

## Conference Paper

# Development of a Web System-based Geographic Information System Technologies to Mapping Electromagnetic Fields: First Developments

## Desarrollo de un Sistema Web basado en Tecnologías de Sistemas de Información Geográfica para Mapeo de Campos Electromagnéticos: Primeros Desarrollos

Pedro Infante<sup>1</sup>, Alex Quingatuña<sup>1</sup>, Santiago Nogales<sup>1</sup>, Blanca Hidalgo<sup>1</sup>, Tony Flores<sup>2</sup>, and Fidel Gilard<sup>3</sup>

Corresponding Author:  
 Pedro Infante  
 pinfante@esPOCH.edu.ec

Received: 4 December 2018  
 Accepted: 5 December 2018  
 Published: 27 December 2018

Publishing services provided by  
**Knowledge E**

© Pedro Infante et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Selection and Peer-review under the responsibility of the SIIPRIN-CITEGC Conference Committee.

<sup>1</sup>Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ECo60154 Riobamba, Ecuador

<sup>2</sup>Unidad de Investigación, Instituto Superior Pedagógico Jaime Roldós Aguilera, ECo60401 Colta, Ecuador

<sup>3</sup>Centro Nacional de Electromagnetismo, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

### Abstract

The purpose of this research work is to make decisions about the exposure levels of people to radiation, for which, the Web System based on GIS technology (DECOMAPS) was developed for mapping electromagnetic fields in the city of Riobamba. This system executes analysis, search, creation, automation of processes, and mapping activities of electromagnetic fields. The system was developed on an agile development methodology called SCRUM, which allows to create an optimal and interactive work environment between the product owner and the developers in order to create a quality system. Many technological tools were applied by the developer of this system. Once successfully completed, the system was subjected to tests of functionality and usability of the final product through quality metrics established by ISO 9126-3, where it was determined that the system is 93.64% functional, in addition to a 94.40% in usability. Concluding that the system is functional and can be implemented as a contribution in research to be developed in the future on the effects of electromagnetic fields on the human body.

### Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como propósito tomar decisiones sobre los niveles de exposición de la gente a la radiación, para lo cual, el Sistema Web basado en tecnología GIS (DECOMAPS) fue desarrollado para mapeo de campos electromagnéticos en la ciudad de Riobamba. Este sistema ejecuta análisis, búsqueda, creación, automatización de procesos y actividades de mapeo de campos

 OPEN ACCESS

electromagnéticos. El sistema fue desarrollado sobre una metodología de desarrollo ágil llamada SCRUM, el cual permite crear un ambiente de trabajo óptimo e interactivo entre el propietario del producto y los desarrolladores en orden de crear un sistema de calidad. Muchas herramientas tecnológicas fueron aplicadas por el desarrollador de este sistema. Una vez completado exitosamente, el sistema fue sometido a pruebas de funcionalidad y usabilidad del producto final a través de métricas de calidad establecidas por la norma ISO 9126-3, donde se determinó que el sistema es 93,64% funcional, además de un 94,40% en usabilidad. Concluyendo que el sistema es funcional y se puede implementar como una contribución en las investigaciones a desarrollarse a futuro sobre las afectaciones de los campos electromagnéticos sobre el cuerpo humano.

**Keywords:** OpenGeo Suite, Java, SCRUM, ISO 9126-3, DECOMAPS

**Palabras clave:** OpenGeo Suite, Java, SCRUM, ISO 9126-3, DECOMAPS

---

## 1. Introducción

El aumento de antenas transmisoras de radio, televisión y estaciones base de telefonía celular instaladas en sectores urbanos han generado un beneficio en el área de las telecomunicaciones, pero dicho aumento trae como consecuencia, una mayor radiación electromagnética –definida como la propagación de campos electromagnéticos (EMF) mediante ondas a partir de una fuente– [1], a la cual están expuestas las personas cercanas a estos sectores, existiendo una preocupación en la ciudadanía por posibles efectos adversos en la salud. Se conoce que, de acuerdo al Grupo Bioiniciativa [2], los EMF están relacionados con el desarrollo de cáncer, leucemia, tumores cerebrales, etc., que han afectado a aquellas personas que han vivido a cortas distancias de antenas o estaciones base de transmisión. No obstante, se han descrito otras enfermedades que parecen tener relación con esta; tales como: irritabilidad, depresión, pérdida de memoria y mareos, entre otras, por lo cual, se ha visto necesario el estudio del impacto de los EMF en el país.

Debido a los riesgos antes mencionados, varias organizaciones, entre ellas la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) y International Telecommunication Union (ITU) han planteado normativas y directrices que establecen ciertos límites de radiación a la exposición ocupacional y poblacional a los que puede

estar expuesto el ser humano [3], [4]. Pero en muchos de los casos, el cumplimiento de estas recomendaciones no es aplicada en su totalidad por las empresas de telefonía celular.

Estudios realizados en la ciudad de Cali determinaron que los niveles de inmisión de densidad de potencia, aunque en su mayoría estaban por debajo de los límites permitidos (96 %), existían lugares donde los niveles de EMF superaron los límites establecidos por las entidades regulatorias, las cuales realizan constantes estudios de medición, ayudados de herramientas, entre ellas dispositivos medidores de radiación, Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), Sistemas de Información Geográfica (GIS) [5]. Este mismo tipo de estudios de mediciones y el mapeo electromagnéticos de la radiación de las antenas se realizaron en la ciudad de Riobamba utilizando herramientas de software existentes en el mercado como Radio Mobile y Open Street Map [6], con la finalidad de determinar si los rangos de radiación generada están dentro de los límites de radiación EMF de acuerdo a normativas internacionales tales como ICNIRP.

Uno de los procedimientos empleados para el control y estudio de los niveles de radiación es el mapeo de EMF, el cual consiste en realizar mediciones y cálculos utilizando equipos y personal capacitado, además de disponer de los datos obtenidos para utilizarlos en la toma de decisiones. Estos datos deben ser lo más precisos posibles, debido a que estos influirán directamente en la salud de las personas que están expuestas a la radiación de EMF producidos por las antenas.

En Ecuador se han realizado estudios basados en mediciones de EMF [6], sin embargo, la no existencia de aplicaciones GIS que ayuden en la representación y procesamiento de estos datos obtenidos [7] ha puesto en evidencia la creación de un sistema informático que ayude en el análisis e interpretación de resultados de las mediciones, y con ello ayude en la toma de decisiones sobre el porcentaje recomendable al que debería estar expuesto el ser humano, para lo cual, se ha considerado el desarrollo de una aplicación georeferencial mediante el uso de herramientas GIS con el objetivo de conseguir un producto de calidad que satisfaga las necesidades planteadas por el usuario [8].

La Sección I hace una introducción sobre la problemática, para en la Sección II justificarla mediante una búsqueda exhaustiva de información sobre los diferentes sistemas de información geográfica y sistemas Web. Luego, en la Sección III se describe la estructura y la metodología para la implementación del nuevo sistema. Después, en la Sección IV presentamos los resultados sobre el funcionamiento, y; proponemos un Sistema para el mapeo de EMF. Finalmente, en la Sección V concluimos este trabajo.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Sistemas de Información Geográfica (GIS)

Las GIS son tecnologías que permite gestionar y analizar información espacial. Puede definirse como un conjunto de software, hardware, metodologías, datos y usuarios, perfectamente integrados, de forma que hace posible la recolección, almacenamiento, procesamiento y análisis de datos georeferenciados, así como la producción de información de su aplicación, con el fin de resolver problemas de gestión y de planificación [1]. Esto ha traído un nuevo punto de vista y un enorme beneficio para la investigación y desarrollo en el dominio del uso las GIS, que es el manejo de la radiación electromagnética en las ciudades.

En comparación con los GIS tradicionales, las Web GIS tienen ventajas como la independencia de la plataforma, bajo costo de desarrollo, uso amigable, fácil actualización del sistema, equilibrio de carga, entre otras.

#### 2.1.1. Características y Prestaciones de los GIS

Algunas de las características principales de los GIS son: a) Visualización de información geográfica expresada en forma de mapas, b) Relación entre la posición un elemento geográfico, representado por puntos, líneas, polígonos y su información temática asociada, c) Elevado número de procedimientos de geometría computacional, de algoritmos informáticos, de métodos cuantitativos, etc., d) Almacena relaciones espaciales entre diferentes elementos [9].

Las prestaciones que los GIS suelen proporcionar son: a) Entrada y captura de datos, b) Administración y organización informática de los archivos de geodatos, c) Edición, corrección, integración y geo procesamiento de los datos, d) Búsquedas o selecciones, e) Análisis estadístico, f) Modelado y reconstrucción de aspectos realistas, g) Elaboración y visualización de mapas bi y tridimensionales, h) Servicio remoto de información geográfica bajo demanda de los usuarios, i) Impresión y exportación de mapas, gráficos, datos y realidad virtual del territorio.

### 2.2. Plataforma OpenGeo Suite

OpenGeo Suite es una plataforma completa de aplicaciones geográficas basadas en un conjunto de herramientas de Java enfocadas a las tecnologías GIS. Contiene lo

necesario para la creación de sistemas en la web, integra una base de datos capaz de gestionar datos espaciales georeferenciales, un servidor de aplicaciones y un cliente API [10]. La Figura 1 muestra la relación entre algunos de los componentes que conforman la aplicación OpenGeo Suite (GeoServer, OpenLayer, PostGIS).

### 2.2.1. Componente GeoServer

Es un servidor web de código abierto desarrollado en Java, permite utilizar mapas y datos de diferentes formatos para sistemas web, ya sean clientes web ligeros, o programas GIS desktop. Usa Restlet como framework para los servicios REST que proporciona. Incluye Jetty como servidor embebido, e incluye GeoWebCache, un componente de cacheado basado en Java similar a TileCache [11].

### 2.2.2. Componente OpenLayer

Es una herramienta gratuita bajo licencia tipo BSD, permite visualizar un mapa dinámico en una página web, OpenLayer es un proyecto de OpenSourceGeospatialFoundation, escrito en JavaScript. Implementa servicios web del consorcio OpenGIS de Mapping (WMS) y Web FeatureService (WFS). [12]

### 2.2.3. Componente PostGIS

Es una extensión para el manejo de objetos geográficos (geodatabase) dentro de una base de datos PostgreSQL, el desarrollo de la aplicación se basa en esto, ya que posee mayor beneficio y menor costo, debido a que está publicado bajo una licencia distribución libre GNU. PostGIS es estable, rápido, compatible con estándares y actualmente es la base de datos espacial de código abierto más ampliamente utilizada. La administración de la base de datos es posible a través de PgAdmin y phpPgAdmin, entre otros. Es posible importar y exportar datos mediante herramientas en línea de comandos o a través de clientes SIG de escritorio o web. [13]

### 2.2.4. Ventajas de OpenGeo Suite en el desarrollo de sistemas web georeferenciales

Para la implementación del sistema DECOMAPS se seleccionó la plataforma en desarrollo de sistemas web georeferenciales OpenGeo Suite, por su flexibilidad al

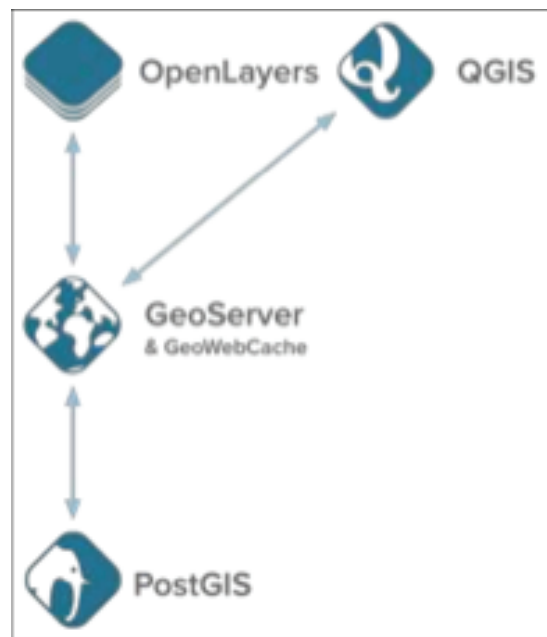


FIGURA 1: Componentes de OpenGeo Suite.

unir componentes geográficos y sistemas de base de datos, salida de datos en varios formatos de servicios web, arquitectura web, escalabilidad, y soporte para varios sistemas operativos.

## 2.3. Herramientas Informáticas

### 2.3.1. Java

Es un lenguaje de programación orientado a objetos, soportado por todos los sistemas operativos y dispositivos móviles existentes. Fue desarrollado por Sun Microsystems y permite la creación de todo tipo de aplicaciones como de escritorio, web o móviles [14].

### 2.3.2. Apache Tomcat

Es un servidor web basado en el lenguaje Java creada para ejecutar Java Servlet y JavaServer Pages (JSP), mediante un análisis comparativo de los servidores Web que soportan Java, en el cual se compararon las ventajas y desventajas de los servidores, se determinó que en su mayoría todos son eficientes, pero se decidió por Apache Tomcat por motivos de costos y la facilidad para la configuración [15].

### 2.3.3. Eclipse Mars IDE

Es el IDE seleccionado ya que está compuesto por un conjunto de herramientas de programación de código abierto, usado en su mayoría para el desarrollo en aplicaciones de lenguaje Java, por su gran integración entre servidores y motores de base de datos. Además, Eclipse funciona en todos los sistemas operativos por lo que es muy beneficioso [16].

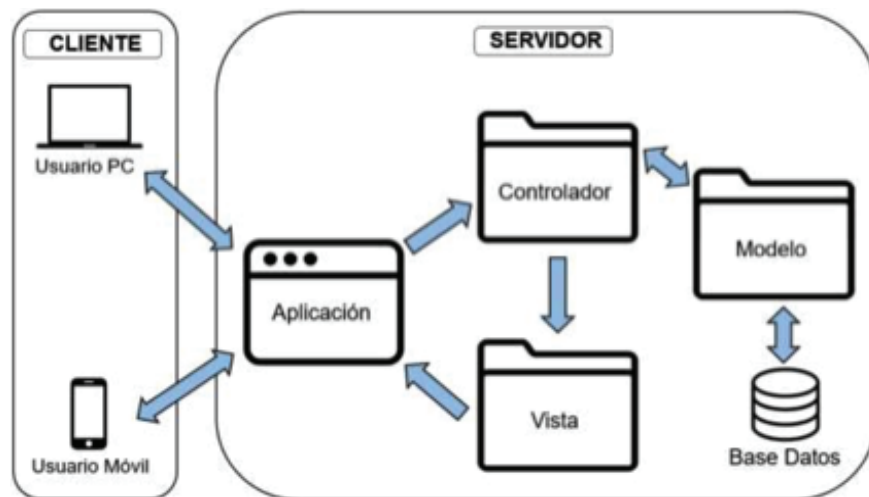


FIGURA 2: Arquitectura del sistema.

## 2.4. Arquitectura del sistema

El sistema fue construido aplicando la arquitectura Cliente - Servidor, y haciendo uso de los patrones Modelo Vista Controlador (MVC) [17], el mismo que ha sido seleccionado y diseñado con base en objetivos (requerimientos) y restricciones que se han presentado en el proyecto. Su fundamento es la separación del código en tres capas diferentes, acotadas por su responsabilidad, en lo que se llaman Modelos, Vistas y Controladores.

### 2.4.1. Modelo

Es la capa donde se trabaja con los datos, contiene todas las funciones que accederán a las tablas y harán las correspondientes inserciones, actualizaciones, eliminaciones, cargas, etc.

### 2.4.2. Vista

Es la capa que contiene todos los formularios que son visualizados dentro de las interfaces de usuario, permitiendo con ello la interacción entre el usuario y la aplicación.

### 2.4.3. Controlador

Es la capa que sirve de enlace entre las vistas y los modelos, respondiendo a los mecanismos que puedan requerirse para implementar las necesidades de nuestra aplicación.

La Figura 2 muestra la colaboración entre los elementos que forman una aplicación MVC, haciendo uso de la arquitectura cliente - servidor. Como se puede ver, el controlador envía y recibe las peticiones realizadas por el cliente, el modelo procesa las consultas SQL y la vista muestra el contenido en un formato legible para el cliente.

## 2.5. Metodología empleada para la creación de la aplicación

Mediante el análisis realizado a las características principales de cada una de las metodologías ágiles y tradicionales [18] que se utilizan para el desarrollo de proyectos de software, el proyecto ha sido implementado mediante el uso y aplicación de la metodología ágil llamada SCRUM, poniendo énfasis en el trabajo en equipo y obteniendo mejores resultados de productividad.

### 2.5.1. Metodología de desarrollo SCRUM

Es una metodología ágil, usada porque minimiza los riesgos durante la realización de un proyecto, pero de manera colaborativa. Entre las ventajas se encuentran la productividad, calidad y el seguimiento diario con el que se realiza los avances del proyecto, logrando que los integrantes estén unidos, comunicados y que el cliente vaya viendo los avances.

### 2.5.2. Fases de SCRUM

La tabla I muestra las actividades a realizarse en cada fase para el funcionamiento de la metodología SCRUM.



### 2.5.3. Participantes de SCRUM

Son aquellos que forman parte en el desarrollo del proyecto y tienen sus características propias, estos son: Product Owner (Responsable del proyecto), SCRUM Master (Líder de las reuniones), SCRUM Team (Desarrollador del proyecto) y Clientes (Receptor del producto final).

TABLA 1: Fases de SCRUM.

Fases	Descripción
Product Backlog	Lista de requerimientos del Proyecto
Sprint Backlog	Actividad del Proyecto
Sprint Planning Meeting	Reunión al inicio de cada Sprint
Daily SCRUM	Reunión breve diaria durante el Sprint
Spring Review	Revisión del Sprint terminado
Spring Retrospective	Retroalimentación del Sprint terminado

### 2.6. ISO/IEC 9126-3 Calidad del software

El estándar internacional ISO/IEC 9126-3 [19] define las características de calidad y el modelo del proceso de evaluación del software basado en dos puntos importantes: a) Los requisitos del software constituyen el fundamento para medir la calidad; y, b) Los estándares utilizados definen un conjunto de criterios que guían la manera en que el software se somete a evaluación. Para nuestro sistema DECOMAPS se han seleccionado dos características, las cuales se aplicarán al modelo de proceso para la evaluación de calidad.

1. Funcionalidad.- Característica seleccionada por las condiciones específicas que debe cumplir el sistema.
2. Usabilidad.- Característica seleccionada con la finalidad de evaluar la interacción del sistema con el usuario.

## 3. Desarrollo de la Aplicación

Con el desarrollo del sistema web para el mapeo de las radiaciones de EMF en la ciudad de Riobamba, se podrá gestionar los datos de mediciones de los niveles mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de radiación, así como la tasa de absorción específica (SAR) en determinadas partes del cuerpo humano y compararlos con

los valores límites permitidos por las normas internacionales, tales como las proporcionadas por la ICNIRP. El sistema estará compuesto de los siguientes módulos:

- Módulo de Creación y Autenticación de Usuarios
- Módulo de Mapas
- Módulo de Ingreso de Datos
- Módulo de Ubicación Geográfica de Estaciones Base
- Módulo de Procesamiento de datos
- Módulo de Reportes

### 3.1. SCRUM – Fase de Planificación

#### 3.1.1. Identificación de Usuarios Illy Roles

El equipo involucrado en la gestión y desarrollo del proyecto está conformado por el director del proyecto (SCRUM Master), el propietario del producto (Product Owner), y el equipo de desarrollo.

#### 3.1.2. Tipos de Usuarios y Roles

Los usuarios son todas aquellas personas involucradas directamente en el uso del sistema, por lo cual se definirá a continuación un tipo de usuario y su rol en el sistema.

#### 3.1.3. Actividades del proyecto

Las actividades realizadas antes, durante y después del desarrollo del presente proyecto.

#### 3.1.4. Producto BackLog

Las historias de usuario (Product Backlog), es el conjunto de requisitos generados por el equipo SCRUM para definir las actividades de cada miembro del equipo de desarrollo y determinar el número de Sprints (iteraciones) del proyecto.

### 3.1.5. Sprint BackLog

Las iteraciones del proyecto (Sprint) cuenta de un cierto número de historias de usuario agrupadas para ser completadas en un rango de tiempo (cuatro semanas).

### 3.1.6. Cronograma de actividades

Para el cumplimiento de los Sprints se ha establecido un cronograma de actividades estimado con una duración de 20 semanas, trabajando 8 horas diarias de lunes a viernes.

### 3.1.7. Reuniones SCRUM

La metodología utilizada indica que el equipo SCRUM puede mantener reuniones frecuentemente para definir actividades, requisitos y características de último momento que pueda requerir el Product Owner o propietario del producto.

## 3.2. SCRUM – Fase de Desarrollo

### 3.2.1. Descripción de las Capas de la Aplicación

El sistema contará con una estructura basada en 3 capas (MVC). Cada procesador cuenta con un servidor web Apache TomCat v.8.026 alojado en Ubuntu 15.01.

1. Modelo: donde se ejecutan todas sentencias SQL y los procesos de conexión a la base de datos.
2. Controlador: donde se ejecutan las validaciones necesarias para mantener la integridad de los datos además garantiza la creación de Aplicaciones Empresariales con Calidad.
3. Vista: donde se aloja toda la interfaz de usuario y ciertas validaciones.

### 3.2.2. Estándar de Codificación

Para proporcionar una correcta utilización de los términos semánticos, procesos de escritura de código, se seleccionó el estándar de codificación J2EE CHECKLIST.

### 3.2.3. Diseño de la Base de Datos

Se realizó un análisis previo de la funcionalidad que tendrá el sistema, garantizando que los datos serán manejados de mejor manera. Se empleó el modelo relacional, y está conformada por un total de 8 tablas.

### 3.2.4. Diccionario de Datos

Es una representación de las características lógicas que poseen los tipos de datos y el nombre de los campos que se van a utilizar en el sistema, estos incluyen nombre de la tabla, campos, tipos de datos, llaves primarias y foráneas.

### 3.2.5. Estándar de Interfaces del Sistema

Fue definido mediante reuniones con el Product Owner, las cuales deben estar regidos a lineamientos de aceptación, garantizando con ello la usabilidad, navegación, contenido, tiempos de respuesta, así como la elección del color de la interfaz, tipo de letra y logos de la aplicación. A continuación, se muestra el bosquejo del estándar de interfaces, así como la barra de menú, que ayudara al manejo del sistema. Ver Figura 3.

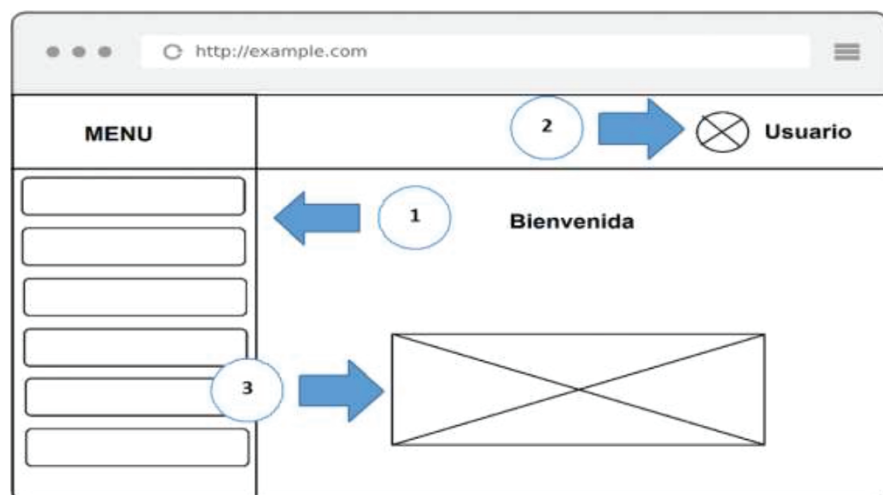


FIGURA 3: Bosquejo Estándar de la Interfaz. 1. Menú General del Sistema con Funciones del Sistema; 2. Credenciales del Usuario en el Sistema; and 3. Área de interacción y visualización de Mapas.

Luego de realizar el bosquejo de las interfaces que utilizará el sistema, se muestra el resultado final de las interfaces diseñadas técnicamente y cumpliendo con cada una de las exigencias de usabilidad planteadas por el usuario final. Ver Figura 4.



FIGURA 4: Diseño Estandar de la Interfaz.

### 3.2.6. Desarrollo de las Historias de Usuario

Representan los requisitos provenientes del Sprint Backlog, estas historias cuentan con un identificador, nombre, descripción y responsable; así como sus tareas de ingeniería y pruebas de aceptación, las mismas que comprueban el correcto cumplimiento de la historia de usuario. Para ello se describe mediante tablas el proceso de realización de una historia de usuario. La tabla II muestra un ejemplo.

TABLA 2: Historia de Usuario 01.

Historia de Usuario	
<b>ID:</b> HU-01	<b>Nombre de la Historia:</b> Registro de Usuarios
<b>Usuario:</b> Desarrollador	<b>Sprint:</b> 03
<b>Fecha Inicio:</b> 23/11/2015	<b>Fecha Fin:</b> 24/11/2015
<b>Descripción:</b> Como desarrollador del Sistema necesito generar un proceso que permita registrar usuarios	
<b>Pruebas de Aceptación:</b> Verificar el registro completo del registro de usuarios	

### 3.3. SCRUM – Fase de Finalización

En esta fase se detallan las actividades realizadas para la finalización del desarrollo del sistema DECOMAPS, para el mismo se estableció el Sprint denominado Burn-Down Chart, el cual consiste en un gráfico de trabajo pendiente a lo largo del tiempo donde se muestra la velocidad a la que se está completando los objetivos/requisitos planteados al comienzo del desarrollo del sistema, además, permitió extrapolar si los desarrolladores completaron el trabajo en el tiempo estimado con satisfacción.

### 3.3.1. Sprint BurnDown Chart

Al concluir con el desarrollo de los Sprint planificados se presenta mediante gráficos estadísticos de trabajo Sprint BurnDown Chart, el mismo que muestra la velocidad del proyecto. Ver Figura 5. El gráfico está representado por dos líneas, que muestran los puntos ideales al planteamiento inicial del proyecto (línea azul) en comparación con los puntos actuales (línea naranja).

## 4. Análisis de Resultados

En esta sección analizaremos los resultados obtenidos luego de la aplicación de las diferentes tecnologías y metodologías que ayudaron a la elaboración del sistema informático DECOMAPS, para ello se realizó la evaluación de la funcionalidad y usabilidad, haciendo uso del estándar ISO/IEC 9126-3 para determinar su calidad.

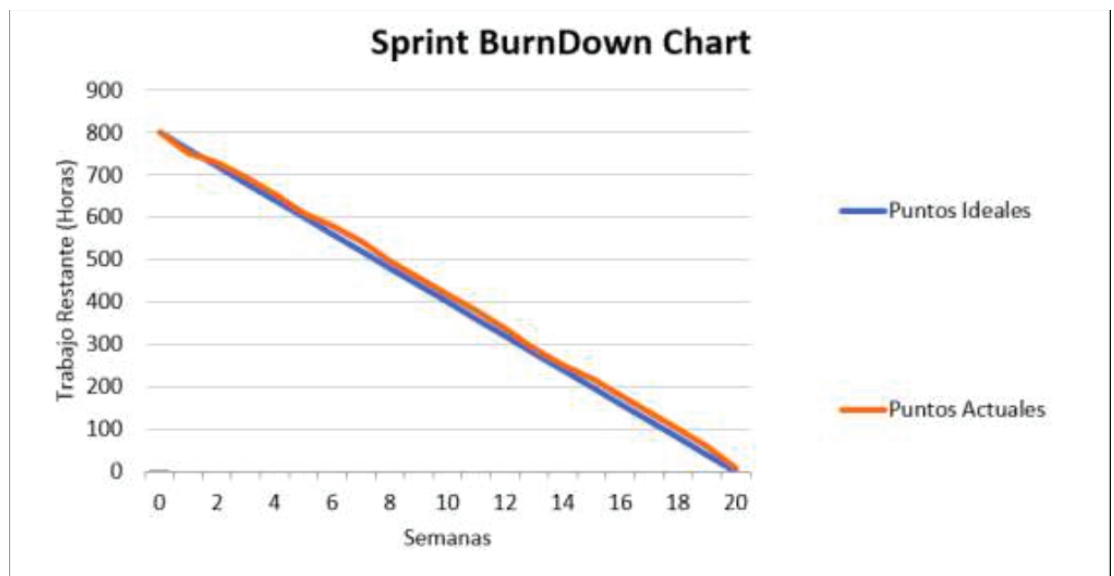


FIGURA 5: Diseño Estandar de la Interfaz.

Se decidió utilizar el ISO/IEC 9126-3 debido a varios motivos, entre ellos: el sistema que estamos desarrollando no es un software ejecutable sino más bien un Sistema Web, y lo más importante que, al utilizarse la Metodología SCRUM, era necesario ir evaluando el funcionamiento de cada uno de sus módulos durante cada una de las fases de desarrollo, así podíamos iniciar acciones correctivas temprano en el ciclo de desarrollo.

## 4.1. Requerimientos de Calidad

Son un conjunto de sub características propias de la funcionalidad y usabilidad para la evaluación de la calidad del sistema DECOMAPS, según el estándar ISO/IEC 9126-3, se debe establecer parámetros y métricas que permitan identificar el cumplimiento de la calidad en el sistema. La tabla III, describe los parámetros y los niveles bajo los cuales se evaluó la funcionalidad y usabilidad del sistema DECOMAPS.

TABLA 3: Parámetros y Niveles de Evaluación del Sistema.

Característica	Subcaracterística	Aceptación Requerida	Rango de Aceptación
Funcionalidad	Adecuidad	Alta	0.71-1.00
	Exactitud	Alta	0.71-1.00
	Interoperatividad	Media	0.36-0.70
	Seguridad	Alta	0.71-1.00
	Conformidades	Media	0.36-0.70
Usabilidad	Entendimiento	Alta	0.71-1.00
	Aprendizaje	Alta	0.71-1.00
	Operabilidad	Media	0.36-0.70
	Atracción	Baja	0.00-0.35
	Conformidad	Media	0.36-0.70

## 4.2. Análisis de la Funcionalidad del Sistema

El análisis de la funcionalidad del sistema DECOMAPS, se ha establecido mediante las métricas de sus características de calidad (adecuación, exactitud, interoperabilidad, seguridad, conformidad de la funcionalidad), establecidas por la norma ISO 9126-3 y descritas a continuación.

### 4.2.1. Adecuidad

Mide la completitud del sistema, realizado el análisis de la métrica de adecuación, se obtuvo un valor numérico de medición (1) con un nivel de aceptación "alta", dentro del rango determinado mediante la interpretación de la norma para la funcionalidad del sistema.

#### 4.2.2. Exactitud

Mide la precisión del sistema, realizado el análisis de la métrica de exactitud, se obtuvo un valor numérico de medición (0,96) con un nivel de aceptación "alta", dentro del rango determinado mediante la interpretación de la norma para la funcionalidad del sistema.

#### 4.2.3. Interoperatividad

Mide la interacción entre sistemas, realizado el análisis de la métrica de interoperabilidad, se obtuvo un valor numérico de medición (0,50) un nivel de aceptación "media", dentro del rango determinado mediante la interpretación de la norma para la funcionalidad del sistema.

#### 4.2.4. Seguridad

Mide la seguridad del sistema, realizado el análisis de la métrica de seguridad, se obtuvo un valor numérico de medición (1) con un nivel de aceptación "alta", dentro del rango determinado mediante la interpretación de la norma para el funcionamiento del sistema.

#### 4.2.5. Conformidad

Mide la conformidad del sistema, realizado el análisis de la métrica de conformidad de la funcionalidad, se obtuvo un valor numérico de medición (0,66) con un nivel de aceptación "media", dentro del rango determinado mediante la interpretación de la norma para la funcionalidad del sistema.

### 4.3. Análisis de la Usabilidad del Sistema

#### 4.3.1. Entendimiento

Herramientas evidentes del sistema, realizado el análisis de la métrica de entendimiento, se obtuvo un valor numérico de medición (0,88) con un nivel de aceptación "alta", dentro del rango determinado mediante la interpretación de la norma para la usabilidad del sistema.



### 4.3.2. Aprendizaje

Precisión del sistema, realizado el análisis de la métrica de aprendizaje, se obtuvo un valor numérico de medición (0,70) con un nivel de aceptación “media”, dentro del rango determinado mediante la interpretación de la norma para la usabilidad del sistema.

### 4.3.3. Operabilidad

Control del sistema, realizado el análisis de la métrica de operabilidad, se obtuvo un valor numérico de medición (0,60) con un nivel de aceptación “media”, dentro del rango determinado mediante la interpretación de la norma para la usabilidad del sistema.

### 4.3.4. Atracción

Diseño del sistema, realizado el análisis de la métrica de atracción, se obtuvo un valor numérico de medición (0,70) con un nivel de aceptación “media”, dentro del rango determinado mediante la interpretación de la norma para la usabilidad del sistema.

### 4.3.5. Conformidad

**Conformidad** del sistema, realizado el análisis de la métrica de conformidad de la usabilidad, se obtuvo un valor numérico de medición (0,66) con un nivel de aceptación “media”, dentro del rango determinado mediante la interpretación de la norma ISO 9126-3 para la usabilidad del sistema.

## 4.4. Análisis de la Calidad del Sistema

Los datos anteriores de funcionalidad muestran los valores entre los niveles requeridos y obtenidos con sus métricas para realizar la evaluación de la funcionalidad del sistema. Podemos decir que el sistema DECOMAPS es 93,64% funcional, cálculo obtenido de la suma de los valores numéricos de las métricas, aplicada una regla de tres simple con su valor porcentual.

$$\text{Total} = (100 * 4,12) / 4,40$$

La Figura 6, muestra en barras los valores requeridos (rojo) en comparación con los valores obtenidos (azul) con el fin de tener una visión más amplia de la funcionalidad del sistema DECOMAPS.

Los datos anteriores de usabilidad muestran los valores entre los niveles requeridos y obtenidos con sus métricas para realizar la evaluación de la funcionalidad del sistema. Podemos decir que el sistema DECOMAPS es 94,40 % usable, calculo obtenido de la suma de los valores numéricos de las métricas, aplicada una regla de tres simple con su valor porcentual.

$$\text{Total} = (100 * 3,54) / 3,75$$

La Figura 7, muestra en barras los valores requeridos (rojo) en comparación con los valores obtenidos (azul) con el fin de tener una visión más amplia de la usabilidad del sistema DECOMAPS.

El análisis de la usabilidad del sistema DECOMAPS, ha sido establecido mediante el uso de métricas de sus características de calidad (entendimiento, aprendizaje, operabilidad, atracción, conformidad de la usabilidad), establecidas por la norma ISO 9126-3 aplicada a una encuesta.

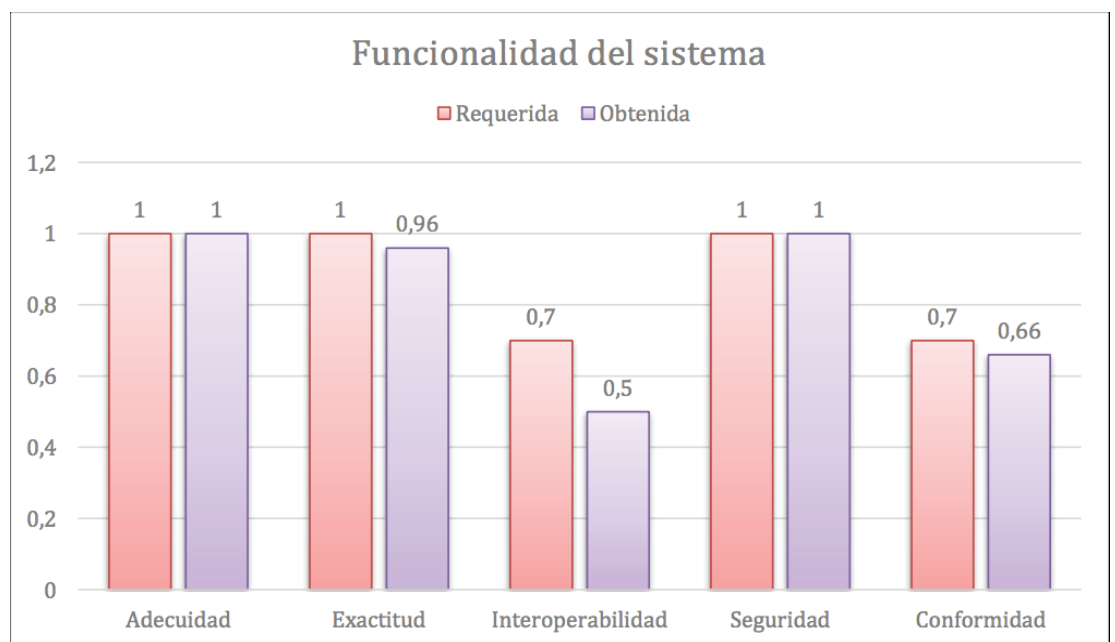


FIGURA 6: Evaluación de la funcionalidad del sistema.

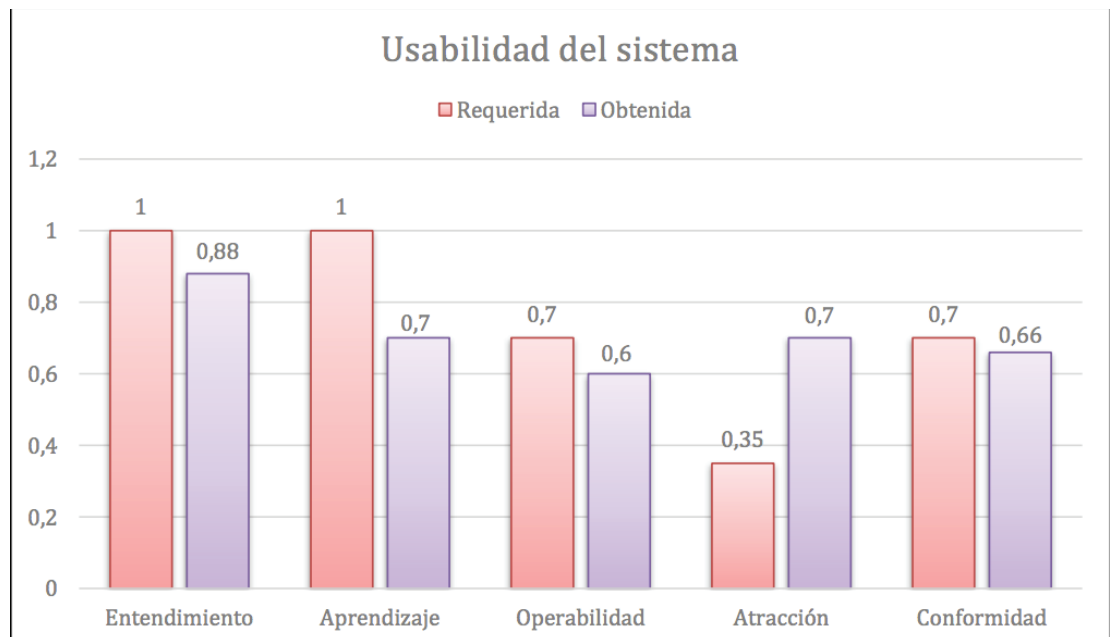


FIGURA 7: Evaluación de la funcionalidad del sistema.

## 5. Conclusiones

La versatilidad que nos brinda el desarrollo de aplicaciones web georeferencial mediante el uso de la plataforma OpenGeo Suite basado en Java, ha hecho posible automatizar completamente los procesos de interpretación de datos de mapeo electromagnético que tradicionalmente se los realizaban de forma manual, con las consiguientes ventajas en confiabilidad, rapidez y precisión para la interpretación de estos datos a favor del estudio.

Una vez finalizado el desarrollo del Sistema Web Basado en Tecnologías GIS para el Mapeo de EMF de la Ciudad de Riobamba, se realizó una evaluación de funcionalidad y usabilidad del producto final mediante las métricas de calidad, establecidas por la norma ISO 9126-3, donde se determinó que el sistema DECOMAPS es 93,64 % funcional y que además cuenta con un 94,40 % en usabilidad del sistema.

No es posible establecer aún cuales son las limitaciones del Sistema Web implementado debido a que aún no se ha levantado la información sobre niveles de radiación en la ciudad de Riobamba, estas mediciones se están realizando a la par del desarrollo de esta aplicación.

Este trabajo de investigación presenta un aporte técnico en el desarrollo futuro de proyectos que involucren el uso de herramientas GIS y sistemas WEB, pero sobretodo,

este sistema servirá para determinar si los niveles de radiación electromagnética emitidos por las estaciones de telefonía causan problemas en la salud de los habitantes de esta urbe.

Como trabajos futuros, esperamos mejorar el procedimiento de programación del sistema Web basado en GIS de tal manera que sea versátil y funcional, buscando nuevas plataformas o herramientas informáticas que contribuyan a la optimización del proceso de mapeo electromagnético, además, realizar las respectivas pruebas de funcionamiento del Sistema Web con la información de medición de niveles de radiación EMF en la ciudad de Riobamba.

## 6. Reconocimiento

Los autores agradecen el patrocinio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Informática y Electrónica, el apoyo de la Universidad de Oriente de Cuba (UO) y a quienes revisaron este trabajo gracias por sus valiosos comentarios.

## Referencias

- [1] J. C. Jimenez, "Antenas de telefonía celular y salud", 2001.
- [2] S.A. Cindy, Sage. M.A., "Summary for the public", BioInitiative Working Group, Tech. Rep. 2012 Supplement, Section 1, 2012.
- [3] P. Vecchia, R. Matthes, G. Ziegelberger, J. Lin, R. Saunders, and A. Swerdlow, "Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 khz-300 ghz)", no. ICNIRP 16/2009, 2009.
- [4] ITU-Telecommunication-Standardization-Sector, "Guidance for assessment, evaluation and monitoring of human exposure to radio frequency electromagnetic fields", International Telecommunication Union, Tech. Rep. K.91, 2012.
- [5] G. Aponte, A. Escobar, C. Pinedo, and G. Arizabaleta, "Medición de campos electromagnéticos en la ciudad de Cali", *Información Tecnológica*, vol. 18, no. 3, pp. 39-47, 2007.
- [6] L. J. Heredia, "Estudio de los niveles de radiación electromagnética no ionizante producidas por las antenas de radio, televisión y estaciones base de telefonía celular en varias zonas de la ciudad de Riobamba", <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/3238/1/98T00040.pdf>, Marzo 2014.
- [7] F. A. Sarriña, "Sistemas de información geográfica", 2014.

- [8] M.G. Delgado, C.D. Castillo, F.E. Martinez, V.R. Espinoza, and M.S. Garcia, "Caracterización de los riesgos ambientales para la salud: puesta a punto de un SIG en dos distritos del sureste de madrid", 2005.
- [9] M. Marino. Aplicación de GIS (sistema de información geográfica) al relevamiento y análisis del patrimonio arquitectónico y urbano., [Online]. Available: [www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2001/2-Humanisticas/H-028.pdf](http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2001/2-Humanisticas/H-028.pdf)
- [10] A. Morales. (2015) ¿Qué es OpenGeo Suite? [Online]. Available: <http://mappinggis.com/2012/05/que-es-opegeo-suite>
- [11] I. Turton and F. Gasdorf. (2011) Geoserver. [Online]. Available: [http://live.osgeo.org/es/overview/geoserver\\_overview.html](http://live.osgeo.org/es/overview/geoserver_overview.html)
- [12] OpenLayers. (2017) [Online]. Available: <https://openlayers.org/>
- [13] A. Marquez. "PostGIS Essentials", 2015
- [14] Oracle. (2015) ¿Qué es la tecnología Java y para qué la necesito? [Online]. Available: [https://www.java.com/es/download/faq/whatis\\_java.xml](https://www.java.com/es/download/faq/whatis_java.xml)
- [15] The-Apache-Software-Foundation, "Apache Tomcat," 2017. [Online]. Available: <http://tomcat.apache.org>
- [16] Calendamaia. (2015) Eclipse IDE. [Online]. Available: <http://www.genbetadev.com/herramientas/eclipse-ide>
- [17] M. A. Álvarez. (2014) ¿Qué es MVC? [Online]. Available: <http://www.desarrolloweb.com/articulos/que-es-mvc.html>
- [18] C. Gutierrez. (2014) ¿Para qué sirve el SCRUM en la metodología ágil? [Online]. Available: <http://www.izbtech.com/blog-izb/techdeployment/para-que-sirve-el-SCRUM-en-la-metodologia-agil>
- [19] I. O. for Standardization, "ISO/IEC TR 9126-3:2003 software engineering -product quality- part 3: Internal metrics", 2003. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/22891.html>