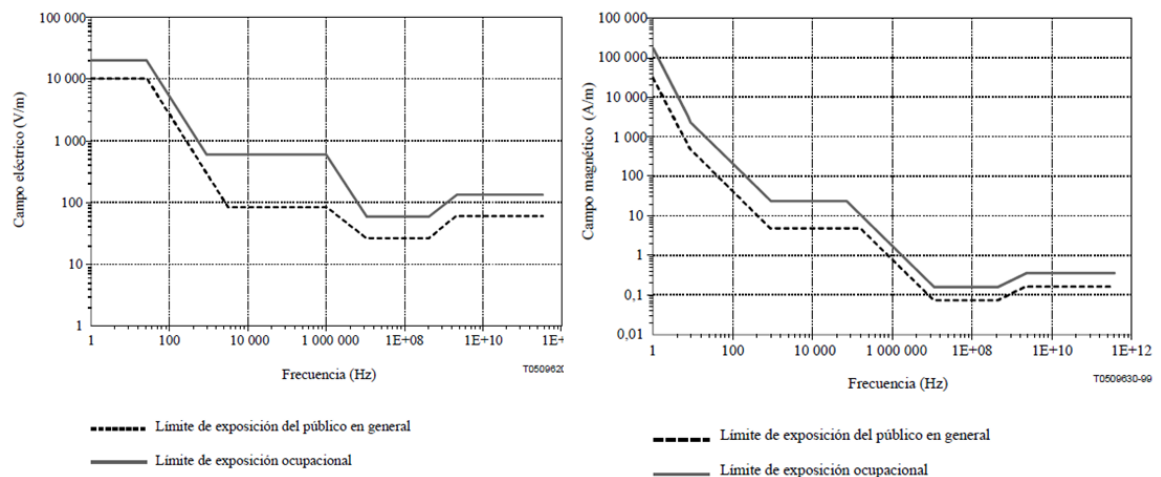


Figura 31. Límites máximos de exposición a campos electromagnéticos de la UIT para el público. Fuente [20]

Las antenas con mayor rechazo social son las de telefonía móvil celular, debido a que están distribuidas en muchos lugares de las ciudades, tienen un alto impacto visual y existe alta desinformación respecto a los efectos en la salud. Los límites de exposición para este tipo de antenas se muestran en Tabla 5

¹⁹ ICNIRP es un equipo de expertos científicos independientes creado para estudiar y elaborar recomendaciones sobre la protección frente a las radiaciones

Tabla 5. Límites de exposición a campos electromagnéticos para telefonía móvil celular

Frecuencia celular [MHz]	Zona Ocupacional			Zona Publico General		
	Campo eléctrico [V/m]	Campo magnético [A/m]	Densidad de potencia [W/m ²]	Campo eléctrico [V/m]	Campo magnético [A/m]	Densidad de potencia [W/m ²]
850	87,4	0,233	21,25	40,1	0,107	4,25
900	90,0	0,240	22,5	41,2	0,111	4,5
1800	127,2	0,339	45	58,3	0,156	9
1900	130,7	0,348	47,5	59,9	0,161	9,5
10-400 ²⁰	61	0,16	10	28	0,073	2

En la tabla se incluyen los límites para el rango de frecuencias 10-400 MHz, los cuales son los más restrictivos y se toman como punto de referencia para los análisis de radiación.

La Plataforma UISpectrum permite analizar el cumplimiento de estos límites para las mediciones de radiación que se ejecutan en las Estaciones de Monitoreo Fijas o Móviles. El servicio que se encarga de realizar este procesamiento se llama “Servicio de cálculo de Porcentajes de cumplimiento de radiación UIT (WS porcentaje UIT)”

$$PorcentajeCumplimiento = \frac{Valor Medido}{Limite UIT} * 100 \quad (6)$$

WS porcentaje UIT realiza una comparación de tipo porcentual, usando la ecuación (6), entre los valores registrados de campos electromagnéticos con los límites de la Tabla 5, para así obtener los porcentajes de cumplimiento para las

²⁰ Este rango corresponde al límite más estricto de la norma o el umbral más restrictivo, el cual solo se aplica al rango de frecuencia 10-400 MHz, es decir, no corresponde a los sistemas de telefonía móvil celular

frecuencias de 850 y 1900 MHz (bandas de frecuencia operativas en Colombia para telefonía móvil celular), los parámetros calculados usando y que entrega el servicio son:

- PorcentajePromedio850
- PorcentajeMax850
- PorcentajePromedio1900
- PorcentajeMax1900
- PorcentajePromedioCritico
- PorcentajeMaxCritico

Cumplimiento Normas:		
Porcentaje Promedio en 850 MHz: 7%	Porcentaje Promedio en 1900 MHz: 5,4%	Porcentaje Promedio Critico [10-400 MHz]: 12,4%
Porcentaje Máximo en 850 MHz: 10%	Porcentaje Máximo en 1900 MHz: 9,2%	Porcentaje Máximo Critico [10-400 MHz]: 13,8%

Figura 32. Ejemplo resultados Servicio WS porcentaje UIT

4.2.5 RNImap: MODULO DE GESTIÓN Y PROCESAMIENTO MANCHAS RNI

Las mediciones discretas de radiación que se ejecuten en diferentes sitios de una ciudad o municipio, usando estaciones móviles, ofrecen información puntual discreta del cumplimiento de los límites de exposición para los lugares medidos, la pregunta que surge es ¿qué tanta variación pueden tener los campos electromagnéticos en la medida que me alejo de los sitios medidos?

La radiación es una variable estocástica o probabilística que depende de muchos factores controlables y no controlables, como la cantidad de antenas, la potencia que irradian, los patrones de antenas, el tráfico de información (voz y datos) de los diferentes sistemas de radiocomunicaciones, la topología del terreno y el clúster de edificios, las condiciones climáticas, los fenómenos de radiopropagación, los terminales móviles cercanos, las estructuras metálicas existentes alrededor del sitio medio, y muchos otros factores.

Es por ello que la Plataforma UISpectrum ofrece el servicio para poder tener una estimación aproximada de la radiación en cualquier sitio no medido, en aquellas ciudades que se hayan realizado un conjunto grande de campañas de mediciones de radiación.

4.2.5.1 Análisis geo-estadístico

El proceso consiste en tomar todos los datos de niveles de campos electromagnéticos en banda ancha relacionados con las coordenadas geográficas de cada sitio medido y se procede a generar un mapa de radiación continuo usando técnicas avanzadas de interpolación espacial, por ejemplo: modelos de sustitución (algoritmo de Kriging), Inverse distance weighted (IDW), método de spline, entre otros.

El método de interpolación espacial utilizado para este proceso es *Kriging*, porque ofrece mejores resultados que otras técnicas y por la naturaleza de los datos de las mediciones, el cual es basado en modelos geo-estadísticos de interpolación que analiza la auto correlación, Kriging asume que la distancia o dirección entre los puntos de muestra refleja una correlación espacial que se puede utilizar para explicar la variación en la mancha [23] [24].

Ajusta una función matemática a un número determinado de puntos medidos, dentro de un radio de análisis, determinando el valor de salida para cada posición.

El modelo matemático general utilizado por el método de Kriging en [25] es

$$Z(\mathbf{s}) = \mu + \varepsilon(\mathbf{s}) \quad (7)$$

Donde \mathbf{s} es una localización de un punto medido en el mapa, $Z(\mathbf{s})$ es el valor conocido de la medición para \mathbf{s} , μ es el promedio constante de los datos y $\varepsilon(\mathbf{s})$ son los errores aleatorios que dependen de la ubicación espacial \mathbf{s}

La ecuación de predicción o predictor para una ubicación específica es formada por la suma ponderada de los datos.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (8)$$

Donde $Z(s_i)$ es el valor medido en la i -ésima posición, λ_i es un peso desconocido para el valor de la medición en la i -ésima posición, s_0 es la localización a predecir, N cantidad de valores medidos.

Por lo tanto es necesario estimar los pesos λ_i para poder hacer una predicción en la ubicación s_0

Para el algoritmo de Kriging los pesos λ_i dependen del semivariograma²¹, las distancias de los puntos medidos al punto a predecir y las relaciones espaciales entre los valores medidos alrededor de la ubicación de predicción.

El objetivo de Kriging es hacer que las diferencia entre las predicciones $\hat{Z}(s_0)$ y el valor real $Z(s_0)$ tiendan a cero, es decir, se desea realizar una minimización estadística.

$$\left(Z(s_0) - \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \right)^2 \rightarrow 0$$

La solución de la minimización se expresa por la siguiente ecuación

$$\mathbf{\Gamma} * \boldsymbol{\lambda} = \mathbf{g}$$

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{1N} & 1 \\ \gamma_{N1} & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_N \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{10} \\ \gamma_{N0} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde $\mathbf{\Gamma}$ es la matriz que contiene los semi-variogramas entre todas las parejas de muestras, γ_{ij} es el semivariograma basado en la distancia entre dos muestras en las posiciones i -ésima y j -ésima, \mathbf{g} es el vector que contiene los semi-variogramas entre cada punto medido y la ubicación de la predicción, γ_{i0} es el semivariograma

²¹ Semi-variograma es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida

basado en la distancia entre la muestra en la posición i -ésima y la localización de la predicción.

El objetivo final es calcular los pesos λ_i para cada ubicación a predecir s_0 y estimar el valor en esa posición usando la ecuación (8)

4.2.5.2 Estimar las manchas de radiación

En la sección anterior se explicó el modelo matemático para hacer estimaciones de radiación por medio de métodos de interpolación espacial (kriging) y tomando como insumo los valores de las mediciones en diferentes ubicación.

Este proceso puede llegar a ser tedioso, con un alto costo computacional si se considera que el objetivo principal del modulo RNImap es generar manchas de radiación en ciudades completas.

Existen paquetes de software especializados que ejecutan eficientemente el proceso de interpolación espacial y liberan a los usuarios de la complejidad del proceso; en el mercado el software más reconocido en el área de Sistemas de Información Geográfica es ArcGIS²², el cual tiene un potente toolkit para análisis geo-estadístico llamado “Geostatistical Analyst”.

Para los propósito de este proyecto de investigación se utilizó este toolkit en el modulo RNImap con el fin de generar las diferentes manchas continuas de radiación en las ciudades a partir de las campañas de mediciones ejecutadas.

²² Software especializado en Sistemas de Información Geográfico cuya propiedad es ESRI <http://www.esri.com/>

4.2.5.3 Funcionamiento del modulo RNlmap

El modulo RNlmap es ejecutado directamente por los usuarios tipo administrador, dada la sensibilidad y complejidad del proceso de generación de manchas de radiación y a la utilización manual de una herramienta externa. En la Figura 33 se muestra el esquema de funcionamiento de este modulo.

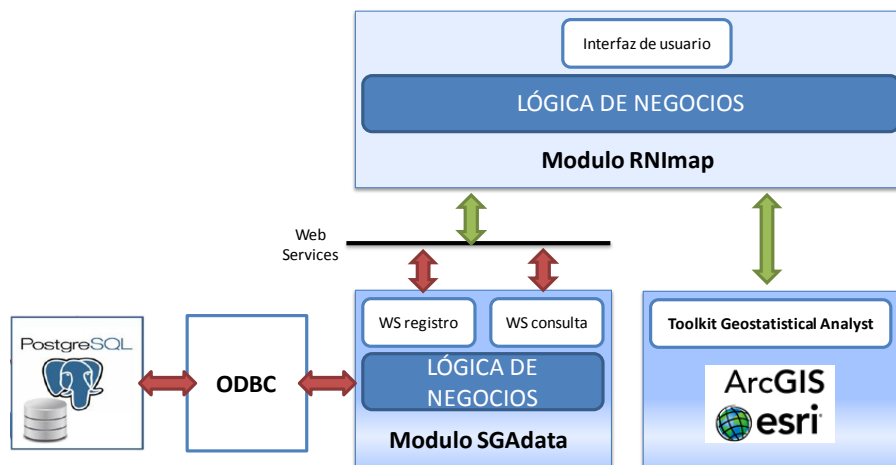


Figura 33. Esquema de funcionamiento del modulo RNlmap

El procedimiento para usar el modulo RNlmap es semiautomático y consta de las siguientes etapas:

- I. El usuario solicita al modulo RNlmap se inicie el proceso de generación de manchas para una ciudad específica.
- II. El modulo RNlmap, verifica que en la ciudad seleccionada existan campañas de mediciones de radiación haciendo una petición al servicio WS consulta del modulo SGAdata.
- III. El modulo SGAdata procesa la solicitud de RNlmap y extrae de la base de datos todas las mediciones de radiación realizadas por las estaciones de

monitoreo. SGAdata envía los datos de las mediciones relacionados con las coordenadas geográficas a RNImap.

- IV. El modulo RNImap convierte los datos de las mediciones en formato de hoja de cálculo (.xls, csv) o en formato de mapa vectorial (.shp) y guarda el archivo en el disco local del usuario.
- V. Luego se abre la aplicación ArcMap del paquete ArcGIS, ésta debe tener preinstalado el toolkit “Geostatistical Analyst”
- VI. El usuario carga el archivo con los datos de las mediciones en ArcMap
- VII. El usuario configura los parámetros para utilizar el método de interpolación espacial Kriging en ArcGIS y ejecuta el algoritmo para que procese los datos.
- VIII. ArcGIS genera un mapa vectorial (.shp²³) con la mancha de radiación de la ciudad y se guarda localmente. Ver Figura 34
- IX. RNImap convierte el formato de la mancha a KML
- X. RNImap guarda el archivo en una carpeta del disco duro del Servidor Central dedicada a las manchas de radiaciones
- XI. RNImap solicita el servicio “WS registro” del modulo SGAdata para guardar en la base de datos la ruta de ubicación de la mancha generada.
- XII. Se finaliza el modulo RNImap.



Figura 34. Ejemplo de una mancha de radiación generada por modulo RNImap

²³ SHP formato de archivo informático propietario de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI

4.2.6 SGCRinstr: MODULO DE GESTIÓN Y CONTROL REMOTO DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

El modulo SGCRintr es el encargado de coordinar y atender todas las solicitudes de tele-medicación de los usuarios de control remoto en las diferentes Estaciones de Monitoreo Fijas distribuidas en diversos lugares, dependiendo del tipo de medición.

Establece el mecanismo de comunicación o enrutamiento entre el Servidor Central de Gestión y los instrumentos de mediciones ubicados en las estaciones de monitoreo fijas, con el fin de transferir información en ambas direcciones, ya sea parámetros de configuración o datos sensados por los instrumentos.

Este esquema de comunicación se basa en la utilización estandarizada de web services y XML como lenguaje para los datos que se transfieren, lo que ofrece gran interoperabilidad e independencia de tecnologías

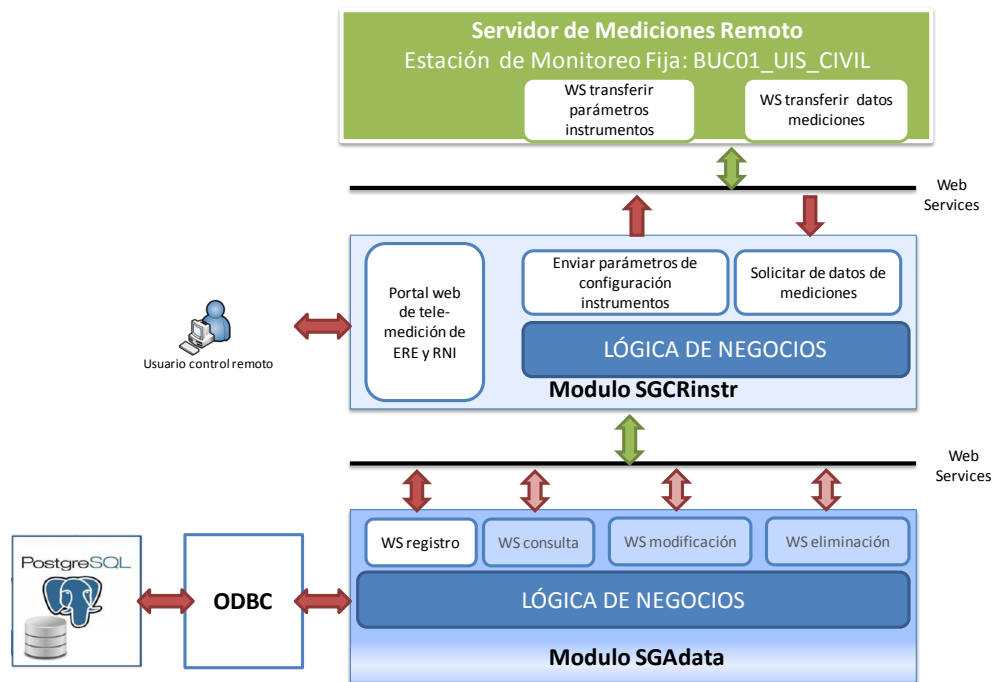


Figura 35. Esquema de funcionamiento del modulo SGCRinstr

En la Figura 35 se muestra el diagrama de funcionamiento del Modulo SGCRintr, es importante resaltar que este modulo no publica web service, sino que por el contrario los consume provenientes del Servidor de Mediciones Remoto ubicado en la Estación de Monitoreo Fija respectiva, debido a que los datos de las mediciones son dinámicos y cambian constantemente en el tiempo y se requiere una actualización constante del lado del usuario final (usuario control remoto).

En la **Figura 36** se muestra el esquema de comunicación entre el Servidor Central de Gestión y la Estación de Monitoreo Fija, y que se describe a continuación

Un usuario registrado de control remoto inicia el servicio de tele-medición on-line de espectro o radiación utilizando como interfaz el portal web disponible para tal fin, el servidor Central de Gestión de la Plataforma UISpectrum procesa la solicitud por intermedio del modulo SGCRinstr y dependiendo de la estación de monitoreo fija seleccionada por el usuario de una lista define el canal o forma de comunicaciones con el instrumento.

Internamente el SGCRinstr toma los parámetros de configuración de los instrumentos ajustados por el usuario en el Plan de Medición y los envía al Servidor de Mediciones Remoto ubicado en la Estación Fija de interés, esta transferencia se realiza a través del web service llamado “WS transferir parámetros instrumentos”, el Servidor Remoto recibe los parámetros de configuración y los guarda localmente en un archivo XML (XML parámetros); luego el modulo de Control Local de la Estación Fija (SCLocal), encargado de interactuar con los instrumentos de mediciones, lee el XML con los parámetros de configuración y ajusta el instrumento respectivo con los setting definidos por el usuario.

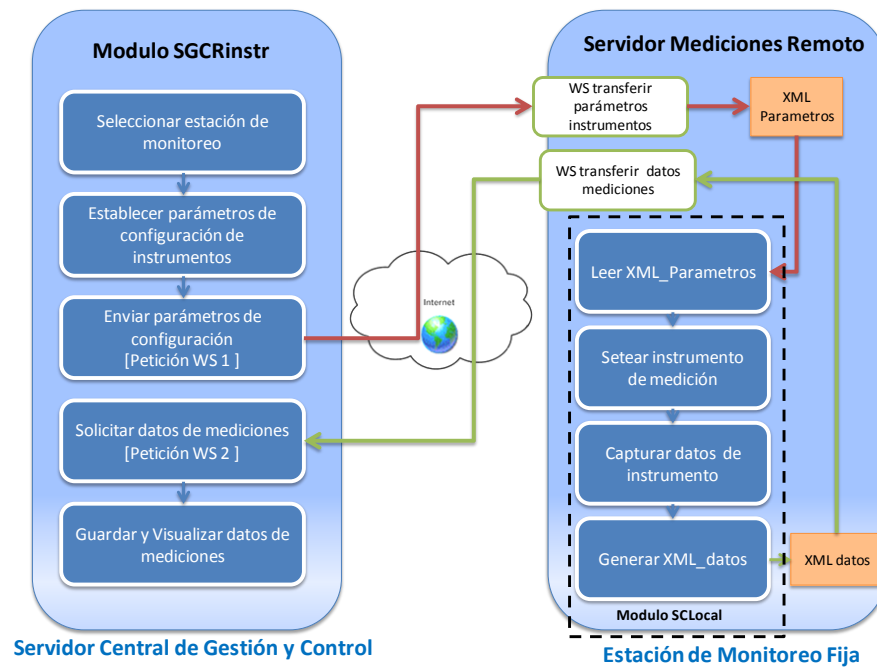


Figura 36. Esquema de comunicación entre el Servidor Central de Gestión y la Estación de Monitoreo Fija

Seguidamente el Modulo SCLocal captura los datos del instrumento y genera otro archivo XML con esta información (XML datos). Archivo que es leído por el web service que transfiere los datos de las mediciones al Servidor Central (WS transferir datos mediciones)

Por su parte el modulo SGCRinstr, dentro de su lógica de negocios, hace una petición de solicitud de los datos sensados por el instrumento al web service “WS transferir datos mediciones”, el cual envía el XML con los datos capturados, esta información es recibida por el Servidor Central, luego el Modulo SGVRinstr solicita el servicio de almacenamiento de los datos de mediciones al modulo SGAdata para que se registren en la base de datos.

Por último se muestra al usuario, que solicitó la medición, la grafica en el portal web de tele-medicación de ERE y RNI, este proceso es iterativo y se repite dependiendo del modo de medición: Programado o Interactivo

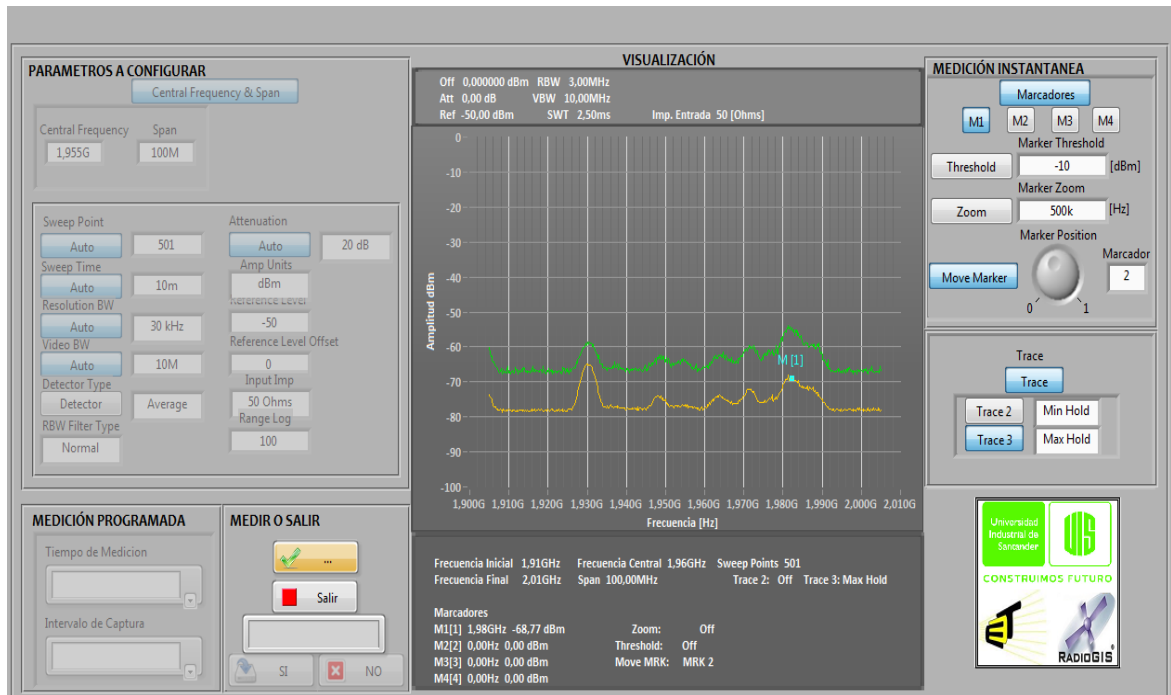


Figura 37. Portal web de tele-medición de ERE y RNI

4.3 ESTACIÓN DE MONITOREO FIJA

Son estaciones de gran envergadura, encargadas del monitoreo de zonas geográficas amplias y de servicios de gran alcance, que se ubican en una posición fija permanentemente y seleccionado de forma estratégica por los entes de regulación o los administradores del sistema de acuerdo a las necesidades, disposición de equipos y grado de utilización del espectro en la zona por diferentes servicios de radio (cantidad de emisoras de AM y FM, televisión terrestre, sistemas de radio-canales de voz privados, etc. que operan en el sector).

Estas estaciones disponen de los equipos y antenas de medición para monitorizar el espectro y la radiación, permite realizar tarea programadas automáticamente y

de forma remota sin la intervención directa del personal técnico. Requiere que tenga habilitada la capacidad de control remoto de los instrumentos para realizar mediciones a distancia (tele-medicación), además debe disponer de la conectividad al sistema central por medio de internet.

En la Figura 38 se muestran los componentes que constituyen una estación de monitoreo fija: Servidor de mediciones remoto que contiene las aplicaciones de red que controlan y gestionan localmente la estación, analizador de espectros, medidor de campos electromagnético, antenas y sondas de medición asociadas a los instrumentos en las bandas de interés (VHF, UHF, LF, sonda de campo eléctrico, sonda de campo magnético, etc.)

Los módulos de software que controlan la estación son: Modulo de comunicaciones de Estación Fija, Modulo de Control Local de Estación Fija

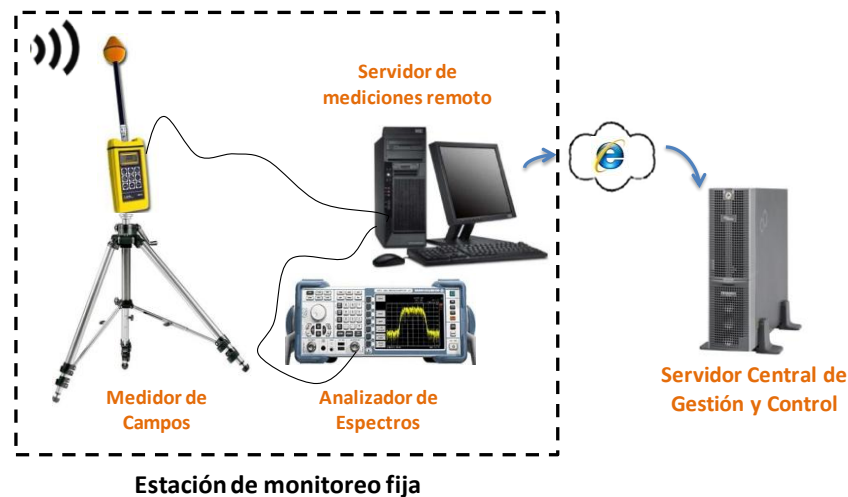


Figura 38. Estación de monitoreo fija

4.3.1 SComm: Modulo de comunicaciones de Estación Fija

El modulo de comunicaciones de la estación fija es el elemento clave para ejecutar el control remoto de los instrumentos de medición, dispone de los web services necesarios para mantener una comunicación bidireccional con el Servidor Central de Gestión y Control, la información que se transfiere corresponde a los parámetros de configuración de los instrumentos definidos por los usuarios de control remoto desde un navegador web y también se transfieren los datos capturados o sensados por los equipos de medición, este esquema se ilustra en la **Figura 36**.

Los web services del modulo de comunicación de la Estación Fija son consumidos (WS transferir parámetros instrumentos y WS transferir datos mediciones) por el modulo de control remoto de instrumentos SGCRintr del Servidor Central, de acuerdo a las solicitudes de los usuarios del “Servicio de Tele-medicación on-line en Estaciones de Monitoreo Fijas”, por ser un esquema de comunicación basado en web services, la complejidad de cómo se transfieren los datos en la capa física y la capa de acceso, al pasar por internet, es totalmente transparente para la Plataforma de Monitorización, solo es cuestión de consumir los métodos POST y GET del protocolo HTTP asociados a las URLs de los web service y esperar que el Servidor de Mediciones Remoto ubicado en la estación fija responda con la información solicitada (datos de medida). En la Figura 39 se muestran las interacciones entre los diferentes módulos para establecer una comunicación exitosa entre la Estación Fija y el Servidor Central de Gestión y Control.

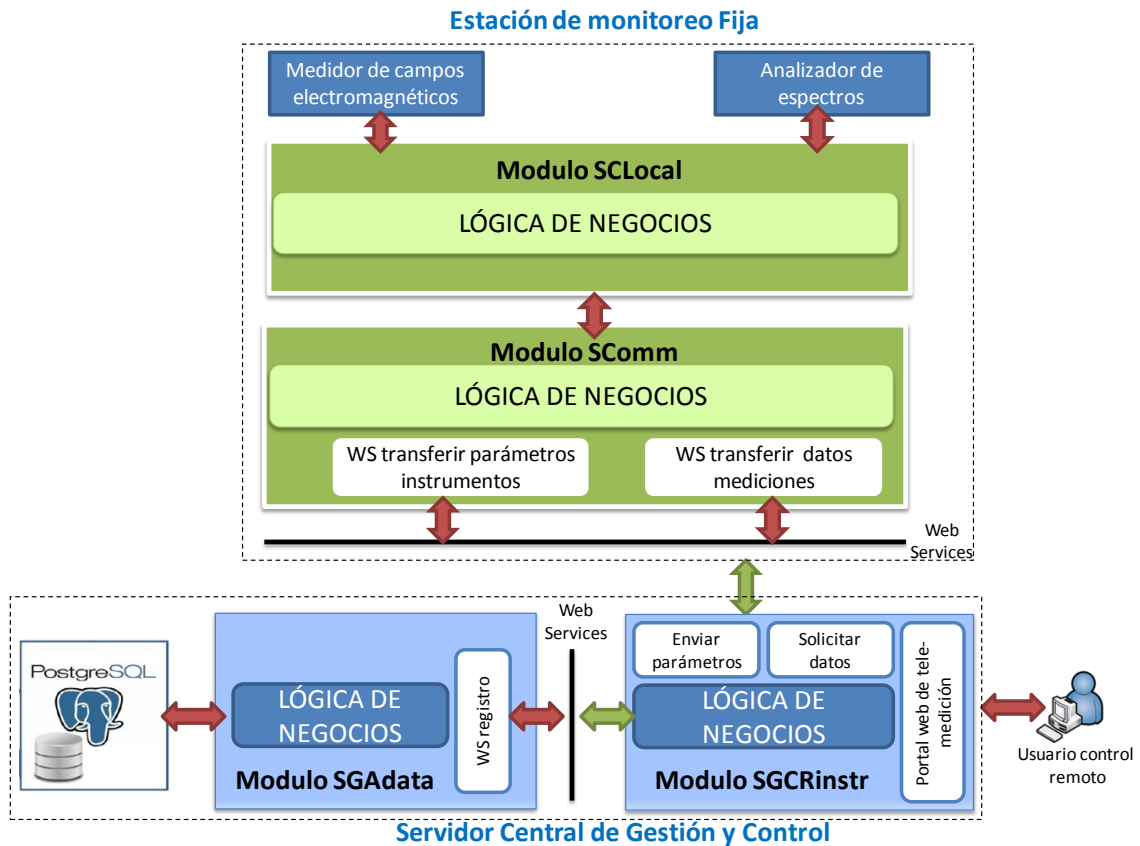


Figura 39. Módulos de la Estación de Monitoreo Fija

4.3.2 SCLocal: Modulo de Control Local de Estación Fija

El modulo de control local de la estación fija es el encargado de interactuar directamente con los instrumentos de medición Analizador de Espectro y Medidor de Campos electromagnéticos, contiene la lógica de negocios para configurar los parámetros de los equipos definidos por el usuario de control remoto (solicitud que se hace desde la web) y para capturar los datos sensados éstos (espectro o niveles de campos).

Transforma las diferentes peticiones del “Servicio de tele-medicación on-line en estaciones fijas” a comandos de operación y control propios de cada equipo, es decir, este modulo es el intermediario entre los instrumentos y la Plataforma de Monitorización UISpectrum a través del modulo SComm, es por ello que el modulo

SCLocal recibe las solicitudes del modulo SComm y las ejecuta en los instrumentos (configuración de parámetros o adquisición de datos)

Los equipos se conectan físicamente utilizando los puertos del Servidor de Mediciones Remoto como USB, serial, ethernet, es por ello que se hace necesario configurar los parámetros de estos puertos (tasa de transferencia de datos, nombre del puerto, bit de parada, paridad, etc.) para que los instrumentos entren en modo de control remoto, este requerimiento lo ejecuta el modulo SCLocal y es el responsable de garantizar esta comunicación.



Figura 40. Configuración parámetros de los puertos en Servidor Mediciones

4.4 ESTACIÓN DE MONITOREO MÓVIL

Es aquella que se ubica en un vehículo equipado con los instrumentos de medición analizadores de espectro y medidor de campos electromagnéticos, al igual que las antenas de medición correspondientes para cada banda de frecuencia y un sistema de geo-posicionamiento basado en GPS, con la capacidad de conexión al Servidor Central de

Gestión y Control usando internet móvil, tal como se muestra en la Figura 41. Permite realizar mediciones tipo drivetest en diferentes lugares haciendo

recorridos. Estas estaciones son los elementos claves para ofrecer a los usuarios el Servicio de Medición In-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles

La estación de monitoreo móvil presenta dos módulos o sistemas fundamentales encargados de la adquisición, procesamiento y envío de los datos de los instrumentos de medición al Servidor Central de Gestión y Control; además, cada modulo contiene la lógica de negocios que define el procedimiento de medición de acuerdo a los parámetros configurados en el Plan y la Campaña



Figura 41. Estación de monitoreo móvil

La conectividad al Servidor central depende del modo de conexión que se haya establecido y el acceso a internet en los lugares donde se ejecuta la medición, para modo on-line la estación de monitoreo envía continuamente los datos al Servidor Central y se almacenan en la base de datos. Para conexión stand-alone, la información capturada por la estación se guarda localmente en el computador de control local al cual están conectados los instrumentos, es decir, no existe el canal de comunicación con el Servidor Central y los módulos GeoRadScanner y GeoSpectScanner trabajan independientemente del mismo.

4.4.1 GeoRadScanner: Modulo de escaneo geo-referenciado de radiación en estación móvil

GeoRadScanner es el sistema encargado de realizar las mediciones de campos electromagnéticos geo-referenciadamente en una estación de monitoreo móvil en diferentes lugares de un área geográfica, de acuerdo a los parámetros de configuración del Plan de Mediciones, donde se define el tiempo de medición por sitio, el intervalo de tiempo entre muestras registradas, la cantidad de sitios a medir, el campo eléctrico o magnético a registrar y información relevante

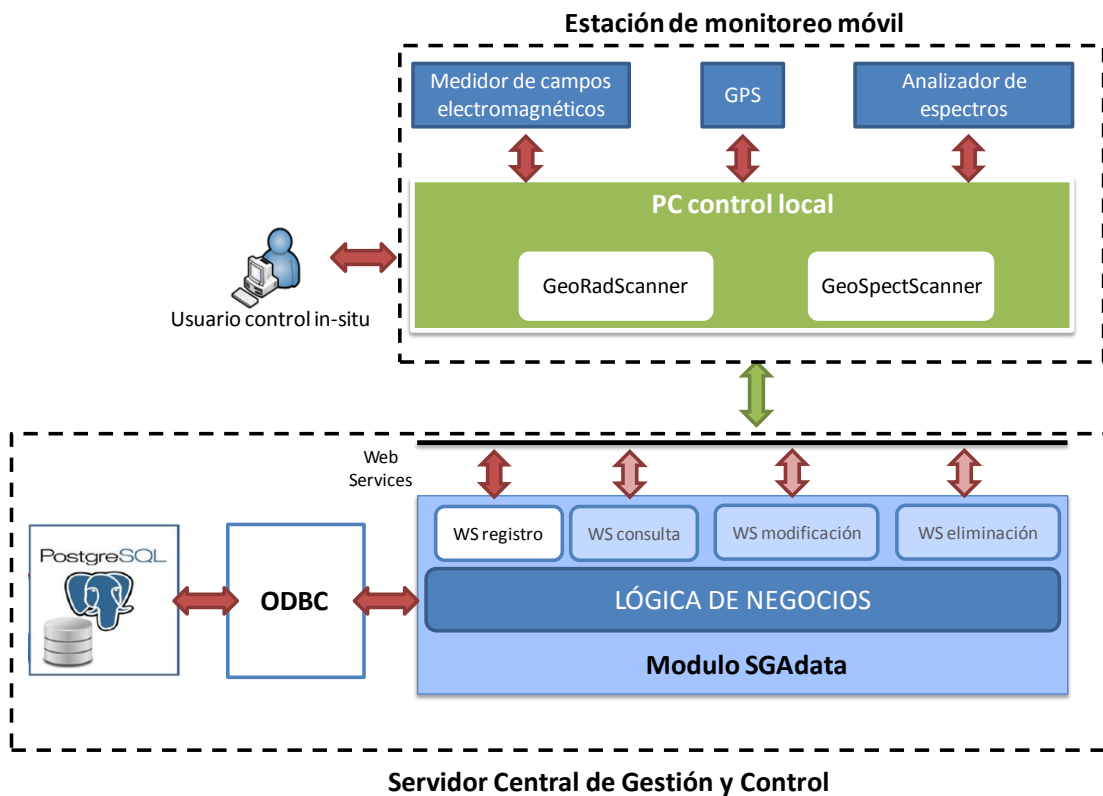


Figura 42. Esquema de funcionamiento de la estación de monitoreo móvil en modo de conexión on-line

El esquema de funcionamiento de una estación de monitoreo móvil configurada en modo de conexión on-line se muestra en la Figura 42, para mediciones de radiación los datos del medidor de campos son capturados por el modulo GeoRadScanner y se geo-referencian con la información sensada por el GPS en el sitio medido, luego GeoRadScanner solicita el servicio de registro de datos al modulo SGAdata del Servidor Central, éste recibe la información en formato XML y la almacena en la base de datos, éste responde al GeoRadScanner con un mensaje de confirmación exitosa. Este proceso se repite iterativamente para cada sitio seleccionado por el usuario de control in-situ hasta finalizar la campaña de medición

En la **Figura 43** se muestra la interfaz de usuario del modulo GeoRadScanner, donde se aprecian los campos donde se visualizan los datos del medidor de campos electromagnéticos como de las coordenadas geográficas del sitio que se está midiendo

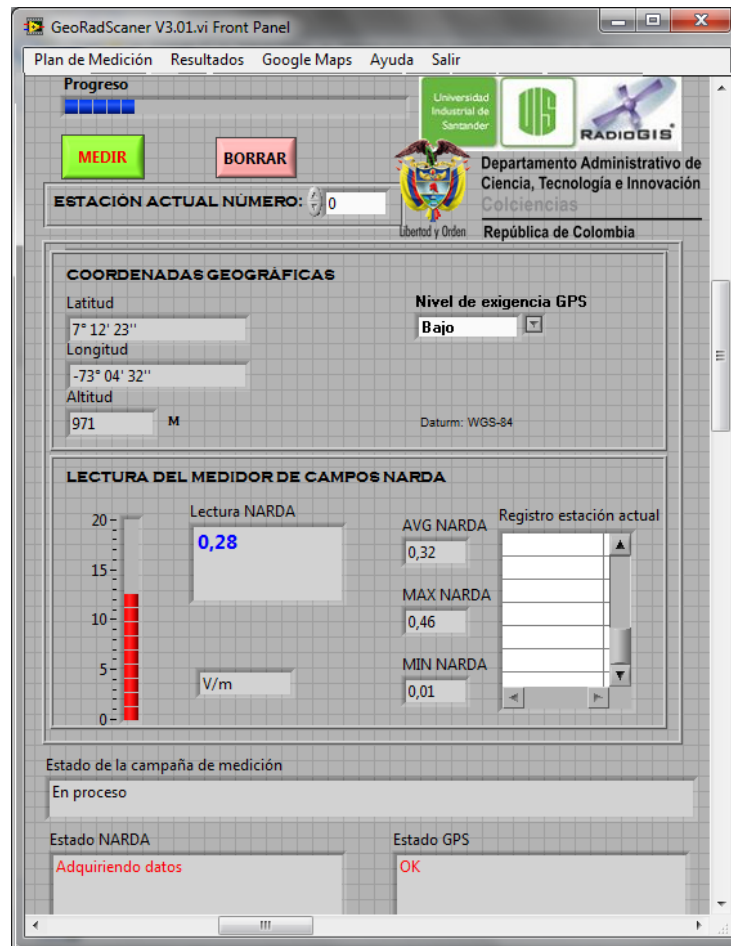


Figura 43. Ventana principal de GeoRadScanner

4.4.2 GeoSpectScanner: Modulo de escaneo geo-referenciado de espectro en estación móvil

GeoSpectScanner es el sistema encargado de realizar las mediciones de espectro radioeléctrico geo-referenciadamente en una estación de monitoreo móvil en diferentes sitios de un área, de acuerdo a los parámetros de configuración del Plan de Mediciones, donde se define la frecuencia de inicio y finalización de la captura de espectro, el filtro de resolución y de video, la atenuación y preamplificador de acuerdo a los niveles de señales, el nivel de referencia, el sweep time o tiempo de barrido, entre otros parámetros que el analizador de espectro requiera.

El esquema de funcionamiento del GeoSpectScanner en modo de conexión on-line es análogo a GeoRadScanner, solo que la cantidad de datos a transferir es significativamente más elevado debido a que los resultados de una captura de espectro corresponden a una matriz con información de frecuencia y potencia, típicamente puede ser de 500x2.

En la Figura 44 se muestra la interfaz de usuario principal del modulo GeoSpectScanner, en la cual se aprecia todos los controles de configuración del instrumento necesarios para realizar una medición de espectro de forma exitosa.

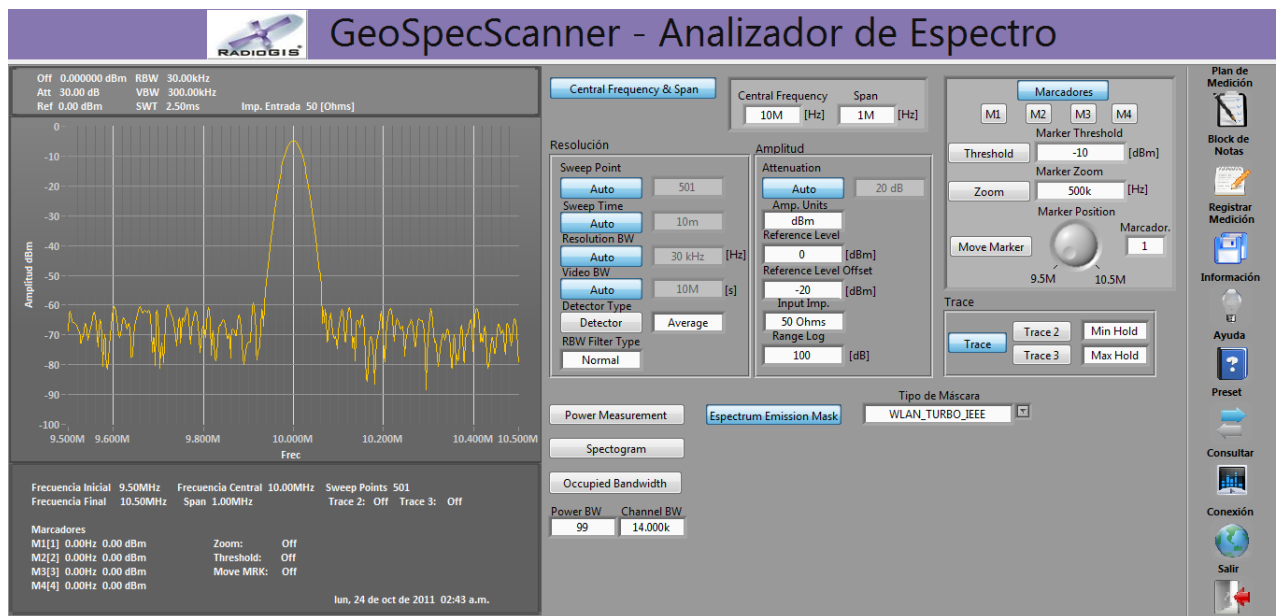


Figura 44. Ventana principal Modulo GeoSpectScanner

4.5 PORTALES WEB

Los portales web son las interfaces graficas de interacción de la Plataforma de Monitorización UISpectrum con los usuarios y sobre los cuales se ofrecen los diferentes servicios finales usando internet como medio de conectividad.

La URL principal de acceso a la Plataforma UISpectrum es

<http://radiogis.uis.edu.co/uispectrum>

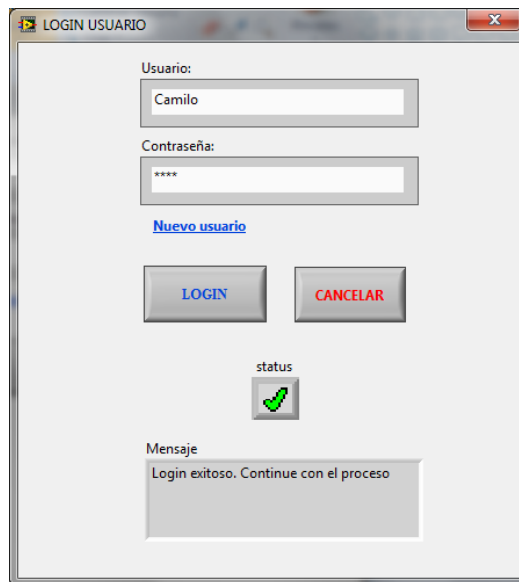
Los portales web asociados a los servicios son:

- Portal web de autenticación y registro de usuarios
- Portal web de tele-medicación de ERE y RNI
- Portal web de consulta de mediciones ERE y RNI
- Portal web de consulta de manchas de radiación

4.5.1 Portal web de autenticación y registro de usuarios

En este portal se ofrecen los servicios del Modulo de Gestión y Administración de Usuarios los cuales son: autenticación de usuarios, registro de nuevos usuarios, modificación de datos de usuarios y eliminación de usuarios.

La ventana principal para la autenticación o login de usuarios se muestra en la Figura 45, en ésta el usuario ingresa su alias o Nick que lo identifica en la Plataforma y la contraseña, si los datos son correctos y corresponden a los registrados en la base de datos el proceso de login es exitoso.



The image shows a window titled "LOGIN USUARIO" with a standard Windows-style title bar. Inside the window, there are two input fields: "Usuario:" with the text "Camilo" and "Contraseña:" with "****". Below these fields is a blue hyperlink labeled "Nuevo usuario". There are two buttons: "LOGIN" in blue and "CANCELAR" in red. Below the buttons is a "status" label with a green checkmark icon. At the bottom, there is a "Mensaje" label with a text box containing "Login exitoso. Continúe con el proceso".

Figura 45. Ventana Autenticación Usuarios

El portal web para solicitar el servicio de registro de nuevos usuarios se muestra en la **Figura 46**, acá un usuario administrador ingresa los datos del nuevo usuario: Rol a desempeñar, tipo de usuario, Alias, Nombre, Ciudad, Empresa, Email, Contraseña. Si el alias seleccionado no existe en la base de datos, el registro es exitoso.

Datos Nuevo Usuario

Rol a desempeñar
Ciudadano *

Tipo de Usuario
Usuario consulta *

Alias
Karen *

Nombre
Karen Rodriguez *

Ciudad
Valledupar

Empresa
Ama de casa

Email
karen@mail.com

Contraseña
**** *

Confirme contraseña
**** *

* Campos obligatorios

Universidad Industrial de Santander
CONSTRUIMOS FUTURO

RADIOGIS

REGISTRAR CANCELAR

Mensaje
Nuevo Usuario creado exitosamente!!!

Figura 46. Ventana de Registro nuevos usuarios

4.5.2 Portal web de consulta de mediciones ERE y RNI

En este portal se ofrece al usuario tipo consulta el “Servicio de Consulta Web de Mediciones del ERE y RNI” con el fin de examinar gráficamente los resultados de las diferentes campañas de mediciones de espectro y radiación.

El portal tiene dos componentes: una página web para consultar mediciones en estaciones móviles que presenta características espaciales, en donde el usuario selecciona el departamento y la ciudad donde desea consultar las mediciones, también selecciona el tipo de medición ya sea de espectro o radiación y como elemento opcional escoge el nombre de la campaña de medición de un listado que se despliega proveniente de la base de datos. En la **Figura 47** se muestra la ventana de este parte del portal.

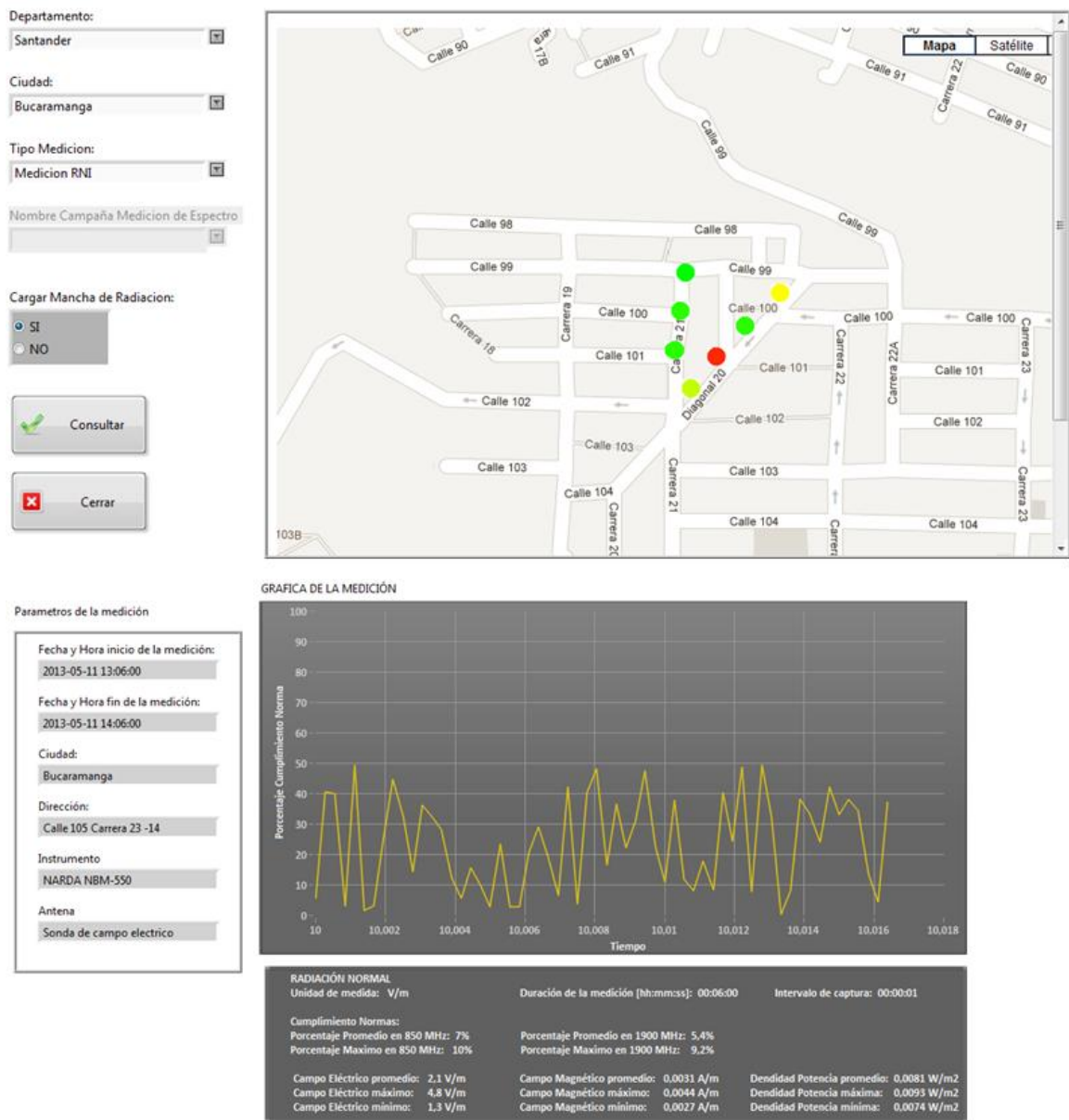


Figura 47. Geoportal de consulta mediciones en estaciones móviles

El otro componente, **Figura 48**, corresponde a una página web para consultar mediciones en estaciones fijas, la cual no presenta mapas geográficos, aquí el usuario selecciona el nombre de la estación de monitoreo fija que desea consultar, el tipo de medición, la fecha de realización de la campaña y el nombre de la medición.

Los resultados que se muestran en el portal son: grafica de espectro medido en un instante de tiempo, grafica de análisis estadístico del espectro, espectrograma de frecuencias, grafica y tabla de ocupación de espectro. Y grafico de campos electromagnéticos para mediciones de radiación.

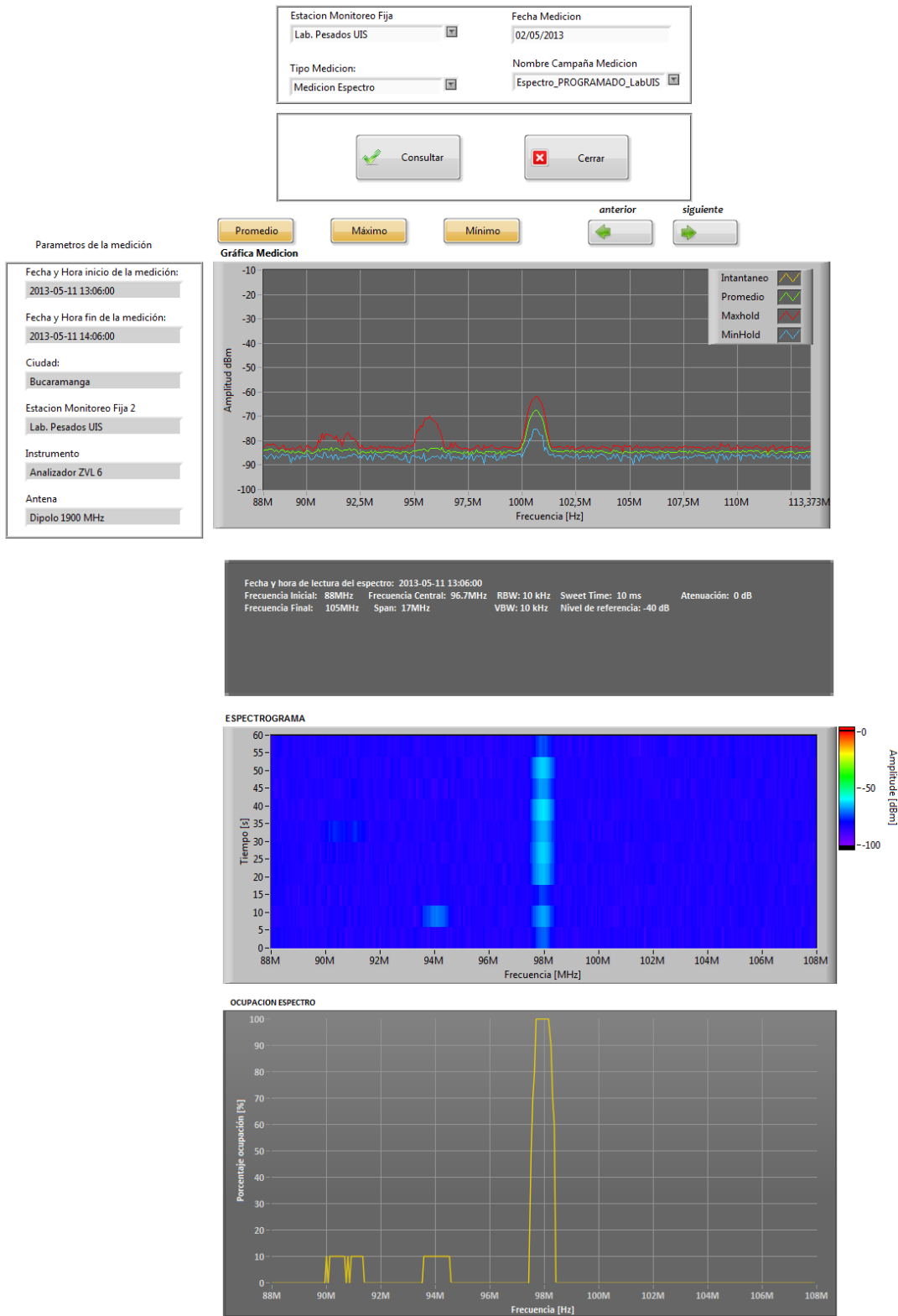
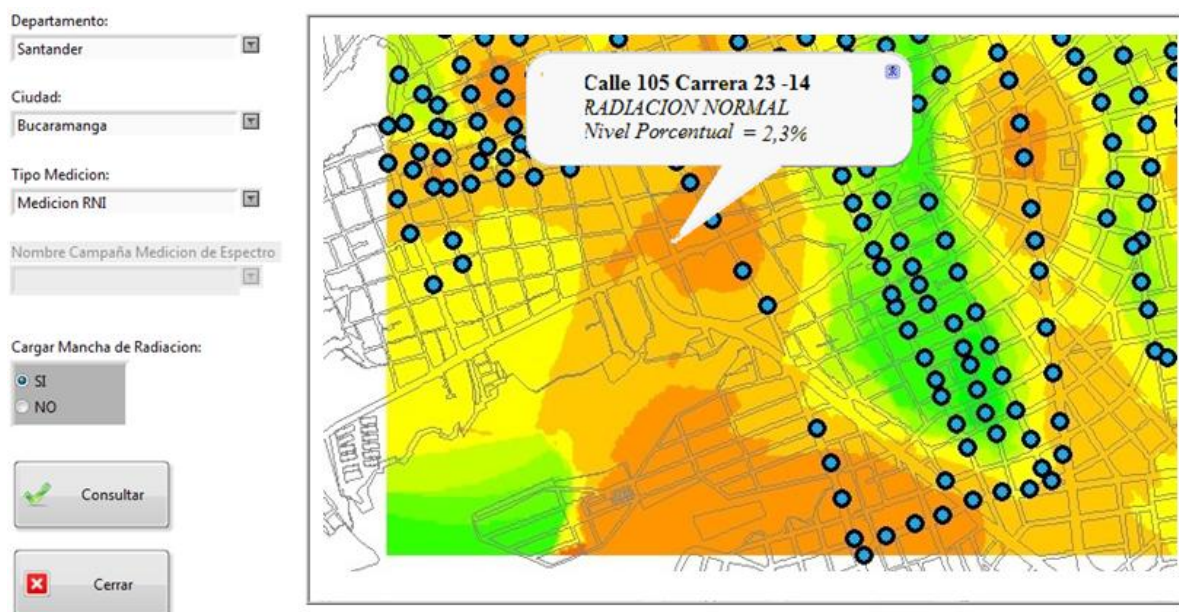


Figura 48. Portal de consulta mediciones en estaciones fijas

4.5.3 Portal web de consulta de manchas de radiación

Este portal web está asociado directamente al portal de consulta de mediciones de radiación, en el cual se carga una capa adicional al mapa con la información de la mancha continua de radiación de la ciudad seleccionada por el usuario. Esta mancha se representa por una escala de colores donde el verde corresponde al valor mínimo de radiación y el color rojo corresponde al valor máximo.

Tener en consideración que esta mancha es el resultado de un proceso de interpolación espacial a partir de los puntos de mediciones de radiación realizados en una ciudad.



4.5.4 Portal web de tele-medicación de ERE y RNI

Por intermedio de este portal web se ofrece a los usuarios de control remoto el “Servicio de Tele-medicación on-line en Estaciones de Monitoreo Fijas”, tanto de espectro como radiación. La característica principal de este portal es la capacidad

de controlar remotamente los diferentes instrumentos de medición ubicados en las estaciones fijas desde cualquier parte del mundo usando internet como medio de conexión.

Es importante resaltar que esta funcionalidad solo está habilitada para los usuarios de control remoto registrados en la base de datos por el administrador del sistema, los roles asociados a estos pueden ser: Universidades, Operadores de Telecomunicaciones o Entes de Regulación.

La interfaz grafica de usuario que se despliega en la web depende del tipo de medición seleccionado por el usuario al configurar la campaña.

Para mediciones remotas de radiación la **Figura 49** muestra la interfaz web de usuario que se despliega, en ésta se visualizan los datos del medidor de campos electromagnéticos en la medida que son capturados en la estación fija, el proceso depende del modo de medición configurado por el usuario, para modo programado, los datos se actualizan luego de transcurrido el tiempo de duración de la medición; para modo interactivo los datos se actualizan continuamente.

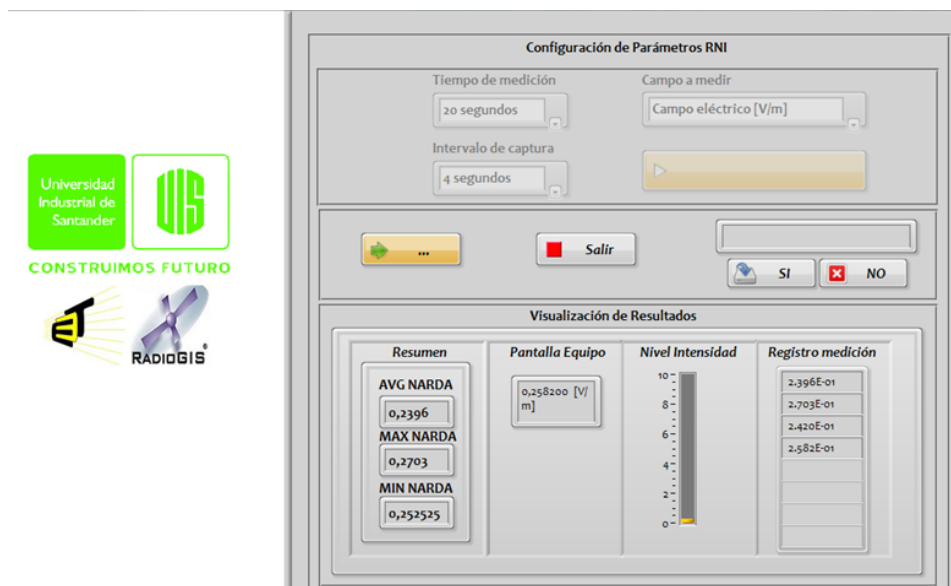


Figura 49. Interfaz web de usuario para tele-mediciones de radiación

Para mediciones remotas de espectro, la **Figura 50** muestra la interfaz web de usuario, en esta ventana se visualiza la grafica de espectro radioeléctrico sensado por el instrumento de medición en la estación de monitoreo fija seleccionada; el usuario tiene la capacidad de modificar o ajustar los parámetros del instrumento como frecuencia de inicio, frecuencia de finalización, filtro de resolución (RBW) y video (VBW), tipo de detector, niveles de referencia, entre otros; además puede incluir marcadores en la grafica para examinar el nivel de señal detallado a una frecuencia especifica y agregar trazos adicionales como MaxHold y Min Hold del espectro capturado. Para mediciones en modo programado la grafica se actualiza cada cierto tiempo (intervalo de captura), para mediciones interactivas la grafica se actualiza continuamente.

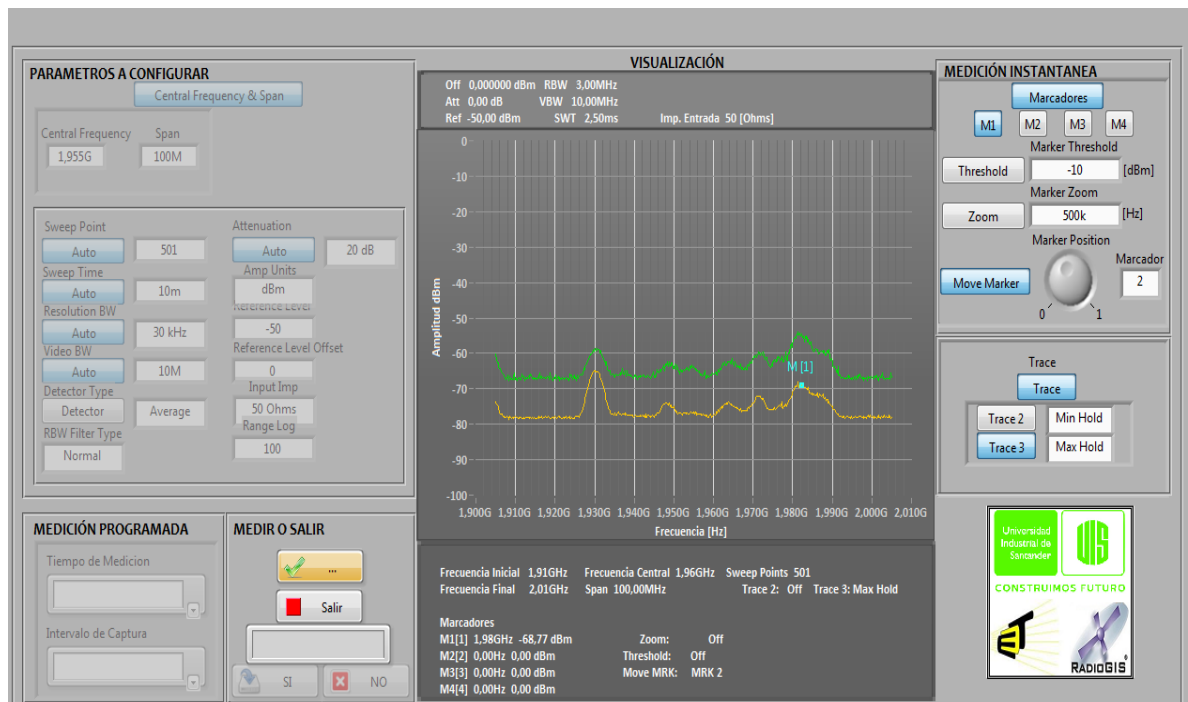


Figura 50. Interfaz web de usuario para tele-mediciones de espectro.

4.6 CONCLUSIONES PARCIALES

- Se definió la arquitectura y topología de red de la Plataforma de monitorización del espectro y la radiación UISpectrum, tomando como referencia principal la recomendación internacional UIT-T SM.1537 y el manual de comprobación técnica del espectro de la UIT, al igual que los lineamientos que plantea el paradigma SOA, al establecer que el esquema de comunicación común entre todos los componentes del sistema se debe basar en el uso de *Web Services*, lo que ofrece gran interoperabilidad y transparencia a la hora de desarrollar los servicios. Además, se alinea con los principios fundamentales de las redes de próxima generación NGN que busca abrir las capacidades de una red a diferentes actores para desarrollar servicios usando los componentes de funcionamiento de la propia red.

La Plataforma UISpectrum está constituida por el *Servidor Central de Gestión y Control* que gobierna todos los servicios y recursos habilitados en la Plataforma. Es el ente central de almacenamiento de los datos, análisis y procesamiento de la información, administración y control.

Además, se compone por un conjunto de *Estaciones de monitoreo fijas y móviles*, las cuales son las unidades de medición distribuías en diferentes lugares y que ofrecen la capacidad a la Plataforma de registrar remotamente o en sitio el espectro radioeléctrico y la radiación electromagnética no ionizante y de forma geo-referenciada

- Se implementaron todos los módulos o sistemas funcionales que componen la Plataforma tanto a nivel del Servidor Central de Gestión y Control como los módulos requeridos en las Estaciones de Monitoreo Fijas y Móviles. Se realizó una descripción esquematizada por modulo indicando las interacciones y el flujo de información entre los elementos constitutivos de

la plataforma, además se indicó la forma en que se implementaron. Estos módulos son: Modulo de Gestión de Servicios (SGservice), Modulo de Gestión y Administración de Usuarios (SGAuser), Modulo de Gestión y Control Remoto de instrumentos de medición (SGCRinstr), Modulo de Gestión y Almacenamiento de datos (SGAdata), Modulo de Publicación en la web (SUIweb), Modulo de Gestión y procesamiento Manchas RNI (RNImap), Modulo de Procesamiento de Datos (SProcess), Modulo de Control Local de Estación Fija (SCLocal), Modulo de escaneo geo-referenciado de radiación en estación móvil (GeoRadScanner), Modulo de escaneo geo-referenciado de espectro (GeoSpectScanner).

- Se diseñó e implementó un servicio para controlar remotamente los equipos de medición (Analizador de Espectro y Medidor de campos electromagnéticos) ubicados en una estación de monitoreo fija, denominado “Servicio de Tele-medición on-line en Estaciones de Monitoreo Fijas”, que permite realizar tareas básicas de monitorización del espectro enfocadas al análisis de la ocupación de espectro y tareas de medición de radiación electromagnética no ionizante en banda ancha (para telefonía móvil celular). Se estableció un mecanismo de comunicación o enrutamiento entre el Servidor Central de Gestión y los instrumentos que se basa en la utilización estandarizada de web services y XML como lenguaje para los datos que se transfieren, lo que ofrece gran interoperabilidad e independencia de tecnologías
- Se diseñó e implementó el “Servicio de Medición In-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles” que busca realizar escaneos geo-referenciados de la radiación o el espectro en área geográficas, este servicio tiene la capacidad de conexión, usando internet, con el Servidor Central de Gestión y Control para progresivamente transferir y guardar en la base de datos central la

información de las mediciones realizadas en sitio y poder hacer análisis en línea de forma simultánea.

- Se diseñó e implementó una base de datos relacional y espacial que permite guardar de forma centralizada toda la información obtenida por la Plataforma de Monitorización UISpectrum, producto de los procesos de mediciones de espectro y radiación en las estaciones fijas y móviles que la constituyen, así como información relacionada de los usuarios registrados. Esta base de datos presenta un conjunto de tablas organizadas y estructuradas con información común y relevante, además contiene entidades espaciales (geometrías) que representan las coordenadas geográficas asociadas a un punto en el mapa.
- Se diseñó e implementó el Sistema o Modulo de Gestión, Control y Administración de usuarios de la Plataforma UISpectrum, el cual ofrece los servicios de Autenticación de Usuarios, Registro de nuevos usuarios, Eliminación de usuarios y actualización de usuarios. Presenta un mecanismo de protección de acceso a múltiples intentos erróneos en la clave (fuerza bruta), el cual consiste en una lista negra de usuarios bloqueados temporalmente cuando el numero de eventos consecutivos no exitosos de autenticación es mayor que un número determinado por el Administrador
- Se diseñó e implementó un mecanismo para generar manchas continuas de radiación a partir de los puntos de mediciones discretas distribuidas en un área geográfica, empleando procesos de interpolación espacial por medio de algoritmos geo-estadísticos, como el método de Kriging, que tiene en cuenta la correlación espacial de los datos medidos. Gracias a este esquema, se pueden obtener manchas de radiación para toda una ciudad y

ofrece la capacidad para analizar el comportamiento de los campos electromagnéticos espacialmente en las zonas urbanas.

- Se diseñaron e implementaron los siguientes portales web: Portal web de autenticación y registro de usuarios, Portal web de consulta de mediciones espectro y radiación, Portal web de consulta de manchas de radiación en ciudades, Portal web de tele-medicación de ERE y RNI, Portal web de quejas y denuncias, Portal web de solicitud de mediciones, Portal web de información sobre ERE y RNI. Toda la información que se desee acceder por los portales de consulta debe estar almacenada en la Plataforma UISpectrum.
- Se diseño e implementó un sistema o modulo de procesamiento de datos (SProcess) que toma los resultados de las mediciones de espectro y radiación, los procesa y convierte en información útil para los usuarios de la Plataforma UISpectrum, los servicios que este modulo ofrece son:

Servicio de Estimación de Ocupación de Espectro, el cual toma los datos de las mediciones de espectro de una campaña en modo programado, correspondientes a un conjunto de lecturas en diferentes instantes de tiempo durante un periodo específico, y realiza el procesamiento para determinar el porcentaje de ocupación del espectro segmentado en canales de frecuencia con un ancho de banda específico. El porcentaje de ocupación de un canal es la relación porcentual entre la cantidad de casos donde el nivel de señal del canal es mayor a un umbral establecido respecto a la cantidad total de muestras sensadas del canal en el tiempo.

Servicio de Cálculo de Estadísticas del Espectro, el cual computa los parámetros estadísticos para una campaña de medición en modo programado, entrega como resultado los datos del Espectro Promedio, Espectro Máximo (MaxHold) y Espectro Mínimo (MinHold), parámetros que

son obtenidos a partir de todas las lecturas obtenidas para cada instante de tiempo.

5. MEDICIONES DE RADIACIÓN Y ESPECTRO

5.1 CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DE RADIACIÓN EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA

Se realizó una investigación detallada sobre los niveles reales de radiación que existen en la ciudad de Bucaramanga por medio de un conjunto de campañas de mediciones en 564 sitios diferentes cubriendo un 70% del casco urbano, con el fin de determinar si se cumplen en Bucaramanga los límites de exposición permitidos para público general que establece la Recomendación Internacional UIT-T K.52 y el Decreto 195 del 2005 del Ministerio de TIC. Los resultados se publicaron en la base de datos internacional de artículos científicos de la IEEE²⁴ en el año 2012 y cuyo artículo se titula: ***Electromagnetic Field Measurement Method to Generate Radiation Map*** [26].

La metodología empleada para el proceso de medición y la generación de la mancha de radiación de Bucaramanga está basada en los lineamientos de la UIT compilados en el libro [4] y en las recomendaciones ITU-T K.52 [20], ITU-T K.83 [27], ITU-T K.61 y ITU-T K.70 [9], la cual se resume en la siguiente figura, los detalles de esta metodología están publicados en el artículo [26].

Las especificaciones técnicas de las campañas de mediciones se muestran en la Tabla 6

²⁴ Para consultar el artículo

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6233672&contentType=Conference+Publications&queryText%3DElectromagnetic+Field+Measurement+Method+to+Generate+Radiation+Map>

Tabla 6. Especificaciones técnicas de las campañas de mediciones

Ciudad	Bucaramanga
Entidad que realizó las mediciones	Universidad Industrial de Santander- Grupo I+D RadioGIS
Variable medida	Campo eléctrico
Tipo de medición	Banda ancha [100khz-3Ghz]
Equipo utilizado	Narda NBM-550
Antena	Sonda de campo eléctrico [100khz-3Ghz]
Cantidad de sitios medidos	564
Tiempo promediado por sitio	1 minuto
Fecha inicio	26 mayo de 2011
Fecha fin	14 junio de 2011

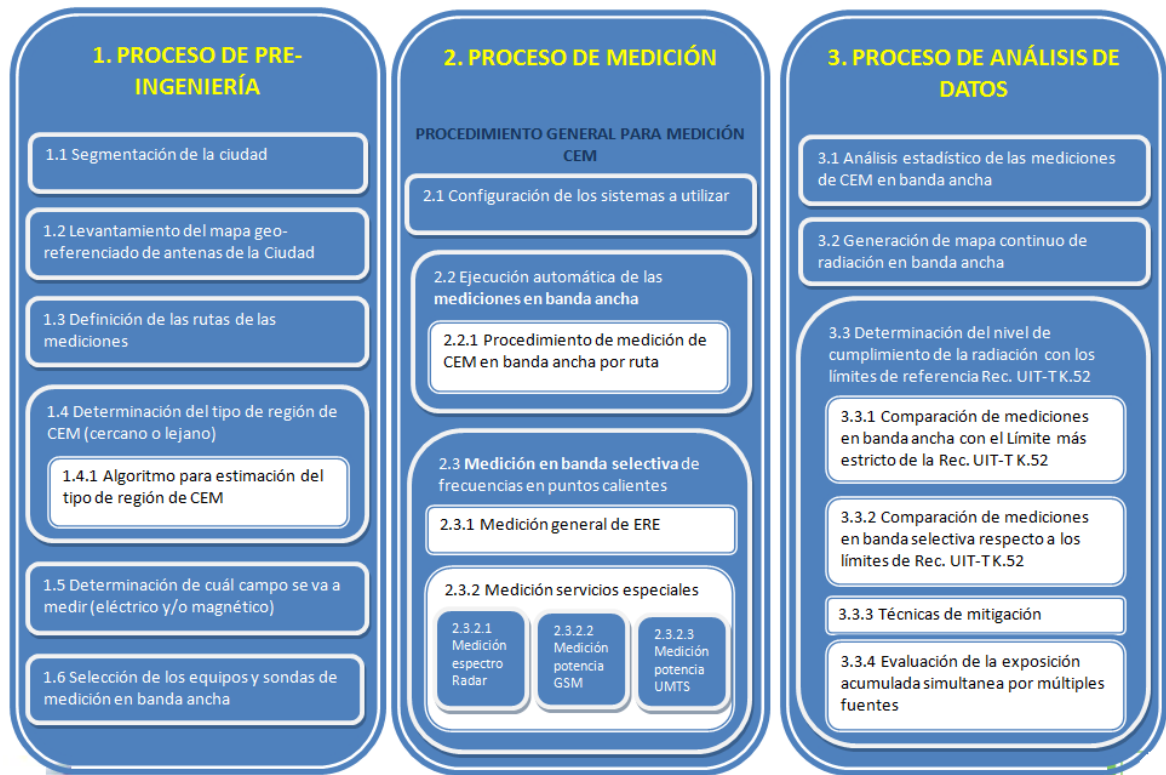


Figura 51. Diagrama de procesos de la metodología para generar mapas geo-referenciados de radiación electromagnética en una ciudad

Los resultados de estas mediciones se aprecian en la Figura 52, además, se realizó un procesamiento de los datos obtenidos en cada sitio medido con el fin de generar una mancha continua de radiación de toda la ciudad utilizando técnicas especiales de interpolación espacial por medio de algoritmos geo-estadísticos (método de kriging); en la mancha de radiación el color rojo indica el valor máximo calculado en la mancha (2,5 V/m) y en color verde se muestra el valor mínimo (0,01 V/m)

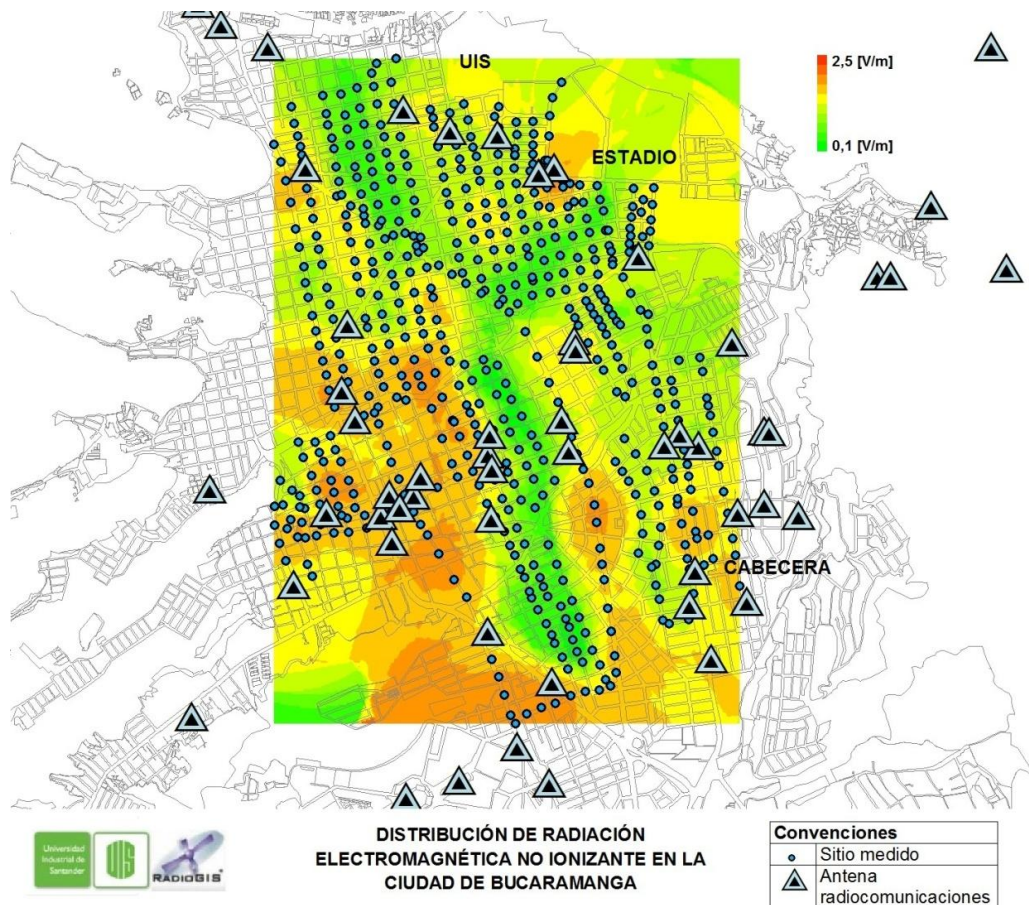


Figura 52. Mancha de radiación radioeléctrica en la ciudad de Bucaramanga realizada por la UIS.

5.5.1 Análisis estadístico de las mediciones de radiación y comparación con normas nacionales

Se realizó la estadística descriptiva (ver **Tabla 7**) de todos los datos obtenidos en los 564 sitios medidos, calculando el valor promedio de radiación, valor máximo, valor mínimo, la desviación estándar y la varianza, así como también el porcentaje de cumplimiento respecto a los límites máximos permitidos por el Decreto 195 de

2005, particularmente para las frecuencias donde opera la telefonía móvil celular (ver Tabla 5)

Tabla 7. Estadística descriptiva de todos los resultados obtenidos en 564 sitios medidos y cálculo del Nivel porcentual de cumplimiento de la norma para la banda de telefonía celular

Estadística	Campo Eléctrico [V/m]	% Cumplimiento 850 MHz (Limite =40,1 V/m)	% Cumplimiento 900 MHz (Limite=41,2V/m)	% Cumplimiento 1800 MHz (Límite=58,3 V/m)	% Cumplimiento 1900 MHz (Límite=59,9 V/m)	% Cumplimiento más estricto 10-400 MHz (Limite 28V/m) ²⁵
Promedio	0,54	1,34%	1,31%	0,92%	0,90%	1,92%
Máximo	2,63	6,56%	6,38%	4,51%	4,39%	9,40%
Mínimo	0,03	0,08%	0,08%	0,06%	0,06%	0,12%
Desv. Estándar	0,34					
Varianza [V ² /m ²]	0,11					

Como se puede observar el valor promedio de radiación medido en toda la ciudad no supera el 2% de los límites y el valor máximo no supera el 10% para todas las bandas de frecuencias donde opera la telefonía celular. Los picos de radiación se registraron en los alrededores de la Carrera 13 con Calle 33 (2,6 V/m), la Alcaldía Municipal (2,55 V/m) y el Centro Comercial La Isla (2,56 V/m), tener en consideración que estos valores están por debajo de los límites de la norma.

²⁵ El límite más estricto de la norma es el umbral más restrictivo que establece el Decreto 195, el cual solo se aplica al rango de frecuencia 10-400 MHz, es decir, no corresponde a los sistemas de telefonía móvil celular

Teniendo en cuenta los niveles de radiación registrados, se clasificó la ciudad en varios sectores, tal como lo describe la tabla 4. A nivel general las áreas residenciales, educativas y hospitalarias están entre 0-1 V/m

Tabla 8. Clasificación de la ciudad de acuerdo a los niveles de radiación

Rango [V/m]	Descripción
0 – 1.0	Áreas residenciales, educativas y hospitalarias. Zona Norte
1.0 - 2.0	Áreas comerciales y negocios. Zona oriental, occidental y sur.
2.0-2.6	Sitios específicos: Centro Comercial La Isla, Alcaldía Municipal, Carrera 13 con Calle 33
Mayor 28	Ningún punto caliente que supere los límites del Decreto 195 de 2005

En la Figura 53 se muestran los niveles discretos medidos en los 564 sitios y se hace una comparación con los límites o umbrales permitidos para telefonía celular por el Decreto 195 de Colombia y la Recomendación UIT-T K.52; lo que indica que ninguno de los sitios medidos supera estos límites y presentan un amplio margen.

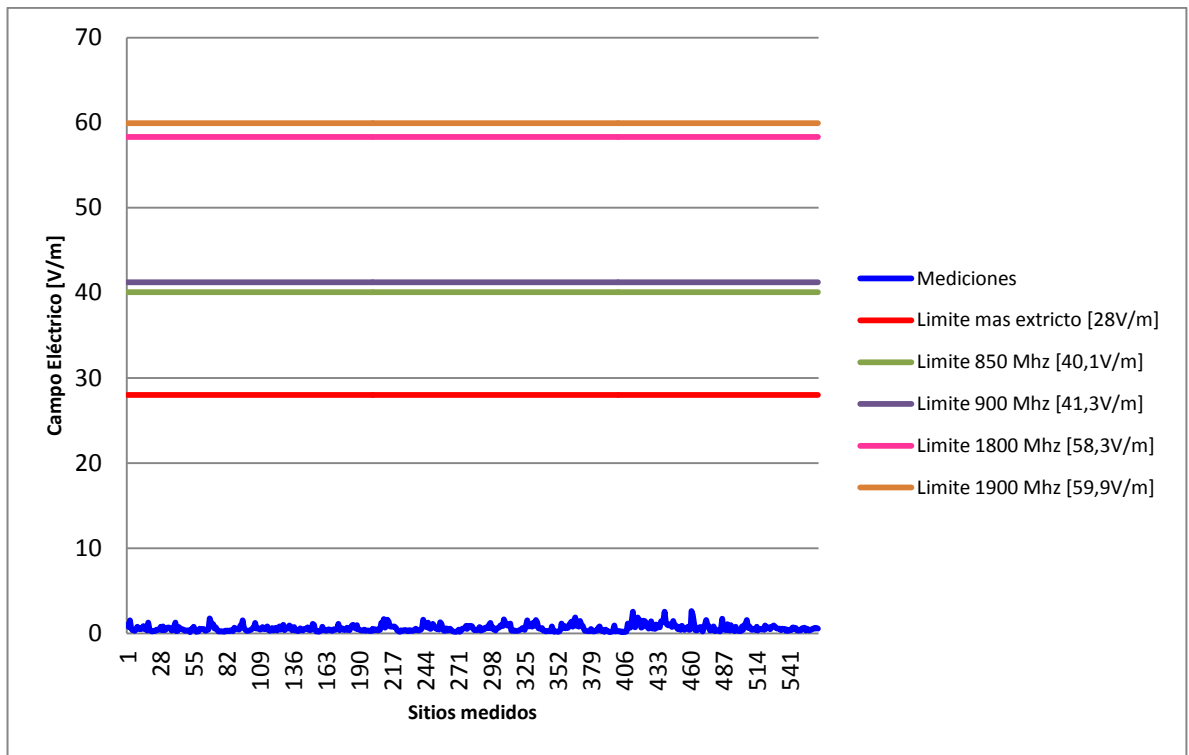


Figura 53. Niveles de radiación medidos en Bucaramanga respecto a los Límites permitidos por la Ley

En la Figura 54 se aprecian la graficas de la función de distribución de probabilidad acumulada y el histograma de frecuencias de los valores obtenidos en las campañas de mediciones.

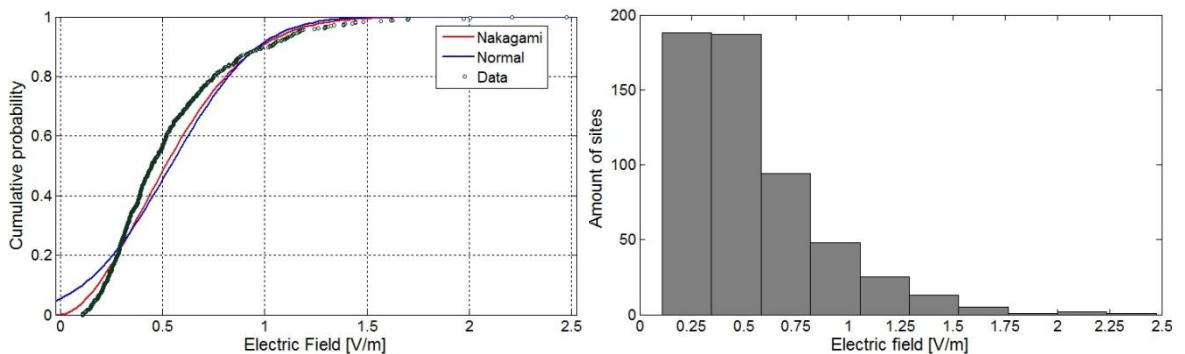


Figura 54. Graficas de distribución de probabilidad acumulada e histograma de frecuencia para mediciones realizadas en 564 sitios en la ciudad de Bucaramanga

Estas graficas permiten realizar conclusiones sobre cómo están concentrados los valores de campo eléctrico medidos respecto al total de las muestras sensadas y la probabilidad de no exceder cierto valor, **para este caso la probabilidad de no exceder un valor de campo eléctrico de 0.9767 V/m es del 90%.**

5.2 CONCLUSIONES PARCIALES

- Se realizaron un conjunto de campañas de mediciones de radiación no ionizante, utilizando una estación de monitoreo móvil, en 564 sitios diferentes de Bucaramanga, cubriendo un 70% del casco urbano, el objetivo de estas mediciones fue determinar el cumplimiento de los límites de exposición a campos electromagnéticos, permitidos para público general, que establece la recomendación internacional UIT-T K.52 y el Decreto 195 de 2005 de Colombia.

Se utilizó una metodología para el proceso de medición se fundamentó en los lineamientos de la UIT.

Se generó una mancha continua de radiación a partir de los datos de las mediciones para la ciudad de Bucaramanga utilizando el Servicio RNImap de la Plataforma UISpectrum y se publicó en el portal de consulta de manchas de radiación.

Se calculó la estadística descriptiva de todos los datos obtenidos en los 564 sitios medidos, concluyendo que el valor promedio registrado fue de 0,54 V/m, el valor máximo 2,63 V/m y el valor mínimo 0,03 V/m y desviación estándar de 0,35 V/m. Además, **la probabilidad de no exceder un valor**

de campo eléctrico de 0.9767 V/m es del 90%. Por último, el porcentaje de cumplimiento de los niveles de radiación con respecto a los límites máximos que establece la UIT y el gobierno de Colombia no superan el 9,4 %, siendo este un muy buen indicador, considerando que está muy por debajo del 100% permitido

6. CONCLUSIONES FINALES

- Se definieron los requisitos, características y funcionalidades para crear el Servicio General de telecomunicaciones basado en localización para monitorear en línea el espectro radioeléctrico y la radiación, además se realizó la ingeniería de requerimientos y el análisis de casos de uso para cada uno de los servicios que constituyen la solución propuesta, los cuales son: Servicio de autenticación y registro de usuarios, Servicio de Consulta Web de Mediciones del ERE y RNI, Servicio de Consulta de Manchas de radiación en ciudades, Servicio de Tele-medición on-line en Estaciones de Monitoreo Fijas, Servicio de Medición In-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles, Servicio de solicitud de mediciones en ubicación específica, Servicio de información sobre espectro y radiación, y Servicio de quejas y denuncias.
- Se diseñó la arquitectura de servicios de la solución, con base en las necesidades y requerimientos identificados y tomando como referencia conceptual el modelo general y los lineamientos que plantea el paradigma SOA. Se definieron tres capas fundamentales: Capa de Servicios Básicos y Compuesto, Capa de Procesos de Negocio y Capa de Presentación. En la capa de servicios se establecieron las unidades funcionales y bloques constructivos independientes y reutilizables que incorporan reglas de negocios. En la capa de procesos de negocio se creó el flujo de invocación u orquestación de los servicios para implementar los procesos funcionales de la solución. Y en la capa de presentación se definieron los diferentes mecanismos de interacción con los usuarios finales
- Se realizó el modelamiento de los principales procesos y subprocesos de negocio, utilizando la herramienta BizAgi Process Modeler, que intervienen

en la arquitectura de servicios y definen el flujo de actividades e interacciones necesarias para lograr establecer las funcionalidades de la solución. Estos procesos pueden organizarse en forma jerárquica hasta con dos o tres niveles de anidamiento y están asociados a los servicios del sistema

- Se diseñó el modelamiento de participación e interacción de los usuarios con los servicios que ofrece la Plataforma de Monitorización del espectro y la radiación, servicios que son percibidos como las herramientas y recursos que disponen los usuarios para que se apoye activamente el proceso de monitorización. Cada usuario del sistema tiene habilitado un perfil que le permite acceder y hacer uso de una determinada cantidad de servicios, dependiendo del tipo y rol de usuario que este configurado en su cuenta, definiendo de esta manera unos niveles de interacción con la Plataforma. Los servicios a los que tienen acceso se pueden clasificar y agrupar como: servicios de consulta, servicios de reportes y solicitudes, servicios de mediciones y servicios de administración
- Se definió la arquitectura y topología de red de la Plataforma de monitorización del espectro y la radiación UISpectrum, tomando como referencia principal la recomendación internacional UIT-T SM.1537 y el manual de comprobación técnica del espectro de la UIT, al igual que los lineamientos que plantea el paradigma SOA, al establecer que el esquema de comunicación común entre todos los componentes del sistema se debe basar en el uso de *Web Services*, lo que ofrece gran interoperabilidad y transparencia a la hora de desarrollar los servicios. Además, se alinea con los principios fundamentales de las redes de próxima generación NGN que busca abrir las capacidades de una red a diferentes actores para desarrollar servicios usando los componentes de funcionamiento de la propia red.

La Plataforma UISpectrum está constituida por el *Servidor Central de Gestión y Control* que gobierna todos los servicios y recursos habilitados en la Plataforma. Es el ente central de almacenamiento de los datos, análisis y procesamiento de la información, administración y control.

Además, se compone por un conjunto de *Estaciones de monitoreo fijas y móviles*, las cuales son las unidades de medición distribuídas en diferentes lugares y que ofrecen la capacidad a la Plataforma de registrar remotamente o en sitio el espectro radioeléctrico y la radiación electromagnética no ionizante y de forma geo-referenciada

- Se implementaron todos los módulos o sistemas funcionales que componen la Plataforma tanto a nivel del Servidor Central de Gestión y Control como los módulos requeridos en las Estaciones de Monitoreo Fijas y Móviles. Se realizó una descripción esquematizada por modulo indicando las interacciones y el flujo de información entre los elementos constitutivos de la plataforma, además se indicó la forma en que se implementaron. Estos módulos son: Modulo de Gestión de Servicios (SGservice), Modulo de Gestión y Administración de Usuarios (SGAuser), Modulo de Gestión y Control Remoto de instrumentos de medición (SGCRinstr), Modulo de Gestión y Almacenamiento de datos (SGAdata), Modulo de Publicación en la web (SUIweb), Modulo de Gestión y procesamiento Manchas RNI (RNImap), Modulo de Procesamiento de Datos (SProcess), Modulo de Control Local de Estación Fija (SCLocal), Modulo de escaneo geo-referenciado de radiación en estación móvil (GeoRadScanner), Modulo de escaneo geo-referenciado de espectro (GeoSpectScanner).
- Se diseñó e implementó un servicio para controlar remotamente los equipos de medición (Analizador de Espectro y Medidor de campos electromagnéticos) ubicados en una estación de monitoreo fija, denominado “Servicio de Tele-medición on-line en Estaciones de Monitoreo Fijas”, que

permite realizar tareas básicas de monitorización del espectro enfocadas al análisis de la ocupación de espectro y tareas de medición de radiación electromagnética no ionizante en banda ancha (para telefonía móvil celular). Se estableció un mecanismo de comunicación o enrutamiento entre el Servidor Central de Gestión y los instrumentos que se basa en la utilización estandarizada de web services y XML como lenguaje para los datos que se transfieren, lo que ofrece gran interoperabilidad e independencia de tecnologías

- Se diseño e implementó el “Servicio de Medición In-situ en Estaciones de Monitoreo Móviles” que busca realizar escaneos geo-referenciados de la radiación o el espectro en área geográficas, este servicio tiene la capacidad de conexión, usando internet, con el Servidor Central de Gestión y Control para progresivamente transferir y guardar en la base de datos central la información de las mediciones realizadas en sitio y poder hacer análisis en línea de forma simultánea
- Se diseño e implementó el Sistema o Modulo de Gestión, Control y Administración de usuarios de la Plataforma UISpectrum, el cual ofrece los servicios de Autenticación de Usuarios, Registro de nuevos usuarios, Eliminación de usuarios y actualización de usuarios. Presenta un mecanismo de protección de acceso a múltiples intentos erróneos en la clave (fuerza bruta), el cual consiste en una lista negra de usuarios bloqueados temporalmente cuando el numero de eventos consecutivos no exitosos de autenticación es mayor que un número determinado por el Administrador
- Se diseño e implementó un mecanismo para generar manchas continuas de radiación a partir de los puntos de mediciones discretas distribuidas en un

área geográfica, empleando procesos de interpolación espacial por medio de algoritmos geo-estadísticos, como el método de Kriging, que tiene en cuenta la correlación espacial de los datos medidos. Gracias a este esquema, se pueden obtener manchas de radiación para toda una ciudad y ofrece la capacidad para analizar el comportamiento de los campos electromagnéticos espacialmente en las zonas urbanas.

- Se diseñó e implementó un sistema o módulo de procesamiento de datos (SProcess) que toma los resultados de las mediciones de espectro y radiación, los procesa y convierte en información útil para los usuarios de la Plataforma UISpectrum, los servicios que este módulo ofrece son:

Servicio de Estimación de Ocupación de Espectro, el cual toma los datos de las mediciones de espectro de una campaña en modo programado, correspondientes a un conjunto de lecturas en diferentes instantes de tiempo durante un periodo específico, y realiza el procesamiento para determinar el porcentaje de ocupación del espectro segmentado en canales de frecuencia con un ancho de banda específico. El porcentaje de ocupación de un canal es la relación porcentual entre la cantidad de casos donde el nivel de señal del canal es mayor a un umbral establecido respecto a la cantidad total de muestras sensadas del canal en el tiempo.

Servicio de Cálculo de Estadísticas del Espectro, el cual computa los parámetros estadísticos para una campaña de medición en modo programado, entrega como resultado los datos del Espectro Promedio, Espectro Máximo (MaxHold) y Espectro Mínimo (MinHold), parámetros que son obtenidos a partir de todas las lecturas obtenidas para cada instante de tiempo.

- Se realizaron un conjunto de campañas de mediciones de radiación no ionizante, utilizando una estación de monitoreo móvil, en 564 sitios

diferentes de Bucaramanga, cubriendo un 70% del casco urbano, el objetivo de estas mediciones fue determinar el cumplimiento de los límites de exposición a campos electromagnéticos, permitidos para público general, que establece la recomendación internacional UIT-T K.52 y el Decreto 195 de 2005 de Colombia.

Se utilizó una metodología para el proceso de medición basada en los lineamientos de la UIT.

Se generó una mancha continua de radiación a partir de los datos de las mediciones para la ciudad de Bucaramanga utilizando el Servicio RNImap de la Plataforma UISpectrum y se publicó en el portal de consulta de manchas de radiación.

Se calculó la estadística descriptiva de todos los datos obtenidos en los 564 sitios medidos, concluyendo que el valor promedio registrado fue de 0,54 V/m, el valor máximo 2,63 V/m y el valor mínimo 0,03 V/m y desviación estándar de 0,35 V/m. Además, **la probabilidad de no exceder un valor de campo eléctrico de 0.9767 V/m es del 90%**. Por último, el porcentaje de cumplimiento de los niveles de radiación con respecto a los límites máximos que establece la UIT y el gobierno de Colombia no superan el 9,4 %, siendo este un muy buen indicador, considerando que está muy por debajo del 100% permitido

*“Invertir en espectro es invertir en la sociedad, en la calidad de vida de las personas, en las futuras generaciones, porque las telecomunicaciones avanza y ofrecen infinitas posibilidades, pero para ello es necesario un excelente proceso de monitorización y control, que permita facilitar el despliegue de infraestructura, el avènement de nuevas tecnologías como 4G y radio cognitiva, articulando armoniosamente la investigación desde las universidades, e incluyendo a la población misma en la toma de decisiones estratégicas para las TIC. **Porque todo nuevo desarrollo tecnológico implica nuevos compromisos con el medio ambiente y la sociedad**”*

7. RECOMENDACIONES

Para continuar este trabajo de investigación se recomienda realizar estudios sociales que midan el impacto de los servicios ofrecidos a los diferentes actores con el fin de evaluar el grado de participación de cada usuario y la forma de mejorar los desarrollos propuestos; examinar si con esta estrategia se logra disminuir la precaución e intranquilidad de las personas por los efectos que puedan tener las antenas y permitir involucrarlos cada vez más en el proceso de monitorización de la radiación y el espectro.

Definir estrategias para crear una sinergia perfectamente armonizada entre los Entes de Estado, los Operadores de Telecomunicaciones y las Universidades. La Universidad Industrial de Santander ha creado las condiciones para facilitar el tema a todos los actores por medio de este proyecto, es por ello, que se recomienda unir esfuerzos y crear un macro proyecto donde interactúen y participen la Alcaldía de Bucaramanga, todos los Operadores de Telefonía Celular, las Universidades, y principalmente las comunidades. Esto permite lograr un acercamiento directo con la gente con argumento técnicos sólidos, para ofrecer información de primera mano en beneficio del bienestar de las personas y el despliegue de infraestructura.

Este macroproyecto permitiría:

- Un proceso continuo de actualización de las mediciones de radiación no ionizante en Bucaramanga, en la medida de lo posible de forma anual, con el fin de mantener la vigencia de los resultados y estar a la par de los constantes cambios y avances tecnológicos, obteniendo de esta manera una mancha de radiación dinámica en el tiempo.

- Es necesario un proceso de socialización y contacto directo con las comunidades, en especial las más vulnerables, para ofrecer información de primera mano sobre las verdades y mentiras de los campos radioeléctricos y las antenas de telecomunicaciones, mediante todos los canales de comunicación posibles, charlas, foros, conversatorios, portales web de información, para que la gente se sienta respaldada en beneficio de su tranquilidad y bienestar.
- Facilitar el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones, con los compromisos requeridos y acordados, en la ciudad de Bucaramanga que permita mejorar la calidad y cobertura del servicio de telefonía móvil celular y preparar el camino para la cuarta generación de esta tecnología (4G)

8. Bibliografía

- [1] Ministerio de Tecnologías de Información y Comunicaciones de Colombia MinTIC. (2013, mayo) Plan Vive Digital Colombia. [En línea]. <http://vivedigital.gov.co/>
- [2] H. Ortega, "Agenda estratégica del Centro de Investigación Científica en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones", Centro de Investigación Científica y Tecnológica en TIC – CENTRO TIC, Bucaramanga, Plan de Acción CENTRO TIC 2013.
- [3] ITU International Telecommunication Union, "ITU-R SM.1537 Automation and integration of spectrum monitoring systems with automated spectrum management", ITU-R SM.1537, 2001.
- [4] International Telecommunication Union, *Handbook Spectrum Monitoring*, 2011th ed., François Rancy, Ed. Suiza: Radiocommunication Bureau, 2011.
- [5] J. Leal y H. Ortega, "Modelo para el desarrollo de servicios basados en Localización en las condiciones de Colombia con la visión de Las redes de telecomunicaciones de próxima generación", Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Tesis de Maestría 2009.
- [6] H. Leal y H. Ortega, "Visión del Desarrollo de Servicios para las Redes de Próxima Generación", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 2, no. 16, pp. 33-42, 2010.
- [7] Agencia Nacional del Espectro (ANE). (2012, junio) Documento de consulta pública para definir la política del espectro radioeléctrico. [En línea]. http://www.ane.gov.co/apc-aa-files/35383137643637613966333438336638/Documento_de_consulta_publica_para_definir_la_politica_del_ERE_1.pdf
- [8] International Telecommunication Union, "ITU-R SM.182-5 Automatic

monitoring of occupancy of the radio-frequency spectrum", Suiza, Recommendation Radiocommunication ITU-R SM.182-5, 2007.

- [9] Telecommunication Standardization Sector of ITU, "Guidance on measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations", International Telecommunication Union, Recommendation Rec. ITU-T K.61 (02/2008), 2008.
- [10] P. Raush, J. Kub, y E. Gray, "Automatic Radio Frequency Monitoring Measurements", en *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Seattle, 2002.
- [11] W. Pinglian y Y. Sumin, "Automated Measurement System for Wireless Transmitters", en *Electronic Measurement and Instruments, 2007. ICEMI '07*, China, 2007.
- [12] P. Girao, O. Postolache, S. Antunes, y F. Tavares, "Automated and Remote Operated System for Spectrum Monitoring and Control in Portugal", en *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 2010, pp. 1014-1019, E-ISBN: 978-1-4244-5696-3.
- [13] M. Camelo, H. Castro, y Y. Donoso, "Descripción de la realidad que acompaña a la industria de las telecomunicaciones", en *Convergencia de Servicios en Redes de Próxima Generación*, Bogota, 2008.
- [14] Thomas Erl, *SOA Principles of Service Design.*: Prentice Hall, 2007, ISBN-13:9780132344821.
- [15] Stephen G. Bennett et al., *SOA Governance Governing Shared Service On-Premise and in the cloud*, Mark L. Taub, Ed. Boston, United States: Prentice Hall, 2011, ISBN-13: 978-0-13-815675-6.
- [16] Davis Jeff, *SOA: Open Source.*: Ediciones Anaya Multimedia, 2010.

- [17] Patricia Bazán y Roxana Giandini, "Un modelo de integrabilidad con SOA y BPM", Universidad Nacional de La Plata, Argentina, Tesis de maestría en Redes de Datos 2009.
- [18] Abraham Silberschatz, Henry F. Korth, y S. Sudarshan, *Fundamentos de bases de datos*, Quinta edición ed. Madrid, España: Mc Graw Hill, 2006, ISBN: 0-07-295886-3.
- [19] International Telecommunication Union, "ITU-R SM.1880 Spectrum occupancy measurement", Radiocommunication Sector of ITU, Geneva, Recommendation ITU-R SM.1880, 2011.
- [20] Telecommunication Standardization Sector of ITU, "Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields", ITU, Geneva, Recommendation ITU-T Rec. K.52 (12/2004), 2004.
- [21] World Health Organization (WHO). (2013, Junio) The International EMF Project. [En línea]. [Disponibile en: http://www.who.int/peh-emf/project/en/](http://www.who.int/peh-emf/project/en/)
- [22] Ministerio de Tecnologías de Información y las Comunicaciones de Colombia. (2012, mayo) Decreto 195 de 2005. [En línea]. www.mintic.gov.co
- [23] A. Forrester, A. Sóbester, y A. J. Keane, *Engineering Design via Surrogate Modelling. A Practical Guide*, First edition ed. United Kingdom: Wiley, 2008.
- [24] ESRI. (2013, marzo) ArcGIS Desktop 9.3 Help. [En línea]. http://webhelp.esri.com/arcgisSDEsktop/9.3/index.cfm?TopicName=Using_Kriging
- [25] ESRI, *ArcGIS 9 Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. New York, United States, 2003.
- [26] C. C. Rodriguez, C. A. Forero, y H. Ortega, "Electromagnetic Field Measurement Method to Generate Radiation Map", en *Congreso Colombiano*

de Comunicaciones IEEE 2012 COLCOM. Universidad ICESI de Cali, Cali, Colombia, 2012, pp. 1-7, <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6233672&contentType=Conference+Publications&queryText%3DElectromagnetic+Field+Measurement+Method+to+Generate+Radiation+Map>.

- [27] Telecommunication Standardization Sector of ITU, "Monitoring field strengths of electromagnetic fields", International Telecommunication Union, Recommendation Rec. ITU-T K.83 (03/2011), 2011.
- [28] Telecommunication Standardization Sector of ITU, "Mitigation techniques to limit human exposure to EMFs in the vicinity of radiocommunication stations", International Telecommunication Union, Recommendation ITU-T Rec. K.70 (06/2007), 2007.
- [29] ICNIRP Publication, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection, Geneva, 1998.