



Diseño e implementación del sistema SIG Smart GreenTracks

www.smartgreentracks.com

Alumna: Yolanda Hernández Sánchez

Consultora: Anna Muñoz Bolas

Profesor Responsable: David Merino Arranz

Junio 2017

Copyright © 2017 YOLANDA HERNÁNDEZ SÁNCHEZ.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.

A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

Reservados todos los derechos. Está prohibido la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la impresión, la reprografía, el microfilme, el tratamiento informático o cualquier otro sistema, así como la distribución de ejemplares mediante alquiler y préstamo, sin la autorización escrita del autor o de los límites que autorice la Ley de Propiedad Intelectual.

Índice

1. Introducción	2
1.2 Estado del arte.....	3
1.3 Objetivos del proyecto	7
1.4 Planificación del proyecto	8
1.5 Productos de salida	12
2. Capítulo 2. Análisis del sistema	13
2.1. Metodología de análisis.....	13
2.2. Requisitos funcionales del sistema.....	13
2.3. Análisis funcional del sistema SIG Smart Green Tracks	17
2.4. Análisis de las plataformas de obtención de datos de calidad de aire	23
2.5. Tecnologías de desarrollo del sistema SIG	24
3. Capítulo 3. Diseño del sistema.....	33
3.1. Arquitectura del sistema SIG Smart Green Tracks	33
3.2. Elección del sistema de referencia geográfico.....	36
3.3. Diseño del modelo de datos	37
3.4. Recogida de datos de contaminación del área centro de Valladolid	39
3.5. Tratamiento de datos con Geoserver	40
3.6. Diseño del visor SIG.....	42
4. Capítulo 4. Implementación del sistema.....	45
4.1. Configuración del entorno de desarrollo	45
4.2. Creación del Modelo de datos.....	45
4.3. Creación de capas Shape con Qgis	46
4.4. Importación de capas Shape a la base de datos PostGis.....	49
4.5. Creación de las capas de datos en Geoserver	51
4.6. Implementación del visor SIG Smart Green Tracks	57
5. Capítulo 5. Pruebas y resultados	58
6. Capítulo 6. Conclusiones y mejoras futuras	64
7. Glosario	66
8. Bibliografía.....	68

Lista de Figuras

FIGURA 1. MAPA SIG DE LA CALIDAD DE AIRE EN ESPAÑA DEL MAPAMA.....	4
FIGURA 2. EMISIONES CONTAMINANTES DE NOX PROCEDENTES DEL TRÁFICO POR CARRETERA.....	5
FIGURA 3. DIAGRAMA GANTT INICIAL DE PLANIFICACIÓN DE PROYECTO.....	11
FIGURA 4. ARQUITECTURA GENERAL DE UN SISTEMA SIG	20
FIGURA 5. ARQUITECTURA DEL SISTEMA SIG SMART GREEN TRACK.	23
FIGURA 6. MAPA DE PUNTOS DE MEDIDA DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL MAPAMA.	24
FIGURA 7. MAPA DE PUNTOS DE MEDIDA DE LA CALIDAD DEL AIRE AIR QUALITY EGG.....	24
FIGURA 8. HERRAMIENTAS DE SOFTWARE LIBRE PARA EL DESARROLLO SIG.	25
FIGURA 9. FRAMEWORK DE SOFTWARE LIBRE PARA EL DESARROLLO SIG.....	32
FIGURA 11. ARQUITECTURA DEL SISTEMA SIG SMART GREEN TRACK CON INTERFACES Y SOFTWARE.....	36
FIGURA 12. INTERFAZ VISOR WEB SIG INICIAL	43
FIGURA 13. INTERFAZ VISOR WEB SIG CON MENÚ DE SELECCIÓN.....	43
FIGURA 14. CREACIÓN DE UNA CAPA VECTORIAL SHAPEFILE.....	46
FIGURA 15. SHAPEFILE TIPO PUNTO.....	47
FIGURA 16. SHAPEFILES CO, NO2, PM10	47
FIGURA 17. CREACIÓN DE MAPA DE CALOR	48
FIGURA 18. MAPA DE CALOR DE CO	48
FIGURA 20. MAPAS DE CALOR DE CO, NO2 Y PM3 EN EL ÁREA CENTRO DE VALLADOLID.....	49
FIGURA 21. IMPORTAR SHAPEFILE A BASE DE DATOS	50
FIGURA 22. DATOS DE LA TABLA VALORCONCENTRACIONES DE LA BASE DE DATOS AIRQUALITYDB	50
FIGURA 23. CREAR ESPACIO PROYECTO EN GEOSERVER.....	51
FIGURA 24. CONECTAR GEOSERVER Y BASE DE DATOS POSTGIS.....	52
FIGURA 25. CREAR CAPA EN GEOSERVER	52
FIGURA 26. PUBLICAR CAPA EN GEOSERVER	53
FIGURA 27. ESTILOS EN GEOSERVER	56
FIGURA 28. ACCESO A VISOR WEB	58
FIGURA 29. DESPLIEGUE DE MENÚ VISOR WEB	59
FIGURA 30. MUESTRA DE CONCENTRACIÓN ALTA DE NO2 EN ÁREA CENTRO DE VALLADOLID	59
FIGURA 31. MUESTRA DE CONCENTRACIÓN MEDIA DE NO2 EN ÁREA CENTRO DE VALLADOLID	60
FIGURA 32. MUESTRA DE CONCENTRACIÓN ALTA Y MEDIA DE CO EN ÁREA CENTRO DE VALLADOLID.....	60
FIGURA 33. MUESTRA DE CONCENTRACIÓN BAJA DE CO EN ÁREA CENTRO DE VALLADOLID	61
FIGURA 34. MUESTRA DE CONCENTRACIONES DE NO2, CO, PM10 EN ÁREA CENTRO DE VALLADOLID.....	61
FIGURA 35. MUESTRA DE CONCENTRACIONES DE GASES CONTAMINANTES EN ÁREA CENTRO VALLADOLID AMPLIADA.....	62
FIGURA 36. MUESTRA DEL MAPA DE CALOR DE CO EN ÁREA CENTRO VALLADOLID.....	62
FIGURA 37. MUESTRA DEL MAPA DE CALOR DE NO2 EN ÁREA CENTRO VALLADOLID	63
FIGURA 38. MUESTRA DEL MAPA DE CALOR DE PM10 EN ÁREA CENTRO VALLADOLID	63

Lista de Tablas

<i>TABLA 1. ASIGNACIÓN TEMPORAL DE TAREAS</i>	<i>10</i>
<i>TABLA 2. CLASIFICACIÓN EN RANGOS DE GASES CONTAMINANTES</i>	<i>16</i>
<i>TABLA 3. SERVIDORES DE MAPAS LIBRES.....</i>	<i>26</i>
<i>TABLA 4. LIBRERÍAS JAVASCRIPT DE WEB MAPPING.....</i>	<i>28</i>
<i>TABLA 5. CLASIFICACIÓN SIMPLIFICADA EN RANGOS DE GASES CONTAMINANTES</i>	<i>37</i>
<i>TABLA 6. IDENTIFICACIÓN DE GASES Y FORMAS GEOMÉTRICAS.....</i>	<i>43</i>
<i>TABLA 7. IDENTIFICACIÓN DE COLORES Y NIVELES DE CONCENTRACIÓN</i>	<i>44</i>

1. Introducción

1.1 Justificación y formulación del problema

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, ya que puede causar muerte prematura según la OMS (Organización Mundial de la Salud).

Según estimaciones de 2012, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3 millones de defunciones prematuras [1]; esta mortalidad se debe a la exposición a pequeñas partículas de 10 micrones de diámetro (PM10) o menos, que pueden causar cardiopatías, neumopatías y cáncer.

La OMS estima que un 72% de las defunciones prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior en 2012 se debieron a cardiopatía isquémica y accidente cerebro vascular, mientras que un 14% se debieron a neumopatía obstructiva crónica o infección aguda de las vías respiratorias inferiores, y un 14% a cáncer de pulmón [1].

Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la tasa de mortalidad derivada de accidentes cerebro vasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma.

En 2014, el 92% de la población vivía en lugares donde no se respetaban las Directrices de la OMS sobre la calidad del aire, lo cual es un dato importante como para tener en cuenta este problema e intentar buscar soluciones al respecto.

La mayoría de las fuentes de contaminación del aire exterior están más allá del control de las personas, y requieren medidas por parte de las ciudades, así como de las instancias normativas nacionales e internacionales en sectores tales como transporte, gestión de residuos energéticos, construcción y agricultura.

Sin embargo siempre se puede hacer algo por evitar estar expuesto lo más posible a esta situación intentando evitarla. Lo más importante es centrarse en métodos para minimizar los riesgos de la contaminación. Como pueden ser, según los expertos [2]:

- Controlar los niveles de contaminación del aire: a través de los sistemas de alerta de contaminación de las comunidades, contactando con las oficinas de control de contaminación locales, instalaciones hospitalarias. O bien a través de aplicaciones que existen para el móvil y páginas web oficiales donde se publican los datos sobre contaminación a nivel local y nacional.
- Evitar también la actividad en exteriores cuando los niveles de contaminación tiendan a estar más altos, que suele ser a mitad del día o en la tarde.
- Evitar las áreas de contaminación elevada: los niveles de contaminación suelen ser más altos dentro de los 15 metros cercanos a una carretera. Los ambientes urbanos y las áreas para fumar en el exterior también tienen mayores niveles de contaminación. Si es posible, se debe evitar esta clase de áreas.

Es en esta dirección, la de ayudar a evitar la exposición al aire contaminado en la que va encaminada la idea de proyecto que se formula a continuación.

1.2 Estado del arte

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se han utilizado de manera intensiva y creciente en numerosas soluciones innovadoras, se han puesto en marcha varias iniciativas para apoyar aplicaciones innovadoras a través de un uso generalizado de las TIC.

De esta forma, las TIC han permitido desarrollar aplicaciones web oficiales y aplicaciones móviles donde se publican los datos sobre contaminación a nivel local y nacional.

Así, el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) ofrece servicios de visualización, consulta y análisis de información geográfica para particulares y profesionales del sector publicando cartografía relacionada entre las que se encuentra la calidad y evaluación medioambiental, donde se ubica la evaluación de la calidad del aire. En estos mapas se pueden

visualizar los puntos de medición de la calidad del aire y se puede interactuar con el mapa para ver en qué puntos existe qué tipo de contaminación, en que hora alcanzan sus máximos, obtener información diaria sobre el plano, históricos, etc [3].

En la Figura 1 se muestra el visualizador con las opciones que puede mostrar respecto a la calidad del aire y los puntos ubicados en el mapa.

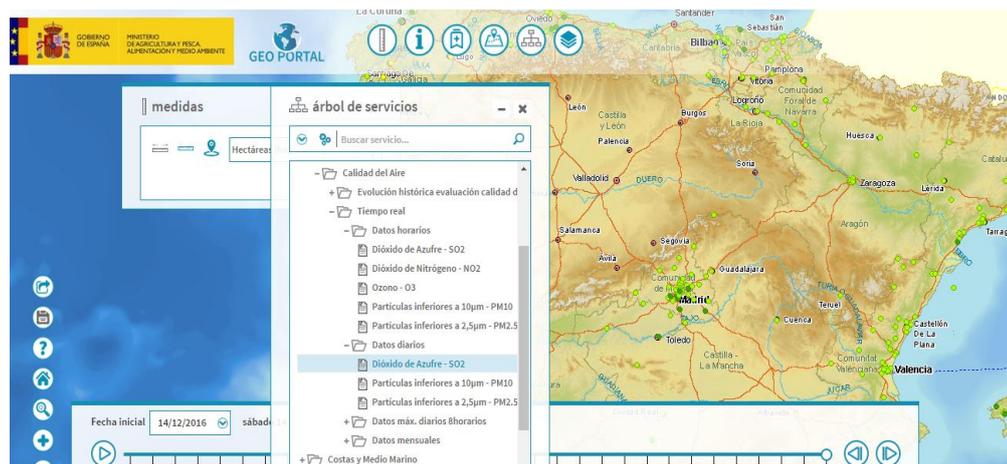


Figura 1. Mapa SIG de la calidad de aire en España del MAPAMA.

Sin embargo estas aplicaciones sólo permiten ver la calidad del aire en los puntos donde existen estaciones de medición, lo que impide saber cuál será la calidad del aire en un determinado punto de un área urbana, puesto que las condiciones no van a ser las mismas que en la estación, pueden estar influidas por fenómenos atmosféricos como el viento, o puntos contaminantes como fábricas, tráfico, paradas de autobuses, zonas de fumadores, etc.

En esta dirección AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) implementó el modelo de transporte químico MOCAGE (MOdelización de la Composición de la atmósfera de la Agencia General del Estado) [4] para suministrar predicciones de la calidad del aire y transporte y dispersión de contaminantes, así un servicio de apoyo en situaciones de emergencias medioambientales. MOCAGE es un modelo de transporte químico tridimensional multi-escala que proporciona simulaciones numéricas de las interacciones entre los procesos dinámicos, físicos y químicos en la atmósfera (troposfera y baja estratosfera). Simula la evolución de las especies químicas debido a los fenómenos de transporte (advección, difusión turbulenta y convección), a las transformaciones químicas que puedan sufrir y a su eliminación por mecanismos de deposición

seca y húmeda o por decaimiento radiactivo. MOCAGE también funciona como un modelo de dispersión capaz de simular la evolución de un contaminante pasivo o radiactivo emitido accidentalmente a la atmósfera [4], [5]. Así por ejemplo MOCAGE puede realizar una estimación de las emisiones contaminantes de NOx procedentes del tráfico por carretera, tal y como se muestra en la Figura 2.

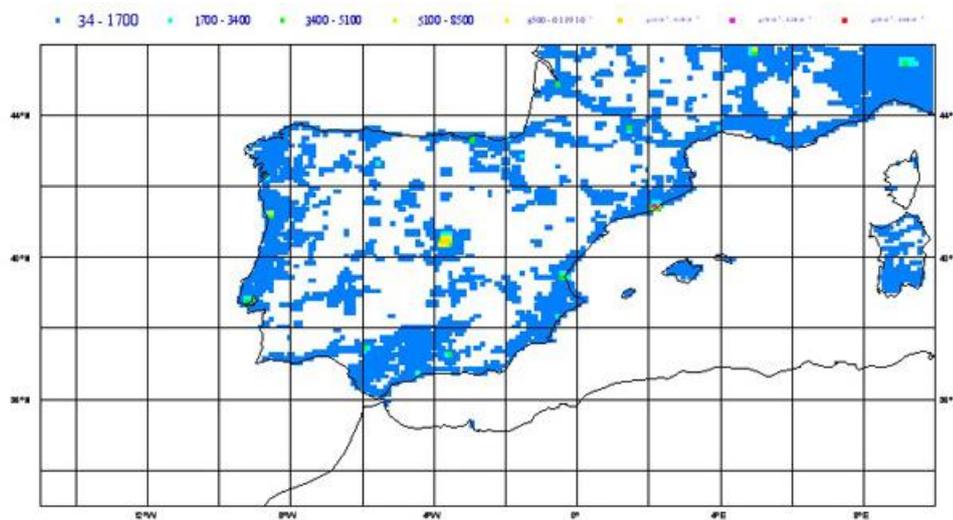


Figura 2. Emisiones contaminantes de NOx procedentes del tráfico por carretera

La monitorización ambiental en tiempo real es un paso adelante en el seguimiento de los parámetros de contaminación, así como los riesgos ambientales. Los sensores de IoT (Internet Of Things) o Internet de las Cosas, desempeñan un papel cada vez más importante en la adquisición de conjuntos de datos de manera más rentable. Los conjuntos de datos recolectados de los sistemas ambientales se están analizando en soluciones de gestión de la sostenibilidad que no solo monitorizan y reportan sino que también proporcionan un banco de trabajo para manejar las causas de los problemas.

La huella medioambiental de las ciudades se beneficiará de los sensores de aprendizaje y toma de decisiones, y el impacto podría ser muy grande. Los sensores pueden detectar altos niveles de contaminación del aire en ciertas áreas debido a la congestión de vehículos, validados a través de sensores de tráfico, detectores de movimiento y sensores de estacionamiento y, por lo tanto, cambiar las políticas de gestión ambiental, ofreciendo nuevos servicios o bien modificando los existentes para mejorar los niveles de contaminación. Además, para la planificación participativa y abierta del medio ambiente, la planificación de espacios verdes y los sensores que recolectan datos de contaminación de

paseos en bicicleta, los ciudadanos están capacitados para ser el propio sensor, cargando los datos a Air Quality Egg [12], dispositivo electrónico abierto para la medición de la calidad del aire para ser utilizado por personas. Esto también significa que los ciudadanos sin los grados ambientales pero la pasión ambiental, pueden comenzar a seguir y divulgar los acontecimientos que afectan el comportamiento sostenible del ecosistema. Los sensores instalados por los ciudadanos en los hogares, las aplicaciones para teléfonos inteligentes y las aplicaciones web están iniciando un proceso de decisión auto determinante sobre cómo los usuarios recogerán y administrarán su propia huella ambiental. Además, los servicios basados en la filosofía de sostenibilidad del usuario administrarán dispositivos en los hogares, como el monitoreo de la energía doméstica, el reciclaje de residuos o la gestión de viajes. Los teléfonos inteligentes, los paneles de usuario, los quioscos digitales y la gamificación a través de las redes sociales desempeñarán un papel fundamental en la conexión de la sostenibilidad y el sentimiento del ciudadano verde con la capacidad de los ciudadanos para comprender su propio impacto [6], [7].

Como muchas ciudades -especialmente en Europa con los objetivos Horizonte 2020 dentro del reto Acción por el clima, medio ambiente, eficiencia de los recursos y materias primas [34] (lucha contra el cambio climático y adaptación al mismo, desarrollo de sistemas completos y duraderos de observación e información sobre el medio ambiente mundial) - como Madrid, París, Berlín, Milán, Dublín, Viena, Malmo [35] y en Estados Unidos, como Montreal, han puesto en marcha la sostenibilidad energética, la gestión de los recursos, la inclusión social y la prosperidad comunitaria como iniciativas, el cambio climático ha tenido una dimensión política más estratégica e intangible. Por lo tanto, los ciudadanos y las ciudades deben ser capaces de traducir los objetivos del cambio climático en recomendaciones directas ecológicas o ambientales, así como medidas de sostenibilidad con sus indicadores de desempeño que demuestran la contribución a la reducción de emisiones. La información en tiempo real a través de los sensores de IoT se convierte en un elemento crítico en la ejecución de esas metas de cambio climático, ya que la supervisión ambiental puede ofrecer información valiosa sobre la calidad del aire, la contaminación y las emisiones.

La mayoría de estas aplicaciones no están integradas para ofrecer servicios de mayor valor. En este sentido, los datos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), junto con las mediciones de contaminación oficiales ofrecidas a través de aplicaciones web, y con la información en tiempo real de IoT, pueden ofrecer una evaluación del impacto de la estructura urbana y las actividades de los ciudadanos en relación con cuestiones inmediatas como niveles de contaminación o calidad. En esta dirección de integración para ofrecer servicios de más valor es en la que se conduce el proyecto Smart Green Tracks.

Existen aplicaciones más avanzadas como ejemplo de ello se podrían mencionar estos dos proyectos Air Quality Montreal o AirQuality [1] o Interactive Map Quality Motinor [30]. En la primera se ofrecen sólo dos gases contaminantes en un muestreo grande, sin embargo la segunda ofrece más mediciones de gases pero en menos puntos por lo que es bastante imprecisa. SmartGreenTracks pretende medir más gases y aumentar la precisión para saber el valor de cada gas en cada punto concreto. La diferencia del proyecto Smart Green Tracks con otras iniciativas puestas en marcha hasta el momento es que va a permitir medir en cada punto de la ciudad un espectro variado de contaminantes, es decir aumenta la diversidad de contaminantes y la precisión geográfica.

1.3 Objetivos del proyecto

Existen dos objetivos generales dentro de este proyecto:

- Diseñar un sistema SIG accesible a través del móvil para contribuir a mejorar la elección de rutas verdes, donde el aire esté lo menos contaminado posible, dentro de una ciudad, para contribuir a la sostenibilidad ambiental de la ciudad, ayudando a crear una ciudad más sostenible tanto ambientalmente como en cuestiones de salud.
- Implementar el diseño en el área centro de la ciudad de Valladolid, como un proyecto piloto de toma de datos mediante sensores en dicha área y la visualización de las zonas contaminadas y no contaminadas en dichas área.

Para conseguir estos objetivos generales se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Establecer las características funcionales del sistema, describiendo los distintos bloques funcionales que formarían el sistema SIG Smart Green Tracks.
- Analizar las distintas plataformas de medición de datos y otras tecnologías de soporte que se podrían integrar para optimizar datos y a su vez rutas.
- Análisis de las tecnologías más apropiadas para el desarrollo del sistema e integración.
- Selección de las distintas plataformas de datos que van a integrar el sistema y las tecnologías más apropiadas para el desarrollo del sistema e integración.
- Plantear una arquitectura del sistema SIG Smart Green Tracks.
- Implementar el sistema SIG Smart Green Tracks en una zona reducida como proyecto piloto.

1.4 Planificación del proyecto

A continuación se muestra cada uno de los hitos principales del proyecto.

Hito 1. PEC 1. Entrega del Plan de Proyecto.

Hito 2. PEC 2. Entrega de la primera fase de la ejecución del plan de proyecto.

Hito 3. PEC 3. Entrega de la segunda fase de la ejecución del plan de proyecto.

Hito 4. Entrega final del proyecto, memoria, presentación y resto de documentación.

Hito 5. Defensa virtual.

Cada uno de los hitos está formado por determinadas tareas que se desglosan como sigue:

HITO 1. PEC 1. Plan de trabajo

T1.1. Justificación y formulación del proyecto

T1.2. Objetivos del proyecto

T1.3. Planificación del trabajo: hitos, tareas, temporización, diagrama de Gantt

T1.4. Breve sumario de productos obtenidos

T1.5. Entrega de documentación PEC 1: Plan de proyecto

HITO 2. PEC 2. Entrega de la primera fase de la ejecución del plan de trabajo

T2.1. Análisis funcional del sistema SIG Smart Green Tracks

T2.2. Análisis de las distintas plataformas de medición de datos

T2.3. Análisis de las tecnologías más apropiadas para el desarrollo del sistema

T2.4. Selección de las plataformas de datos y las tecnologías para el desarrollo del sistema

T2.5. Entrega de documentación PEC 2: Documento de análisis funcional + Documento análisis plataforma de datos + Documento de tecnologías

HITO 3. PEC 3. Entrega de la segunda fase de la ejecución del plan de trabajo

T3.1. Arquitectura del sistema SIG Smart Green Tracks

T3.2. Recogida de datos de contaminación en una malla de puntos del área centro de Valladolid

T3.3. Tratamiento de los datos recogidos

T3.4. Desarrollo del mapa con capa de contaminantes del área seleccionada

T3.5. Entrega de documentación PEC 3: Documento de arquitectura del sistema + diseño del sistema+ implementación (fichero datos + piloto aplicación)

HITO 4. Entrega final del Trabajo, memoria, presentación y resto de documentación

T4.1. Revisión y mejora del piloto del sistema SIG Smart Green Tracks

T4.2. Revisión de la Memoria final del TFG

T4.3. Entrega de la Memoria Final TFG

T4.4. Preparación video de la Defensa

T4.5. Entrega video de la Defensa

En la siguiente Tabla 1 se asigna a cada tarea una duración, así como una fecha de inicio y de fin y las dependencias de tareas entre sí.

Como detalle a destacar en este apartado es que la duración de día hace referencia a una jornada de 4 horas.

NºTarea	Nombre de la Tarea	Duración	Inicio	Fin	Predecesor
1	HITO 1. PEC 1. Plan de trabajo	4 days	16/03/2017 8:00	21/03/2017 17:00	
2	T1.1. Definición del proyecto (TFG)	1 day	16/03/2017 8:00	16/03/2017 17:00	
3	T1.2. Objetivos del proyecto	1 day	17/03/2017 8:00	17/03/2017 17:00	2
4	T1.3. Planificación del trabajo: hitos, tareas, temporización, diagrama de Gantt	1 day	20/03/2017 8:00	20/03/2017 17:00	3
5	T1.4. Breve resumen de productos obtenidos	1 day	21/03/2017 8:00	21/03/2017 17:00	4
6	T1.5. Entrega de documentación PEC 1: Plan de proyecto	0 days	21/03/2017 17:00	21/03/2017 17:00	5
7	HITO 2. PEC 2. Entrega de la primera fase de la ejecución del plan de trabajo	10 days	22/03/2017 8:00	04/04/2017 17:00	
8	T2.1. Análisis funcional del sistema SIG Smart Green Tracks	3 days	22/03/2017 8:00	24/03/2017 17:00	6
9	T2.2. Análisis de las distintas plataformas de medición de datos	3 days	27/03/2017 8:00	29/03/2017 17:00	8
10	T2.3. Análisis de las tecnologías más apropiadas para el desarrollo del sistema	3 days	30/03/2017 8:00	03/04/2017 17:00	9
11	T2.4. Selección de las plataformas de datos y las tecnologías para el desarrollo del sistema	1 day	04/04/2017 8:00	04/04/2017 17:00	10
12	T2.5. Entrega de documentación PEC 2: Documento de análisis funcional + Documento análisis plataforma de datos + Documento de tecnologías	0 days	04/04/2017 17:00	04/04/2017 17:00	11
13	HITO 3. PEC 3. Entrega de la segunda fase de la ejecución del plan de trabajo	25 days	05/04/2017 8:00	09/05/2017 17:00	
14	T3.1. Arquitectura del sistema SIG Smart Green Tracks	4 days	05/04/2017 8:00	10/04/2017 17:00	12
15	T3.2. Recogida de datos de contaminación en una malla de puntos del área centro de Valladolid	10 days	11/04/2017 8:00	24/04/2017 17:00	14
16	T3.3. Tratamiento de los datos recogidos	4 days	25/04/2017 8:00	28/04/2017 17:00	15
17	T3.4. Desarrollo del mapa con capa de contaminantes del área seleccionada	7 days	01/05/2017 8:00	09/05/2017 17:00	16
18	T3.5. Entrega de documentación PEC 3: Documento de arquitectura del sistema + fichero datos + piloto aplicación	0 days	09/05/2017 17:00	09/05/2017 17:00	17
19	HITO 4. Entrega final del Trabajo, memoria, presentación y resto de documentación	30 days	10/05/2017 8:00	20/06/2017 17:00	
20	T4.1. Revisión y mejora del piloto del sistema SIG Smart Green Tracks	14 days	10/05/2017 8:00	29/05/2017 17:00	18
21	T4.2. Revisión de la Memoria final del TFG	6 days	30/05/2017 8:00	06/06/2017 17:00	20
22	T4.3. Entrega de la Memoria Final TFG	0 days	06/06/2017 17:00	06/06/2017 17:00	21
23	T4.4. Preparación video de la Defensa	10 days	07/06/2017 8:00	20/06/2017 17:00	22
34	T4.5. Entrega video de la Defensa	0 days	20/06/2017 17:00	20/06/2017 17:00	23

Tabla 1. Asignación temporal de tareas

En el siguiente diagrama de Gantt (Figura 1) puede apreciarse mejor la relación entre tareas y la temporización de estas.

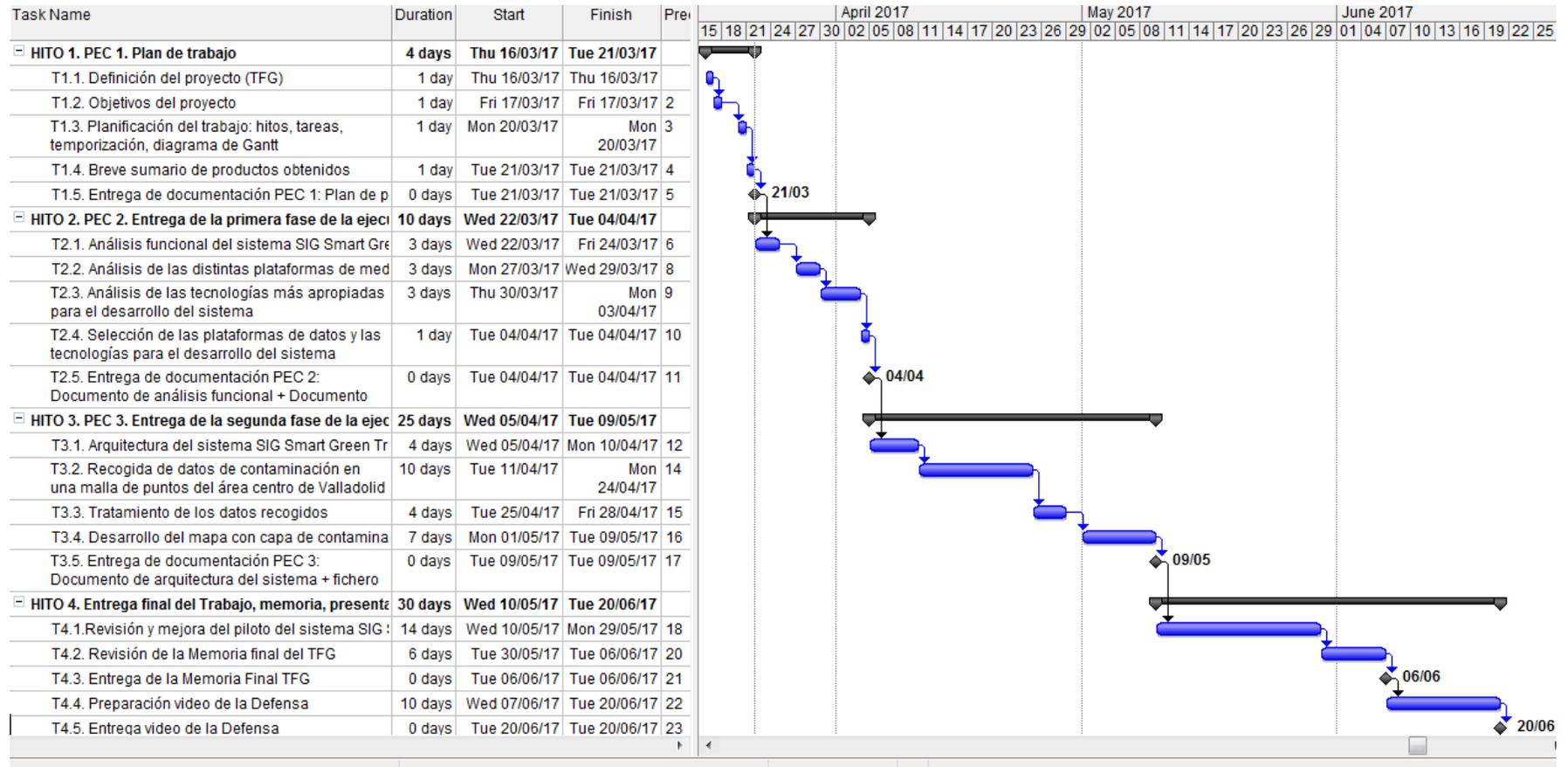


Figura 3. Diagrama Gantt inicial de planificación de proyecto

1.5 Productos de salida

El producto de salida será el diseño e implementación de un piloto en un área reducida del centro de la ciudad de Valladolid del sistema SIGSmart Green Tracks que realiza la optimización de rutas verdes o con poca contaminación dentro de una ciudad, con el objetivo de extenderla en un futuro a toda la ciudad y otras ciudades. Los productos obtenidos al finalizar el proyecto serán los siguientes:

Productos de salida

Documento PEC 1. Plan de proyecto

Documento PEC 2 –Documento de análisis funcional del sistema

Documento PEC 2 –Documento de análisis sobre plataformas de datos de contaminación y sensores

Documento PEC 2 – Documento de análisis sobre las tecnologías a utilizar en el desarrollo del proyecto

Documento PEC 3 –Documento de arquitectura del sistema y diseño del sistema

Documento PEC 3 – Fichero de datos de contaminación del área centro de Valladolid

Documento PEC 3 – Desarrollo piloto del mapa visualizador de la capa de datos contaminantes sobre el área centro de Valladolid

Documento PEC 4 – Implementación del sistema

Documento PEC 4 -Memoria Final TFG

Documento PEC 4 - Video de defensa

2. Capítulo 2. Análisis del sistema

El objetivo de este capítulo es realizar un análisis detallado del sistema SIG Smart Green Tracks con el objetivo de establecer las funcionalidades del sistema y las tecnologías necesarias para su desarrollo. Para ello se establecerá una metodología de investigación para llegar de la idea y objetivos de proyecto a una descripción más detallada del proyecto. Se seguirá esta metodología para llegar a plantear una definición detallada del sistema, con los bloques funcionales que lo integran, las plataformas de datos y las tecnologías a utilizar en su desarrollo.

2.1. Metodología de análisis

Para llegar a conseguir el objetivo principal del proyecto, que es el desarrollo del sistema SIG Smart Green Tracks con aplicación móvil para la optimización de las rutas verdes o menos contaminantes en un área urbana, la metodología a seguir será:

- Establecer un análisis detallado del sistema, iniciado por la definición de los requisitos técnicos y describiendo los distintos bloques funcionales que forman el sistema.
- Analizar las distintas plataformas de medición de datos y otras tecnologías de soporte que se podrían integrar para optimizar datos y a su vez rutas (en este caso se tomará como base el estudio de estado del arte realizado previamente, donde está esta información)
- Seleccionar las distintas plataformas de datos que van a integrar el sistema
- Seleccionar las tecnologías más apropiadas para el desarrollo del sistema.

2.2. Requisitos funcionales del sistema

El objetivo del proyecto es contribuir a mejorar la elección de rutas verdes, donde el aire esté lo menos contaminado posible, dentro de una ciudad, ayudando a crear una ciudad más sostenible tanto ambientalmente como en cuestiones de salud. Para ello se va a definir y desarrollar el sistema SIG Smart Green Tracks que va a permitir conocer al usuario cual es el nivel de contaminación en un determinado punto, en un área de tamaño pequeño, como

puede ser un barrio de una ciudad, o en un área más grande, como puede ser una ciudad, pudiendo ser extensible globalmente. A continuación se muestran más en detalle las funcionalidades del sistema. En nuestro caso se implementará un prototipo para cubrir el área centro de la ciudad de Valladolid, teniendo como objetivo hacerlo extensible en un futuro a toda la ciudad y a más ciudades.

A continuación se exponen los requisitos funcionales que ha de cumplir el sistema:

- El sistema permitirá al usuario que pueda conocer en cada punto de la ciudad el nivel de contaminación basándose en la medición de diferentes tipos de contaminantes que se consideran más dañinos para la salud:
 - Partículas PM_{10} —se trata de partículas de 10 micrones de diámetro, o menos ($\leq PM_{10}$), son las partículas más perjudiciales para la salud porque pueden penetrar y alojarse en el interior profundo de los pulmones. La exposición crónica a las partículas agrava el riesgo de desarrollar cardiopatías y neumopatías, así como cáncer de pulmón. Las Directrices señalan que mediante la reducción de la contaminación con partículas (PM_{10}) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$) es posible reducir en un 15% el número de defunciones relacionadas con la contaminación del aire [1].
 - Dióxido de Nitrógeno (NO_2): es la fuente principal de los aerosoles de nitrato, que constituyen una parte importante de las $PM_{2.5}$ y, en presencia de luz ultravioleta, del ozono. Las principales fuentes de emisiones antropogénicas de NO_2 son los procesos de combustión (calefacción, generación de electricidad y motores de vehículos y barcos). Estudios epidemiológicos han revelado que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan en relación con la exposición prolongada al NO_2 . La disminución del desarrollo de la función pulmonar también se asocia con las concentraciones de NO_2 registradas actualmente en ciudades europeas y norteamericanas [1].
 - Monóxido de carbono (CO): Es uno de los productos de la combustión incompleta. Es peligroso para las personas y los animales, puesto que se fija en la hemoglobina de la sangre, impidiendo el transporte de oxígeno en el organismo. Además, es

inoloro, y a la hora de sentir un ligero dolor de cabeza ya es demasiado tarde. Se diluye muy fácilmente en el aire ambiental, pero en un medio cerrado, su concentración lo hace muy tóxico, incluso mortal. Cada año, aparecen varios casos de intoxicación mortal, a causa de aparatos de combustión puestos en funcionamiento en una habitación mal ventilada. Los motores de combustión interna de los automóviles emiten monóxido de carbono a la atmósfera por lo que en las áreas muy urbanizadas tiende a haber una concentración excesiva de este gas [8].

En un futuro también se podrá realizar la medición de los siguientes gases:

- Ozono (O_3): El ozono a nivel del suelo, que no debe confundirse con la capa de ozono en la atmósfera superior, es uno de los principales componentes de la niebla tóxica. Éste se forma por la reacción con la luz solar (fotoquímica) de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x) procedentes de las emisiones de vehículos o la industria y los compuestos orgánicos volátiles (COV) emitidos por los vehículos, los disolventes y la industria. Los niveles de ozono más elevados se registran durante los períodos de tiempo soleado. El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares. Diversos estudios europeos han revelado que la mortalidad diaria y mortalidad por cardiopatías aumentan un 0,3% y un 0,4% respectivamente con un aumento de $10 \mu g/m^3$ en la concentración de ozono [1].
- Dióxido de Azufre (SO_2): El SO_2 es un gas incoloro con un olor penetrante que se genera con la combustión de fósiles (carbón y petróleo) y la fundición de menas que contienen azufre (Una mena de un elemento químico, generalmente un metal, es un mineral del que se puede extraer dicho elemento químico porque lo contiene en cantidad suficiente para poderlo aprovechar. El proceso de fundición implica calentar y reducir la mena mineral para obtener un metal puro como el oro, plata, cobre, estaño, plomo, mercurio y hierro. La principal fuente antropogénica del SO_2 es la combustión de fósiles que contienen azufre usados para la calefacción doméstica, la generación de electricidad y los vehículos

a motor. El SO₂ puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y la bronquitis crónica; asimismo, aumenta la propensión de las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio. Los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumentan en los días en que los niveles de SO₂ son más elevados. En combinación con el agua, el SO₂ se convierte en ácido sulfúrico, que es el principal componente de la lluvia ácida que causa la deforestación [1].

- El sistema permitirá una visualización global del plano de la ciudad pudiendo superponer las capas de contaminantes que se seleccionen indicando por colores las zonas más y menos contaminadas, tanto en forma de puntos, como en mapas de calor.

En la Tabla 2 se muestran los gases que se van a medir asociados a un rango de valores, medido en microgramos por metro cúbico, y un color, que indica cómo es la calidad del aire (buena, moderada, deficiente, mala, muy mala) atendiendo a la concentración de estos gases.

Calidad del aire	PM ₁₀	NO ₂	CO
Buena	0-14	0-79	0-2999
Moderada	15-29	80-149	3000-5999
Deficiente	30-49	150-209	6000-9999
Mala	50-74	210-324	10000-14999
Muy mala	>74	>324	>14999

Tabla 2. Clasificación en rangos de gases contaminantes

Como se puede desprender de estas funcionalidades se trata de un sistema que va a manejar información georreferenciada (información a la cual puede asignarse una posición geográfica) y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar y representar información georreferenciada, es decir lo que se va a construir es un sistema SIG (Sistema de Información Geográfica) que muestre en cada punto geográfico del área centro de la ciudad de Valladolid información referenciada al valor de los gases contaminantes. A continuación se detalla el análisis funcional del sistema SIG que se quiere desarrollar, teniendo en cuenta los requisitos funcionales definidos en este apartado.

2.3. Análisis funcional del sistema SIG Smart Green Tracks

En este apartado en primer lugar se va a realizar una breve descripción de lo que es un sistema SIG y qué componentes asociados a una determinada funcionalidad lo integran, para a posteriori seleccionar los componentes funcionales necesarios para crear el SIG Smart Green Tracks.

Un SIG es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones. Un SIG es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz [9].

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de los mapas digitales. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía. La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología geoespacial de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma. Las principales cuestiones que puede resolver un sistema de información geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

- Localización: preguntar por las características de un lugar concreto.
- Condición: el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- Tendencia: comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- Pautas: detección de pautas espaciales.
- Modelos: generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

En nuestro caso se van a usar la localización, condición, pautas en el primer piloto pudiéndose en un futuro extender a más.

Un SIG está compuesto de distintos bloques, que se describen a continuación:

- **Datos geográficos**: son la materia básica de los SIG. Los datos geográficos se caracterizan porque tienen 3 dimensiones: la espacial, la temporal y la temática.
 - La **componente temática** refiere a las características de estos datos que sirven para modelar el mundo real. De una manera sencilla podríamos decir que es la información específica con la que vamos a trabajar en nuestra aplicación SIG; por ejemplo, la población de una ciudad, el tipo de suelo, el nombre de un lugar de interés, etc.
 - La **componente temporal** hace referencia a los valores dinámicos presentados a lo largo del tiempo, que pueden ser espaciales (por ejemplo, la variación del tamaño de una ciudad) o temáticos (por ejemplo, la variación del uso de un suelo o de las precipitaciones). La presentación de la información temporal suele hacerse mediante mapas animados o secuencias de mapas
 - La **componente geográfica** hace referencia a la localización espacial del objeto. En los SIG hay dos modelos de representación de la información geoespacial.
 - Modelo vectorial: representa la información mediante puntos, líneas y polígonos.
 - Modelo raster: mediante una malla regular de celdas.

A partir de los datos geográficos se pueden definir propiedades espaciales (longitud, área, forma, pendiente, etc.) y relaciones espaciales entre objetos que pueden ser topológicas (de tipo cualitativo, como contigüidad, intersección) o geométricas (de tipo cualitativo, como distancia). La información de los almacenamientos, tanto en formato raster como en formato vectorial, se agrupa en capas, que engloban elementos lógicos del mismo tipo (por ejemplo puntos de interés o rutas).

- **Procedimientos**: son las formulas y métodos a aplicar sobre los datos.
- **Software**: son las aplicaciones informáticas que permiten trabajar sobre los datos. Incluyen sistemas gestores de base de datos para almacenar la información, herramientas para visualizar la información geográfica, etc. No debe pensarse sólo en las aplicaciones SIG propiamente dichas sino en todo el software necesario para realizar el trabajo, como sistemas operativos, software de red, servidores web, etc.
- **Hardware**: es el equipo necesario para ejecutar el software, para capturar la información (escáneres, tabletas digitalizadoras, etc.) y su presentación (impresoras, plotter, etc.) así como todo el hardware necesario para el trabajo en general (redes, etc.).
- **Personas**: son las que diseñan y utilizan el sistema.

Por tanto, teniendo en cuenta los bloques definidos anteriormente, las herramientas software necesarias para desarrollar un sistema SIG son:

- **Base de datos**: responsable de la gestión y almacenamiento permanente de los datos, útil para proporcionar al servidor de aplicaciones los datos alfanuméricos y geográficos que solicite el cliente que se encuentran almacenados en una base de datos. En nuestro caso esta base de datos almacenaría los puntos geográficos y la medida de gases asociada a cada punto del área centro de la ciudad de Valladolid, además de otros datos, que se verán más detalladamente en el capítulo 3 donde se realice el diseño del sistema.
- **Servidor de aplicaciones o en el caso de SIG servidor de mapas**: también denominado software intermedio (Middleware), cuya tarea es proporcionar y gestionar los recursos solicitados y atender las peticiones de los usuarios. Este conjunto de aplicaciones se comunican con la base de datos, aislando de este modo las conexiones directas

con los clientes. Para el caso del SIG, se tiene en esta capa los servidores de mapas, el servidor generador de memoria cache de de teselas y el marco de desarrollo Web.

- **Servidor web**: la aplicación intermedia encargada de comunicar las peticiones del cliente con las respuestas de los servidores de aplicaciones.
- **Visor web**: es el equipo que solicita o demanda los recursos, equipado con las interfaces de usuario para su presentación y asume que con cada petición obtendrá una respuesta. Los clientes del sistema pueden ser de dos tipos: los clientes ligeros que acceden a las interfaces básicas SIG a través de navegadores Web, y los clientes pesados que conectan a los servicios geográficos y puedan recuperar las geometrías o mapas georreferenciados con el objeto de procesarlos o analizarlos, ejemplos de software con estas características son Quantum GIS, ArcGIS, gvSIG, entre otros.

En la Figura 4 se muestran la arquitectura general de un sistema SIG, según los bloques explicados:

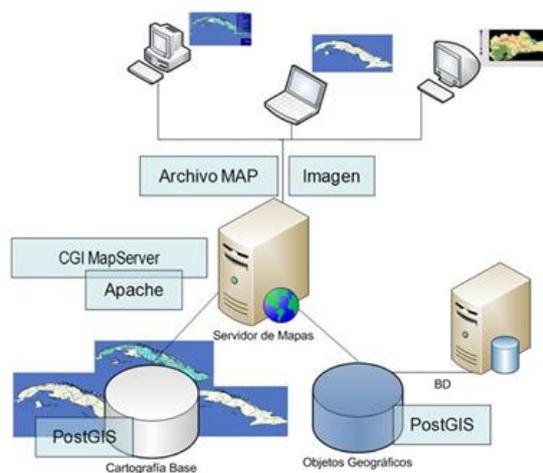


Figura 4. Arquitectura general de un sistema SIG

Se puede ver esta arquitectura como una arquitectura MVC (Modelo Vista Controlador). Esta arquitectura separa los datos y la lógica de negocio de la interfaz de usuario y el módulo encargado de gestionar los eventos y las comunicaciones. Para ello MVC propone la construcción de tres componentes distintos que son el modelo, la vista y el controlador [8].

- **El Modelo:** Es la representación de la información con la cual el sistema opera, por lo tanto gestiona todos los accesos a dicha información, tanto consultas como actualizaciones, implementando también los privilegios de acceso que se hayan descrito en las especificaciones de la aplicación (lógica de negocio). Envía a la 'vista' aquella parte de la información que en cada momento se le solicita para que sea mostrada (típicamente a un usuario). Las peticiones de acceso o manipulación de información llegan al 'modelo' a través del 'controlador'.
- **El Controlador:** Responde a eventos (usualmente acciones del usuario) e invoca peticiones al 'modelo' cuando se hace alguna solicitud sobre la información. También puede enviar comandos a su 'vista' asociada si se solicita un cambio en la forma en que se presenta el 'modelo', por tanto se podría decir que el 'controlador' hace de intermediario entre la 'vista' y el 'modelo', aquí se incluiría el Middleware, o lógica de intercambio de información entre aplicaciones es un software que asiste a una aplicación para interactuar o comunicarse con otras aplicaciones, o paquetes de programas, redes, hardware y/o sistemas operativos. Funciona como una capa de abstracción de software distribuida, que se sitúa entre las capas de aplicaciones y las capas inferiores (sistema operativo y red)
- **La Vista:** Presenta el 'modelo' (información y lógica de negocio) en un formato adecuado para interactuar (usualmente la interfaz de usuario) por tanto requiere de dicho 'modelo' la información que debe representar como salida.

Así, teniendo en cuenta los requisitos funcionales definidos previamente, el sistema SIG Smart Green Tracks tendrá las siguientes unidades funcionales:

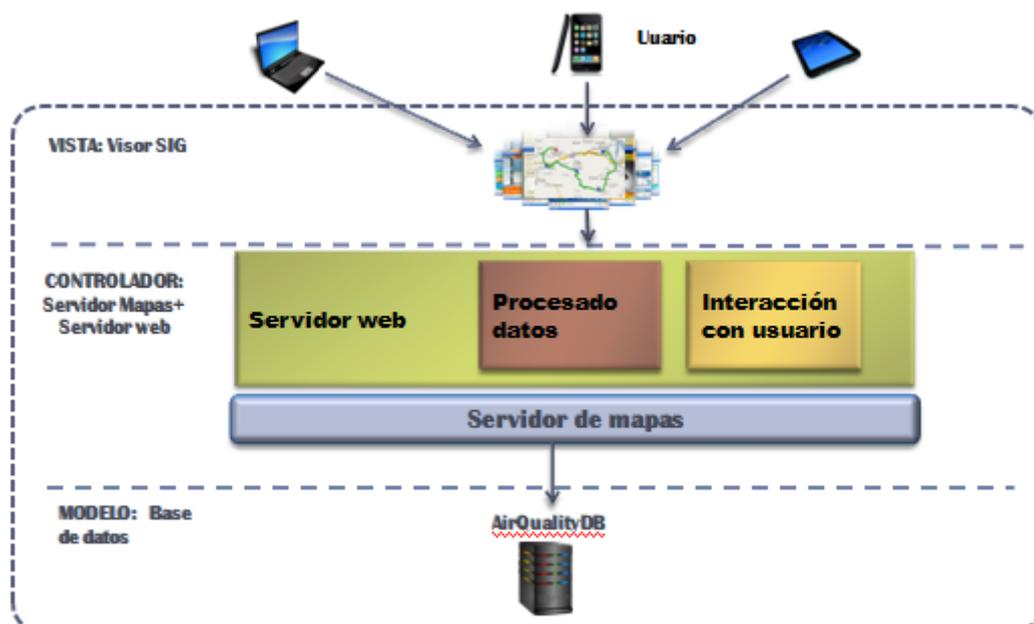
- **Unidad funcional de datos:** donde se recogen los datos de entrada provenientes de la base de datos airqualityDB, una base de datos de medida de la calidad del aire que se va a crear en este proyecto de forma propietaria y que contiene datos geoespaciales y su nivel de contaminación asociado, teniendo en cuenta mediciones de PM10, NO2 y CO a través de sensores.
- **Unidad funcional de procesamiento de datos,** encargada de realizar el cálculo del nivel de contaminación en ese punto, para enviar al usuario la información en función del gas seleccionado por el usuario y la posición.

- **Unidad funcional de interacción con el usuario**, que permite la interacción entre el usuario y el sistema de las siguientes formas:
 - Unidad de entrada: a través de la cual el usuario envía órdenes al sistema, para que seleccione los puntos de un determinado gas con determinada contaminación en el área de la ciudad, seleccione el modo de funcionamiento, calcule la ruta óptima en un futuro, etc.
 - Unidad de salida: que muestra los datos de contaminación de los gases seleccionados en modo vectorial o ráster mediante mapas de calor y en un futuro como rutas óptimas según la posición del usuario y las alertas de contaminación en tiempo real.

Teniendo en cuenta las unidades funcionales definidas y aplicando la arquitectura MVC se tendrían las siguientes correspondencias:

- **El modelo** estaría formado por la **unidad funcional datos, formada por la base de datos del sistema.**
- **El controlador** correspondería a la **unidad funcional de procesamiento de datos, formada por la lógica de procesamiento, el servidor de mapas, el servidor web.**
- **La vista** correspondería a la **unidad funcional de interacción con el usuario o visor SIG.**

A continuación se muestra un esquema de la arquitectura del sistema en la Figura 5.



2.4. Análisis de las plataformas de obtención de datos de calidad de aire

La idea inicial era desarrollar un sistema que pueda procesar datos de diferentes fuentes y mediante un algoritmo calcular la estimación de una red de puntos que permitan saber cuál es la contaminación en cualquier punto de un área urbana. Una vez esté realizado el procesado mostrar los datos al usuario mediante una aplicación móvil. Por ello se analizaron las diferentes plataformas con datos de calidad del aire existentes.

Se utilizarán las siguientes plataformas, sistemas y algoritmos:

- Se utilizará la red de puntos de medición de la contaminación del aire existentes en diferentes puntos de un área urbana proporcionada por el geoportal SIG (Sistema de Información Geográfica) de medida de calidad del aire del MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) [3], que permite obtener diferentes mediciones en tiempo real, como datos horarios, datos máximos diarios, a partir de los cuales se pueden estimar franjas horarias de máxima contaminación.
- Se utilizará un mapa donde estén ubicados todos los puntos que producen mayor contaminación dentro del área urbana, con el nivel de contaminación asociado, proporcionado por sensores como los Air Quality Eggs, como pueden ser fábricas, calles o carreteras con mucho tráfico, paradas de autobuses, zonas de fumadores, etc.
- Se utilizarán los datos de geolocalización provenientes del GPS (Global Positioning System) del usuario.

Sin embargo tras investigar sobre los datos proporcionados por el MAPAMA y la red de Air Quality Eggs se descubrió que el MAPAMA dispone de tres puntos de medida en una ciudad, lo que es insuficiente para realizar el trabajo planteado como objetivo en este proyecto porque no disponen de suficientes puntos como para medir en entornos reducidos cual es la calidad del aire en esos puntos. En las siguientes Figuras 6 y 7 [3] [12] se muestran respectivamente los puntos de medida del aire en las ciudades, en la Figura 6 señalados en verde y en la Figura 7 señalados en blanco.



Figura 6. Mapa de puntos de medida de la calidad del aire del MAPAMA.



Figura 7. Mapa de puntos de medida de la calidad del aire Air Quality Egg.

Por tanto se planteó, mediante medidores de los gases señalados en el apartado previo, realizar un **piloto del área centro de Valladolid, creando nuestra propia base de datos de medida de la calidad del aire, llamada airqualityDB en el área centro de Valladolid**, con el objetivo de extenderla en un futuro a toda la ciudad y otras ciudades.

El sistema tendrá que procesar los datos provenientes de nuestra base de datos airqualityDB, para conseguir su objetivo, permitir al usuario visualizar las zonas altamente contaminantes en un área en la que se encuentra o a la que desea dirigirse y poder así conseguir una optimización de rutas verdes evitando.

2.5. Tecnologías de desarrollo del sistema SIG

Dentro de este apartado se van a recoger aquellas herramientas software que van a dar soporte a la arquitectura del sistema en todos sus niveles. Se describirá el software que se va a utilizar para desarrollar el sistema. Se seleccionaron aquellos que se distribuyen bajo licencia no comercial. En la

siguiente Figura 8 se muestra tanto la arquitectura del sistema SIG como las herramientas de software libre que se pueden utilizar correspondiendo con cada parte de la arquitectura.

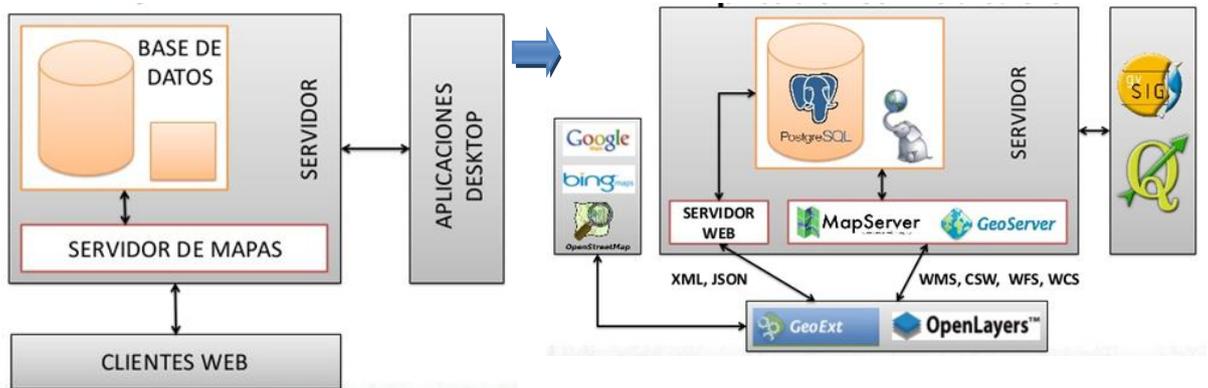


Figura 8. Herramientas de software libre para el desarrollo SIG.

A continuación se enumeran las herramientas que se van a utilizar formando el framework o marco de trabajo para el desarrollo del sistema SIG:

- **Base de datos o servidor de datos:** se va a usar **PostgreSQL** y su extensión para datos georreferenciados, **PostGIS**, debido a que es la que presenta compatibilidad con OGC (Open Geospatial Consortium) cumpliendo el requisito de potencialidad, siendo multiplataforma y la más utilizada en sistemas SIG. En nuestro caso necesitamos una base de datos bastante grande para almacenar todos los datos de un área de la ciudad referentes a la calidad del aire y para que sea escalable a otras áreas de la ciudad. A continuación se muestran las principales características de las otras bases de datos espaciales de software libre [13]:
 - MySQLSpatial: es la base de datos más extendida de la lista, su instalación y manejo es muy sencillo. Se encuentra por defecto en la mayoría de servicios de hosting y por tanto suele ser la puerta de entrada de muchos desarrolladores. Sin embargo, su falta de compatibilidad con los estándares hace que el código no sea fácilmente portable a otras plataformas.
 - Spatialite: al estar basada en SQLite, es una base de datos basada en ficheros, lo que simplifica en gran medida su uso y distribución. Esta extensión es candidata para formar parte

de GeoPackage [36], un nuevo formato abierto de OGC para almacenar y transferir datos geográficos.

- H2GIS:H2 es una base de datos Java ligera, con gran facilidad de instalación y distribución. Basada también en ficheros, se distingue de Spatialite porque contiene un servidor que permite varias conexiones concurrentes a la misma.
- **Alimentador de la Base de datos:** debido a que en este sistema se hace necesario crear la información que se va a introducir en la base de datos y como piloto se va a tomar un área relativamente pequeña, pero el objetivo futuro es expandir al resto de ciudad y otras ciudades, se hace necesario el buscar una aplicación que permita crear de forma sencilla las capas de puntos vectoriales, así como las capas raster. El objetivo es crear archivos shapeFile que sean se puedan exportar fácilmente a la base de datos. Para ello se va a utilizar el cliente de escritorio SIG QGis, debido a que tiene alta compatibilidad con estándares OGC [28].
- **Servidor de mapas:** se va a utilizar **GeoServer** para servir los datos y los mapas creados en base a la información existente en PostGIS por su alta compatibilidad con los estándares de OGC, como puede visualizarse en las Tabla 3 [14], su interfaz amigable y una comunidad de desarrolladores muy activa e innovadora y además está basado en J2EE (Java platform 2 Enterprise Edition), plataforma muy versátil y potente.

Nombre	WMS	WFS	WFS-T	WCS	WMTS	TMS	WPS	SOS	CSW
MapServer	✓	✓	✓[3]	✓	✓[4]	✓[4]	⊗	✓	⊗
deegree	✓	✓	✓	✓	✓	⊗	✓	⊗	✓
GeoServer	✓	✓	✓	✓	✓[5]	✓[5]	✓	⊗	✓
GeoNetwork	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	✓
52north SOS	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	✓	⊗
MapGuide OpenSource	✓	✓	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
PyWPS	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	✓	⊗	⊗
GeoWebCache	✓	⊗	⊗	⊗	✓	✓	⊗	⊗	⊗
TileCache	⊗	⊗	⊗	⊗	✓	✓	⊗	⊗	⊗
52north WPS	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	✓	⊗	⊗
MapProxy	✓	⊗	⊗	⊗	✓	✓	⊗	⊗	⊗
PyCSW	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	✓
QGIS Server	✓	✓	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
TileStache	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	✓	⊗	⊗	⊗
Zoo Project	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	✓	⊗	⊗
EOxServer	✓[6]	⊗	⊗	✓[6]	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
TileStream	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	✓	⊗	⊗	⊗

Tabla 3. Servidores de mapas libres

A continuación se muestran las principales diferencias entre los servidores que tienen mayor compatibilidad con OGC:

- **MapServer:** es el servidor de mapas más usado en el mundo sigue desarrollándose sin pausa, incorporando en los últimos años nuevos subproyectos como MapCache y TinyOWS. Su configuración sigue siendo mediante ficheros de texto aunque aparecen nuevas interfaces para facilitar su edición como MapManager. Sigue destacando de este servidor su ligereza y facilidad de despliegue (si no se necesita soporte para formatos propietarios). Necesita CGI (Common Gateway Interface) para trabajar.
- **Deegree:** Este servidor de mapas con una comunidad principalmente alemana soporta una gran cantidad de estándares. Este servidor se caracterizó durante mucho tiempo por su ardua configuración, cosa que está cambiando gracias al esfuerzo puesto en desarrollar una consola *web* para los servicios y una documentación mucho más detallada.
- **GeoServer:** tiene una activa comunidad, frecuentes actualizaciones e innovaciones más allá de la implementación de gran parte de los estándares OGC existentes. Sus extensiones al estándar SLD, el soporte de estilos CSS, el buen soporte para multitud de orígenes de datos y su amigable interfaz lo convierten en un servidor de mapas ampliamente utilizado en todo tipo de contextos, especialmente en grandes instalaciones. Basado en J2EE.
- **Servidor web:** se utilizará **Tomcat** en lugar de JBoss por ser más sencillo de instalar y compatible. Tanto JBoss como Tomcat son servidores de aplicaciones de servlets Java. La diferencia sustancial entre los dos es que JBoss proporciona una pila completa de Java Enterprise Edition (JEE), incluyendo Enterprise JavaBeans y muchas otras tecnologías que son útiles para desarrolladores que trabajan en aplicaciones Java empresariales. Tomcat es mucho más limitado aunque más sencillo de instalar. Una forma de pensar es que JBoss es una pila JEE que incluye un contenedor de servlets y un servidor web, mientras que Tomcat, en su mayor parte, es un contenedor de servlets y un servidor web [16] [17].

- **Visor o Cliente web:** el visor web es una aplicación cliente que realiza peticiones de geoinformación y de datos para combinarlas en un mapa. Se utilizará HTML5 y CSS para mostrar al usuario una interfaz sencilla y usable, además de las librerías javascript de **OpenLayers** como cliente capaz de acceder a GeoServer para obtener información y representarla en forma de mapas, además de permitir acceder a Google Maps para obtener los mapas básicos sobre los que se representa la información propia y tener una comunidad muy desarrollada y activa y cumplir con todos los estándares del OGC según se muestra en la Tabla 4, a diferencia del resto de librerías [18].

Name	Year	OSGeo	Live	License	Ohloh	Tech
OpenLayers	2006	G	✓	BSD	ohloh	Javascript
Leaflet	2010	☹	✓	BSD	ohloh	Javascript
GeoExt/GXP	2009	☹	☹	BSD	ohloh	Javascript
MapStore	2012	☹	☹	GPL	ohloh	Javascript
Mapbender	2003	G	✓	GPL and BSD	ohloh	PHP, JavaScript and XML
Cartaro	2012	☹	☹	[GPL versión 2]	-	PHP and Javascript
GeoMoose	2009	G	✓	MIT	ohloh	PHP and Javascript

Información general sobre tecnologías

Nombre	WMS	WFS	WFS-T	WCS	WMTS	TMS	WPS	SOS	CSW
OpenLayers	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Leaflet	✓	✓	✓[1]	☹	✓[2]	✓	☹	☹	☹
GeoExt/GXP	✓	✓	✓	✓[3]	✓[3]	✓[3]	✓[3]	✓[3]	✓[3]
MapStore	✓	✓	✓	✓[3]	✓[3]	✓	✓	✓[3]	✓
Mapbender	✓	✓	✓	☹	✓[3]	✓[3]	✓[3]	✓[3]	✓[3]
Cartaro	✓	✓	✓[4]	✓	✓[3]	✓[3]	✓[3]	✓[3]	✓[3]
GeoMoose	✓	✓	✓	✓[3]	✓[3]	✓[3]	✓[3]	✓[3]	✓[3]

Implementación de estándares OGC

Tabla 4. Librerías javascript de web mapping

A continuación, se muestran las principales características de estas librerías según [18]:

- **Mapbender:** Cliente Web-GIS construido con Javascript, que ofrece un interfaz de usuario configurable no dependiente de ningún servidor de mapas concreto. Su orientación es la de un geoportal cliente de servicios OGC. Incluye un soporte bastante completo de usuarios, grupos y servicios OGC (OWS). Una característica diferenciadora de Mapbender es la capacidad de edición en cliente sobre navegador, utilizando WFS-T. MapBender es un proyecto graduado de OSGeo.

- **OpenLayers:** OpenLayers es un cliente Web-GIS ligero construido con clases Javascript, sin dependencia de servidores de mapas concretos. Ofrece una interfaz de usuario simplificada que ataca a servicios WMS y WFS de forma transparente para el usuario y desarrollador. Las características a destacar de este producto son la cantidad de herramientas ya implementadas, que hacen que el desarrollar con esta librería sea mucho más fácil para funcionalidades más complejas. Actualmente es uno de los proyectos de SIG libre cuya comunidad es de las más activas que existen, a pesar de contar con un grupo de desarrolladores no muy numeroso. OpenLayers es un proyecto graduado de OSGeo. Destaca la integración de OpenLayers con otros proyectos como GeoExt o Mapstore.
- **GeoExt GXP:** Es una biblioteca basada en Javascript para el desarrollo de aplicaciones web interactivas integrando la tecnología de OpenLayers y ExtJS. Ofrece la interfaz de usuario propia de ExtJS, con todas las herramientas adaptadas al visor de mapas OpenLayers.
- **GeoMoose:** GeoMOOSE es un framework de navegación de mapas para la visualización distribuida de datos cartográficos. Es particularmente útil para gestionar datos geoespaciales y no geoespaciales en oficinas regionales, urbanas y municipales (GeoMOOSE se originó en éstas últimas). Extiende la funcionalidad de MapServer y OpenLayers para proporcionar servicios de serie, como la identificación 'drill-down' para ver y organizar muchas capas, operaciones de selección y búsquedas en los juegos de datos. GeoMOOSE es rápido, con buen rendimiento con cientos de capas y/o servicios al mismo tiempo. Los datos provenientes de diferentes orígenes se pueden mantener usando diferentes herramientas y con diferentes planificaciones ya que cada capa del mapa tiene su propio juego de ficheros de configuración para la publicación, simbología, plantillas así como datos de origen. La interfaz de usuario es fácilmente configurable, y gracias a su arquitectura modular se pueden agregar servicios adicionales.

- Leaflet: Leaflet está diseñado con la mente puesta en la simplicidad, el rendimiento y la facilidad de uso. Funciona de manera eficiente en las principales plataformas de escritorio y móviles, aprovechando las ventajas del HTML5 y CSS3 en los navegadores modernos, sin dejar de ser accesibles a los más antiguos. Se puede ampliar su funcionalidad con una gran cantidad de plugins, tiene una API bonita, fácil de usar y bien documentada, así como un código fuente simple y legible, que es una facilidad para los desarrolladores que quieran contribuir.
- Mapstore: MapStore ha sido desarrollado para crear, guardar, buscar y compartir de una manera sencilla e intuitiva mashups creados con contenido de fuentes del servidor como Google Maps, OpenStreetMap, MapQuest o servidores específicos proporcionados por la organización o cualquier otra persona. MapStore consta de dos componentes principales como MapManager y GeoStore, respectivamente front-end y back-end. MapManager, utilizando una sola interfaz, permite al usuario crear, borrar y buscar mapas, generar un vínculo de inserción para poner un mapa en un sitio web, compartir tus propios mapas con otros usuarios. Además lleva a cabo la interacción con GeoStore. MapManager soporta la autenticación y la definición de políticas de acceso para proteger los mapas gestionados por GeoStore. GeoStore es una aplicación JEE de código abierto cuyo objetivo es el almacenamiento, la búsqueda y la recuperación de datos sobre la marcha. GeoStore implementa una infraestructura flexible y modular desarrollado por encima de la tecnología de Java Enterprise con el fin de crear, gestionar, navegar y buscar las definiciones del mapa. GeoStore integra la autenticación y gestión de autorizaciones según el paradigma de Role Based Access Control (RBAC). Esto protege a los mapas de accesos no autorizados. El mecanismo de almacenamiento estándar de GeoStore consta de un DBMS: Oracle y PostgreSQL son compatibles.
- Cartaro: es la plataforma de cartografía web que proporciona los mejores componentes geoespaciales de código abierto en un

sistema de gestión de contenidos. Con Cartaro se es capaz de instalar y ejecutar su propio sitio web geográfico y compatible con los estándares de la OGC, con no más de unos pocos clics. Los componentes geoespaciales utilizados en Cartaro son PostGIS, GeoServer, GeoWebCache y OpenLayers. Todos los que se gestionan desde el potente CMS Drupal. Cartaro es para las organizaciones e individuos que necesitan ejecutar una infraestructura de datos espaciales ligera (SDI), sin necesidad de extensas configuraciones y mucha programación individual. Cartaro sirve también para montar un sitio web con los beneficios de cualquier CMS pero con la ventaja de poder tratar la información espacial.

Una característica positiva de OpenLayers es que ha sido desarrollado para promover información geográfica de todo tipo, es decir, puede mostrar mapas y marcadores cargados de cualquier fuente. Uno de sus objetivos principales consiste en separar las herramientas para la visualización de los mapas, de los datos, de manera que todas las funciones se pueden utilizar a partir de diferentes fuentes. De esta forma, no estamos obligados a ver la Información espacial a través de las aplicaciones propias de los creadores o proveedores de datos geográficos.

En resumen, nos permite elaborar nuestros mapas haciendo uso de su propia base de información cartográfica o usar su estructura para hacer uso de otros servicios.

Además, si comparamos OpenLayers con otros frameworks con la misma finalidad, el punto fuerte lo encontramos en que es un software gratuito, de código abierto, de uso totalmente libre bajo la licencia BSD6 (Berkeley Software Distribution), que es una licencia de software libre muy cercana al dominio público. La licencia BSD permite el uso del código fuente en software no libre. Además Openlayers está desarrollado por y para la comunidad de software libre ya que actualmente es un proyecto de la Open Source Geoespatial Foundation (OSGeo). Además, implementa métodos estándar de la industria para el acceso a los datos geográficos, tales como el Open Geospatial Consortium: Web Map Service (WMS) y Web Feature Service (WFS), explicados anteriormente.

A diferencia de otras APIs, como por ejemplo Google Maps, se trata de un paquete creado por una comunidad open source. Esto puede resultar útil para

aquellos que no quieren mostrar el logo de Google, ya que debido a la licencia de Google Maps no está permitido ocultarlo.

En la Figura 9 [11] se muestra un esquema del framework o marco de trabajo software que se va a utilizar para el desarrollo del sistema:

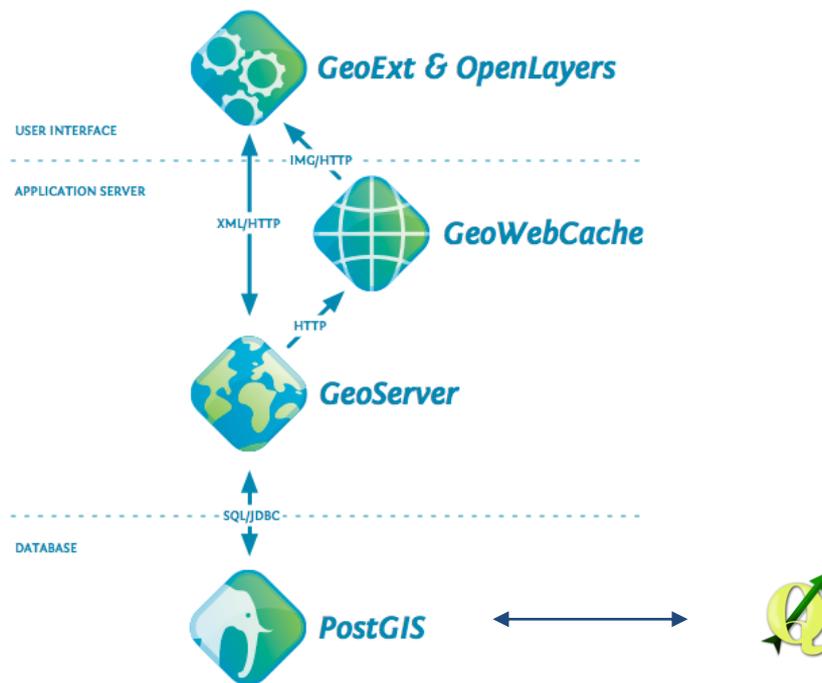


Figura 9. Framework de software libre para el desarrollo SIG.

3. Capítulo 3. Diseño del sistema

El diseño del sistema describe la arquitectura global del sistema, para ir profundizando en cada uno de sus componentes, como son el modelo de datos desde el punto de vista del almacén de información a utilizar y las funcionalidades del mismo con el suficiente nivel de detalle como para realizar su implementación global posterior. En el caso de un sistema SIG una decisión importante de diseño es la selección del sistema de referencia geográfica a utilizar, ya que ha de ser el mismo en todos los niveles para que el sistema funcione de forma global.

3.1. Arquitectura del sistema SIG Smart Green Tracks

La arquitectura de software define los componentes que llevan a cabo alguna tarea de computación, sus interfaces y la comunicación entre ellos. Toda arquitectura debe ser implementable en una arquitectura física, que consiste simplemente en determinar qué computadora tendrá asignada cada tarea [19].

Como se mencionó en el capítulo anterior, la arquitectura más adecuada para desarrollar el sistema SIG Smart Green Tracks es la arquitectura de tres capas MVC (Modelo-Vista-Controlador). A continuación, se detallan de forma resumida, puesto que se vio de forma más detallada en el capítulo anterior, los componentes de esta arquitectura el modelo la vista y el controlador, junto con los sub-componentes que integran cada uno de estos componentes principales de la arquitectura adaptados a los requisitos del sistema.

- **El modelo:** formado por la **unidad funcional datos**, en el caso del sistema SIG Smart Green Tracks una base de **datos con componentes geospaciales** como es **Postgres** con el complemento geoespacial **PostGis**, necesaria para **almacenar** los datos **vectoriales** de los puntos de la ciudad con el valor del gas contaminante asociado, como se verá de forma más detallada más adelante en el apartado de Diseño de datos. Para alimentar dicha base de datos se crearán archivos ShapeFile mediante el cliente de escritorio QGis, tal y como se verá en el siguiente apartado de diseño.

- **El controlador:** formado por la **unidad funcional de procesado de datos**, integrado por dos componentes:
 - **el servidor web:** que es el contenedor donde se almacena la aplicación formada por los ficheros que se utilizarán desde el visor web para atender a las peticiones de procesado de datos enviadas por el visor para que por ejemplo se muestren en el mapa los valores del gas contaminante seleccionado. Se trata de ficheros javascript, html y css, como se verá más adelante en el apartado de diseño, que a su vez se encargan de llamar al servidor de mapas para que éste les proporcione la información georreferenciada a mostrar en el visor web. En nuestro caso se usa como servidor web Tomcat Apache.
 - **el servidor de mapas:** que se encarga de convertir los datos almacenados en la base de datos PostGIS en un mapa y poder pasárselos al servidor web para que los muestre al usuario a través del visor SIG. Para ello se usará el software Geoserver. En el siguiente apartado de diseño se verá como se configurará para realizar esta transformación de forma correcta.
- **La vista** correspondería a la **unidad funcional de interacción con el usuario o visor SIG**. El visor SIG es una aplicación para navegadores de Internet. Se trata de una aplicación cliente que realiza peticiones de geoinformación y de datos para combinarlas en un mapa. La interacción del usuario con el visor web generará peticiones al servidor (GET/POST) y los resultados serán devueltos en formato HTML. Se utilizarán la librería Openlayer, junto con HTML5 y CSS para la construcción de este visor.

A continuación, en la Figura 10 se muestra el diagrama de despliegue muestra la arquitectura del sistema y los tipos de conexiones que se van a realizar.

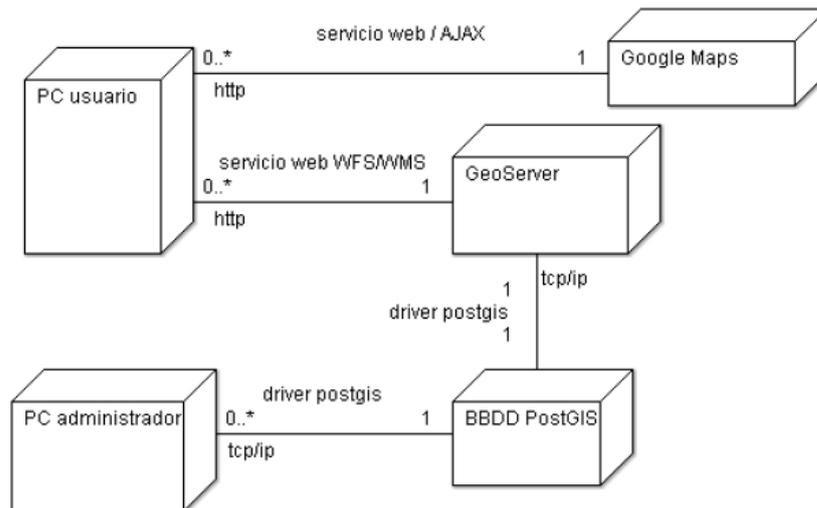


Figura 10. Diagrama de despliegue.

Se puede observar como cada componente está generalmente ubicado en una máquina y cómo se comunican a través de protocolos de comunicación. Así pues, el visor SIG estará ubicado en el servidor web y lo llamará el usuario a través de una url [20], utilizando el protocolo de comunicación http, trasladándolo a su navegador web que está en su PC, SmartPhone o Tablet. El usuario interactúa con el visor, donde se mostrará el mapa y las opciones que puede manejar. Según la opción que elija, por ejemplo mostrar los puntos de contaminación de CO, el visor envía a través del protocolo http [21] la petición a la servidor web donde está almacenada la aplicación, que está en otra máquina, el cual al tratarse de una petición de una capa de un mapa envía esta petición al servidor de mapas Geoserver a través de un servicio web WMS (Web Map Service) [22], de forma que se conecta a la base de datos a través del driver de postgis usando el protocolo tcp/ip [23] para enviar las sentencias SQL para obtener los datos geoespaciales del mapa y poder construir el mapa y mandárselo a la aplicación que está en el servidor web y de ahí al navegador del usuario.

Finalmente, en la Figura 11, se muestra un esquema de la arquitectura del sistema con los componentes, la interacción de los componentes y las tecnologías utilizadas para implementar dichos componentes, para tener una visión global del sistema.

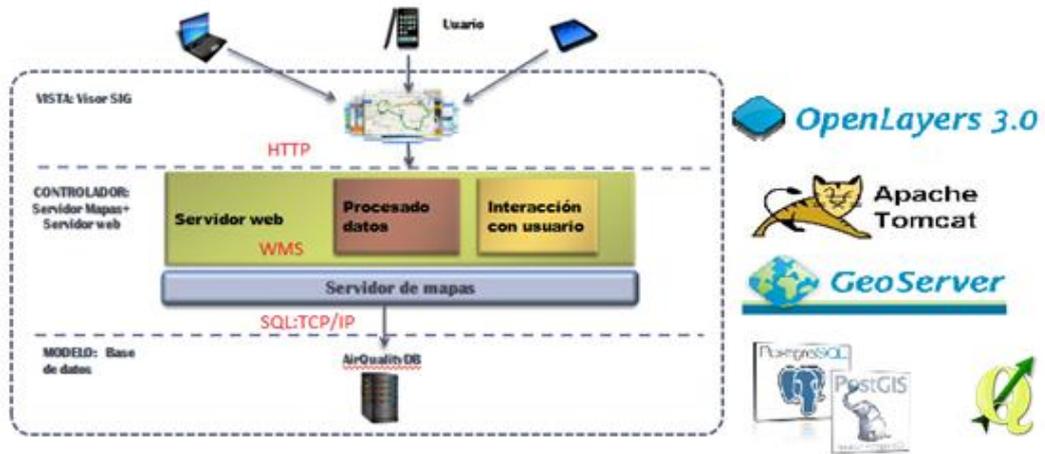


Figura 11. Arquitectura del sistema SIG Smart Green Track con interfaces y software.

3.2. Elección del sistema de referencia geográfico

Para que toda la información georreferenciada de que está formada el sistema se pueda integrar de forma correcta en la aplicación final, es necesario que todo esté referenciado al mismo sistema de coordenadas, por tanto antes de seguir con el diseño del sistema es necesario elegir un sistema de coordenadas de referencia.

Partiendo de la base de datos que se va a utilizar y sus características se observa que la base de trabajo de PostGIS son **coordenadas sobre plano** geometry, donde la distancia mínima entre dos puntos es una línea recta. Pero también incluye soporte nativo para trabajar con **coordenadas sobre esfera** geography, donde la distancia mínima entre dos puntos es un arco. Tras comparar dichas formas de trabajo se desprende que:

- PostGIS trabaja de forma más eficiente con coordenadas sobre plano, tiene más funciones de cálculo asociadas y estas consumen menos tiempo de proceso.
- La documentación de PostGIS propone trabajar con coordenadas sobre plano si el área de trabajo son zonas pequeñas, por ejemplo ciudades, como es el caso que nos ocupa, y todas nuestras coordenadas utilizan el mismo sistema de referencia, y con coordenadas sobre esfera para trabajar en zonas amplias, por ejemplo con continentales.

Por tanto, se va a trabajar con coordenadas sobre plano en PostGIS, escogiendo como sistema de referencia para las coordenadas el WGS84 con datos de longitud/latitud (SRID: 4326). La elección del sistema de referencia viene dado por ser uno de los más habituales y por ser el utilizado por el GPS, cuyos ficheros GPX van a ser una fuente de datos básica. Por tanto el **sistema de referencia geográfico** sobre el que se apoyará todo el sistema será el **WGS84 (SRID: 4326)**.

3.3. Diseño del modelo de datos

En este apartado se especifica la información geográfica y alfanumérica que formará parte del sistema, los orígenes de datos y las fuentes de información que utilizaremos, hasta ver cómo ésta se integra en la arquitectura propuesta.

En el diseño de este piloto del área centro de Valladolid se simplificará la Tabla 2 del apartado 2.2 de esta memoria para tener sólo tres rangos de calidad de aire, buena, media y mala, debido a que el tiempo es ajustado, según se muestra en la Tabla 5.

Calidad del aire	PM ₁₀	NO ₂	CO
Buena	0-14	0-79	0-2999
Deficiente	15-49	80-209	3000-9999
Mala	>50	>210	>10000

Tabla 5. Clasificación simplificada en rangos de gases contaminantes

Así, atendiendo a los requisitos funcionales que ha de cumplir el sistema y que se mencionan a continuación:

- Visualización en un plano de la ciudad del nivel de contaminación asociado a un punto de forma numérica y con color según sea el rango de contaminación bajo, medio o alto y en función del gas contaminante: PM10, CO, NO2.
- Visualización global del plano de la ciudad pudiendo superponer las capas de contaminantes que se seleccionen indicando por colores las zonas más y menos contaminadas, tanto en modo vectorial formadas por puntos, como

en modo raster a través de mapas de calor, que cubren de una forma más homogénea toda la superficie tratada.

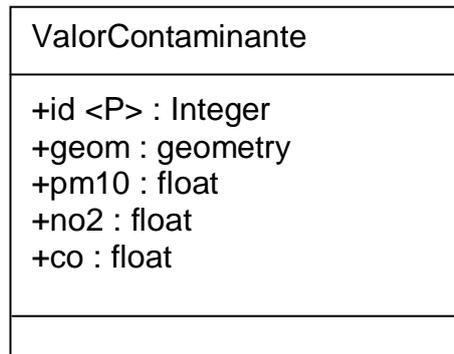
Existirían varios **tipos de información necesaria** para construir el sistema, que se mencionan a continuación:

- El mapa base sobre el que se van a mostrar los datos georeferenciados: OpenStreetMap.
- Los puntos georeferenciados con el valor numérico de las concentraciones de PM10 asociadas a esos puntos, para poder mostrar al usuario dichos puntos clasificados según la concentración del gas sea alta o peligrosa, media o baja y mostrarlos al usuario.
- Los puntos georeferenciados con el valor numérico de las concentraciones de CO asociadas a esos puntos, para poder mostrar al usuario dichos puntos clasificados según la concentración del gas sea alta o peligrosa, media o baja y mostrarlos al usuario.
- Los puntos georeferenciados con el valor numérico de las concentraciones de NO2 asociadas a esos puntos, para poder mostrar al usuario dichos puntos clasificados según la concentración del gas sea alta o peligrosa, media o baja y mostrarlos al usuario.
- Los mapas de calor asociados a cada gas, dando una visión más homogénea de cuál es la contaminación en el área centro de Valladolid, según el gas seleccionado, al igual que superponiendo los gases.

Cada una de estas capas han de obtenerse de una fuente de datos. En el caso particular del sistema Smart Green Tracks la primera fuente (el mapa base) se obtendrá de OSM (OpenStreetMap), utilizando OpenStreetMap como mapa de base en formato calles. El resto de fuentes mencionadas, al no disponer de datos, se va a partir desde cero para construirlas.

El **modelo de datos** estará formado por una **base de datos** cuyo nombre será **AirQualityDB** y que constará de una **tabla maestra**, llamada **ValorContaminante**, que se ha de crear en **PostGis** y que contendrá los puntos georeferenciados con su valor asociado de concentración de partículas PM10, NO2 y CO en micrómetros por metro cúbico. A continuación se muestra

un esquema, mediante UML, de la base de datos compuesta por la tabla maestra.



Esta tabla tendrá los campos Id (autoincremental) y clave primaria (P), geom (el dato georreferenciado) que es de tipo geometry, pm10 (el valor numérico de concentración PM10) que es decimal (float), no2 (el valor numérico de concentración NO2) que es decimal (float), co (el valor numérico de concentración CO) que también es decimal (float).

Dicha tabla se rellenará mediante la importación del fichero ShapeFile tipo vectorial a la base de datos PostGis previamente creados con la herramienta QGis y donde se encuentran almacenados los datos de los puntos georreferenciados con los valores de los distintos gases contaminantes. En el apartado siguiente se explica el proceso de recogida de datos y creación de los archivos shapeFile.

3.4. Recogida de datos de contaminación del área centro de Valladolid

Uno de los Trabajos más importantes de este proyecto es el trabajo de campo realizado para obtener los datos de los diferentes contaminantes seleccionados, es decir, PM10, CO y NO2, en una serie de puntos del área centro de Valladolid.

Para realizar estas mediciones se dispondrán de unos aparatos dotados de sensores lo suficientemente fiables como para medir estos gases contaminantes de forma numérica, en particular AirQualityEgg, que mide NO2 y CO y Airveda PM2.5, PM10 Air quality Monitor para medir PM10, adquiridos previamente al desarrollo de este proyecto piloto, ya que el objetivo final es continuar con el proyecto para construir una start up para el desarrollo completo de la idea.

Otra de las decisiones a tomar fue el número de puntos sobre los que realizar las mediciones. Debido al proceso manual y laborioso de este procedimiento se eligieron un número de puntos de 71, todos pertenecientes al área centro de Valladolid y equiespaciados por calles del centro. En dichos puntos se midieron cada uno de esos gases contaminantes de forma numérica y de forma manual. Se creó una tabla excel con los valores de PM10, NO2 y CO para cada punto.

Para pasar estos datos a forma digital se utilizará la herramienta QGis, que permite ubicar los puntos por número de calle y darles un valor para crear un archivo shapeFile, que se podrá exportar a la base de datos Postgis, de forma que esta será la forma de cargar los datos en el sistema.

Un shapefile es un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y los atributos asociados a ellos. No obstante carece de capacidad para almacenar información topológica. Es un formato multiarchivo, es decir está generado por varios ficheros informáticos. El número mínimo requerido es de tres y tienen las extensiones siguientes [29]:

- .shp - es el archivo que almacena las entidades geométricas de los objetos.
- .shx - es el archivo que almacena el índice de las entidades geométricas.
- .dbf - es la base de datos, en formato dBASE, donde se almacena la información de los atributos de los objetos.

Una vez construidos los archivos ShapeFile correspondientes a cada uno de los gases, se exportan a las tablas de la base de datos creada.

3.5. Tratamiento de datos con Geoserver

Para poder tratar los datos que se han exportado a la tabla maestra de la base de datos creada y mostrarlos en formato mapa, se ha de utilizar Geoserver. Lo primero que hay que hacer es una conexión desde Geoserver a la base de datos. Una vez hecha la conexión se creará una capa asociada a la tabla maestra, especificando el sistema de georreferenciado definido previamente para que se pueda visualizar la capa de forma correcta sobre el mapa base. Y una vez creada se publican para que pueda ser accedida vía web. En esta

capa de Geoserver están mapeados los puntos con los valores de los gases contaminantes en las mismas unidades. Para clasificarlos según el menú del visor se han de crear los correspondientes estilos en Geoserver, para saber si la concentración de cada gas es alta, media o baja. Por otro lado para mostrar los mapas de calor de cada gas se usará el servicio de geoserver que transforma vector en raster mapa de calor, definiendo también estilos para ello.

Una vez publicada la capa se podrá acceder a ella vía web a través del Servicio web WMS (Web Map Service) o Servicio de mapas web, especificando el estilo para clasificar los diferentes gases y concentraciones (alta, media, baja)

El servicio Web Map (WMS) definido por el OGC (Open Geospatial Consortium) produce mapas de datos referenciados espacialmente, de forma dinámica a partir de información geográfica. Este estándar internacional define un "mapa" como una representación de la información geográfica en forma de un archivo de imagen digital conveniente para la exhibición en una pantalla de ordenador. Un mapa no consiste en los propios datos. Los mapas producidos por WMS se generan normalmente en un formato de imagen como PNG, GIF o JPEG, y opcionalmente como gráficos vectoriales en formato SVG (Scalable Vector Graphics) o WebCGM (Web Computer Graphics Metafile).

El estándar define tres operaciones:

- Devolver metadatos del nivel de servicio.
- Devolver un mapa cuyos parámetros geográficos y dimensionales han sido bien definidos.
- Devolver información de características particulares mostradas en el mapa (opcionales).

Las operaciones WMS pueden ser invocadas usando un navegador estándar realizando peticiones en la forma de URLs (Uniform Resource Locators). El contenido de tales URLs depende de la operación solicitada. Concretamente, al solicitar un mapa, la URL indica qué información debe ser mostrada en el mapa, qué porción de la tierra debe dibujar, el sistema de coordenadas de referencia, y la anchura y la altura de la imagen de salida. Cuando dos o más mapas se producen con los mismos parámetros geográficos y tamaño de salida, los resultados se pueden solapar para producir un mapa compuesto. El uso de formatos de imagen que soportan fondos transparentes

(e.g., GIF o PNG) permite que los mapas subyacentes sean visibles. Además, se puede solicitar mapas individuales de diversos servidores [22].

3.6. Diseño del visor SIG

El visor SIG es la interfaz que se presenta al usuario en el navegador. Como pautas para el diseño del visor se tomarán la simplicidad y usabilidad además de la responsividad, es decir que se pueda usar de la misma forma desde un PC como desde un móvil.

Teniendo en cuenta estos parámetros se presentará el menú de selección integrado en el mapa mediante un botón, que al expandirse mostrará el menú. En el menú desplegable, se presentarán las opciones que el usuario puede seleccionar siendo estas de dos tipos (concentraciones puntuales y mapas de calor. Los menús de cada uno de estos tipos se muestran a continuación:

- Concentraciones puntuales
 - Visión global de concentraciones de PM10, NO2 y CO
 - Concentracion Alta de NO2 - Dioxido de Nitrogeno
 - Concentracion Media de NO2 - Dioxido de Nitrogeno
 - Concentracion Baja de NO2 - Dioxido de Nitrogeno
 - Concentracion Alta de CO-Monoxido de carbono
 - Concentracion Media de CO-Monoxido de carbono
 - Concentracion Baja de CO-Monoxido de carbono
 - Concentracion Alta de PM10-Particulas menores de 10 micrometros
 - Concentracion Media de PM10-Particulas menores de 10 micrometros
 - Concentracion Baja de PM10-Particulas menores de 10 micrometros

- Mapas de calor
 - Mapa de calor de CO
 - Mapa de calor de NO2
 - Mapa de calor de PM10

A continuación, en la Figuras 12 y 13 se muestra como quedaría esta interfaz.

Smart Green Track



Figura 12. Interfaz visor web SIG inicial

Smart Green Track

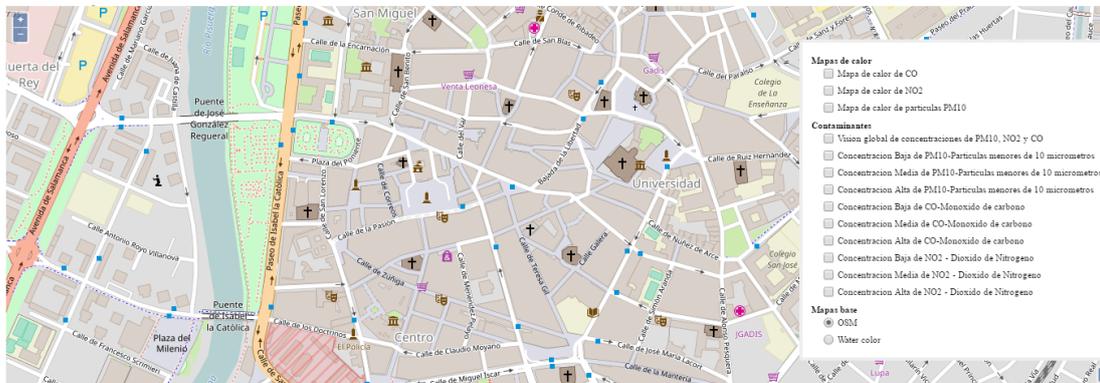


Figura 13. Interfaz visor web SIG con menú de selección

Para identificar cada gas se utilizará una forma geométrica según se indica en la siguiente Tabla 6. Para identificar las zonas donde hay más concentración del contaminante seleccionado en los mapas de calor se utilizarán los mismos colores, atendiendo al principio de usabilidad evitando que así el usuario tenga que volver a hacer la asociación color-valor, rojo para las zonas donde hay alta concentración, amarillo para las zonas donde la concentración es media y verde para las zonas donde la concentración es baja.

Tipo de contaminante	Figura identificativa	
NO2 – Dióxido de Nitrógeno	○	Círculo
CO – Monóxido de carbono	△	Triángulo
PM10 – Partículas menores de 10 micro gramos	□	Cuadrado

Tabla 6. Identificación de gases y formas geométricas

Por otro lado, según la concentración del tipo de contaminante sea alta, media o baja la figura identificativa tomará el valor rojo, amarillo, verde respectivamente según la siguiente Tabla 7.

Concentración de contaminante	Color identificativo
Alta	Rojo
Media	Amarillo
Baja	Verde

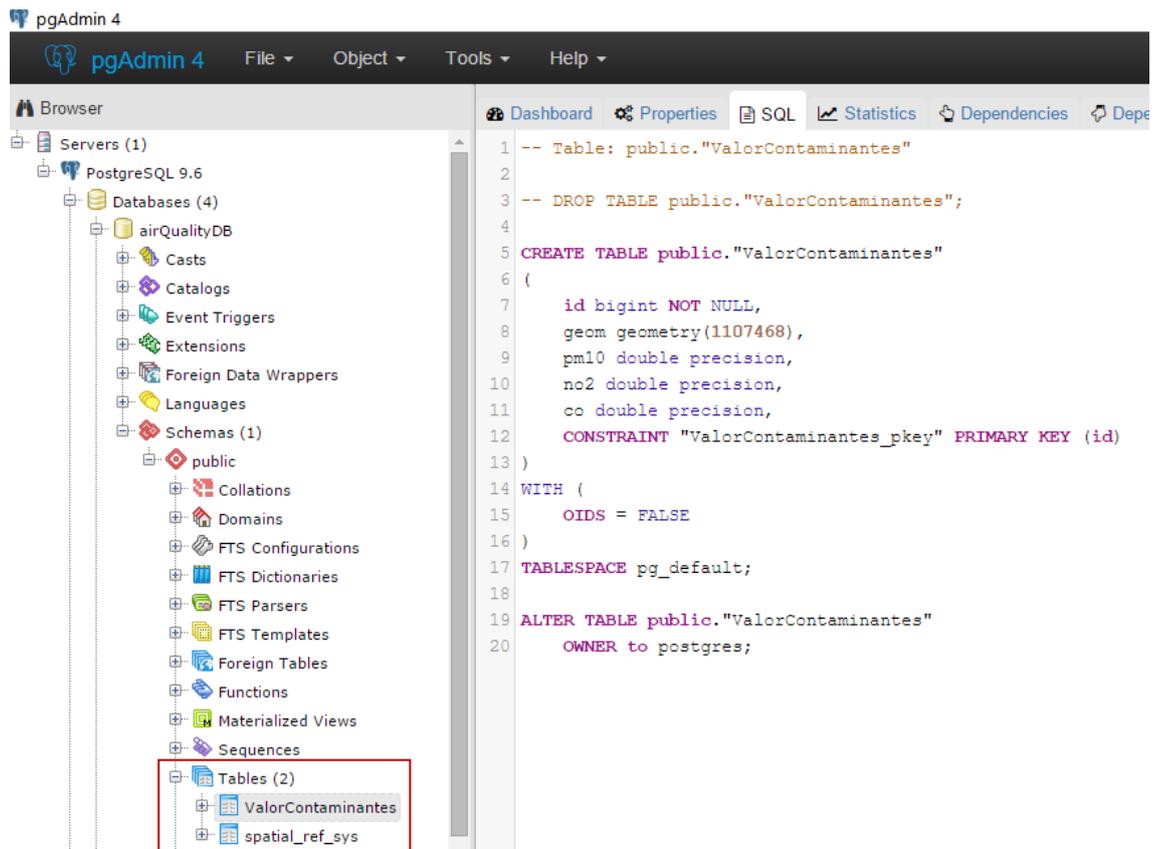
Tabla 7. Identificación de colores y niveles de concentración

4. Capítulo 4. Implementación del sistema

4.1. Configuración del entorno de desarrollo

- Descargar los siguientes programas de software libre:
 - JRE
 - Tomcat Apache
 - Geoserver
 - Postgres con la extensión PostGis
 - Openlayers
 - QGis
- Instalar el software en el mismo orden.

4.2. Creación del Modelo de datos



The screenshot displays the pgAdmin 4 interface. On the left, the 'Browser' pane shows a tree view of the database structure. Under 'Databases (4)', 'airQualityDB' is expanded to show 'Schemas (1)', with the 'public' schema selected. Under 'public', 'Tables (2)' is expanded, showing 'ValorContaminantes' and 'spatial_ref_sys'. A red box highlights the 'ValorContaminantes' table. On the right, the 'SQL' pane shows the following SQL script:

```
1 -- Table: public."ValorContaminantes"
2
3 -- DROP TABLE public."ValorContaminantes";
4
5 CREATE TABLE public."ValorContaminantes"
6 (
7     id bigint NOT NULL,
8     geom geometry(1107468),
9     pm10 double precision,
10    no2 double precision,
11    co double precision,
12    CONSTRAINT "ValorContaminantes_pkey" PRIMARY KEY (id)
13 )
14 WITH (
15     OIDS = FALSE
16 )
17 TABLESPACE pg_default;
18
19 ALTER TABLE public."ValorContaminantes"
20     OWNER to postgres;
```

4.3. Creación de capas Shape con Qgis

A partir de los datos recogidos creamos la capa vectorial en formato shapefile que posteriormente se exportará a la base de datos para constituir la tabla maestra mencionada previamente. Para crear una capa vectorial se selecciona crear capa vectorial tal y como se muestra en la Figura 14, a continuación se selecciona la edición (imagen de lapicero y aparece una nueva pantalla Figura 15 en la que se selecciona el sistema de referencia y se añaden los campos alfanuméricos pertinentes, en este caso añadimos las distintas concentraciones de PM10, NO2 y CO asociadas a ese punto y finalmente situamos el punto sobre el mapa y el solo nos calcula la posición del punto. De esta forma creamos la capa correspondiente a la tabla maestra, en la Figura 16, se puede ver como un punco está asociado a tres valores, la concentración de PM10, NO2 y CO.

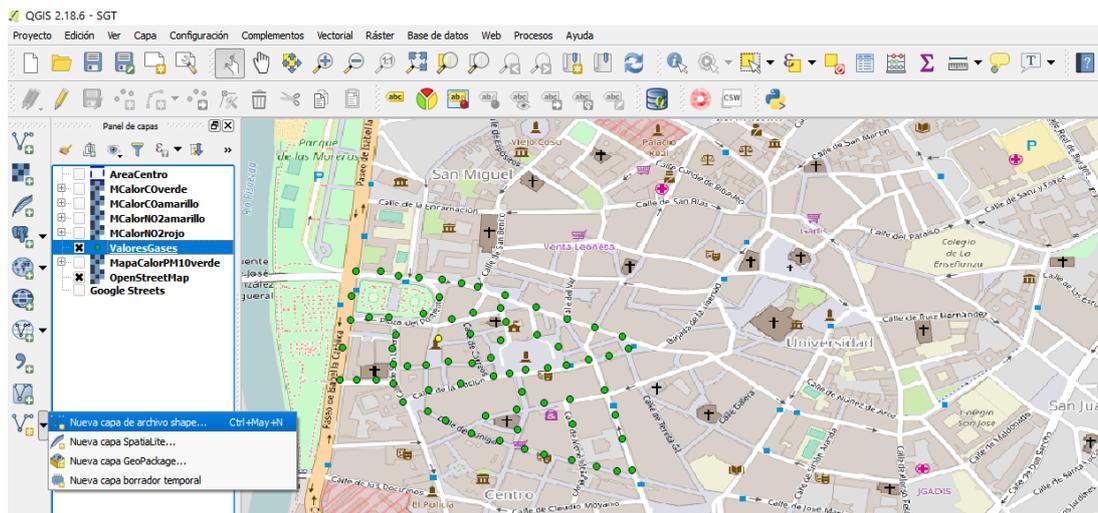


Figura 14. Creación de una capa vectorial ShapeFile

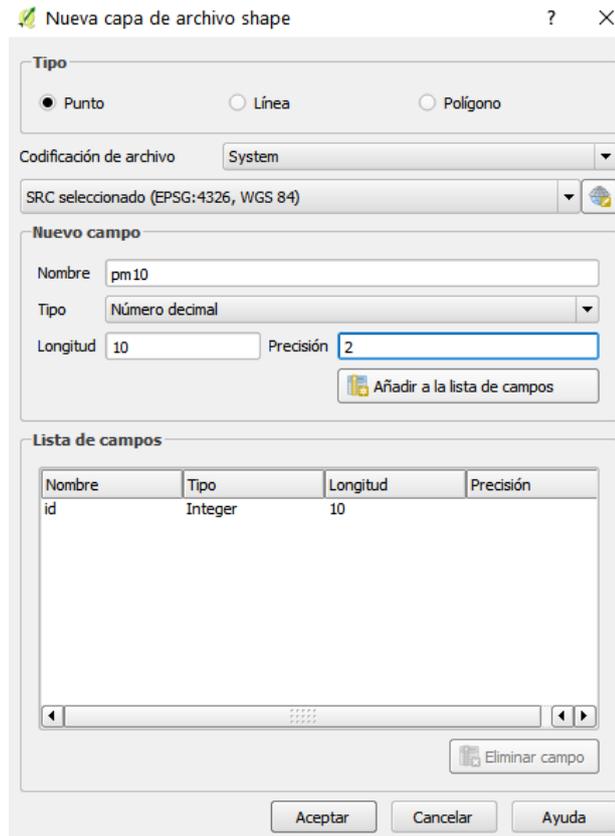


Figura 15. ShapeFile tipo punto

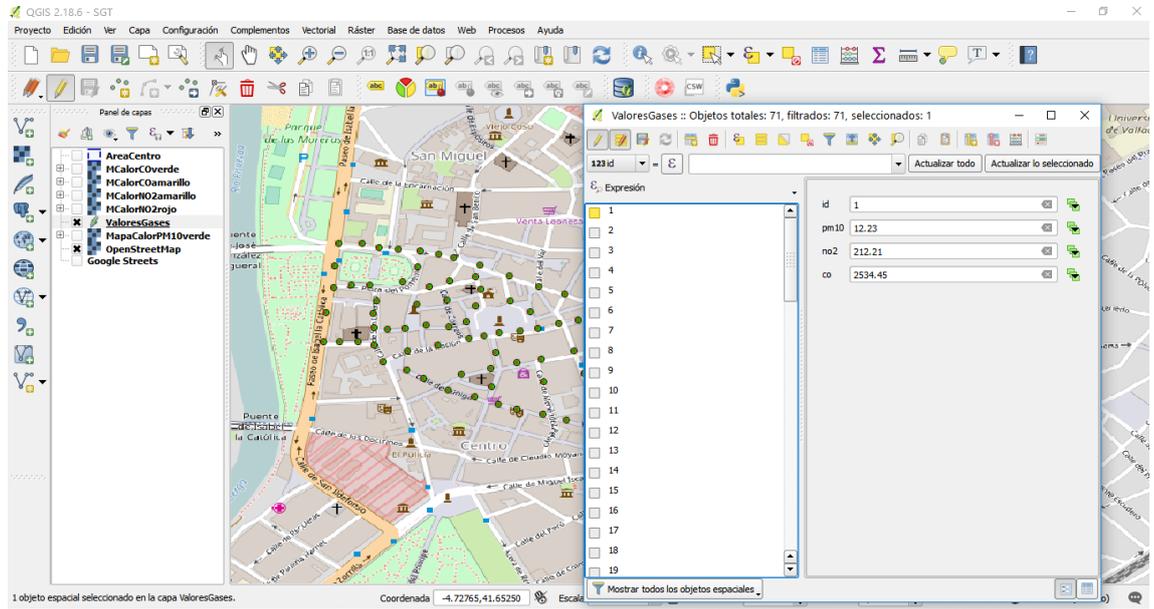


Figura 16. ShapeFiles CO, NO2, PM10

También se crean aquí los mapas de calor correspondientes a los diferentes gases, mediante la opción raster-mapa de calor, según se muestra en la Figura 17. Al pulsar se abre otra pantalla (Figura 18) donde seleccionamos la

tabla de la base de datos de donde queremos coger los datos e indicamos el formato de salida.

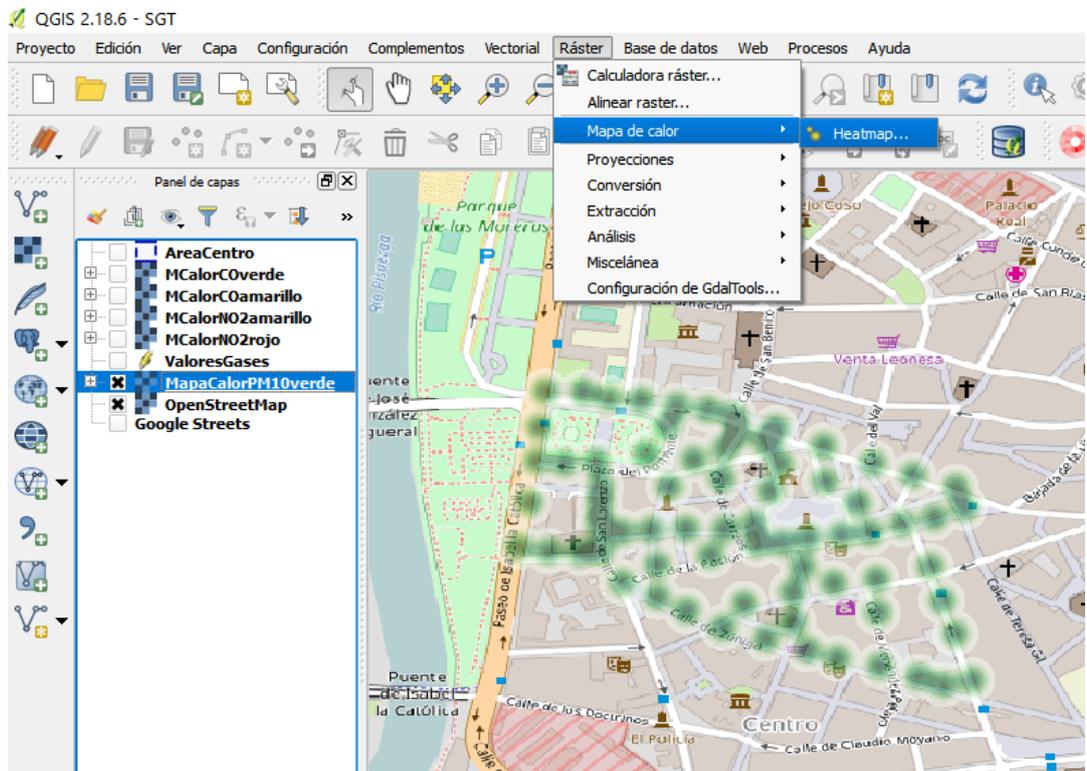


Figura 17. Creación de mapa de calor

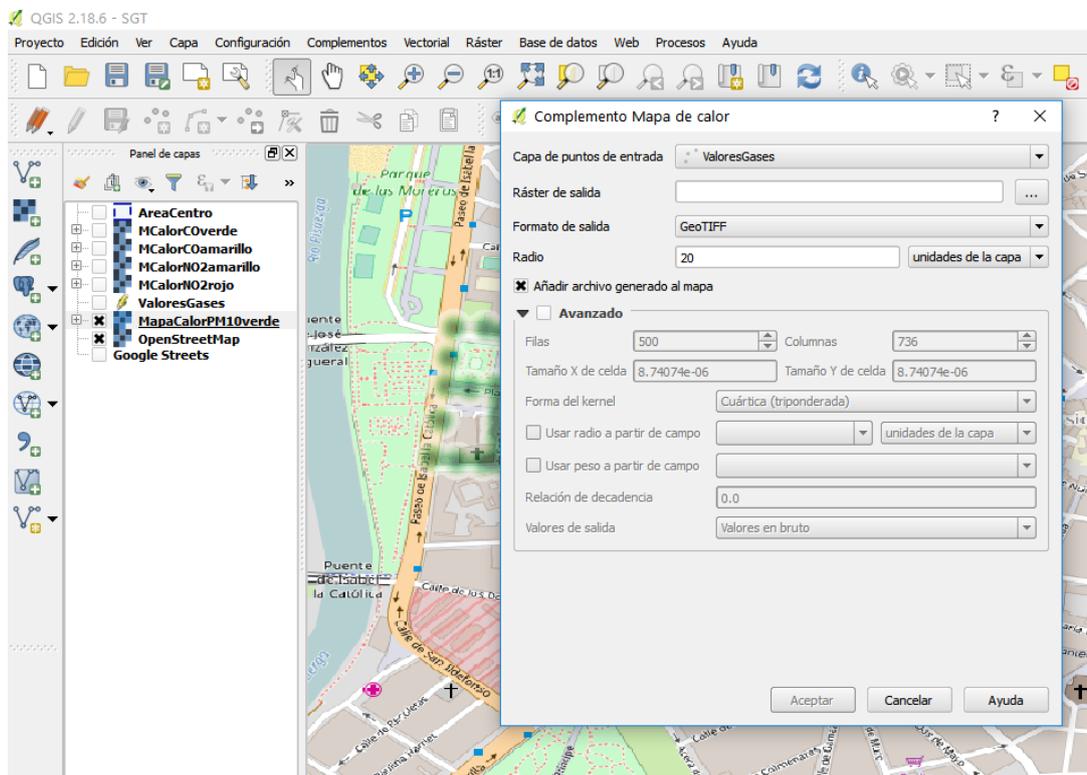


Figura 18. Mapa de calor de CO

Aplicando estilos obtenemos el siguiente mapa de calor, mostrado en la Figura 19.

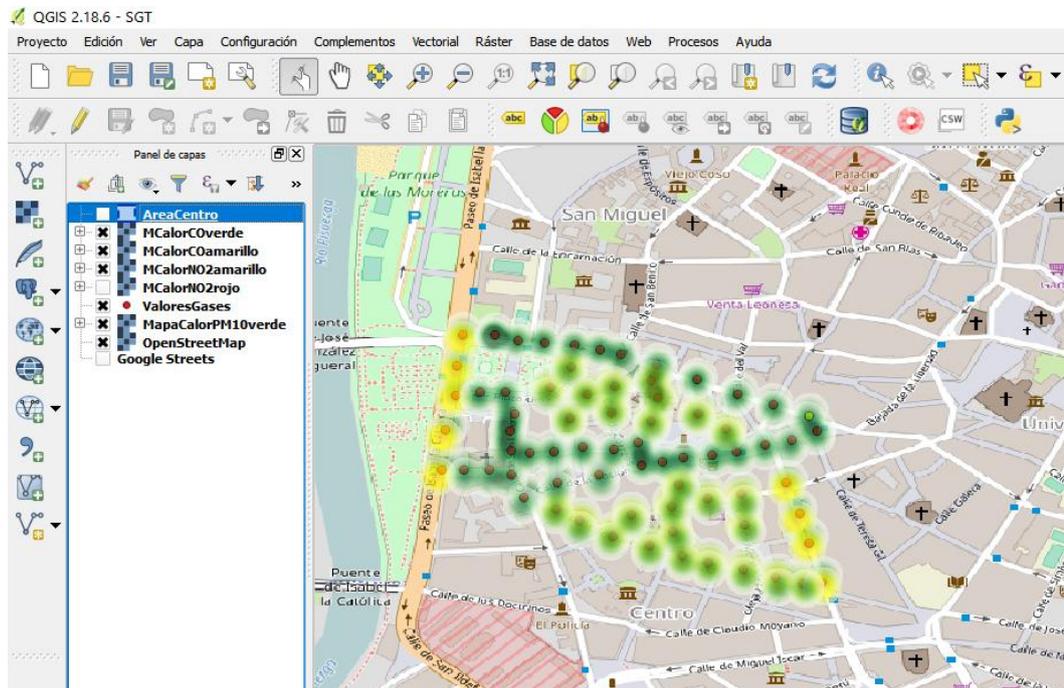


Figura 20. Mapas de calor de CO, NO2 y PM3 en el área centro de Valladolid

4.4. Importación de capas Shape a la base de datos PostGis

La importación de capas vectoriales se puede hacer de forma automática desde QGIS a PostGis, sin más que conectar a la base de datos, seleccionarla y exportar archivo y se crea la Tabla correspondiente con el nombre que indiquemos, tal y como se muestra en la Figura 21.

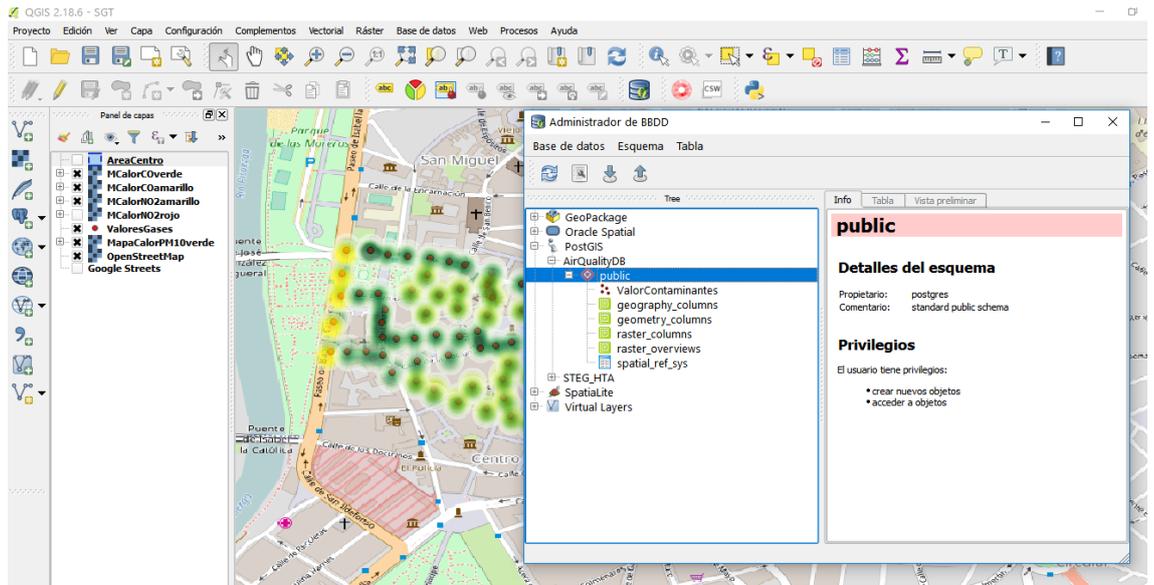


Figura 21. Importar ShapeFile a base de datos

La Figura 22 muestra que se han importado de forma correcta los datos a la tabla de la base de datos.

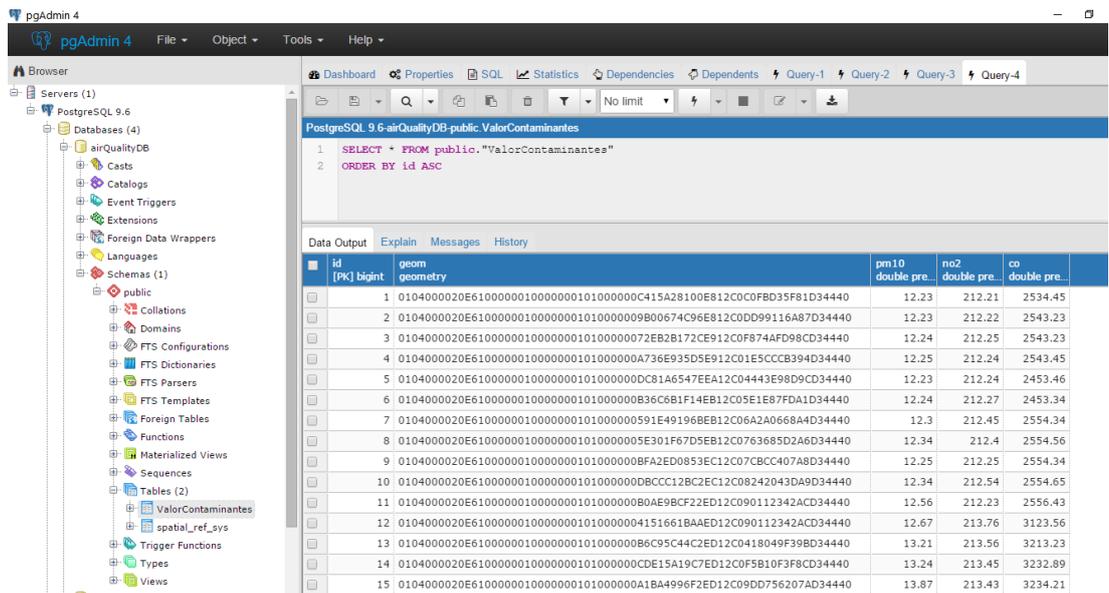


Figura 22. Datos de la Tabla ValorConcentraciones de la Base de Datos AirQualityDB

Para exportar la capa raster, se tiene que usar la consola de Windows y ejecutar el siguiente comando estando dentro de la carpeta bin de QGIS, donde está la aplicación raster2pgsql, que es la que realiza el paso:

```
raster2pgsql -I -C -s <SRID><PATH/TO/RASTER FILE><SCHEMA>.<DBTABLE> |
psql -d <DATABASE>
```

Para nuestro caso sería:

```
raster2pgsql -l -C -M -s 4326 C:\Users\yoli\Documents\MCalorCOverde.tif dato1 | psql  
-d db_gisexample -U postgres -h localhost -p 5432
```

En nuestro caso, no se usarán los datos raster de la base de datos puesto que en Geoserver se utilizarán los datos de la tabla maestra airQualityDB para crear a partir de ellos una capa raster de forma dinámica.

4.5. Creación de las capas de datos en Geoserver

Una vez que se tienen los datos almacenados en la base de datos, tenemos que acceder a ellos a través de Geoserver, para publicarlos y acceder posteriormente vía web para mostrarlos en el visor web.

Para ello lo primer se crea un nuevo workspace, que llamamos SmartGreenTracks, que es el que va a contener el mapa publicado o mapas en un futuro, tal y como muestra la Figura 23.

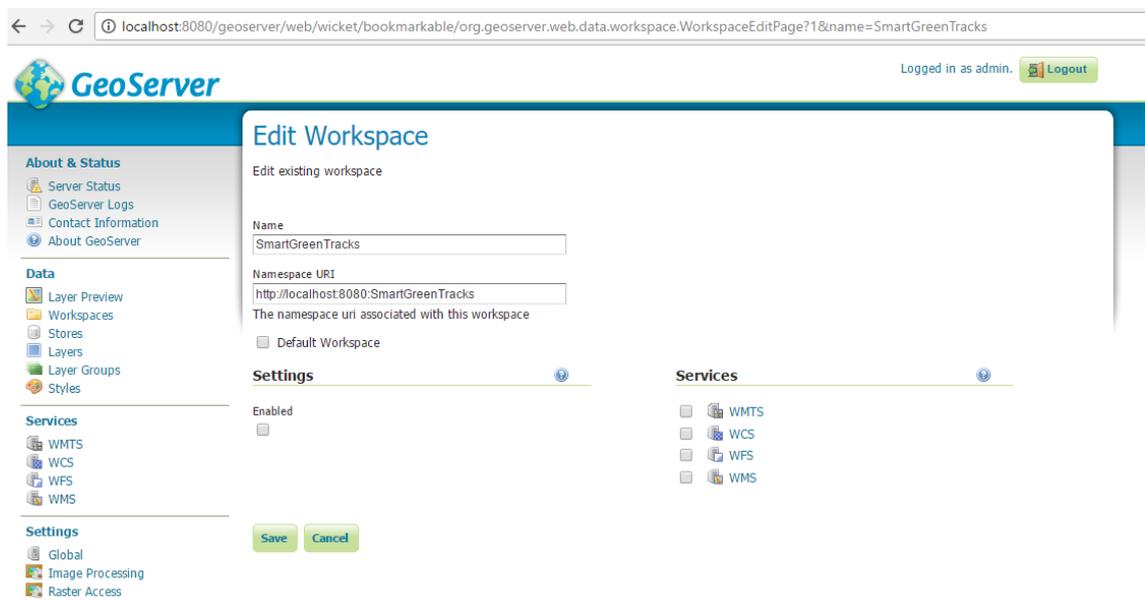


Figura 23. Crear espacio proyecto en Geoserver

Conectamos el espacio a la base de datos seleccionando Store-New data store, e indicando la base de datos a conectar, tal y como muestra la Figura 24.

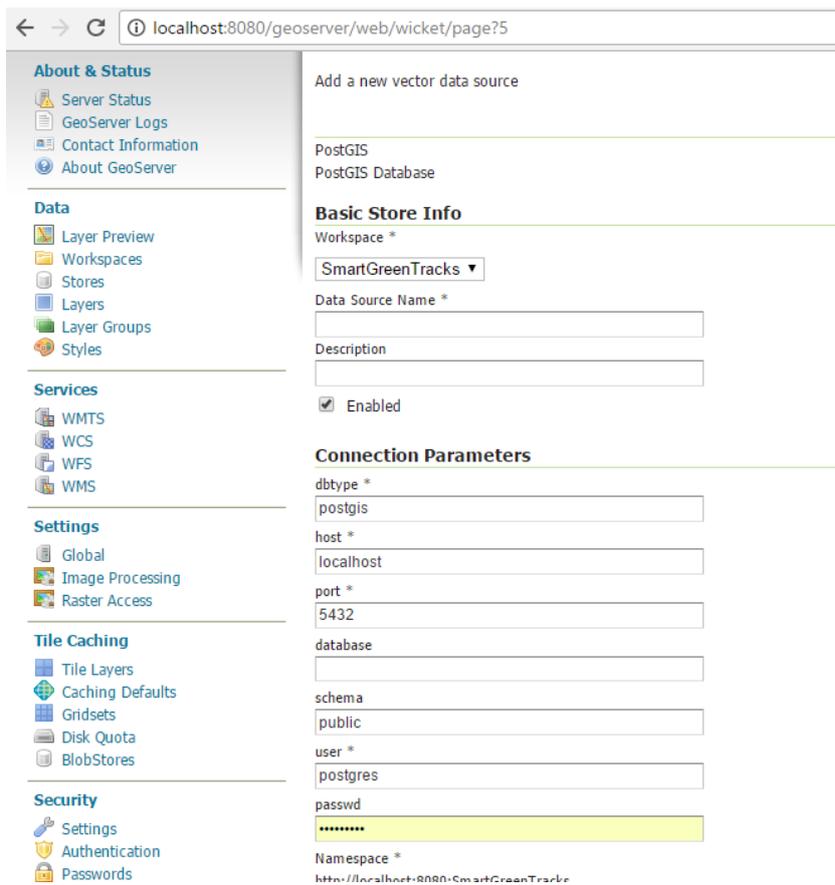


Figura 24. Conectar Geoserver y Base de datos PostGis

Seleccionamos la opción layer y seleccionamos la base de datos de la que queremos extraer las capas y nos muestra las tablas de la base de datos, como puede verse en la Figura 25.

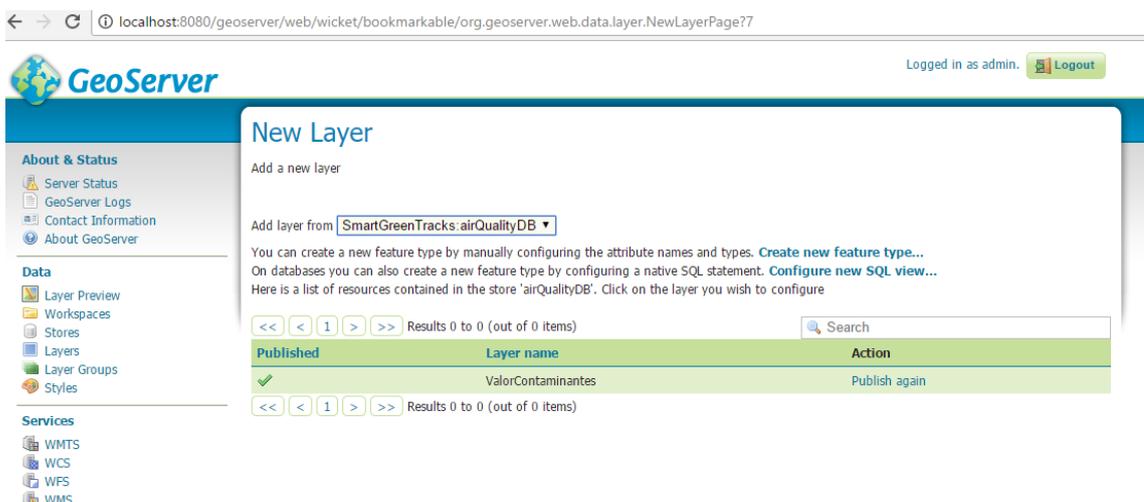


Figura 25. Crear capa en Geoserver

Seleccionamos una para publicar y aquí lo más importante es elegir correctamente el sistema de coordenadas, tal y como muestra la Figura 26 y dar a compute for native bounds.

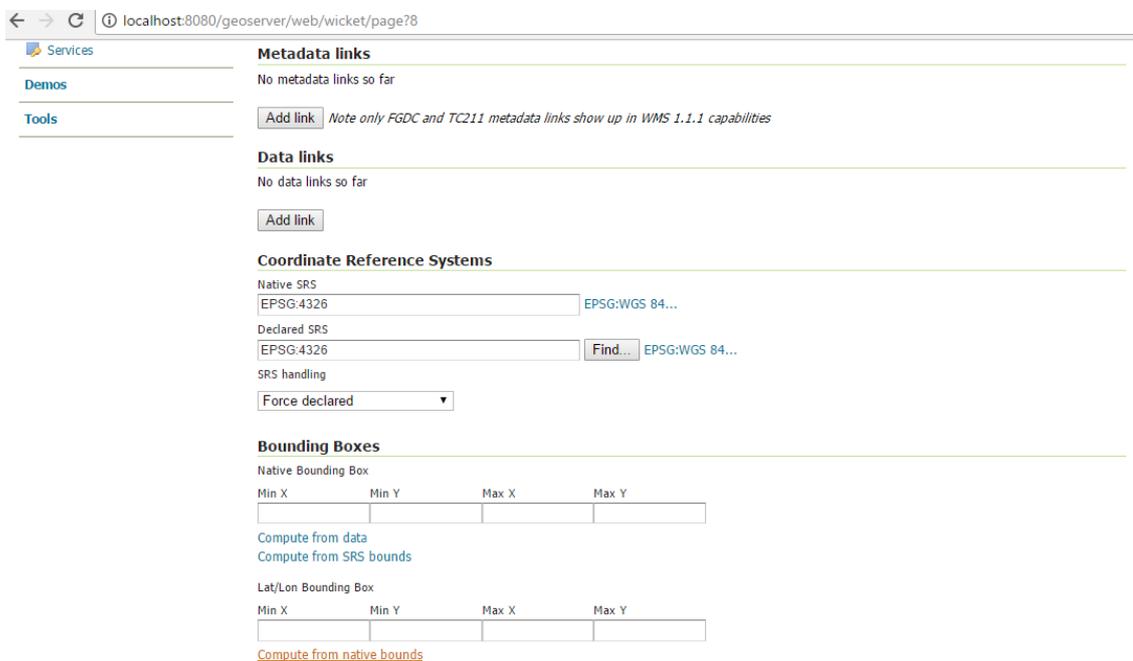


Figura 26. Publicar capa en GeoServer

Y también cargar el archivo de formato que se genera con el shadow en estilos del apartado publishing, para que los puntos salgan como círculos rojos, verdes o amarillos. Y así se procede con todas las capas hasta publicarlas todas. Una vez publicadas ya se puede acceder a ellas a través del web service WMS, según se verá en el siguiente apartado.

En este momento se tiene la base de datos mapeada en Geoserver, pero ahora necesitamos clasificar los datos para mostrárselos al usuario según la opción que elija desde el visor. Para ello hemos de manipular estos datos mediante la opción de crear estilos que ofrece Geoserver. En nuestro caso particular se tendrán que realizar las siguientes cosas:

- Asignar a cada concentración un símbolo, cuadrado, círculo o triángulo, según sea PM10, NO2 o CO.
- Filtrar cada gas para pintar cada figura en verde, amarillo o rojo en función de si su valor es bajo, medio o alto respectivamente.

Para ello se crean 10 estilos, correspondientes a las opciones del visor que están dentro del grupo de concentraciones. La estructura de los estilos va a ser similar a la que hay en el siguiente código, que es el correspondiente al que filtra los valores de NO2 altos:

```
<StyledLayerDescriptor xmlns="http://www.opengis.net/sld" xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
version="1.0.0" xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/sld StyledLayerDescriptor.xsd"
xmlns:se="http://www.opengis.net/se">
<NamedLayer>
<Name>estiloNO2Alto</Name>
<UserStyle>
<Title>estiloNO2Alto</Title>
<FeatureTypeStyle>

<Rule>
<Name>LargePop</Name>
<Title>Greater than 210</Title>
<ogc:Filter>
<ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
<ogc:PropertyName>no2</ogc:PropertyName>
<ogc:Literal>210</ogc:Literal>
</ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
</ogc:Filter>
<PointSymbolizer>
<Geometry>
<ogc:Function name="offset">
<ogc:PropertyName>geom</ogc:PropertyName>
<ogc:Literal>0.000</ogc:Literal>
<ogc:Literal>0.000</ogc:Literal>
</ogc:Function>
</Geometry>
<Graphic>
<Mark>
<WellKnownName>circle</WellKnownName>
<Fill>
<CssParameter name="fill">#FF0000</CssParameter>
</Fill>
<Stroke>
<CssParameter name="stroke">#000000</CssParameter>
</Stroke>
</Mark>
<Size>8</Size>
</Graphic>
</PointSymbolizer>
</Rule>

</FeatureTypeStyle>
</UserStyle>
</NamedLayer>
</StyledLayerDescriptor>
```

Es importante destacar la función del <Geometry> que hará que se pinten en el mapa los símbolos un poco desplazados para que no se superpongan en el mismo punto.

Por otro lado para crear los tres estilos correspondientes a los mapas de calor para cada gas, se crean con el siguiente código:

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<StyledLayerDescriptor version="1.0.0"
xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/sld StyledLayerDescriptor.xsd"
xmlns="http://www.opengis.net/sld"
xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
<NamedLayer>
<Name>HeatmapCO</Name>
```

```

<UserStyle>
  <Title>HeatmapCO</Title>
  <Abstract>A heatmap surface showing CO density</Abstract>
  <FeatureTypeStyle>
    <Transformation>
      <ogc:Function name="vec:Heatmap">
        <ogc:Function name="parameter">
          <ogc:Literal>data</ogc:Literal>
        </ogc:Function>
        <ogc:Function name="parameter">
          <ogc:Literal>weightAttr</ogc:Literal>
          <ogc:Literal>co</ogc:Literal>
        </ogc:Function>
        <ogc:Function name="parameter">
          <ogc:Literal>radiusPixels</ogc:Literal>
          <ogc:Function name="env">
            <ogc:Literal>radius</ogc:Literal>
            <ogc:Literal>20</ogc:Literal>
          </ogc:Function>
        </ogc:Function>
        <ogc:Function name="parameter">
          <ogc:Literal>pixelsPerCell</ogc:Literal>
          <ogc:Literal>10</ogc:Literal>
        </ogc:Function>
        <ogc:Function name="parameter">
          <ogc:Literal>outputBBOX</ogc:Literal>
          <ogc:Function name="env">
            <ogc:Literal>wms_bbox</ogc:Literal>
          </ogc:Function>
        </ogc:Function>
        <ogc:Function name="parameter">
          <ogc:Literal>outputWidth</ogc:Literal>
          <ogc:Function name="env">
            <ogc:Literal>wms_width</ogc:Literal>
          </ogc:Function>
        </ogc:Function>
        <ogc:Function name="parameter">
          <ogc:Literal>outputHeight</ogc:Literal>
          <ogc:Function name="env">
            <ogc:Literal>wms_height</ogc:Literal>
          </ogc:Function>
        </ogc:Function>
      </ogc:Function>
    </Transformation>
    <Rule>
      <RasterSymbolizer>
        <!-- specify geometry attribute to pass validation -->
        <Geometry>
          <ogc:PropertyName>geom</ogc:PropertyName></Geometry>
          <Opacity>0.6</Opacity>
          <ColorMap type="ramp" >
            <ColorMapEntry color="#FFFFFF" quantity="0" label="nodata"
              opacity="0"/>
            <ColorMapEntry color="#FFFFFF" quantity="0.02" label="nodata"
              opacity="0"/>
            <ColorMapEntry color="#339900" quantity=".1" label="nodata"/>
            <ColorMapEntry color="#FFFF00" quantity=".9" label="values" />
            <ColorMapEntry color="#FF0000" quantity="1.0" label="values" />
          </ColorMap>
        </RasterSymbolizer>
      </Rule>
    </FeatureTypeStyle>
  </UserStyle>
</NamedLayer>
</StyledLayerDescriptor>

```

Donde es importante destacar que se utiliza la función de Geoserver que transforma vector en heatmap o mapa de calor y que se muestra en verde en el código, basándose en los datos vectoriales para construir el mapa de calor. Además es un mapa de calor modulado por el valor de las concentraciones del gas (en el caso del ejemplo no2) que se indica con el parámetro weightAttr, indicado en azul en el código, y por último la forma del punto del mapa de calor viene dado por la geometría, tal y como se muestra en el código en azul.

Estos códigos se introducen en el estilo según la Figura 27.

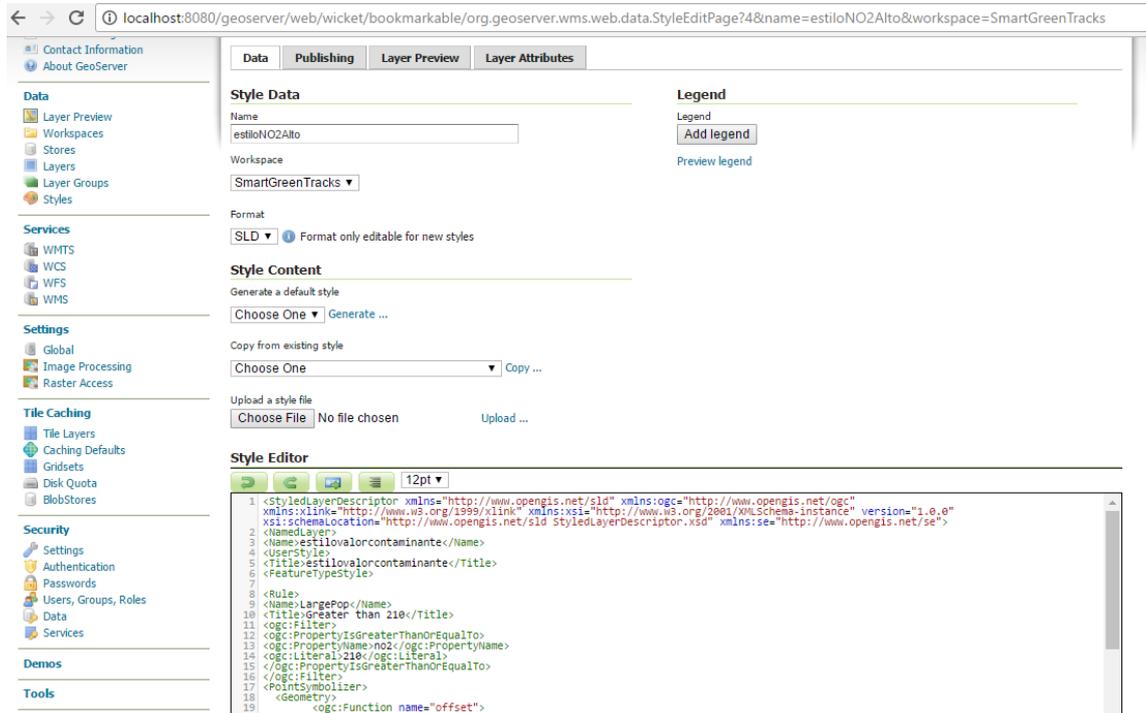


Figura 27. Estilos en Geoserver

Se crearon los siguientes estilos:

Para las concentraciones:

- estiloValoresConcentracion
- estiloPM10Alto
- estiloPM10Medio
- estiloPM10Bajo
- estiloNO2Alto
- estiloNO2Medio
- estiloNO2Bajo
- estiloCOAlto
- estiloCOMedio
- estiloCOBajo

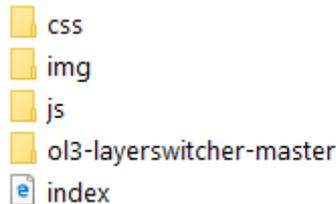
Para los mapas de calor:

- estiloHeatmapCO
- estiloHeatmapNO2
- estiloHeatmapPM10

Una vez creados los estilos si se quieren filtrar datos se llama desde el visor a través del servicio WMS a la capa que contiene todos los datos y al estilo correspondiente, como se verá en el apartado anterior, según se mostrará en el siguiente apartado.

4.6. Implementación del visor SIG Smart Green Tracks

En la carpeta webapps de tomcat creamos la carpeta SmartGreenTracks con las siguientes carpetas:



Donde desde el index se van llamando según la opción seleccionada por el usuario en el menú a la capa de valores de concentraciones junto con su estilo correspondiente, que es el que manipula esos datos para devolver al usuario lo que ha seleccionado. A continuación se muestra como se realizaría el menú y estas llamadas:

```
new ol.layer.Group({
  title: 'Contaminantes',
  layers: [
    new ol.layer.Tile({
      title: 'Concentracion Alta de NO2 - Dioxido de Nitrogeno',
      visible: false,
      source: new ol.source.TileWMS({
        url: 'http://localhost:8080/geoserver/wms',
        params: {'LAYERS': 'SmartGreenTracks:ValorContaminantes', 'STYLES': 'SmartGreenTracks:estiloNO2Alto'},
        serverType: 'geoserver'
      })
    }),
    new ol.layer.Tile({
      title: 'Concentracion Media de NO2 - Dioxido de Nitrogeno',
      visible: false,
      source: new ol.source.TileWMS({
        url: 'http://localhost:8080/geoserver/wms',
        params: {'LAYERS': 'SmartGreenTracks:ValorContaminantes', 'STYLES': 'SmartGreenTracks:estiloNO2Medio'},
        serverType: 'geoserver'
      })
    }),
    new ol.layer.Tile({
      title: 'Concentracion Baja de NO2 - Dioxido de Nitrogeno',
      visible: false,
      source: new ol.source.TileWMS({
        url: '',
        params: {'LAYERS': 'SmartGreenTracks:ValorContaminantes', 'STYLES': 'SmartGreenTracks:estiloNO2Bajo'},
        serverType: 'geoserver'
      })
    })
  ]
});
```

Se establece el directorio ol3 para crear el menú, css para la hoja de estilos del visor, img para almacenar alguna imagen que se muestre, js para almacenar los sprints necesarios.

Al pasar al entorno de producción o explotación donde sea accesible a través de la URL www.smartgreentracks.com en el fichero index.html se cambió la url por:

```
url: 'http://smartgreentracks.com/geoserver/wms'
```

5. Capítulo 5. Pruebas y resultados

Para probar que lo que hemos implementado funciona correctamente, en modo local, hay dos opciones basta con arrancar el servidor tomcat, donde tenemos contenida la aplicación y llamar a la aplicación en modo local escribiendo en el navegador <http://localhost:8080/SmartGreenTracks/>.

NOTA: En el fichero adjunto SmartGreenTracks.zip se encuentran los ficheros shapefile, los scripts para crear la base de datos, los estilos de Geoserver, y la aplicación, carpeta SmartGreenTracks, que hay que copiar en la ruta C:\apache-tomcat-9.0.0.M20\webapps para que lo pueda instalar otra persona y verificar que funciona correctamente en modo local.

Una vez comprobado que funciona correctamente en el entorno local se pasó a un **entorno de explotación**, es decir está en la web, y puede ser accedido por cualquier persona a través de la siguiente URL o dirección web:

<http://www.smartgreentracks.com>

En la Figura 28 se muestra lo que genera esta llamada.

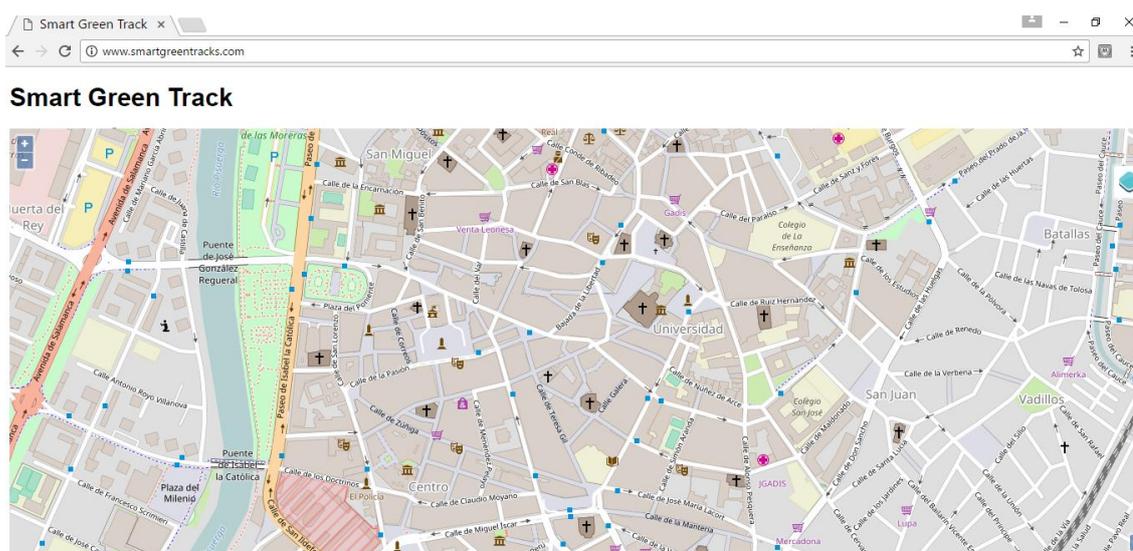


Figura 28. Acceso a visor web

A continuación, desplegamos el menú pulsando al botón de rombo azul situado en la parte derecha superior de la pantalla, lo cual se muestra en la Figura 29.

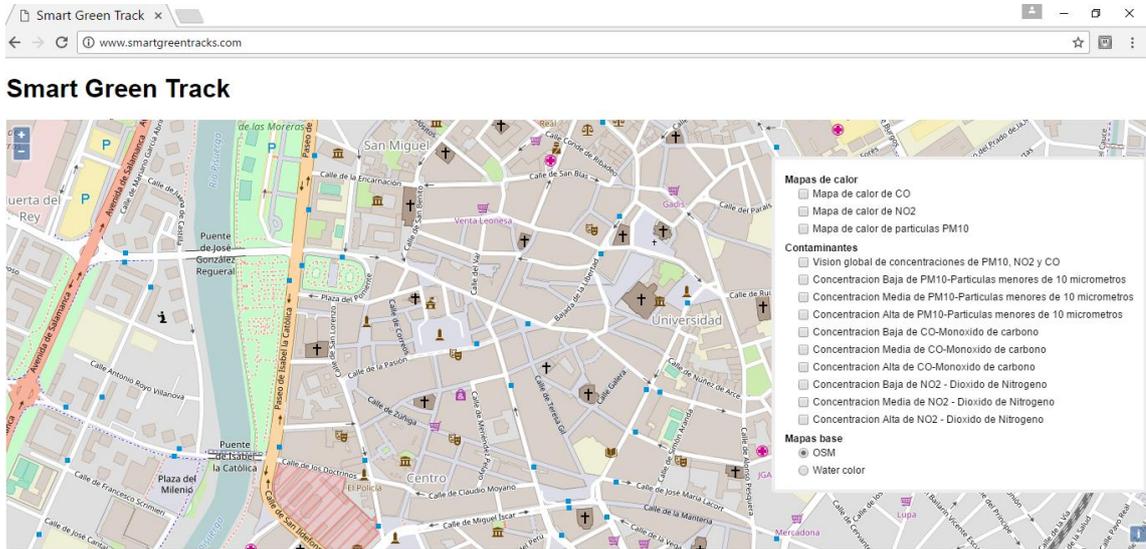


Figura 29. Despliegue de menú visor web

Seleccionamos la opción de “Contaminación alta de NO2” y obtenemos los puntos de la zona del centro de Valladolid donde existe una concentración de NO2 alta. El punto NO2 viene identificado por un círculo y si es alto estará en rojo. En la Figura 30 se muestra cuales son estos puntos.

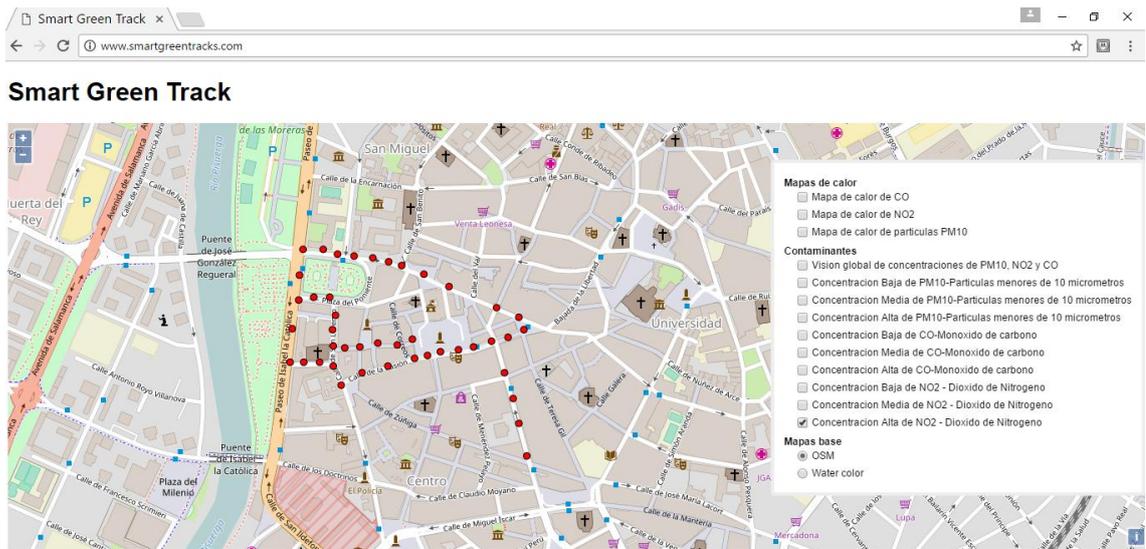


Figura 30. Muestra de concentración alta de NO2 en área centro de Valladolid

Seleccionamos la opción de “Contaminación media de NO2” y deberíamos obtener círculos amarillos situados en puntos del centro de Valladolid según muestra la Figura 31.

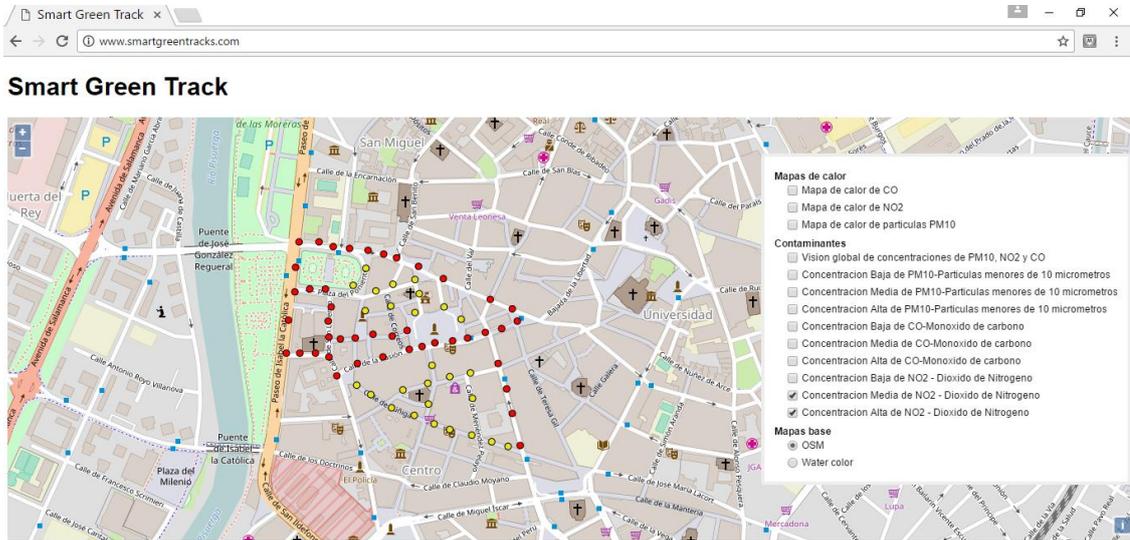


Figura 31. Muestra de concentración media de NO2 en área centro de Valladolid

A continuación, seleccionamos “Concentración Baja de NO2” y “Concentración Alta de CO” pero no aparecen puntos en el mapa, lo cual quiere decir que no existen tales concentraciones. A continuación, seleccionamos “Concentración Media de CO – Monóxido de carbono” y obtenemos triángulos amarillos añadidos a los puntos anteriores, tal y como muestra la Figura 32.

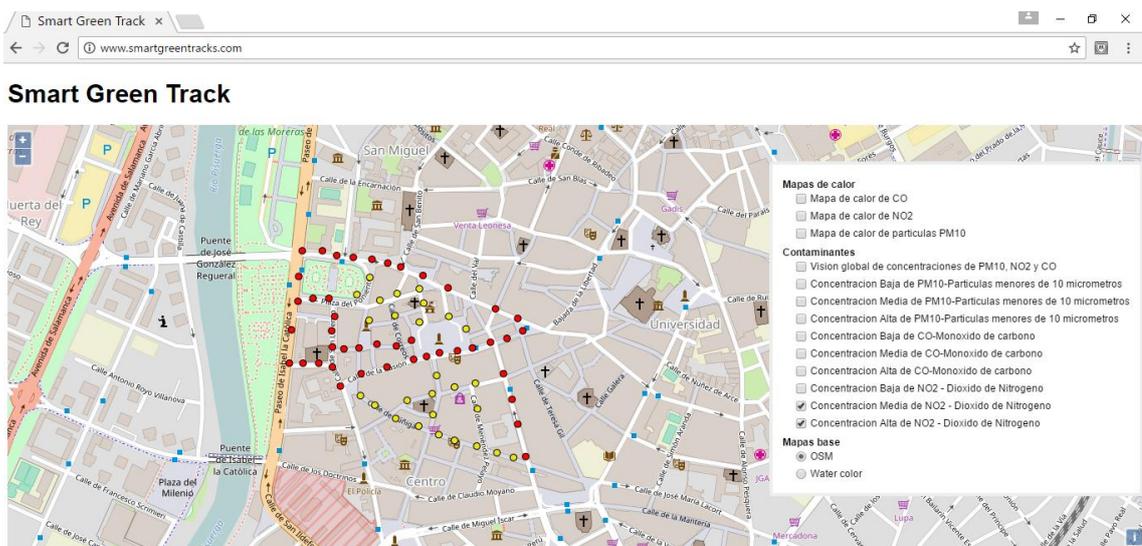


Figura 32. Muestra de concentración alta y media de CO en área centro de Valladolid

Seguidamente seleccionamos la opción “Concentración baja de CO” y obtenemos puntos identificados con triángulos verdes que indican este tipo de concentración, según muestra la Figura 33.

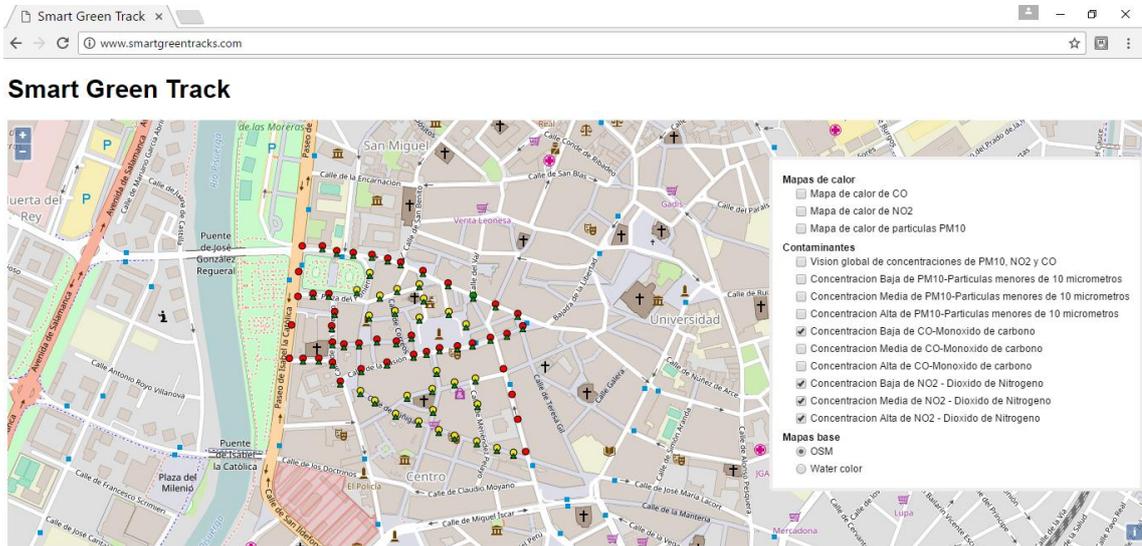


Figura 33. Muestra de concentración baja de CO en área centro de Valladolid

A continuación se seleccionan las opciones de “Concentración Alta de PM10” y “Concentración Media de PM10” y no se obtienen puntos adicionales, lo que indica que no existen concentraciones de este tipo. Finalmente, se selecciona la opción que queda “Concentración Baja de PM10” mostrándose cuadrados verdes, tal y como muestra la Figura 34.

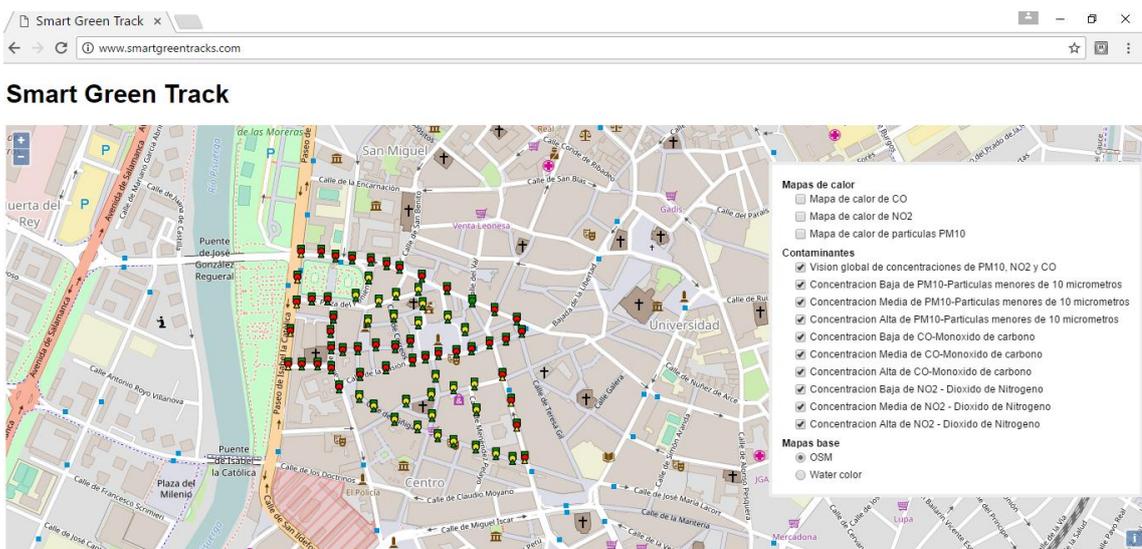


Figura 34. Muestra de concentraciones de NO2, CO, PM10 en área centro de Valladolid

Con la opción de zoom se puede acercar el mapa para visualizar mejor los tipos de concentraciones de contaminantes, según muestra la Figura 35.

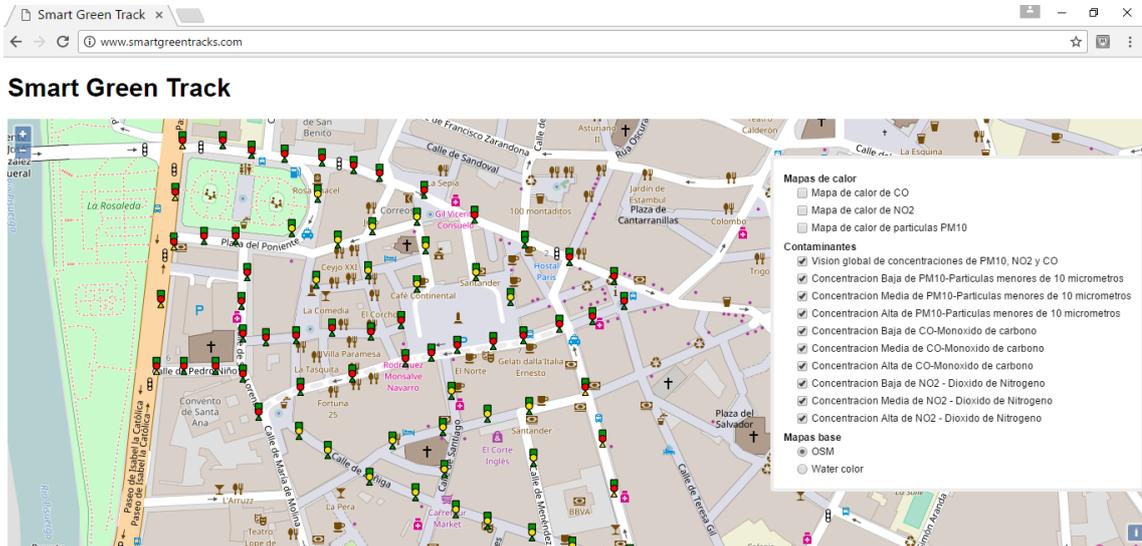


Figura 35. Muestra de concentraciones de gases contaminantes en área centro Valladolid ampliada

Las Figuras 36, 37 y 38 muestran los mapas de calor de CO, NO2 y PM10 respectivamente.

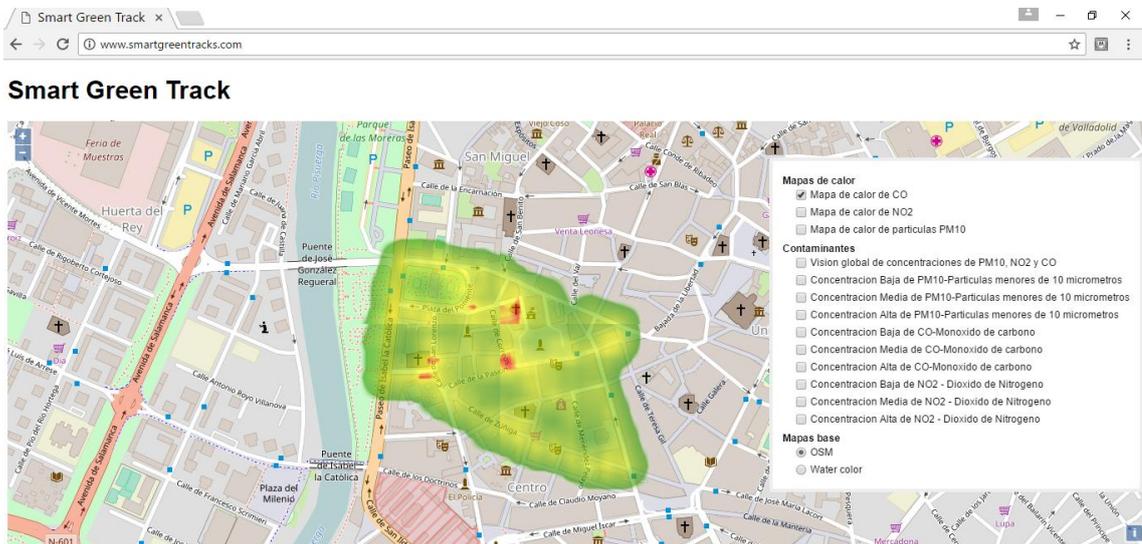


Figura 36. Muestra del mapa de calor de CO en área centro Valladolid

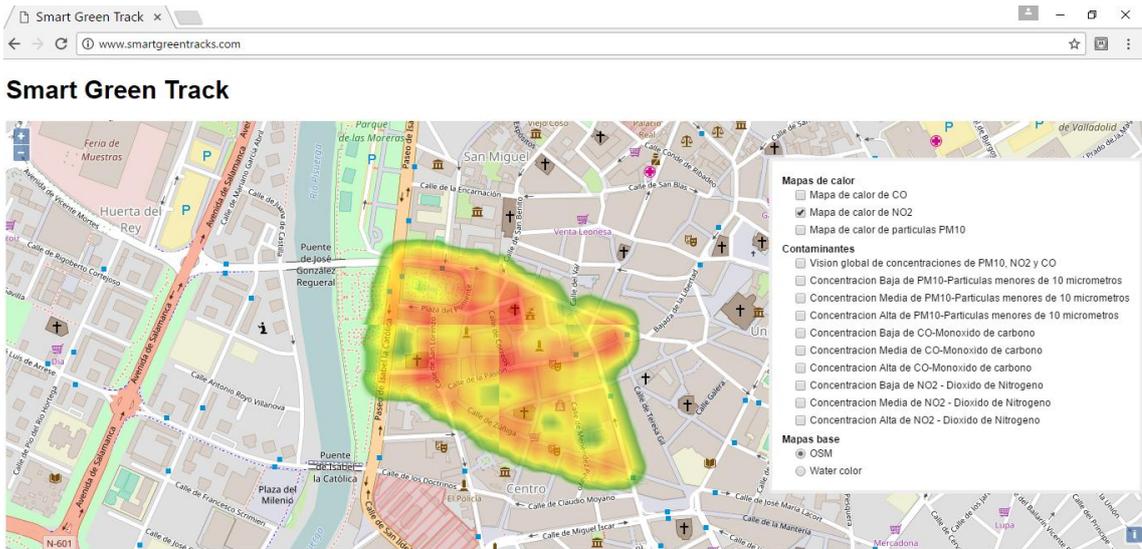


Figura 37. Muestra del mapa de calor de NO2 en área centro Valladolid

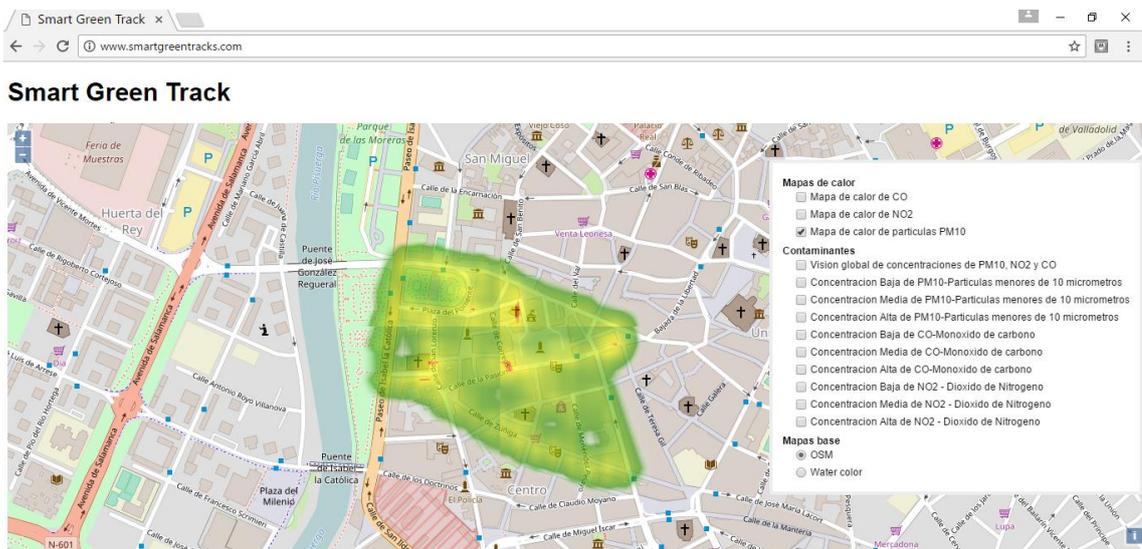


Figura 38. Muestra del mapa de calor de PM10 en área centro Valladolid

6. Capítulo 6. Conclusiones y mejoras futuras

El proyecto ha permitido analizar, diseñar e implementar un sistemas de información geográfica con la finalidad de proporcionar información al usuario sobre las concentraciones de contaminantes en cada punto del área de una ciudad, con el fin de que pueda elegir las zonas menos contaminadas y perjudiciales para la salud, objetivos estratégicos dentro de las estrategias de calidad del aire y bienestar de la Comisión Europea.

El tiempo limitado del proyecto ha permitido desarrollar un piloto del área centro de Valladolid, pudiéndose dividir el trabajo en un trabajo de campo, ya que se han utilizado sensores capaces de captar las concentraciones de PM10, NO2 y CO en 71 puntos y crear una base de datos con esas concentraciones asociadas a cada punto. Y por otro lado está el trabajo de trasladar esos datos medidos a un sistema visual mediante el cual el usuario a través de un mapa pueda conocer dicha información. Lo que ha permitido la iniciación en determinadas herramientas hasta el momento desconocidas, como son QGIs, Geoserver, Openlayers, Postgis.

El proceso de medición de gases fue bastante laborioso al tener que realizarlo de una forma bastante manual y varias veces, a diferentes horas del día, para asegurar de que el valor dado fuera lo más próximo a la realidad, lo cual llevó el consumo de bastante tiempo.

Como futura mejora habría que investigar más en este aspecto para ampliar el sistema y convertirlo en un proceso más sencillo automatizándolo, punto en el cual se seguirá trabajando en el futuro proyecto empresarial que se planteará como continuación de este piloto, con el objetivo de buscar formas para que los datos se actualicen en tiempo real, para lo cual sería necesario trabajar en el ámbito de IoT con sensores más portables que conservasen la precisión, este sería un nuevo campo de investigación.

Otras mejoras que se pretenden realizar es estudiar la usabilidad del producto y mejorar tanto la interfaz gráfica, así como incluir nuevas funcionalidades, que sean de valor para los potenciales usuarios, personas con problemas respiratorios, deportistas, sector público medio ambiental, etc, para lo cual se deberán de hacer

las respectivas entrevistas, para ver cuáles son sus necesidades y que funcionalidades adicionales se pueden ofrecer.

Como mejora final y global el conseguir un sistema que integre sensores para la obtención de datos en tiempo real es el objetivo final del proyecto empresarial, ya que también influyen los factores ambientales, como la lluvia y el viento que despeja la contaminación o el calor que la aumenta, los cuales se contemplarían en tiempo real y evitaría la necesidad de añadir un modelo predictivo según las condiciones meteorológicas. Este sistema puede tener un pronóstico muy bueno para muchos fines relacionados con medio ambiente y salud.

7. Glosario

- **SIG:** Sistema de información geográfica. Sistema informático, formado por hardware, software, datos, usuarios y un marco organizativo, que permite registrar, almacenar, gestionar, analizar, consultar, visualizar, presentar y difundir cualquier tipo de información geoespacial.
- **OGC:** Open Geospatial Consortium. Consorcio que agrupa 372 organizaciones públicas y privadas con el objetivo de definir estándares abiertos para permitir la interoperabilidad entre los sistemas de información geográfica y la world wide web.
- **WMS:** Web Map Service. Estándar definido por el OGC para la producción de mapas de datos georreferenciados. El resultado se construye de manera dinámica como una imagen, como una serie de elementos gráficos o como un conjunto empaquetado de elementos geográficos. Los formatos de salida suelen ser PNG, GIF o JPEG, pero también pueden ser gráficos vectoriales en formato SVG (Scalable Vector Graphic).
- **GeoServer:** servidor de código abierto escrito en Java - permite a los usuarios compartir, procesar y editar datos geoespaciales. Diseñado para la interoperabilidad, publica datos de cualquier fuente de datos espaciales utilizando estándares abiertos.
- **SLD:** Styled Layer Descriptor, esquema XML propuesto por OGC como lenguaje estándar para describir el conjunto de capas que dan apariencia a un mapa.
- **SRID:** Spatial Reference System Identifier, valor único que identifica un sistema de coordenadas.
- **Tile Map Service o TMS:** especificación para mapas web, desarrolladas por la Open Source Geospatial Foundation. La definición general, requiere una estructura URI que trata de cumplir con los principios REST.

- **PostgreSQL:** software libre que implementa un sistema de gestión de bases de datos relacional, distribuido bajo licencia BSD.
- **PostGIS:** módulo que añade soporte de objetos geográficos en la base de datos relacional PostgreSQL, convirtiéndola en una base de datos espacial para su utilización en Sistema de Información Geográfica. Se publica bajo la Licencia Pública General de GNU.

8. Bibliografía

1. Who.int/es. Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Organización Mundial de la Salud [actualizada en septiembre de 2016; acceso 12 de diciembre de 2016]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>.
2. 20minutos.es. Ejercicio y contaminación: como minimizar los riesgos. 20minutos.es [actualizada en julio de 2014; acceso 12 de diciembre de 2016]. Disponible en: <http://www.20minutos.es/noticia/2204705/0/ejercicio-fisico/contaminacion-riesgos/consejos/>.
3. Sig.mapama.es. Geoportal SIG MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente), apartado calidad del aire [acceso 13 de diciembre de 2016]. Disponible en: <http://sig.mapama.es/geoportal/>
4. Aemet.es. Modelización de la composición de la atmósfera. Modelo predictivo de la calidad del aire MOCAGE. Aemet.es [acceso 13 de diciembre de 2016]. Disponible en: http://www.aemet.es/es/idi/medio_ambiente/modelizacion_atmosfera
5. Josse B, Simon P, Peuch V.H. Radon global simulations with the multiscale chemistry and transport model MOCAGE. Wiley. 2004. [acceso 13 de diciembre de 2016]. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0889.2004.00112.x/abstract>
6. Tratz-Ryan B, Fitzpatrick P. Predicts 2016: The Internet of Things as an Enabler for Energy Efficiency and Sustainable Business Acumen. Gartner. 2016. [acceso 20 de diciembre de 2016]. Disponible en: <https://www.gartner.com/document/3259423?ref=solrAll&refval=178939560&qid=977e75e7c1ce57687d52338d235079f0>
7. Nakano. N; Tratz-Ryan. B; Freeman, D. Predicts 2017: Smart Cities Must Create the Right Data Orchestration for Sustainable Citizen and Business Services. Gartner. 2016. [acceso 8 de enero de 2017]. Disponible en: <https://www.gartner.com/document/3534834?ref=solrAll&refval=178938662&qid=12f11821920e1bb00262a02640f1b1b2>
8. Wikipedia.org. Contaminación atmosférica. Wikipedia.org [actualizada en diciembre de 2016; acceso 9 de enero de 2017]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica
9. Wikipedia.org. Sistema de Información Geográfica (SIG). Wikipedia.org [actualizada en diciembre de 2016; acceso 9 de enero de 2017]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica

10. Wikipedia.org. Modelo Vista Controlador. Wikipedia.org [actualizada en diciembre de 2016; acceso 9 de marzo de 2017]. Disponible en:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo%20%80%93vista%20%80%93controlador>
11. Tecnologías SIG [actualizada en diciembre de 2016; acceso 9 de marzo de 2017]:
<http://jcgil.es/soluciones-geoespaciales/>
12. AirQualityEgg [actualizada en diciembre de 2016; acceso 9 de marzo de 2017]:
<http://airqualityegg.com/>
13. Bases de datos SIG libres [actualizada en diciembre de 2016; acceso 9 de marzo de 2017]: <http://panorama-sig-libre.readthedocs.io/es/latest/bbdd/>
14. Servidores de mapas libres [actualizada en diciembre de 2016; acceso 9 de marzo de 2017]: <http://panorama-sig-libre.readthedocs.io/es/latest/servidores/>
15. MapServer versus GeoServer:
<http://www.juntadeandalucia.es/servicios/madeja/contenido/recurso/5-0>
16. Servidores web para SIG: <https://es.slideshare.net/DavidTabereroPrez/ix-jornadas-sig-libre-girona-2015>
17. JBoss vs Tomcat: <https://www.futurehosting.com/blog/jboss-vs-tomcat-choosing-a-java-application-server/>
18. Web mapping: <http://panorama-sig-libre.readthedocs.io/es/latest/webmapping/index.html>
19. Arquitectura de software: https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_de_software
20. URL: https://es.wikipedia.org/wiki/Localizador_de_recursos_uniforme
21. Http: https://es.wikipedia.org/wiki/Hypertext_Transfer_Protocol
22. WMS (Web Map Service): https://es.wikipedia.org/wiki/Web_Map_Service
23. TCP/IP: <http://protocolotcpip.galeon.com/>
24. Sistema de referencia espacial: https://en.wikipedia.org/wiki/Spatial_reference_system
25. PostGis y WS84:
<https://gis.stackexchange.com/questions/3334/what-is-the-difference-between-wgs84-and-epsg4326>
26. WS84: <https://es.wikipedia.org/wiki/WGS84>
27. SRS: https://en.wikipedia.org/wiki/Spatial_reference_system
28. Herramientas SIG de escritorio: <http://panorama-sig-libre.readthedocs.io/es/latest/clientes/index.html>
29. Shapefiles: <https://es.wikipedia.org/wiki/Shapefile>
30. Proyecto AirQualityMonitor: <https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data/interactive-map-air-quality-monitors>
31. Proyecto airquality en Montreal: <http://traq-research.mcgill.ca/cycleapp/montreal/index.html>

32. Iniciativas ciudades limpias:

<https://www.eea.europa.eu/themes/air/activities/the-air-implementation-pilot-project>

<http://traq-research.mcgill.ca/cycleapp/montreal/index.html>

34. Reto 5 Acción por el clima H2020:

<http://eshorizonte2020.cdti.es/index.asp?MP=87&MS=718&MN=2>

35. Catálogo de medidas de la calidad del aire en ciudades de EU:

<http://fairmode.jrc.ec.europa.eu/measure-catalogue/>

36. Geopackage: <http://www.geopackage.org/>