



TELECOMUNICACIÓN

Campus Sur
POLITÉCNICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

PROYECTO FIN DE GRADO

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN
EN REDES WIFI

AUTOR: LUIS VALERO ALCÓN CARPINTERO

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA

DIRECTOR: GONZALO MARTÍN ERRO

TUTOR: CARLOS RAMOS NESPEREIRA

DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE TELEMÁTICA Y ELECTRÓNICA

VºBº

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE: CÉSAR BENAVENTE PECES

TUTOR: CARLOS RAMOS NESPEREIRA

SECRETARIO: FRANCISCO JAVIER ESTAIRES ESTAIRES

Fecha de lectura:

Calificación:

El Secretario,

AGRADECIMIENTOS

Han sido unos largos años de desarrollo personal, académico y profesional. Ha habido muchos momentos duros, y otros no tanto, pero lo cierto es que de todos se aprende. Es por ello que quiero dar las gracias a todas esas personas que me han acompañado a lo largo de este camino.

En primer lugar, quería dar las gracias a mis padres, Jose Luis y Pilar, que han estado ahí para apoyarme cuando más lo he necesitado, de una forma u otra. Sin ellos, no hubiera sido posible llegar a este momento, apostando por mi educación tanto personal como académica. Gracias a ellos, en gran parte soy la persona en la que me he convertido.

En segundo lugar, a mi hermanita Carla, que me alegra y emociona cada vez que la visito, que no es tanto como me gustaría, y aun así siempre me demuestra su amor incondicional.

En tercer lugar, quería agradecer a todos aquellos que una vez fueron compañeros, pero que más tarde se convirtieron en amigos, y después, casi en familia. Hablo de Alberto Escalonilla, Manuel Muñoz y Luis Alberto Socorro, que me han ayudado a mantener la calma y a aguantar mis problemas, aunque también mis alegrías.

Muchísimas gracias también a mis compañeros y amigos de esta Escuela, con los que espero seguir teniendo la misma relación que hasta ahora: Eduardo Ramírez, Álvaro Baños, Daniel Escribano, Sergio Arevalillo, Sergio Ibáñez, Héctor, Elisa, Óscar, Luis Manuel, Carlos, Luis, y un largo etcétera.

También, merece especial mención Daniel González, que ha sido y es un gran amigo, que me ha ayudado moralmente a lo largo de los años, comprendiendo y empujándome a nunca abandonar por muy difíciles que fueran los obstáculos. Además, a Ana Plana por confiar siempre en mí aunque las circunstancias fueran adversas.

Por otra parte, y no menos importante, muchas gracias por todo el apoyo recibido a mis amigos de viajes y escapadas: Cristina, Ana, Rubén y Beatriz. Sé que me dejo a mucha gente, y espero que me perdonen, pero espero que sepan que gracias a todos ellos, en mayor o menor medida han influido en mi forma de ser.

Por último, dar las gracias a la empresa N2S, por darme la oportunidad de colaborar con ellos en este proyecto, y en el que han puesto grandes esperanzas de futuro.

RESUMEN

En el presente proyecto, titulado *Diseño e implementación de sistemas de localización en redes Wi-Fi*, se busca ofrecer información estadística a clientes del sector *retail* sobre sus emplazamientos, para ayudar a la mejora de sus ventas y campañas de marketing. Por lo tanto, la solución consiste en la provisión de una herramienta web que integre servicios de localización en interiores a través de la tecnología Wi-Fi. De esta manera, las compañías podrán sacar mayor partido a los locales comerciales que administren, obteniendo información acerca de los visitantes que pasan por su comercio a lo largo del día, sabiendo cuáles son las horas de mayor afluencia, cuánto tiempo permanecen de media en su establecimiento, y más.

La solución consiste en construir una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) que adapte los servicios ofrecidos por varios fabricantes de dispositivos Wi-Fi y, a través de las tecnologías basadas en web, ofrecer una implementación concreta de la misma, de forma que permita al cliente final obtener datos de interés sobre su comercio.

Aunque el diseño del sistema se lleva a cabo de forma satisfactoria, existen diferentes condicionantes tecnológicos, económicos y legales. En cuanto a los condicionantes tecnológicos, no es objeto de este proyecto la implementación de una base de datos específica debido al gran volumen de datos que supondría su almacenamiento. Como condicionantes económicos, se considera que no es posible implementar de manera inmediata todos los fabricantes estudiados, ya que cada uno de ellos cuenta con una licencia de uso del servicio y, por lo tanto, se contaría con un presupuesto de alto coste. Por último, como condicionantes legales, es necesario preservar la confidencialidad de los datos del usuario que visita el comercio en cuestión.

La tecnología usada para el desarrollo de la solución está basada en la utilización de dos *frameworks* o infraestructuras de software, de manera que uno se encargue de la parte más interna, mientras que el otro manejará la presentación de la información al cliente. Para todo el desarrollo, se sigue la metodología ágil *Scrum*, de forma que se implementan pequeñas funcionalidades en cada iteración; así, si hubiera cambios en las especificaciones, serían fácilmente desarrolladas en las siguientes iteraciones.

En cuanto a los resultados de la solución propuesta, se puede destacar que el diseño es totalmente compatible con los servicios de localización que se consideraron en el estudio, permitiendo la escalabilidad del sistema si se añaden otros nuevos. Adicionalmente, se muestran diferentes capturas de la aplicación cliente y se interpretan distintos resultados en base a los mismos.

Por último, estos resultados llevan a ciertas conclusiones, como la validez de la información obtenida en el módulo de estadísticas, y la necesidad de mejora en cuanto a la representación de mapas de calor de los emplazamientos.

ABSTRACT

In this project, titled *Design and implementation of Wi-Fi location systems*, it is sought to provide statistical information to retail customers on their places of business, to help improve their sales and marketing campaigns. To this end, our proposed solution consists on the provision of a web tool that integrates indoor location services of through the Wi-Fi technology. In this way, companies will be able to take advantage of the commercial premises they manage to obtain information about the visitors that come by their businesses throughout the day, knowing, amongst others, which are the hours of greatest influx and how long people spend in their establishments.

The solution consists on building an API (Application Programming Interface) that adapts the services offered by various vendors of Wi-Fi devices and, through web-based technologies, offers a concrete implementation of such API, in a way that allows the final customers to obtain remarkable data on their businesses.

Although the design of the system is carried out satisfactorily, there are different technological, economic and legal constraints. In relation to the technological constraints, the scope of this project does not include the implementation of a specific database due to the large volume of data that would imply its storage. As economic factors, it is considered that it is not possible to immediately implement all the manufacturers studied, since each of them has a license to use the service and, therefore, a high budget would be required. Lastly, regarding the legal aspects, it is necessary to preserve data confidentiality of the users that visit the establishments.

The technology used for the development of the solution is based on the use of two software frameworks, in a way that one manages the interior side of the application, while the other handles the presentation of the information to the client. For all of the development, the agile Scrum methodology is followed, so that small functionalities are implemented in each iteration. Thus, if there were changes in the specifications, they would be easily developed in the following iterations.

As for the results of the proposed solution, it is noteworthy that the design is completely compatible with the location services that were considered in the study, allowing the scalability of the system if new services are added. In addition, different captures of the client application are shown and different results are interpreted based on them.

Finally, these results lead to certain conclusions, such as the validity of the information obtained in the statistics module and the need for improvement in the representation of heat maps of the places of business.

Índice

AGRADECIMIENTOS.....	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	5
LISTA DE ACRÓNIMOS	13
1 INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.2 ESTRUCTURA.....	16
2 ANTECEDENTES Y MARCO TECNOLÓGICO.....	19
2.1 SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN	19
2.1.1 <i>Sistema de Posicionamiento Global</i>	19
2.1.2 <i>Localización mediante redes móviles</i>	20
2.1.3 <i>WiMAX</i>	20
2.1.4 <i>RFID</i>	20
2.1.5 <i>Bluetooth</i>	21
2.1.6 <i>ZigBee</i>	21
2.1.7 <i>Wi-Fi</i>	22
2.2 TÉCNICAS DE LOCALIZACIÓN BASADAS EN WI-FI	23
2.2.1 <i>Tiempo de llegada – ToA</i>	23
2.2.2 <i>Tiempo de llegada diferencial – TdoA</i>	24
2.2.3 <i>Ángulo de llegada – AoA</i>	25
2.2.4 <i>Fuerza de señal recibida – RSS</i>	26
2.3 PROCESO DE ASOCIACIÓN.....	26
2.4 ANÁLISIS A NIVEL MAC.....	28
2.4.1 <i>Cabecera</i>	28
2.4.2 <i>Cuerpo</i>	31
2.4.3 <i>FCS</i>	33
2.5 SOFTWARE	34
2.5.1 <i>API</i>	34
2.5.2 <i>Petición HTTP</i>	34
2.5.3 <i>Respuesta HTTP</i>	35
2.5.4 <i>APIs de fabricantes Wi-Fi</i>	35
3 ESPECIFICACIONES Y RESTRICCIONES DE DISEÑO.....	43
3.1 ESPECIFICACIONES DEL SERVICIO	43
3.2 RESTRICCIONES ECONÓMICAS	44
3.3 RESTRICCIONES LEGALES	44
3.4 RESTRICCIONES TECNOLÓGICAS	44
3.5 DIAGRAMAS	45
3.5.1 <i>Diagrama de casos de uso</i>	45
3.5.2 <i>Diagrama de componentes</i>	46
3.5.3 <i>Diagrama de secuencia</i>	47
4 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.....	49
4.1 INTRODUCCIÓN	49
4.2 DISEÑO	49
4.2.1 <i>Infraestructura de red</i>	50

4.2.2	<i>Arquitectura software</i>	54
4.3	IMPLEMENTACIÓN.....	59
4.3.1	<i>Entorno de desarrollo</i>	59
4.3.2	<i>Configuración del servicio Ruckus SPoT</i>	59
4.3.3	<i>Calibración del mapa radio de SPoT</i>	66
4.3.4	<i>Infraestructura software y funcionamiento de la aplicación</i>	69
5	RESULTADOS	75
5.1	PRUEBAS REALIZADAS	75
5.2	RESULTADOS DE LA SOLUCIÓN	78
6	PLANOS	87
6.1	PLANTA BAJA.....	87
6.2	PRIMERA PLANTA	88
7	PRESUPUESTO	89
8	CONCLUSIONES	91
9	REFERENCIAS	93
10	ANEXOS	1
10.1	MANUAL DE USUARIO.....	1
10.1.1	<i>Instalación del servidor local</i>	1
10.1.2	<i>Instalación de Symfony</i>	2
10.1.3	<i>Configuración del servidor web</i>	4
10.2	REFERENCIAS DEL ANEXO.....	8

Índice de figuras

Figura 1. Sistema GPS [3]	19
Figura 2. Etiqueta RFID [5].....	21
Figura 3. Técnica de localización ToA [10]	24
Figura 4. Medición del tiempo de retardo en TDoA [11].....	24
Figura 5. Técnica de localización TDoA [10]	25
Figura 6. Técnica de localización AoA [10].....	25
Figura 7. Proceso de asociación [12].....	27
Figura 8. Estructura de la trama MAC [13].....	28
Figura 9. Campos del control de trama MAC [13].....	29
Figura 10. Elementos del servicio Ruckus SPoT [18].....	36
Figura 11. Elementos del servicio Cisco MSE [20]	38
Figura 12. Funcionamiento del modo subscripción de Cisco Meraki CMX [21]	40
Figura 13. Elementos del servicio Aruba ALE [22].....	40
Figura 14. Diagrama de casos de uso del sistema	45
Figura 15. Diagrama de componentes del sistema	46
Figura 16. Diagrama de secuencia del sistema.....	47
Figura 17. Infraestructura de N2S [38].....	50
Figura 18. Infraestructura del emplazamiento	51
Figura 19. Fachada del Centro Comercial Vialia [24].....	52
Figura 20. Situación del emplazamiento (Málaga) [38]	52
Figura 21. Arquitectura software general del sistema	54
Figura 22. Diseño de la implementación con SPoT	55
Figura 23. Respuesta JSON si existe fabricante con servicio de presencia.....	57
Figura 24. Respuesta JSON con información de visitantes.....	57
Figura 25. Respuesta JSON con información sobre los tipos de visitantes.....	57
Figura 26. Respuesta JSON con información de tiempo de permanencia.....	58
Figura 27. Respuesta JSON con información de tipos tiempo de permanencia.....	58
Figura 28. Respuesta JSON si existe fabricante con servicio de mapa de calor	58
Figura 29. Respuesta JSON con información sobre el emplazamiento.....	58
Figura 30. Respuesta JSON con información de localización de los visitantes	59
Figura 31. Página de acceso de la plataforma SPoT [25].....	60
Figura 32. Información de configuración para el Centro Comercial Vialia en la plataforma SPoT [25].....	60
Figura 33. Configuración LBS en Ruckus vSZ [39]	61

Figura 34. Estado de conexión de los APs en la plataforma SPoT [25]	62
Figura 35. Estado de conexión de los APs en Ruckus vSZ [39]	62
Figura 36. Configuración del mapa radio en la plataforma SPoT [25]	63
Figura 37. Selección del área de cobertura de la planta baja [25]	63
Figura 38. Situación de los puntos de acceso en la planta baja [25]	64
Figura 39. Introducción de la distancia de referencia en milímetros [25]	64
Figura 40. Situación de los puntos de calibración en la planta baja [25]	65
Figura 41. Selección de zonas en la planta baja [25].....	65
Figura 42. Selección del mapa radio en la aplicación de calibración móvil [26].....	67
Figura 43. Selección de la planta en la aplicación de calibración móvil [26]	67
Figura 44. Estado de los puntos de calibración en la planta baja [26].....	68
Figura 45. Estado de los puntos de calibración en la primera planta [26].....	68
Figura 46. Estructura de ficheros del bundle de geolocalización	70
Figura 47. Estructura de la parte del controlador en la plataforma N2S	72
Figura 48. Estructura de las plantillas gráficas en la plataforma N2S.....	73
Figura 49. Estructura del controlador de AngularJS en la plataforma N2S	74
Figura 50. Estructura de ficheros de pruebas en el bundle de geolocalización	76
Figura 51. Resultado de las pruebas realizadas en la parte de mapas de calor.....	76
Figura 52. Resultados de las pruebas realizadas en la parte de presencia	77
Figura 53. Acceso al depurador de Google Chrome.....	77
Figura 54. Estado de las peticiones HTTP de la parte Informes de presencia.....	78
Figura 55. Estado de las peticiones HTTP de la parte mapas de calor	78
Figura 56. Presentación de resultados al cliente sobre visitantes en el mes	79
Figura 57. Presentación de resultados al cliente sobre visitantes en un día concreto.....	80
Figura 58. Presentación de resultados al cliente sobre tiempos de permanencia de visitantes en el mes.....	80
Figura 59. Presentación de resultados al seleccionar la opción mapa de calor	82
Figura 60. Presentación del mapa de calor de la planta baja	83
Figura 61. Vista del mapa de calor de la planta baja en la plataforma SPoT [25]	84
Figura 62. Presentación del mapa de calor de la planta primera	85
Figura 63. Vista del mapa de calor de la planta primera en la plataforma SPoT [25].....	85
Figura 64. Plano de la planta baja del Centro Comercial Vialia	87
Figura 65. Plano de la primera planta del Centro Comercial Vialia.....	88

Índice de tablas

Tabla 1. Características de las familias 802.11	22
Tabla 2. Descripción de subtipos de tipo gestión	29
Tabla 3. Campos más representativos de la petición de sondeo.....	31
Tabla 4. Campos más representativos de la respuesta de sondeo.....	32
Tabla 5. Métodos de la API REST del servicio SPoT.....	36
Tabla 6. Principales métodos de la API REST de Cisco MSE.....	38
Tabla 7. Métodos de localización en la API REST de Aruba ALE.....	41
Tabla 8. Métodos de localización de la API REST de Huawei	41
Tabla 9. Direccionamiento de red de la planta baja del Centro Comercial Vialia	53
Tabla 10. Direccionamiento de red de la primera planta del Centro Comercial Vialia	53
Tabla 11. Métodos de la API diseñada en el proyecto	55
Tabla 12. Presupuesto general del proyecto	89

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACL – Access Control List

ALE – Aruba Location Engine

AoA – Angle of Arraival

AP – Access Point

API – Application Programming Interface

BSSID – Basic Service Set Identifier

CMX – Connected Mobile Experiences

CSS – Cascading Style Sheets

HTML – HyperText Markup Language

HTTP – HyperText Transfer Protocol

IP – Internet Protocol

JSON – JavaScript Objet Notation

LBS – Location Based Services

MAC – Media Access Control

MSDU – MAC Service Data Unit

MSE – Mobility Services Engine

N2S – New Network Solutions

NOC – Network Operation Center

PHP – PHP Hypertext Preprocessor

RADIUS – Remote Authentication Dial-In User Service

REST – Representational State Transfer

RSSI – Received Signal Strength Indication

SPoT – Smart Positioning Technology

SSID – Service Set Identifier

TDoA – Time Difference of Arrival

ToA – Time of Arrival

URI - Uniform Resource Identifier

URL – Uniform Resource Locator

VLAN – Virtual Local Area Network

vSZ – Virtual Smart Zone

Wi-Fi – Wireless Fidelity

WLAN – Wireless Local Area Network

XML – eXtensible Markup Language

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los servicios basados en la localización en interiores se encuentran cada vez más presentes tanto a nivel de usuario como a nivel corporativo. El desarrollo de sistemas y aplicaciones basados en la localización puede resultar en mejoras de otros servicios existentes, tales como la seguridad, a través del seguimiento de un posible delincuente; servicios de emergencias, avisando sobre la posición de una persona de edad avanzada con problemas de movilidad en caso de caída; estadísticas, sobre datos de visitas en establecimientos; navegación en interiores para encontrar distintos recursos; y publicidad, mediante el envío de promociones al usuario, entre otras.

Aunque existen variados sistemas y técnicas de localización en interiores, la tecnología Wi-Fi cuenta actualmente con un mayor impacto en este sector. Esto se debe a que las redes que utilizan esta tecnología se han ido extendiendo cada vez más a lo largo de los últimos años, de manera que se encuentra presente en multitud de localizaciones tanto privadas, como públicas. Pueden ofrecer una calidad de conexión muy similar a la que se consigue a través de las redes cableadas; servicios a nivel corporativo, como la implementación de políticas BOYD (*Bring Your Own Device*), o servicios a nivel público, como la conexión a Internet en hoteles, establecimientos comerciales y de ocio, aeropuertos, hospitales y viviendas particulares entre otros.

Según un estudio realizado por Gartner [1], entre 2015 y 2016, los clientes que despliegan soluciones en la capa de acceso a la red han requerido nuevas funcionalidades de servicio a los fabricantes, como localización en interiores, analíticas y gestión de servicios. También se afirma que los precios de los componentes para funcionalidades básicas en puntos de acceso y *switches* bajaron en los últimos 12 meses, por lo que los fabricantes se han visto en la necesidad de añadir nuevas funcionalidades para evitar una caída mayor en las ventas.

De manera más orientada al presente proyecto, muchas compañías del sector del *retail* o comercio minorista, están muy interesadas en obtener ciertos datos que les sirvan para conseguir una mayor cantidad de beneficios, si conocen cómo se comportan sus clientes en lugares como centros comerciales.

Algunos fabricantes Wi-Fi se dieron cuenta de que estas necesidades debían ser satisfechas, y por lo tanto, empezaron a implementar nuevos algoritmos en cuanto a la localización, y a utilizar la computación en la nube para proporcionar ciertos servicios adicionales, tales como conocer cuánta gente se encuentra en un lugar, obtener los picos máximos de afluencia de usuarios, el tiempo medio de permanencia en el lugar, cuántos usuarios son recurrentes, etc.

Según el mismo estudio realizado por Gartner, se representa un cuadrado mágico, dividido en 4 sectores. Dentro del sector de líderes se encuentran los fabricantes Cisco y Aruba, mientras que en el de visionarios se encuentran Huawei y Ruckus Wireless. Los líderes cuentan con la mejor capacidad de ejecución y cumplimiento de especificaciones de los clientes, además de la capacidad para dar forma al mercado y proveer al mismo de aplicaciones diferenciadoras. Por

otra parte, los visionarios son aquellos que demuestran una habilidad para incrementar funcionalidades en un intento de proveer una única y diferenciada aproximación al mercado. El estudio de los servicios de localización que se realiza en este proyecto cuenta con los dos líderes de este cuadro, además de una pareja de fabricantes visionarios que se acercan lo suficiente a las compañías líderes anteriormente mencionadas.

Adicionalmente, la tecnología Wi-Fi es una de las grandes fuentes de información para los sistemas basados en *BigData*, por lo que los datos procedentes de los servicios relativos a la localización de los dispositivos móviles son de vital importancia en dichos sistemas. Por ejemplo, el potencial para trazar el perfil de un usuario en función de la procedencia, edad, o sexo, dando como resultado el conocimiento de cuánto tiempo pasa desde que recibe un anuncio en su teléfono móvil, hasta que realiza una compra de un artículo relacionado, tanto a nivel de comercio electrónico, como si visita un centro comercial físicamente para hacerlo.

Finalmente, cabe destacar que para el desarrollo de este sistema, se cuenta con la colaboración de la empresa N2S (*New Network Solutions*), la cual se dedica al desarrollo de soluciones en la nube para la gestión de redes Wi-Fi en hoteles y centros comerciales.

1.1 Objetivos

Este proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de un sistema de localización basado en la tecnología Wi-Fi, de forma que se busca servir de referencia para el sector *retail* a la hora de mejorar sus campañas de marketing, proporcionando una herramienta web a través de la cual las empresas del sector puedan obtener los datos deseados.

De tal manera que a través de la integración de los servicios de localización en interiores ofrecidos por determinados fabricantes de dispositivos Wi-Fi, las compañías cuenten con la oportunidad de mejorar sus ventas a través de información estadística sobre las localizaciones del emplazamiento que visitan los clientes.

1.2 Estructura

El presente documento se estructura en 8 capítulos, como se señala a continuación:

- En el Capítulo 1 se describe una introducción general referida a este proyecto, además de justificarse su necesidad y definirse los objetivos del mismo.
- En el Capítulo 2 se proporciona una visión general del estado de los sistemas de localización en interiores, siguiendo con las técnicas de localización basadas en Wi-Fi, y el análisis del proceso a nivel físico. Se finaliza con el estudio de APIs de distintos fabricantes Wi-Fi que sentarán las bases del diseño del sistema de este proyecto.
- En el capítulo 3 se presentan las especificaciones y restricciones de diseño generales, económicas, legales y tecnológicas. Por último, se muestran diagramas de varios tipos en cuanto al diseño: de casos de uso, componentes y secuencia.
- En el capítulo 4 se describe el diseño e implementación de la solución objetivo del proyecto. En un primer lugar, se proporciona una introducción justificando las decisiones

de diseño. En segundo lugar, se sigue con la parte de diseño, tanto de infraestructura de red, como la arquitectura de software del sistema. Se finaliza el capítulo entrando en el desarrollo de la implementación en el que se integran los servicios proporcionados por el fabricante Ruckus Wireless para una instalación Wi-Fi concreta.

- En el Capítulo 5 se presentan las pruebas realizadas en base al sistema desarrollado, y después se muestran los resultados de la solución a nivel de usuario final. Por último, se realiza una interpretación de la información obtenida junto con la justificación acerca de su validez.
- En el Capítulo 6 se presentan los planos de las plantas del emplazamiento para el que se realiza la implementación de la solución.
- En el Capítulo 7 se visualiza el presupuesto general con los costes relativos al proyecto realizado.
- En el Capítulo 8 se describen las conclusiones, líneas futuras de trabajo, y la influencia de la solución en aspectos sociológicos, tecnológicos y económicos.
- Al final del documento se indican las referencias que sirven como base al proyecto, además de un manual de usuario como anexo para la instalación del entorno.

2 ANTECEDENTES Y MARCO TECNOLÓGICO

A lo largo de los años, se han ido produciendo avances en cuanto a los sistemas y técnicas de localización, debido en gran medida a la reducción de los costes de fabricación de dichos sistemas. En este capítulo se realiza una clasificación y descripción de aquellos sistemas que tienen como objetivo localizar dispositivos en movimiento, y se hace mayor hincapié en su validez para la localización en interiores. Seguidamente, se analiza en detalle la solución elegida.

2.1 Sistemas de Localización

2.1.1 Sistema de Posicionamiento Global

El **GPS** o *Global Positioning System*, permite determinar la posición de un objeto con una precisión de decenas de metros [2]. Desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, este sistema está formado por una constelación de 24 satélites que orbitan alrededor de la Tierra en seis órbitas polares distintas, a una distancia de 20.000 kilómetros. Un receptor de las señales GPS utiliza al menos 4 satélites para localizarse en la superficie del planeta, obteniendo de cada satélite la posición y el tiempo de cada muestra que ha recibido (aunque retardada debido a la distancia existente entre ambos). Así, con estos datos, el receptor triangula su latitud, longitud y altitud, como se visualiza en la figura 1.



Figura 1. Sistema GPS [3]

Existen otros sistemas similares al GPS, como **GLONASS** (desarrollado por la Unión Soviética), **Galileo** (desarrollado por la Unión Europea junto con la Agencia Espacial Europea), y **Beidou** (por la República Popular de China). Éste se diferencia con respecto a los anteriores en que utiliza la órbita geoestacionaria (35.786 kilómetros de distancia de la superficie terrestre), por ello, solamente alcanza regiones como China y alrededores.

Sin embargo, aunque el sistema GPS sea capaz de localizar cualquier receptor en cualquier parte de la superficie de la Tierra, necesita de una línea de vista directa (LoS) entre el satélite y sí mismo. Por lo tanto, cuando se trata de localización en interiores, como edificios o túneles, este sistema no es fiable cuando se trata de localizaciones pequeñas, ya que, además de no conseguir una buena recepción de la señal, su precisión sigue siendo de decenas de metros (aunque pueda mejorarse si el receptor encuentra más de 4 satélites).

2.1.2 Localización mediante redes móviles

Los operadores de telefonía móvil hacen uso de servicios de localización geográfica, ya que para poder encaminar una llamada entrante hacia un dispositivo móvil, necesitan conocer la posición del mismo al no encontrarse conectados por cable, como ocurre en la RTB (Red Telefónica Básica) o RTC (Red Telefónica Conmutada) [4].

Por lo tanto, este servicio se basa en detectar a qué celdas de las estaciones base se encuentra conectado el móvil en dicho momento, realizando diferentes tipos de mediciones sobre la interfaz radio, como los retardos, ángulos de llegada de la señal y procesos de triangulación basados en la cobertura de dichas celdas.

Las localizaciones en las que se encuentra el terminal móvil son identificadas por el LAI (Local Area Identification), el cual guarda parámetros como el país, operador y un código de área de localización), o el RAI (Routing Area Identification), que guarda el LAI anterior más un código de área de enrutamiento.

Las áreas de cobertura que pueden abarcar las estaciones base pueden clasificarse en función de su tamaño. Así, tenemos las macroceldas (entre 1 y 40 km de radio) utilizadas para dar cobertura en zonas abiertas (como áreas rurales), microceldas (50 a 1000 m de radio) para zonas urbanas, y picoceldas (radios inferiores a 50 m) que suelen usarse en edificios o entornos residenciales.

Aun no necesitando ningún tipo de hardware adicional, el problema que presenta este tipo de localización es que el área de cobertura tiene una precisión máxima de 50 metros, ya que no es un sistema diseñado para localizar al terminal de una manera exacta, si no para que pueda utilizar los servicios de comunicación del operador móvil. Por lo tanto, este sistema muestra una clara desventaja para la localización en interiores.

2.1.3 WiMAX

La tecnología WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [5] permite la interconexión en áreas muy extensas, con un alcance alrededor de 50 kilómetros. Utiliza las bandas de frecuencia de 2,5 a 5,8 GHz y permite la transferencia de datos hasta 70 Mbps. Suele aplicarse en zonas rurales donde los servicios de cable y fibra de banda ancha no llegan a ser desplegados, pero sigue siendo inviable para servicios de localización de usuarios, ya que, al igual que en las redes móviles, esta tecnología está orientada a servicios como el acceso a Internet.

2.1.4 RFID

Los sistemas basados en identificación por radiofrecuencia (RFID - *Radio Frequency Identification*) consisten en etiquetas que contienen una antena emisora/receptora que al ser excitada por un transmisor, emiten una señal [2]. De esta forma, se puede ubicar e identificar un objeto que porte este tipo de etiquetas con una precisión de centímetros. A diferencia del sistema

GPS, éstas no requieren de una línea de visión directa entre el emisor y el receptor, lo que supone una opción muy atractiva en cuanto a la localización en interiores se refiere.

Este tipo de sistema se aplica en entornos como los sistemas de distribución de uniformes del personal interno en hospitales (para prevenir el uso inadecuado del material y mantener un control sobre el mismo), controles de acceso en vehículos de gama alta, autopistas con telepeaje, etc. Este tipo de tarjetas tienen una apariencia similar a la mostrada en la figura 2.



Figura 2. Etiqueta RFID [5]

La desventaja principal que presenta este sistema es su elevado coste, ya que se necesitaría un elevado número de etiquetas para localizar todos los objetos de estudio que se encuentren dentro de un edificio.

2.1.5 Bluetooth

El sistema de localización por *beacons* consiste en pequeños dispositivos que emiten señales Bluetooth de baja energía (BLE – Bluetooth Low Energy), e identifican aquellos que están a su alcance triangulando su posición. Este subconjunto del Bluetooth 4.0 [6], también conocido como Bluetooth Smart, permite tasas de transferencia de datos a 1Mbps operando en la banda de 2,4 GHz, y tiene un alcance entre 50 y 60 metros. Así, los *beacons* son capaces de interactuar con *smartphones* intercambiando datos e información. Un ejemplo de ello son los llamados iBeacons desarrollados por Apple a partir de su versión para sus sistemas operativos móviles, iOS 7, que permiten que las aplicaciones y sitios web utilicen información de localización del terminal [7], además de estimar la posición del mismo ayudándose de los sistemas GPS, redes móviles y Wi-Fi.

Este sistema basado en *beacons* suele aplicarse en interiores, como tiendas, museos y aeropuertos, y cuenta con una precisión de 1,5 metros, lo que resulta bastante atractivo. Pero el principal problema que presenta este tipo de sistema es que el indicador de intensidad de señal recibida no es lo suficientemente fiable, debido a su baja potencia de emisión. Es por ello que se suele utilizar junto con otras tecnologías como el Wi-Fi.

2.1.6 ZigBee

ZigBee consiste en un conjunto de protocolos de alto nivel para la comunicación inalámbrica basada en el estándar IEEE 802.15.4 para redes de área personal (WPAN – Wireless Personal

Area Network) [2]. Se caracteriza por utilizar la banda de 2,4 GHz, alcanzar tasas de transferencia bajas (entre 20 y 250 kbps), y tener un alcance entre 10 y 75 metros. Además, tiene bajo coste y una potencia de emisión muy baja, lo que permite que un transmisor pueda funcionar durante varios meses con una pila alcalina.

El principal problema que presenta esta tecnología es su ancho de banda tan reducido, el cual puede ser un factor que limite las aplicaciones que pueda implementar.

2.1.7 Wi-Fi

El sistema Wi-Fi (Wireless Fidelity) es una tecnología inalámbrica para redes de área local (WLANs) basada en el estándar IEEE 802.11, que permite a los dispositivos que dispongan de una interfaz inalámbrica de red intercambiar datos o conectarse a Internet a través de ondas de radiofrecuencia, normalmente utilizando las bandas de 2,4 GHz y 5 GHz. Se caracteriza por tener un alcance alrededor de 30 metros en interiores, y una tasa de transferencia de datos similar a las redes de área local (LAN) dependiendo de la familia del protocolo utilizado. A continuación se muestra la tabla 1 en la que se pueden observar las distintas tasas en función de la familia 802.11 dentro de las implementadas actualmente [8].

Tabla 1. Características de las familias 802.11

Protocolo	Lanzamiento	Frecuencia	Modulación	Tasa máxima
802.11	1997	2,4 GHz	FHSS o DSSS	2 Mbps
802.11a	1999	5 GHz	OFDM	54 Mbps
802.11b	1999	2,4 GHz	DSSS	11 Mbps
802.11g	2003	2,4 GHz	OFDM	54 Mbps
802.11n	2007	2,4 o 5 GHz	OFDM	600 Mbps
802.11ac	2014	5 GHz	256-QAM	1,3 Gbps

Como se puede apreciar en la tabla, las tasas de transferencia han ido aumentando a lo largo de los últimos años, debido en gran medida a la integración de nuevos tipos de modulación. Es importante destacar que las tasas son teóricas, ya que existen múltiples factores en los enlaces radio que pueden disminuir considerablemente la velocidad, como pueden ser: el número de usuarios conectados al transmisor Wi-Fi, número de antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output) tanto del emisor como del receptor, variaciones en el entorno como paredes o pilares, interferencias producidas (sobre todo en la banda de 2,4 GHz) por otros dispositivos (microondas, cámaras IP inalámbricas, dispositivos Bluetooth), velocidad con la que se mueva el receptor Wi-Fi y la clase de tarjeta inalámbrica receptora, entre otras.

La banda de 2,4 GHz es la más utilizada actualmente debido a la bajada de costes en la fabricación de las tarjetas de red inalámbricas. Por lo tanto, es difícil observar algún dispositivo que no cuente con una interfaz de red que opere en dicha banda. Este hecho también tiene una parte negativa, y es que pueden existir interferencias entre los dispositivos, ya que todos utilizan la misma banda. Para reducir estas interferencias se divide la banda de 2,4 GHz en 13 canales que se separan cada 5 MHz de frecuencia central, contando cada canal con 20 MHz de ancho de banda, por lo que los canales adyacentes se solapan. Normalmente, el mejor aprovechamiento de la banda viene dado cuando están separados 5 canales entre sí, por ejemplo, al seleccionar 1, 6 y 11 no existe solapamiento entre ellos. Aun así, al utilizar el nivel de Control de Acceso al Medio (MAC), los transmisores siempre tratan de emitir cuando el enlace radio esté libre.

Las ventajas del uso de la tecnología Wi-Fi son su amplio despliegue en la actualidad, tratándose de un sistema maduro, relativamente fiable, y, además, su coste es bajo en relación a la cantidad de servicios que pueden implementarse y la calidad de los mismos. En el caso de la localización, nos permite utilizar el hardware existente sin necesidad de contar con ninguno adicional tanto para el transmisor como el receptor.

Por otra parte, se pueden utilizar diferentes técnicas de localización a través de la tecnología Wi-Fi que describiremos con mayor profundidad en el siguiente apartado.

2.2 Técnicas de localización basadas en Wi-Fi

Una vez evaluados los distintos sistemas de localización existentes que pueden ser utilizados para la localización en interiores, se realiza una descripción de las técnicas disponibles para la localización con sistemas Wi-Fi.

2.2.1 Tiempo de llegada – ToA

Esta técnica (ToA – *Time of Arrival*) se basa en el tiempo que tarda una señal en llegar de un emisor a un receptor para medir la distancia entre ambos [9]. Para localizar un receptor con este método, debe haber al menos tres sensores. Un sensor localiza al objetivo en su radio de acción en función del tiempo que tarda en recibir la señal que ha emitido, calculando así la distancia a la que se encuentra. Sin embargo, uno de ellos solamente conoce a qué distancia de él se encuentra el receptor, pero no en qué dirección. Para ello se utilizan al menos otros 2 sensores que realicen esta misma acción, y por lo tanto, se obtiene una zona en la que confluyen los 3 radios, que será aquella en la que el receptor se encuentra situado, como se muestra en la figura 3.

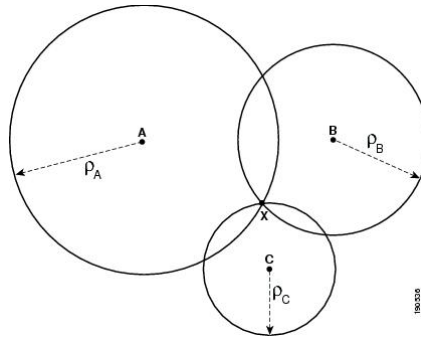


Figura 3. Técnica de localización ToA [10]

Esta técnica requiere que los sensores estén sincronizados, ya que pueden existir errores en la localización al depender del tiempo, y el área en el que convergen los 3 radios podría no determinar la ubicación real del objetivo. Otro error que puede producirse es el llamado efecto multitrayectoria, el cual se basa en las reflexiones producidas en el medio procedentes de la misma señal que llegan retardadas al transmisor.

2.2.2 Tiempo de llegada diferencial – TdoA

Una variante de la técnica anterior es TDoA (Time Difference of Arrival), la cual se basa en emitir dos señales diferentes, una electromagnética y la otra acústica [9]. De esta forma, como la señal de radiofrecuencia viaja a una velocidad cercana a la de la luz en el aire ($3 \cdot 10^8$ m/s), y la señal acústica cuenta con una velocidad mucho menor (340 m/s), se considera que el tiempo en el que se envía la señal electromagnética es 0, mientras que con el tiempo de llegada de la señal acústica, se mide el tiempo de forma relativa, como se señala en la figura 4. De esta manera, no se requiere que los sensores se encuentren sincronizados ya que la resolución temporal es mayor que en ToA.

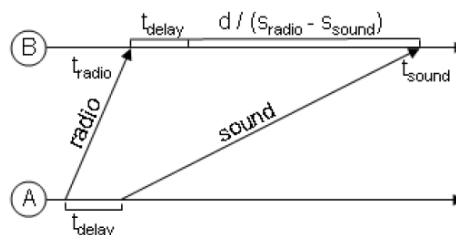


Figura 4. Medición del tiempo de retardo en TDoA [11]

Existe una variante de TDoA que compara por pares los tiempos de llegada de las señales de los transmisores mediante el uso de hipérbolas, que son calculadas a partir de la **diferencia** de tiempos de llegada de cada sensor, en vez de medir los tiempos de llegada de cada sensor (ToA). Así, la sincronización entre los sensores se calcula basándose en el tiempo y la diferencia de distancias. Éstas cumplen la condición de que la distancia a cada sensor sea constante. En la figura 5 se puede observar cómo la intersección de dos hipérbolas es usada para resolver la posición de un objeto.

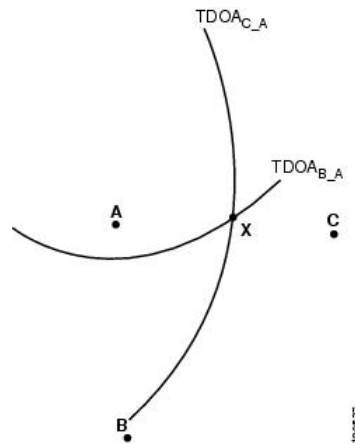


Figura 5. Técnica de localización TDoA [10]

Por otra parte, cuenta con la misma desventaja que en el caso de ToA, ya que sigue produciéndose el efecto multitrayecto, tanto a nivel de radiofrecuencia, como por los distintos ruidos en el ambiente que pueden interferir con la señal que emite el transmisor.

2.2.3 Ángulo de llegada – AoA

La técnica AoA (*Angle of Arrival*), en ocasiones referida como DoA (*Direction of Arrival*), se basa en la localización de los dispositivos determinando el ángulo de incidencia con el que llegan al receptor. Se establecen relaciones geométricas para estimar la posición a través de la intersección de dos líneas radiales formadas por cada receptor, como se observa en la figura 6.

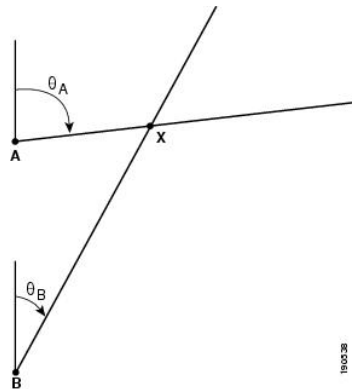


Figura 6. Técnica de localización AoA [10]

Se requieren al menos dos antenas receptoras para que este método cumpla con su objetivo, por lo que para ello, los dispositivos a localizar deben contar con un conjunto de antenas o *arrays*. El principal problema que plantea esta técnica es que no todos los dispositivos móviles cuentan con varias antenas receptoras, por lo que haría falta dicho hardware adicional. Otra desventaja de este método es que es sensible al efecto multitrayecto al igual que en las dos técnicas anteriores, por lo que no es apto para implementar un sistema de localización en interiores.

2.2.4 Fuerza de señal recibida – RSS

La técnica basada en la fuerza de señal recibida (RSS – *Received Signal Strength*) consiste en medir la atenuación de la señal que se recibe en el dispositivo para estimar su ubicación [9]. Para ello, se calcula la distancia del objetivo al transmisor sabiendo la potencia de salida de éste, así como la ganancia de la antena y la atenuación producida en el medio.

En las redes WLAN 802.11 los puntos de acceso suelen emitir periódicamente este valor como RSSI (Received Signal Strength Indication), el cual viene dado en unidades dBm de potencia, pero estos valores varían dependiendo del fabricante del AP. No se requiere de ningún tipo de hardware adicional, pero esta técnica también se ve afectada por el efecto multitrayecto al igual que las anteriores.

Existen dos métodos principales dentro de esta técnica: el *fingerprinting* (huella digital de radiofrecuencia) y por modelo de propagación.

- El *fingerprinting* consiste en la realización de un mapa inicial de intensidad de señal de la planta de un edificio o un área específica, almacenando la intensidad recibida por cada AP en distintas posiciones fijas del área a medir. De esta manera, se tienen las distancias en las que se han registrado las medidas, así, cuando un dispositivo se encuentra en un punto próximo al registrado, se puede obtener su posición. Pero este método tiene la desventaja de que si el entorno inicial cambia, por ejemplo, cambiando la disposición de elementos dentro de la zona de interés, puede que las medidas posteriores no representen la posición real del receptor, por lo que habría que volver a realizar las medidas iniciales (se conoce más comúnmente como calibración).
- El método por modelo de propagación no requiere la realización de una calibración inicial como ocurre en el *fingerprinting*, y determina la distancia entre el transmisor y receptor convirtiendo el valor de intensidad recibida en una medición de distancia basada en la potencia de salida conocida del transmisor y en un modelo de pérdida de trayectoria. Su implementación en sistemas reales es complicada, por lo que no se tiene en cuenta en la solución propuesta.

2.3 Proceso de asociación

El proceso que se produce en la red para localizar al dispositivo móvil que se encuentra dentro del centro tiene lugar a nivel 2 en la torre de protocolos TCP/IP, es decir, a nivel de enlace. Para ello, el dispositivo del usuario necesita asociarse a uno o varios puntos de acceso. Este proceso [12] se indica en la figura 7.

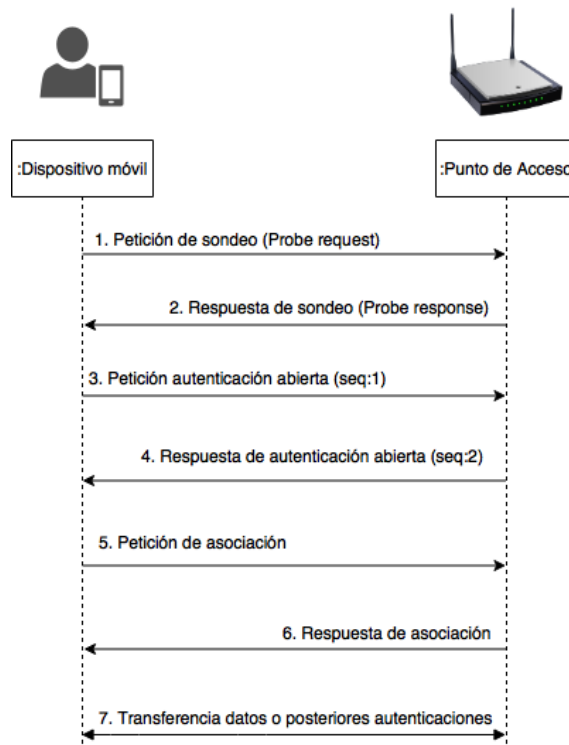


Figura 7. Proceso de asociación [12]

El dispositivo móvil comienza en un estado de no autenticación y no asociación:

1. La estación móvil inicia el proceso para descubrir redes 802.11 dentro de su rango de cobertura. Para ello, envía peticiones de sondeo (*probe request*) con información sobre las tasas de transferencia de datos que soporta y otras capacidades de 802.11 a la dirección BSSID destino FF:FF:FF:FF:FF:FF (*broadcast*), por lo que los puntos de acceso que estén dentro del rango de cobertura de la estación móvil, responderán.
2. Los AP's que reciban la petición de sondeo, comprueban si la estación móvil cuenta con alguna tasa de datos soportada. Si tiene éxito, el AP envía una respuesta de sondeo (*probe response*) con el SSID de la red, las tasas de datos soportadas y otras características adicionales del punto de acceso. Después, la estación móvil escoge las redes compatibles basándose en la respuesta recibida.
3. La estación móvil envía una trama de autenticación de bajo nivel 802.11 hacia el AP, configurándola como abierta (*open*), y con la secuencia 0x0001.
4. El punto de acceso recibe la trama de autenticación y responde a la estación móvil con una respuesta de autenticación abierta y configurada para indicar la secuencia 0x0002. Si el AP recibe alguna petición de autenticación o sondeo de alguna estación móvil que no esté autenticada, responderá con una trama de rechazo de autenticación (*deauthentication frame*), por lo que la estación móvil volverá a un estado de no autenticada ni asociada, por lo que ésta deberá iniciar el proceso desde el principio. Hay que tener en cuenta que una estación móvil puede estar autenticada en varios APs, sin embargo, solamente podrá asociarse o enviar datos de forma activa por uno de ellos a la vez.

5. Una vez que la estación móvil determina a qué punto de acceso asociarse, envía una petición de asociación a dicho AP, la cual contiene el tipo de encriptación escogido y otras capacidades de 802.11 compatibles. Si un punto de acceso recibe una trama de una estación móvil que está autenticada pero no asociada, responde con una trama de rechazo de asociación (*disassociation frame*), por lo que la estación móvil se quedará en un estado de autenticada pero no asociada.
6. Si los elementos en la petición de asociación coinciden con las capacidades requeridas por el AP, éste crea una ID de asociación para la estación móvil y la envía en la respuesta de asociación junto con un mensaje de éxito, permitiendo al dispositivo el acceso a la red.
7. Ahora la estación móvil se encuentra asociada con éxito al al punto de acceso, y la transferencia de datos puede comenzar, o bien, si se requiere algún otro tipo de autenticación de tipo 802.1X o WPA/WPA2, el dispositivo no será capaz de enviar datos hasta que se haya completado dicha autenticación.

2.4 Análisis a nivel MAC

Como se ha descrito anteriormente, el proceso de asociación de las estaciones móviles a la red se produce a nivel de enlace, por lo que, a continuación, se realiza un análisis de los campos y estructura más significativos de la trama MAC (Medium Access Control) [13], los cuales se observan en la figura 8.

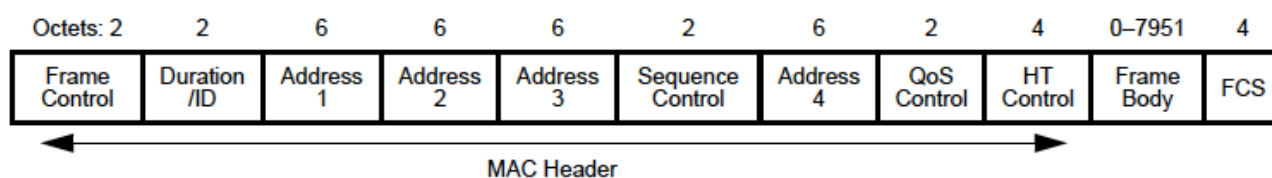


Figura 8. Estructura de la trama MAC [13]

2.4.1 Cabecera

La trama MAC está formada por tres componentes básicos:

- Una **cabecera MAC**, que contiene los campos control de trama (*Frame Control*), duración (*Duration*), dirección (*Address*), información de control de secuencia opcional (*Sequence Control*), información de control de Calidad de Servicio opcional (*QoS Control*, solo para tramas de datos), y campos de control HT opcionales (*HT Control*).
- **Cuerpo de longitud variable** (*Frame Body*), que contiene información específica del tipo y subtipo de trama.
- Una **FCS** (Frame Check Sequence), que contiene un CRC (Código de Redundancia Cíclica) de 32 bits.

Dentro de la cabecera MAC, los campos más relevantes son:

- **Frame Control**, que se divide en los campos ilustrados en la figura 9.

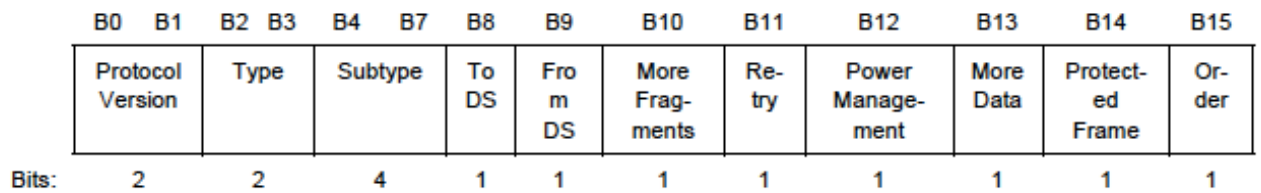


Figura 9. Campos del control de trama MAC [13]

- **Protocol Version.** Versión del protocolo. Para el estándar 802.11 siempre tiene el valor 0 (2 bits).
- **Campos Type y subtype.** Ambos campos identifican la función de la trama. Existen 3 tipos principales (gestión, control y datos), y cada tipo tiene asignados un conjunto de subtipos. En la tabla 2 se muestra el conjunto de subtipos dentro del tipo gestión en el que se centra el estudio.

Tabla 2. Descripción de subtipos de tipo gestión

Valor del tipo	Descripción de tipo	Valor del subtipo	Descripción de subtipo
b3b2		b7 b6 b5 b4	
00	Gestión	0000	Petición de asociación
00	Gestión	0001	Respuesta de asociación
00	Gestión	0010	Petición de reasociación
00	Gestión	0011	Respuesta de reasociación
00	Gestión	0100	Petición de sondeo
00	Gestión	0101	Respuesta de sondeo
00	Gestión	0110	Advertencia de tiempo
00	Gestión	0111	Reservado
00	Gestión	1000	Beacon
00	Gestión	1001	ATIM
00	Gestión	1010	Desasociación
00	Gestión	1011	Autenticación
00	Gestión	1100	Deautenticación

Valor del tipo	Descripción de tipo	Valor del subtipo	Descripción de subtipo
b3b2		b7 b6 b5 b4	
00	Gestión	1101	Acción
00	Gestión	1110	Acción NoACK
00	Gestión	1111	Reservado

- **More fragments.** Si existen más fragmentos de la MSDU, en las tramas de tipo gestión y datos estará configurado a 1. El resto a 0.
- **Retry.** Se configura el bit a 1 si se trata de una retransmisión de un tipo de trama de gestión o datos anterior.
- **Protected Frame.** Se configura el bit a 1 si el cuerpo de la trama (*Frame Body*) contiene información que ha sido procesada por un algoritmo de encapsulación criptográfico.
- **Order.** Usado para los siguientes casos:
 - Se configura el bit a 1 si no existe trama de datos con calidad de servicio para indicar que la trama contiene una MSDU o un fragmento de la misma, y que es transferida por la clase de servicio estrictamente ordenada.
 - Se configura el bit a 1 cuando existen tramas de datos o gestión con calidad de servicio para indicar que la trama contiene un campo HT (*High Throughput*) de control.
 - Para el resto de casos, el bit del campo se configura a 0.
- **Duration/ID.** Tiene una longitud de 16 bits, cuyo contenido depende de los campos tipo y subtipo. Para tramas de control lleva un identificador de asociación (AID) y para tramas de gestión enviadas por estaciones con calidad de servicio contienen un valor de duración que está definido por cada tipo de trama.
- **Address.** Existen 4 campos de direcciones en el formato de la trama MAC. Se utilizan para indicar el BSSID (*Basic Service Set Identifier*), SA (*Source Address* – dirección origen), DA (*Destination Address* – dirección destino), TA (*Transmitting Address* – dirección de transmisión) y RA (*Receiving Address* – dirección de recepción). Determinadas tramas no contienen todos los campos de dirección anteriores.

Cabe destacar que el BSSID es un campo de 48 bits de longitud que conserva el mismo formato que las direcciones MAC del estándar IEEE 802, es decir, conjuntos de 6 octetos separados por dos puntos de la forma XX:XX:XX:XX:XX:XX, donde la X representa un número hexadecimal que toma un rango de valores desde 0 hasta F.

- **Sequence Control.** Campo de 16 bits que consta de dos subcampos, el número de secuencia (referente a una MSDU) y el número de fragmento (que identifica el fragmento de la MSDU).
- **QoS Control.** Campo de 16 bits que identifica las tramas que tienen configurados parámetros de Calidad de Servicio, como el estado del búfer del AP, tamaño de la cola, límite de oportunidad de transmisión (TXOP), etc.
- **HT Control (*High Throughput*).** Campo de 32 bits presente en las tramas de control de encapsulación, datos de Calidad de Servicio de gestión determinadas por el campo Order. Solo para tramas 802.11n.

2.4.2 Cuerpo

El **cuerpo de la trama** (*Frame Body*) es un campo de longitud variable que almacena información específica en base a los tipos y subtipos de la trama definidos en la cabecera. Por lo tanto, se analiza la información sobre las peticiones y respuestas de sondeo (*Probe request/response*), que son aquellas que tienen relevancia en este proyecto.

Cuando el dispositivo activa el sistema Wi-Fi, intentará conectarse a la red, pero para ello, primero debe obtener información acerca del entorno en el que se encuentra. Esto se produce gracias a un tipo de paquetes del estándar 802.11, que son conocidas como tramas *Probe* (o de sondeo, vistas en el apartado anterior). En los siguientes apartados se describen los parámetros más significativos de las peticiones y respuestas de sondeo.

2.4.2.1 Petición de sondeo

En la tabla 3 se identifican los campos más representativos de la petición de sondeo [13].

Tabla 3. Campos más representativos de la petición de sondeo

Orden	Información	Notas
1	SSID	En caso de que se trate de una red mesh, este parámetro es el patrón descrito en el apartado 8.4.2.2 del estándar 802.11.
2	Tasas soportadas	Parámetro que define las tasas que soporta la estación que realiza la petición.
4	Tasas soportadas extendidas	Este elemento se encuentra presente si hay más de 8 tasas soportadas, pero es opcional en caso contrario.
6	Clases soportadas	La estación envía el número de clases que soporta en función de las frecuencias de inicio de la banda, espaciado de canal, conjunto de canales y conjunto de límites de comportamientos (como la potencia de transmisión).

Orden	Información	Notas
7	Capacidades HT	Capacidades definidas de High Throughput presente en las redes 802.11n.
10	Lista SSID	Conjunto de SSIDs a las que la estación desea conectarse.
Last	Específico del fabricante	Elementos opcionales adicionales definidos por el fabricante.

2.4.2.2 Respuesta de sondeo

La respuesta de sondeo (*probe response*) se produce cuando al AP le llega una trama MAC en la que el subtipo es de tipo petición de sondeo y además, el campo *Address 1* es la dirección de *broadcast* (FF:FF:FF:FF:FF:FF) o la del propio AP. Por otra parte, el punto de acceso también comprueba el SSID que porta la petición (una específica o alguna dentro de la lista de SSIDs que tiene configuradas), y que el campo *Address 3* es la BSSID del propio AP [13].

Así, aquellas peticiones que cumplan los requisitos anteriores, deberán ser respondidas con una trama de tipo respuesta de sondeo a aquella estación que inició la petición recibida. En la tabla 4 se describen los parámetros más significativos de la respuesta de sondeo.

Tabla 4. Campos más representativos de la respuesta de sondeo

Orden	Información	Notas
1	Timestamp	Sello de tiempo en el que se produce la respuesta.
4	SSID	En caso de que se trate de una red mesh, este parámetro es el patrón descrito en el apartado 8.4.2.2 del estándar 802.11.
5	Tasas soportadas	Parámetro que define las tasas que soporta la estación que realiza la petición.
13	Restricción de potencia	Está presente si se requiere gestión del espectro y para medidas radio.
19	Tasas soportadas extendidas	Este elemento se encuentra presente si hay más de 8 tasas soportadas, pero es opcional en caso contrario.
21	Carga BSS	Presente como parámetro de Calidad de Servicio para la gestión de la carga entre estaciones del mismo conjunto de servicio básico.

Orden	Información	Notas
24	Múltiples BSSID	Identificadores de dos o más BSS si existen.
26	Informe de canal AP	Presente para cada clase que tenga al menos un canal para informar.
27	Media de retardo de acceso de BSS	Medida del retardo medio de acceso del punto de acceso.
34	Clases soportadas	El AP envía el número de clases que soporta en función de las frecuencias de inicio de la banda, espaciado de canal, conjunto de canales y conjunto de límites de comportamientos (como la potencia de transmisión).
35	Capacidades HT	Capacidades definidas de High Throughput presente en las redes 802.11n.
40	Capacidad de tráfico de Calidad de Servicio	Definido para la gestión del tráfico en Calidad de Servicio.
Last-1	Específico del fabricante	Elementos opcionales adicionales definidos por el fabricante.

A su vez, los puntos de acceso también emiten otro tipo de tramas a nivel de enlace llamadas *beacons*. Se trata de un método pasivo, ya que es el AP el que difunde la información sobre la red que está configurada en el local de forma periódica. El punto de acceso envía estas tramas para anunciar que se encuentra presente, junto con información adicional como un sello de tiempo, SSID de la red, etc. de forma similar a cuando se realizan las peticiones de sondeo activas llevadas a cabo por el dispositivo inalámbrico.

Por lo tanto, si el dispositivo que realiza la petición no conoce el SSID, puede realizar una petición de sondeo con la dirección de *broadcast*, respondiéndole el AP más cercano. En el caso en el que ya conozca la SSID de la red, utilizará en primera instancia la dirección BSSID del AP.

2.4.3 FCS

Por último, en la trama MAC se observa el campo **FCS** (*Frame Check Sequence*), que consta de una longitud de 4 octetos, el cual contiene un CRC de 32 bits. Se calcula siguiendo el polinomio generador estándar de grado 32:

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

El campo se utiliza para comprobar los errores en la secuencia de la trama sobre todos los campos de la cabecera MAC y el campo *Frame Body*.

2.5 Software

Una vez definida la infraestructura física y el comportamiento de los paquetes de 802.11, es necesario realizar un estudio sobre los diferentes servicios que ofrecen los fabricantes Wi-Fi en base a su software. Actualmente, el método más extendido es el de conectar aplicaciones a través de la web, ya que de esta manera se cuenta con un acceso mucho más universal sin necesidad de requisitos especiales, por ejemplo, como puede ocurrir al instalar una aplicación en un determinado dispositivo. Así, a través de un navegador cualquier cliente puede acceder a gran variedad de recursos compartidos en Internet.

2.5.1 API

Para poder acceder a dichos recursos en la red a través de aplicaciones (tanto web como de sistema operativo), las empresas publican APIs (*Application Programming Interfaces*), es decir, una definición de métodos que realizan una función concreta, para que aplicaciones de terceros puedan utilizar los servicios que se ofrecen. Este estudio se centra en el análisis de aquel conjunto de métodos referidos a la localización de dispositivos, provisto por los fabricantes de redes WiFi, y con el objetivo de evaluar cuáles de ellos pueden integrarse en el servicio que se desarrolla en este proyecto.

Por lo general, este tipo de APIs suelen ofrecerse en servicio REST (*REpresentational State Transfer*), por lo que se les da el nombre de API REST [14]. Este tipo de servicio utiliza como transporte de los datos el protocolo HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*), mediante una serie de peticiones a una URI (*Uniform Resource Identifier*) predeterminada. Por lo tanto, el servicio se define como una serie de llamadas a un servidor para obtener un recurso concreto. La respuesta del servidor vendrá definida por una respuesta HTTP que contendrá encapsulada la respuesta en el cuerpo como un objeto de texto estructurado.

En las API REST no se almacena el estado de peticiones anteriores, por lo que en cada petición que se realice, es necesario enviar todos los parámetros que sean requeridos (por ejemplo, la autenticación de usuario del servicio).

2.5.2 Petición HTTP

En primer lugar, hay que tener en cuenta la necesidad de autenticarse en el servicio, para lo cual, se debe contar con un usuario y contraseña para acceder al mismo a través de la URI definida para ello en el servicio. Seguidamente, si las credenciales son correctas, el servicio devuelve una respuesta HTTP con lo que se llama *token* de autenticación, que se trata de la encriptación de los datos de acceso al servicio en una cadena de texto que tiene un tiempo de validez determinado. De esta forma, si alguien intentase un ataque del tipo *man in the middle*, no podría adivinar las credenciales aunque la conexión HTTP no fuera segura, y además, solo podría acceder a algún recurso durante una determinada franja de tiempo.

En las sucesivas llamadas a los distintos recursos de la API REST en cuestión, este *token* se ha de enviar en todas y cada una de ellas como parámetro en la cabecera de la petición HTTP. Si el

token que recibe el servidor es correcto, entonces devolverá una respuesta HTTP con el recurso pedido que se encuentra encapsulado en el cuerpo de la misma.

Existen varios tipos de métodos para realizar peticiones HTTP:

- **GET**: Para realizar la petición de datos desde un recurso específico.
- **HEAD**: Igual que GET pero solamente devuelve cabeceras HTTP sin cuerpo.
- **POST**: Envía datos para que sean procesados a un recurso específico.
- **PUT**: Crea una representación de una determinada URI.
- **DELETE**: Elimina el recurso especificado.
- **OPTIONS**: Devuelve los métodos HTTP que soporta el servidor.
- **CONNECT**: Convierte la petición de conexión en un túnel TCP/IP transparente.

Para la definición de las API REST normalmente se diseña el acceso a los recursos del servidor con los métodos **GET** y **POST**, ya que son capaces de realizar la mayor parte de las operaciones habituales [15].

2.5.3 Respuesta HTTP

La respuesta puede ser satisfactoria atendiendo a la estructura descrita en la API para el objeto, o errónea, dependiendo de varios factores, como indisponibilidad del servidor, parámetros de la petición no válidos o no concuerdan con lo que espera recibir el servidor, *token* de autenticación incorrecto, etc. El tipo de respuestas que se obtienen utilizan distintos códigos HTTP que definen la información de estado de la petición realizada:

- 200 – Petición realizada con éxito.
- 202 – Petición aceptada y en proceso.
- 400 – Petición mal formada.
- 401 – Autenticación incorrecta.
- 404 – Recurso no encontrado.
- 405 – El método de la petición no es válido.
- 422 – Parámetros inválidos.
- 500 – Error interno del servidor.

El recurso pedido por el cliente estará encapsulado en el cuerpo de la respuesta HTTP como un objeto con formato XML (eXtensible Markup Language) [16] o JSON (JavaScript Object Notation) [17]. Estos objetos están definidos para la estructura e intercambio de datos en modo texto, dando como resultado una transferencia ligera y rápida de datos.

2.5.4 APIs de fabricantes Wi-Fi

En el diseño de la aplicación se deben tener en cuenta los distintos fabricantes existentes en el mercado que ofrecen el servicio de localización a través de WiFi, y además, aquellos que puedan

permitir una integración para la cual se pueda conseguir uniformidad a la hora de la gestión de los datos. En los siguientes apartados se describen los servicios que proveen algunos fabricantes WiFi.

2.5.4.1 Ruckus SPoT

El servicio SPoT (Smart Positioning Technology) de la compañía Ruckus Wireless, cuenta con una API REST interactiva [18], pudiendo realizar peticiones al servidor desde la propia API si se cuenta con las credenciales del servicio. A través de los APs desplegados en el emplazamiento, recoge y procesa los datos a través del SPE (Smart Positioning Engine), y a través de la API se permiten obtener tanto datos de estadísticas de presencia de personas, así como de mapas de calor, tanto en tiempo real como a través de históricos. Dichos elementos se representan en la figura 10.

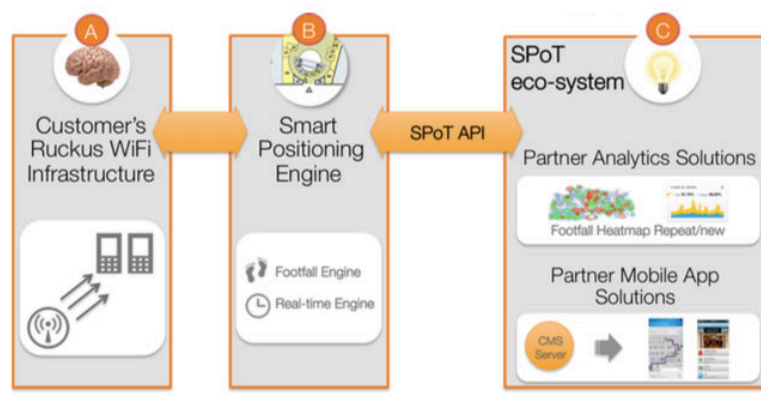


Figura 10. Elementos del servicio Ruckus SPoT [18]

Esta API cuenta con URIs definidas para obtener el *token* de autenticación (*api_keys*), información general del emplazamiento (*venues*), sobre las plantas (*radio_maps*), localización de los dispositivos Wi-Fi (*locations*), estadísticas (*metrics*) e información sobre los dispositivos (*devices*). En la tabla 5 se pueden observar los métodos que se definen en la API de SPoT.

Tabla 5. Métodos de la API REST del servicio SPoT

Método	URI del recurso	Descripción
POST	/api_keys.json	Devuelve el token de autenticación.
GET	/venues.json	Devuelve una lista de instalaciones registradas.
GET	/venues/{venue_id}.json	Devuelve una de las instalaciones pedidas.

Método	URI del recurso	Descripción
GET	/venues/{venue_id}/radio_maps.json	Lista los mapas radio.
GET	/venues/{venue_id}/radio_maps/{name}.json	Devuelve los detalles del mapa radio requerido.
GET	/venues/{venue_id}/locations/by_date.json	Lista las localizaciones de dispositivos por fecha.
GET	/venues/{venue_id}/locations/last_known.json	Lista la última localización de los dispositivos.
GET	/venues/{venue_id}/metrics/impressions.json	Distingue localizaciones de interior o exterior.
GET	/venues/{venue_id}/metrics/unique_visitors.json	Devuelve visitantes únicos.
GET	/venues/{venue_id}/metrics/average_dwell_time.json	Devuelve el tiempo medio de estancia de visitantes.
GET	/venues/{venue_id}/metrics/dwell_time_distribution.json	Devuelve la distribución en franjas de minutos de visitantes.
GET	/venues/{venue_id}/metrics/new_vs_repeat.json	Contador de visitantes nuevos y recurrentes.
GET	/venues/{venue_id}/metrics/repeat_count.json	Contador de visitantes en franjas de veces detectados.
GET	/venues/{venue_id}/metrics/days_since_last_visit.json	Contador de visitantes en franjas de días desde la última vez detectados.
GET	/venues/{venue_id}/devices/{ip}/find.json	Petición para informar al servidor cuando se produce la petición siguiente.
GET	/venues/{venue_id}/devices/{ip}.json	Encuentra la MAC del dispositivo a través de la IP.

Se observa la gran variedad de métodos, o que la gran ventaja de esta API es la capacidad para obtener gran cantidad de datos sin necesidad de hacer un procesamiento exhaustivo a posteriori

de la información que se recibe. Además, con respecto a otros fabricantes, el servicio SPoT se encuentra bastante avanzado en su desarrollo.

2.5.4.2 Cisco MSE/CMX

La empresa de telecomunicaciones Cisco, cuenta con varias APIs de arquitectura REST [19] que permiten interactuar con su plataforma MSE/CMX (Mobility Services Engine/Connected Mobile Experiences). La arquitectura del sistema se muestra en la figura 11, que resulta similar a la de la empresa Ruckus Wireless.

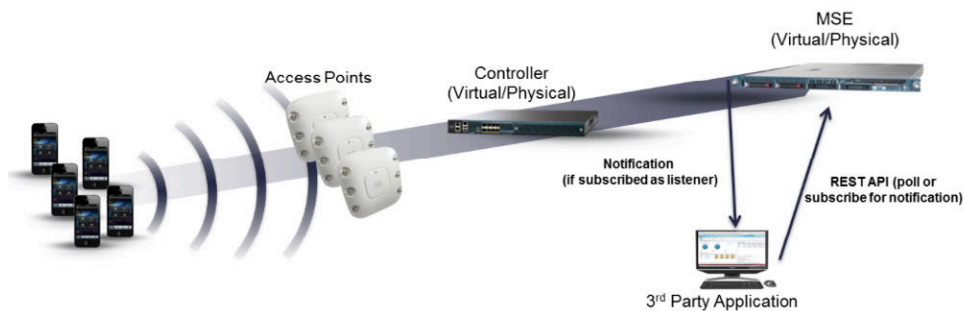


Figura 11. Elementos del servicio Cisco MSE [20]

Esta API se diferencia del resto en que en vez de crear un objeto de respuesta (XML o JSON) con información variada, se basa en una gran cantidad de URIs específicas para conseguir cada recurso, de forma que no se reciban objetos demasiado complejos de recorrer o procesar. Existen varias partes de la API: configuración, localización, analíticas, conexiones y presencia. Entre los métodos más interesantes encontramos los indicados en la tabla 6.

Tabla 6. Principales métodos de la API REST de Cisco MSE

Método	URI del recurso	Descripción
GET	/api/config/v1/sites	Obtiene todas las instalaciones.
GET	/api/config/v1/sites/:id	Obtiene la instalación seleccionada.
GET	/api/config/v1/maps/image/:campusName/:buildingName/:floorName	Obtiene el plano de la planta, edificio y campus seleccionado.
GET	/api/location/v1/clients/count/byzone	Obtiene la cuenta de clientes por zonas.
POST	/api/analytics/v1/dwellBreakdown	Desglose de tiempo de permanencia por dispositivos en un periodo y distintas áreas.
POST	/api/analytics/v1/now/clientCount	Cuenta de clientes en varias

Método	URI del recurso	Descripción
		plantas en tiempo real.
GET	/api/analytics/v1/isRepeatDevice/:deviceMAC	Devuelve si un visitante es repetidor en cualquier área.
GET	/api/presence/v1/passersby/count	Cuenta de todos los transeúntes.
GET	/api/presence/v1/passersby/hourly/today	Cuenta por horas de todos los transeúntes en el día actual.
GET	/api/presence/v1/repeatvisitors/monthsummary	Resumen de la cuenta de visitantes en un mes.
GET	/api/presence/v1/repeatvisitors/count/today	Cuenta de los visitantes repetidores en el día actual.
GET	/api/presence/v1/visitor/today/peakhour	Devuelve la hora de máximos visitantes en el día actual.

Este conjunto de APIs también se encuentra bastante desarrollado actualmente y existen multitud de URIs para obtener la mayoría de los recursos necesarios para desarrollar aplicaciones de terceros.

2.5.4.3 Cisco Meraki CMX

La compañía Meraki forma parte de Cisco, pero se encuentra mucho más orientada a la venta de puntos de acceso inalámbricos. Dispone de la misma API REST [21] que en el caso de Cisco, aunque como factor diferencial, cuenta con una API por suscripción que envía datos hacia un determinado servidor HTTP que se ha configurado por el cliente. Meraki cuenta con una implementación web a modo de ejemplo para recibir localizaciones de usuarios en tiempo real (cada 20 segundos), subida a un repositorio público de código. Por lo tanto, el servicio nos devuelve en tiempo real un fichero JSON con una lista de objetos formados por los campos MAC del AP, MAC del cliente, nivel de intensidad recibida y el sello de tiempo en el que se produce la detección del dispositivo, como se muestra en la figura 12.

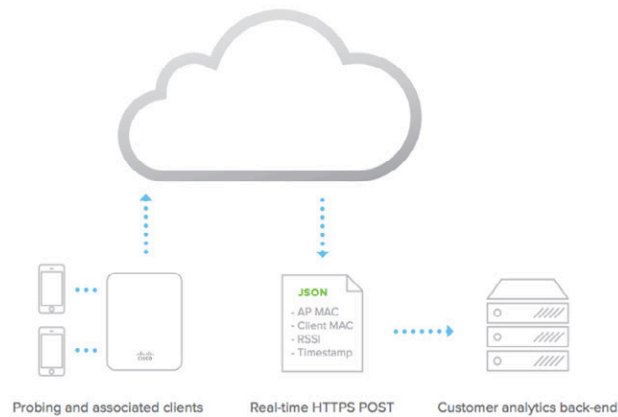


Figura 12. Funcionamiento del modo suscripción de Cisco Meraki CMX [21]

Otra diferencia con respecto a la plataforma de Cisco es que los mapas de calor pueden ser representados a través de Google Maps, lo cual también resulta de gran utilidad para el desarrollador a la hora de representar los dispositivos debido a la facilidad de uso.

2.5.4.4 Aruba ALE

Aruba es una empresa que forma parte de HP (*Hewlett Packard*) centrada en la venta de puntos de acceso y soluciones Wi-Fi, entre ellos el servicio de localización llamado ALE (*Aruba Location Engine*) [22]. Este servicio, al igual que los anteriores, permite realizar las peticiones de forma asíncrona a través de la API REST, o también es posible configurar un servicio de tipo *publish/subscribe*, al igual que en Meraki. La arquitectura que sigue este servicio se muestra en la figura13.

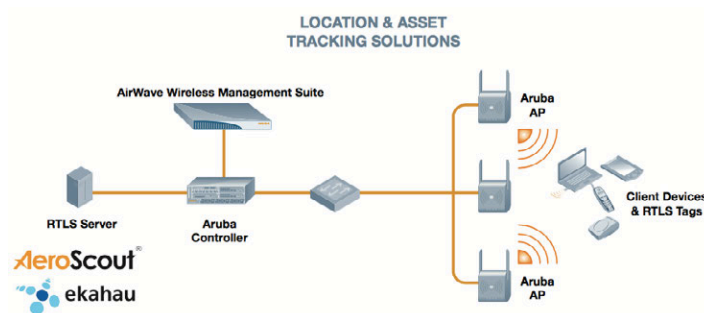


Figura 13. Elementos del servicio Aruba ALE [22]

Como desventaja, sólo dispone de 2 APIs [23] en lo que se refiere a la localización de usuarios, cuyos métodos se muestran a continuación en la tabla 7.

Tabla 7. Métodos de localización en la API REST de Aruba ALE

Método	URI del recurso	Descripción
GET	/api/v1/presence	Lista todos los dispositivos asociados que han sido detectados por ALE.
GET	/api/v1/location	Obtiene la localización de un dispositivo en base a su MAC.

Por lo tanto, esta desventaja se traduce en que los servicios que se quieran implementar por parte del desarrollador tendrán que ser realizados por él mismo, añadiendo una base de datos no relacional para guardar las localizaciones de usuarios (por cuestiones de rendimiento), además de la lógica de negocio pertinente.

2.5.4.5 Huawei

Huawei cuenta con una API [37] algo menos definida en cuanto a la localización de los usuarios ya que el sistema sigue en fase de desarrollo, pero cuenta con peticiones referentes a la parte WLAN que engloba la gestión de los APs (añadir, eliminar, editar configuraciones de red...) y dos peticiones referidas a la localización. Se muestra el método descrito en la tabla 8.

Tabla 8. Métodos de localización de la API REST de Huawei

Método	URI del recurso	Descripción
GET	/rest/openapi/rtls/locationquery	Obtiene una lista de las MACs de los usuarios en diferentes puntos de una región.
GET	/rest/openapi/rtls/locationmap	Obtiene información de las regiones de la instalación.

La desventaja principal de esta API es que solamente no existen métodos referidos a datos de analíticas o estadísticas de visitantes, habría que implementar la lógica de negocio posteriormente, al igual que en el caso de Aruba ALE.

3 ESPECIFICACIONES Y RESTRICCIONES DE DISEÑO

En este epígrafe se definen los requisitos o especificaciones del sistema que se desea diseñar e implementar. Además, se incluyen los diagramas referidos al sistema que se realiza.

3.1 Especificaciones del servicio

El sistema que se pretende diseñar tiene como objetivo la integración de varios servicios de localización Wi-Fi ofrecidos por diversos fabricantes de dispositivos. Las siguientes especificaciones son referidas al diseño del sistema de forma genérica. La empresa N2S deberá proveer el servicio en diferentes emplazamientos, según sea requerido por los diferentes clientes que deseen realizar la instalación. Entre las especificaciones se destacan las siguientes:

- Debe contar con un sistema de gestión centralizado para puntos de acceso, controladores de red y servidores, de forma que las configuraciones del servicio sean fáciles de realizar.
- Debe ser un sistema escalable en cuanto a infraestructura.
- El diseño de la solución software debe ser escalable en cuanto a la adición de nuevos servicios de localización.
- El servicio a diseñar deberá utilizar un sistema seguro con autenticación por *tokens* encriptados para evitar accesos no autorizados al servicio o minimizar el impacto de los mismos.
- Se debe proteger la información sensible del servidor web, de forma que no sea accesible desde fuera del servicio nada más que la presentación de la información en el navegador del cliente.
- Debe contar con licencias para el uso de los servicios proporcionados por los fabricantes.
- Debe cumplir con la normativa vigente en materia de conservación de datos y tratamiento de datos personales, de forma que la información procesada sobre dispositivos de usuarios para la obtención de analíticas o estadísticas no contenga información sensible.

La implementación del sistema desarrollado en este proyecto, resulta en el Centro Comercial Vialia, situado en Málaga. Por lo tanto, junto a las anteriores especificaciones, además, de forma específica para dicha instalación, debe cumplirse:

- Proporcionar cobertura WiFi en las áreas demandadas por el dueño del centro comercial. Por lo tanto, habrá cobertura en la zona comercial y de ocio, pero no se requiere en la zona del Hotel Barceló ni en la estación de AVE María Zambrano.

3.2 Restricciones económicas

En cuanto a las especificaciones anteriores, no se puede contar con todas las licencias de servicios de localización Wi-Fi (descritos en el apartado de antecedentes), ya que queda condicionada por restricciones económicas de la empresa en la que se realiza este proyecto. Por lo tanto, se toma en cuenta únicamente la licencia del servicio SPoT del fabricante Ruckus Wireless, como parte de la implementación.

Cabe destacar que la concepción de la API diseñada en el proyecto, sí que tiene en cuenta los factores de adaptación del resto de servicios de fabricantes aunque no se lleguen a implementar de forma real.

3.3 Restricciones legales

En este caso, las restricciones legales van de la mano de la confidencialidad de los datos de usuario sensibles que podrían ser capturados con este servicio.

El problema legal que puede producirse reside en que se podría obtener la dirección MAC de los dispositivos móviles de los visitantes del emplazamiento en claro. Si, además, el usuario se ha registrado en la red Wi-Fi de invitados disponible en el centro, se guardan en base de datos (dando el usuario su autorización a través de las condiciones de uso del servicio) la información como nombre, apellidos, edad, sexo, tráfico de bajada y subida, dirección IP, dirección MAC... Por lo que si se relaciona la información de localización a través del sistema Wi-Fi, y la información de uso de la red, podría conocerse la identidad del usuario y así, obtener los puntos de la planta trazando una trayectoria, su tiempo de permanencia... De esta forma, el usuario habría aceptado unas condiciones a la hora de conectarse en la red y utilizar el servicio, pero puede que no desee que sus datos personales sirvan para que sea localizado.

Para prevenir este problema, se realiza una operación de tipo *hash* a la que se le pasa como parámetro la dirección MAC del dispositivo en cuestión, dando como resultado una cadena de caracteres de salida de longitud fija, y que no puede realizarse la operación inversa para descubrir la cadena de caracteres original.

3.4 Restricciones tecnológicas

En cuanto a las restricciones tecnológicas del sistema, cabe destacar la imposibilidad de implementar una base de datos no relacional (para la lectura/escritura de grandes cantidades de datos con baja latencia) que se requeriría en caso de que se integrase algún servicio de fabricantes adicional, como se ha mencionado anteriormente en el marco tecnológico para casos como el de Huawei.

3.5 Diagramas

En este apartado se muestran diferentes diagramas que tienen relación con las especificaciones de diseño.

3.5.1 Diagrama de casos de uso

En la figura 14 se muestra el diagrama de casos de uso del sistema desarrollado en este proyecto, en el que se observan las funcionalidades que ofrece.

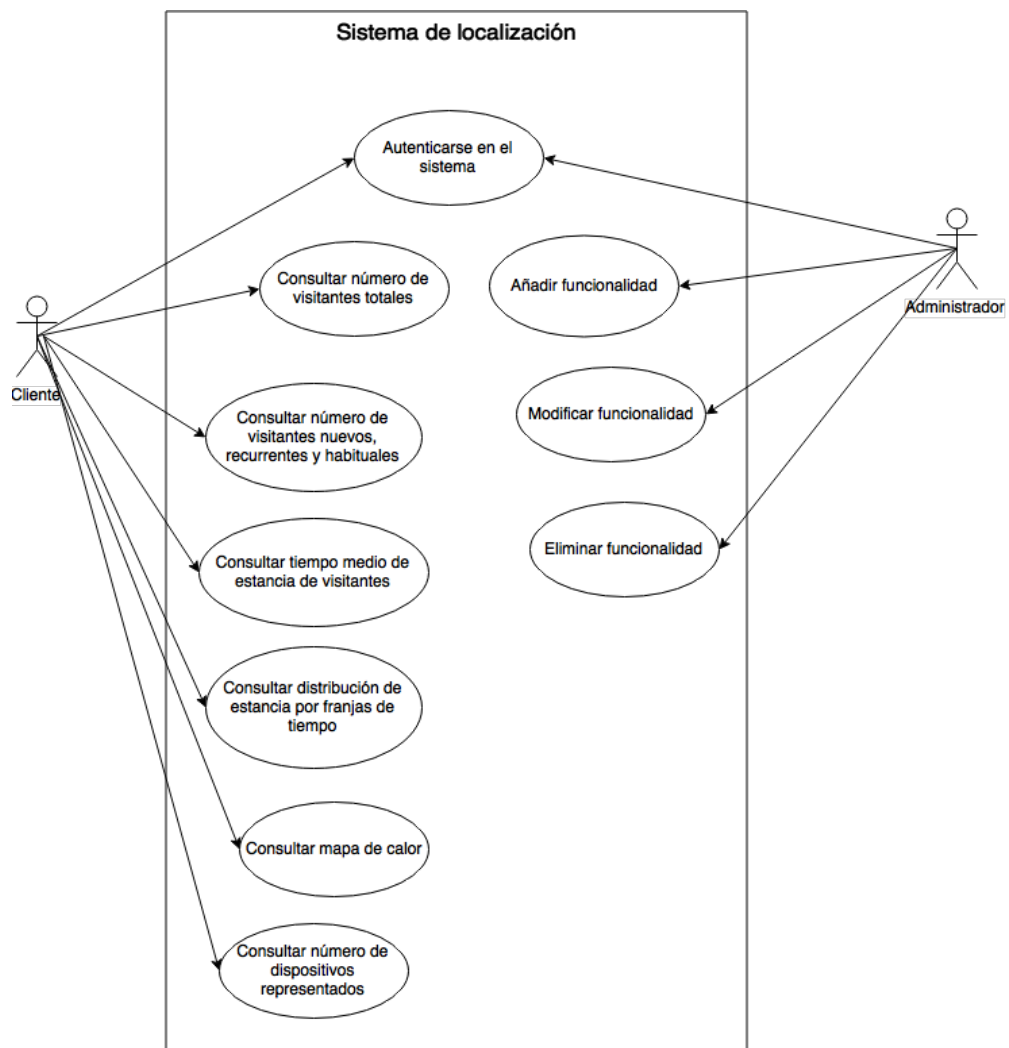


Figura 14. Diagrama de casos de uso del sistema

3.5.2 Diagrama de componentes

En la figura 15 se representa el diagrama de componentes, limitado a la relación de la API desarrollada junto con la parte de presentación de la información al cliente, ya que representar el conjunto de la plataforma de la empresa N2S no es objeto de este proyecto y dificultaría su comprensión.

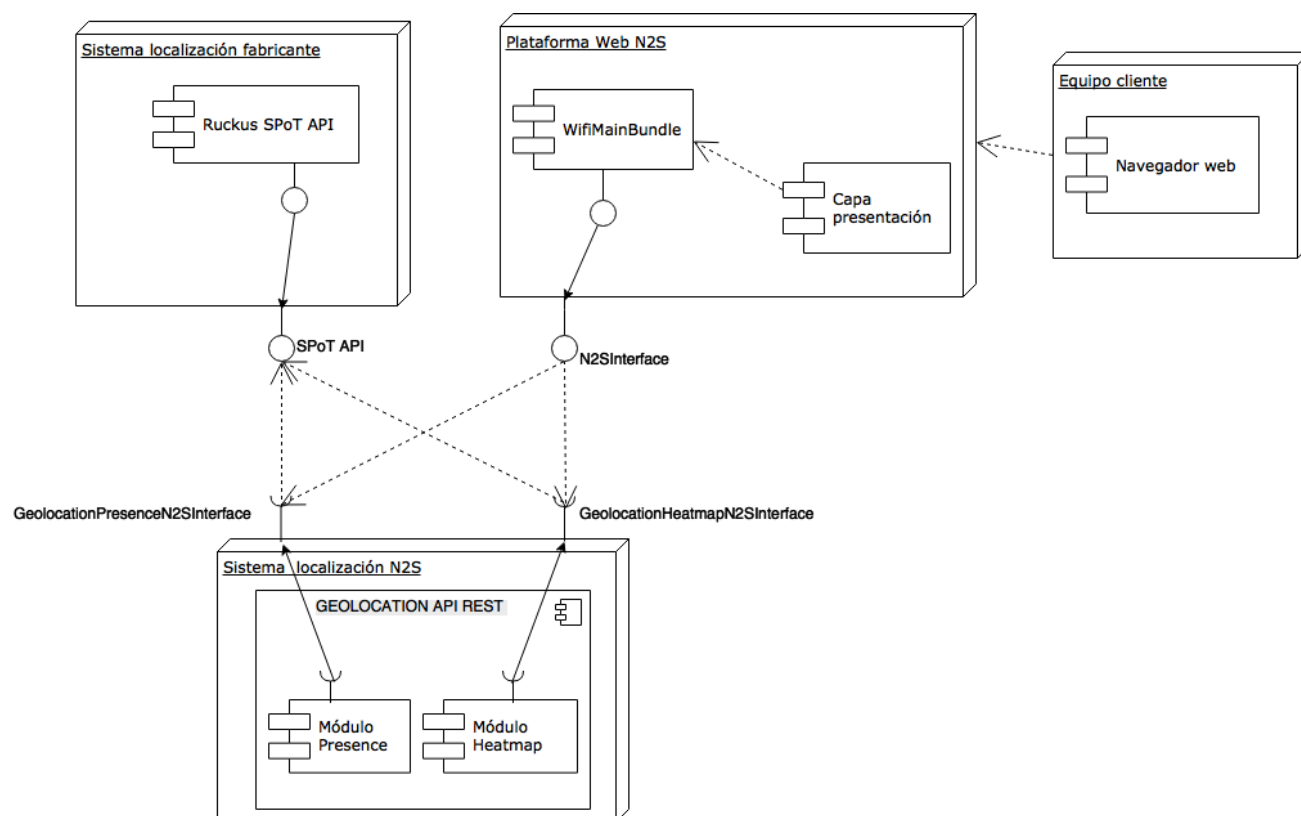


Figura 15. Diagrama de componentes del sistema

3.5.3 Diagrama de secuencia

En el diagrama de secuencia representado por la figura 16, vemos el proceso que se produce cuando un cliente quiere consultar las estadísticas ofrecidas por el servicio de localización. Se ha omitido el proceso de consulta de información de mapa de calor, ya que sería redundante.

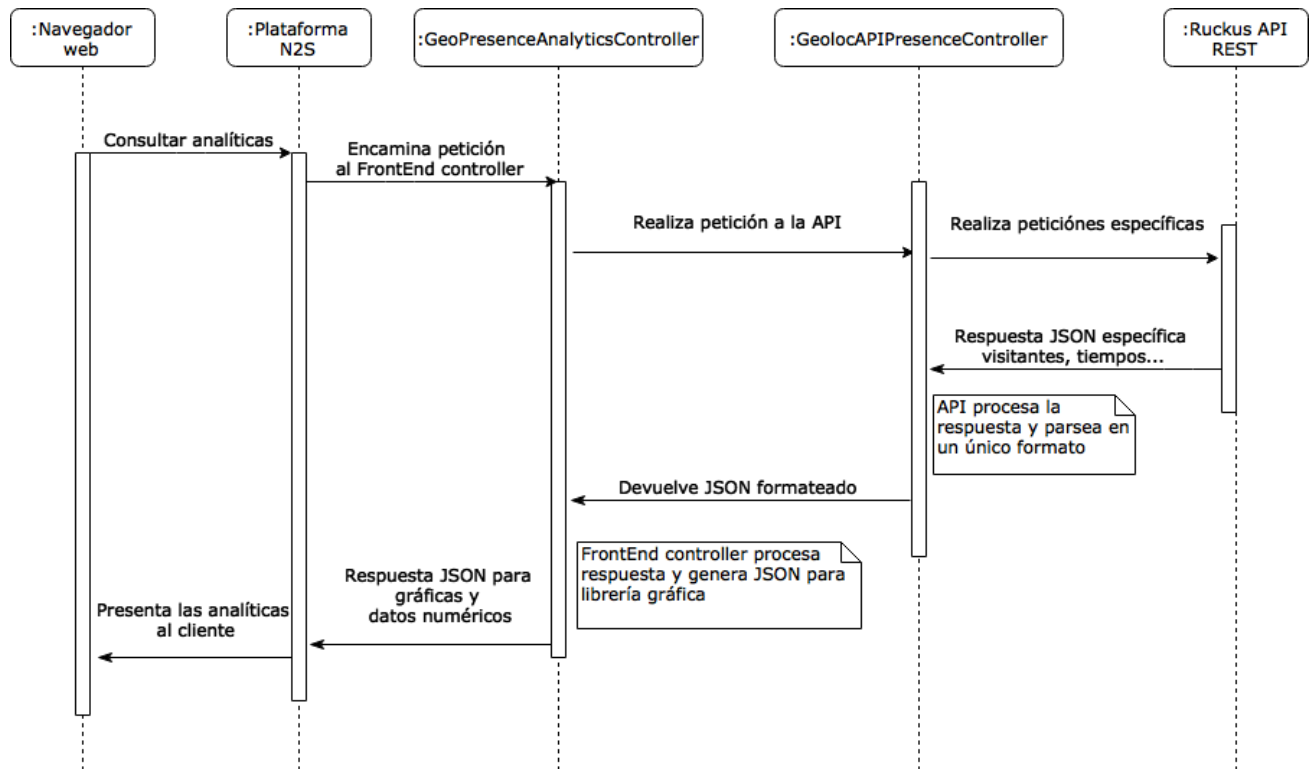


Figura 16. Diagrama de secuencia del sistema

4 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

4.1 Introducción

En este proyecto se describe la solución que permite a las empresas del sector *retail* obtener información acerca de cómo se comportan los clientes que visitan sus locales, de forma que estos negocios mejoren sus ventas. Para lo cual, en primer lugar, se han estudiado las diferentes soluciones existentes en el mercado que implementan algunos fabricantes de tecnologías Wi-Fi, tales como Ruckus, Aruba, Cisco, Meraki y Huawei.

Sin embargo, existen distintos inconvenientes que pueden dar como resultado que una compañía decida no implementar en su local un sistema de localización Wi-Fi aunque a la larga le resulte beneficioso, tales como requisitos económicos, tecnológicos, etc.

En cuanto a los requisitos económicos, se puede dar el caso en el que una compañía tenga desplegada una red de un fabricante que implemente los servicios de localización, pero que no desee dedicar una parte económica importante para ofrecerlos.

En cuanto a los requisitos tecnológicos, también se puede dar el caso de que una compañía disponga de una red híbrida de varios fabricantes (por ejemplo, un controlador de una marca, y unos APs de otra distinta), o que la red del fabricante que tiene desplegada no cuente con servicios de localización.

Por otra parte, desde la empresa N2S es fundamental que se pueda proporcionar un servicio Wi-Fi de calidad en cobertura, caudal y seguridad. De hecho, una de las características fundamentales de la compañía es la capacidad de adaptarse a las necesidades del cliente a través de soluciones personalizadas. Además, los clientes del sector del *retail* demandan con mayor frecuencia un servicio que les permita obtener datos analíticos o estadísticos sobre el estado de sus emplazamientos, por lo que el futuro de la compañía es implementar servicios de localización Wi-Fi que se oferten a dichos clientes. En concreto, se busca una herramienta que pueda unificar las distintas peculiaridades de los servicios de cada fabricante Wi-Fi, por lo que este proyecto se centra en el diseño y desarrollo de una API para adaptar los servicios de localización de los distintos fabricantes en uno solo.

De esta manera, este proyecto consigue que la empresa garantice a los clientes los mismos resultados aunque los fabricantes sean diferentes, y facilitando en gran parte las siguientes implementaciones de los servicios propios de la plataforma de N2S, permitiendo una mayor rapidez, y proporcionando un valor añadido a los clientes.

4.2 Diseño

En cuanto al diseño, hay que tener en cuenta dos partes fundamentales: en primer lugar, una parte de infraestructura de red, necesaria para obtener físicamente las señales que se convertirán en datos; y en segundo lugar, una parte software que nos permita representar los datos en una plataforma web, adaptados previamente a través de la API diseñada.

4.2.1 Infraestructura de red

Generalmente, en la mayoría de edificios de negocios en los que se implementa la tecnología Wi-Fi se encuentran desplegados los siguientes elementos de red:

- **Punto de Acceso inalámbrico (AP).** Hace de puente entre los dispositivos móviles inalámbricos y el controlador local.
- **Controlador.** Será el que gestione los APs, además de proveer acceso al exterior a través de un router/gateway de cualquier operador de red. Se encargan de gestionar las conexiones de los usuarios en la red, como los accesos y restricciones (por Listas de Control de Acceso - ACLs), autorizaciones (generalmente a través de un servidor de autenticación RADIUS), límites de usuarios simultáneos, límites de caudal, potencia radio de los APs, gestión de SSIDs, VLANs...
- **Router/Gateway.** Provee el acceso a Internet para los usuarios conectados a la red inalámbrica.

Cabe destacar que los controladores se encuentran conectados con el Centro de Operaciones de Red (NOC – Network Operation Center) de N2S, permitiendo la gestión de configuraciones y monitorización en remoto de las redes implantadas en el local, como se puede observar en la figura 17 de forma general.

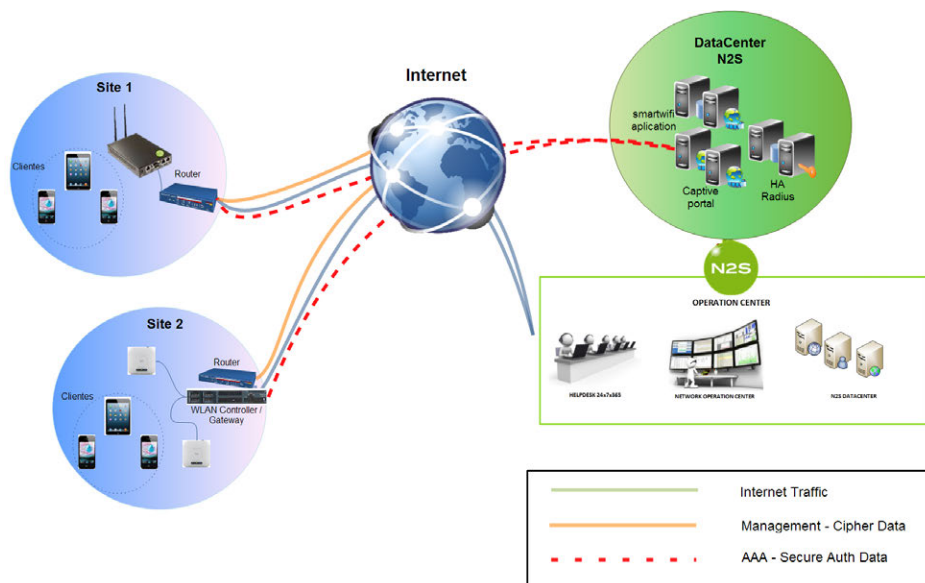


Figura 17. Infraestructura de N2S [38]

Esta infraestructura permite que los dispositivos se conecten a las SSIDs que se estén radiando en ese momento, o en este caso, que el intento de conexión sirva como método para conseguir la localización de dichos dispositivos. El proceso general del funcionamiento que se produce se puede observar en la figura 18.

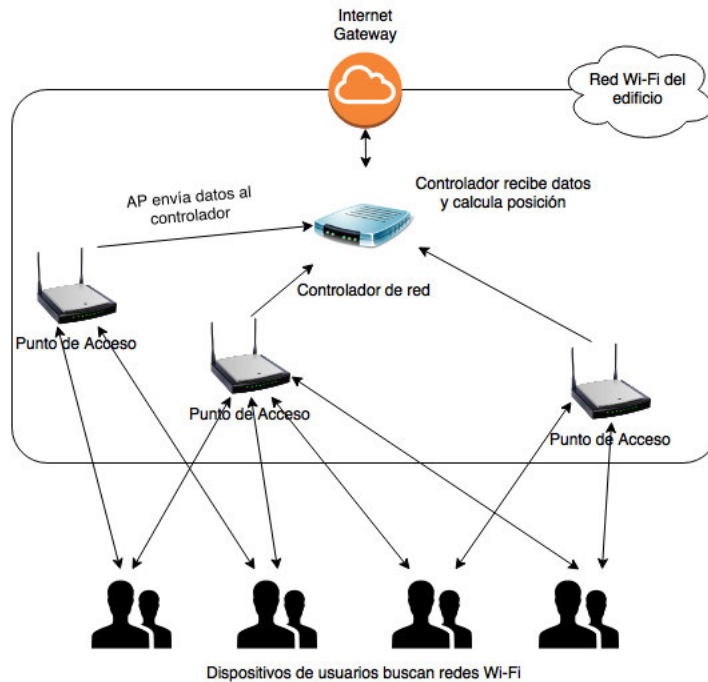


Figura 18. Infraestructura del emplazamiento

Por lo tanto, este proceso se describe a continuación:

1. El dispositivo entra en el edificio donde existe una infraestructura de red Wi-Fi.
2. Los APs del edificio estarán configurados para radiar una o varias SSIDs a las que los usuarios tienen la posibilidad de conectarse.
3. El dispositivo, si tiene el sistema Wi-Fi activado, se encuentra constantemente enviando señales para buscar SSIDs a las que conectarse (peticiones/respuestas de sondeo).
4. Los APs del edificio captan estas señales emitidas por el dispositivo, y recogen distintos parámetros de Calidad de Servicio, como la intensidad recibida (RSSI).
5. Estos APs enviarán las medidas realizadas al controlador al que estén conectadas.
6. El controlador almacena los parámetros recibidos por los APs, y posteriormente los envía al servidor en la nube del fabricante en cuestión.
7. El servidor remoto, a través de diferentes algoritmos almacena la posición de los dispositivos y realiza operaciones sobre los mismos.

Una vez descrito el funcionamiento del proceso de geolocalización que se produce en una infraestructura de red Wi-Fi genérica, necesitamos describir el diseño de la infraestructura que utilizaremos como base para la implementación del sistema de localización Wi-Fi.

La infraestructura que se va a utilizar para el diseño e implementación de la solución a lo largo de este proyecto será la del Centro Comercial Vialia (Málaga), cuyo emplazamiento se muestra en la figura 20. Este edificio se encuentra en el centro de la ciudad, alberga la estación de AVE María Zambrano (como se puede observar en la figura 19), y un hotel de la cadena Barceló, pero dichas zonas no se tienen en cuenta en el proyecto por las especificaciones del mismo. Así, el

estudio de cobertura Wi-Fi (y por lo tanto, el área que abarcan los APs para realizar la localización de dispositivos móviles) solamente incluye la zona comercial (tiendas) y de ocio (restaurantes).



Figura 19. Fachada del Centro Comercial Vialia [24]

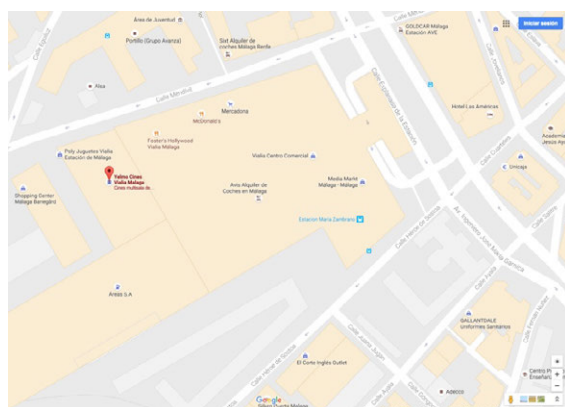


Figura 20. Situación del emplazamiento (Málaga) [38]

Por otra parte, el emplazamiento se compone de dos plantas, con una extensión de aproximadamente 30.000 m² cada una de ellas, como se puede apreciar en el capítulo 6 (PLANOS) de este documento.

El centro comercial utiliza una topología de red en estrella. Existen un total de 11 puntos de acceso, que se reparten en 7 APs situados en la planta baja, y 4 en la primera planta. Estos puntos de acceso se encuentran cableados con cable Gigabit Ethernet categoría 6 conectados a un switch de la marca Mikrotik de 12 puertos, localizado en la sala de Gerencia del centro comercial.

El aprovisionamiento del acceso a Internet se hace a través de un router de fibra óptica dedicada de Movistar, con un caudal de 100 Mb simétricos, cuyo titular de la línea es el propio cliente del Centro Comercial Vialia.

A continuación, se muestra en las tablas 9 e 10 el direccionamiento de red del emplazamiento.

- Planta Baja:

Tabla 9. Direccionamiento de red de la planta baja del Centro Comercial Vialia

Nombre	Modelo	MAC	IP gestión
Switch Ubiquiti 16P	SW UB 16		10.220.122.200
Rack RITI Principal	MK CCR1036-12G-4S		10.220.122.1
AP 1-1	Zone Flex R500	1CB9C4249200	10.220.122.4
AP 1-2	Zone Flex R500	743E2B1AEF40	10.220.122.3
AP 1-3	Zone Flex R500	743E2B1AEB30	10.220.122.2
AP 1-4	Zone Flex R500	743E2B1AAD40	10.220.122.5
AP 1-5	Zone Flex R500	743E2B1BBD30	10.220.122.6
AP 1-6	Zone Flex R500	743E2B1AE7C0	10.220.122.9
AP 1-7	Zone Flex R500	743E2B1B8F60	10.220.122.7

- Planta primera:

Tabla 10. Direccionamiento de red de la primera planta del Centro Comercial Vialia

Nombre	Modelo	MAC	IP gestión
Rack Centro Seguridad	SW UB 16		10.220.122.201
AP 2-1	Zone Flex R500	743E2B1B89E0	10.220.122.11
AP 2-2	Zone Flex R500	743E2B1B9180	10.220.122.10
AP 2-3	Zone Flex R500	743E2B1B9F20	10.220.122.12
AP 2-4	Zone Flex R500	743E2B1AF760	10.220.122.8

4.2.2 Arquitectura software

Como ya se ha mencionado anteriormente, en este proyecto se pretende realizar una integración de los diferentes servicios de localización existentes dentro de la plataforma Wi-Fi de la empresa N2S. Estos servicios son accesibles por medio de API REST que publican dichas compañías.

Para lograr este objetivo, se procederá a diseñar una API que adaptará la información de localización entre la empresa que desea realizar la integración de los servicios, y las API REST de los fabricantes. En la figura 21 se puede observar la arquitectura general del sistema.

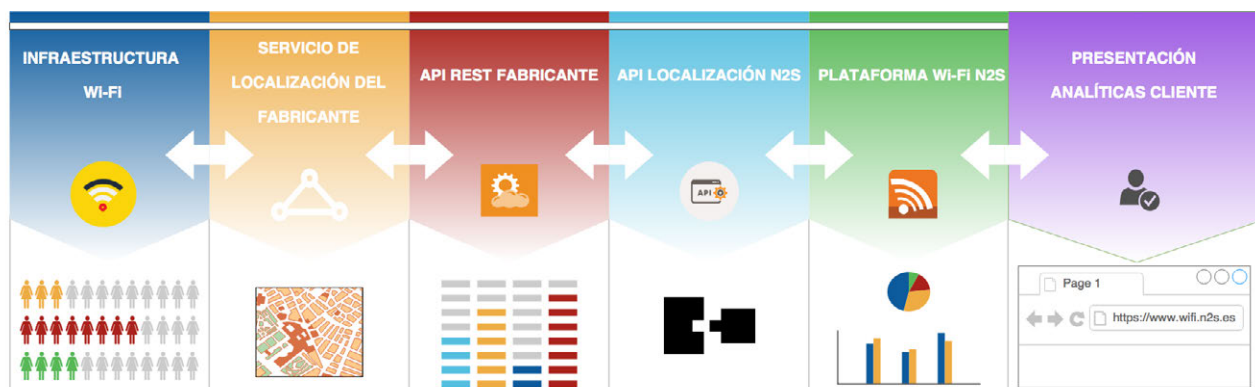


Figura 21. Arquitectura software general del sistema

De manera breve, la arquitectura general está formada por los siguientes elementos:

- **Infraestructura Wi-Fi.** Los usuarios que visitan el centro comercial serán localizados como se describió en el apartado anterior.
- **Servicio de localización del fabricante.** Cada fabricante posee servidores en la nube que realizan cálculos sobre los datos que reciben de los dispositivos que han sido detectados anteriormente.
- **API REST fabricante.** Cada una de las empresas publica una serie de definiciones o métodos para que las aplicaciones de terceros puedan hacer uso de sus servicios a través de Internet.
- **API localización N2S.** Será la interfaz a diseñar e implementar en este proyecto, que se encargará de adaptar los métodos de las API REST de fabricantes y la plataforma Wi-Fi de N2S, de manera que se abstraiga a esta plataforma de la lógica de negocio de cada uno de ellos.
- **Plataforma Wi-Fi N2S.** Servicio web que permite a clientes finales administrar sus propias instalaciones Wi-Fi, de manera que puedan ver informes sobre conexiones, cambiar los nombres de las redes, configurar distintos métodos de autenticación, portales cautivos, campañas de anuncios, etc.
- **Presentación analíticas al cliente.** La última de las capas para presentar los resultados en el navegador web del cliente final, pudiendo acceder a los servicios ofrecidos por la plataforma Wi-Fi de N2S.

El diseño de la API de localización, estará compuesto por los patrones *Factory* (Factoría) y *Adapter* (Adaptador), que servirán como pilar para todo el proceso de integración de los servicios de localización. De esta forma, si la infraestructura del emplazamiento estuviera formada por más fabricantes, o bien, existen otros emplazamientos con una instalación de otro distinto, simplemente se instanciarían a través de la factoría los nuevos servicios en la capa de adaptación, de forma que el sistema siempre sería fácilmente escalable. En la figura 22 se muestra el diseño referido a la implementación del sistema en el Centro Comercial Vialia, haciendo uso de la API SPoT de Ruckus Wireless.

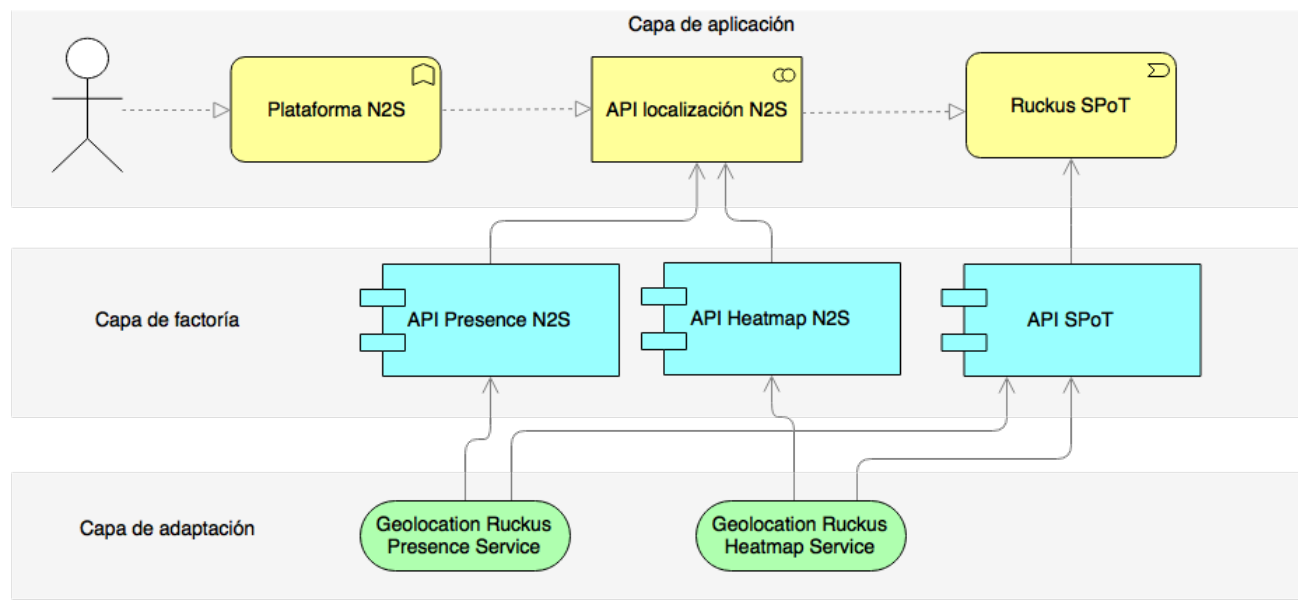


Figura 22. Diseño de la implementación con SPoT

La definición de métodos de la API de localización viene dada en la tabla 11.

Tabla 11. Métodos de la API diseñada en el proyecto

Método	URI del recurso	Descripción
GET	/geolocation/api/presence/{vendedor}	Devuelve confirmación si el servicio de presencia se encuentra disponible.
GET	/geolocation/api/heatmap/{vendedor}	Devuelve confirmación si el servicio de mapas de calor se encuentra disponible.
GET	/geolocation/api/presence/visitors/count/{vendedor}/{wifiareaID}/{startDate}/{endDate}	Devuelve la cuenta de visitantes en un rango de días

Método	URI del recurso	Descripción
		determinado.
GET	/geolocation/api/presence/loyalty/count/ {vendor}/{wifiareaID}/{startDate}/{endDate}	Devuelve el número de visitantes nuevos (1 vez), recurrentes (entre 2 y 5 veces) y habituales (más de 5 veces).
GET	/geolocation/api/presence/avgdwelltime/ {vendor}/{wifiareaID}/{startDate}/{endDate}	Media de tiempo de permanencia de clientes en el establecimiento.
GET	/geolocation/api/presence/dwelltimedistribution/ {vendor}/{wifiareaID}/{startDate}/{endDate}	Distribución del número de visitantes encontrados por tiempos de permanencia en distintos periodos.
GET	/geolocation/api/heatmap/map/info/ {vendor}/{wifiareaID}	Devuelve datos generales sobre el emplazamiento para mapas de calor: número de plantas, dimensiones, escala de unidades...
GET	/geolocation/api/heatmap/macs/list/ {vendor}/{wifiareaID}/{startDate}/{endDate}/{limit}	Lista de direcciones MAC detectadas, posición en el mapa y sello de tiempo.

Los parámetros de las peticiones anteriores serán del tipo cadena de caracteres. Se pueden distinguir los siguientes:

- **Vendor.** Nombre del proveedor de servicio de localización de la infraestructura desplegada en el emplazamiento (Ruckus, Cisco, Meraki, Aruba o Huawei).
- **WifiareaID.** Identificador del emplazamiento en la plataforma de N2S. Se puede obtener a través de una petición a la base de datos de la empresa. Para el caso del Centro Comercial Vialia será 29N2S010.
- **StartDate.** Fecha de inicio del rango de petición de los datos, siguiendo el formato YYYY/MM/DD (año/mes/día).
- **EndDate.** Fecha de fin del rango de petición de los datos, siguiendo el formato YYYY/MM/DD (año/mes/día).
- **Limit.** Límite de dispositivos localizados que se desean recibir por petición.

Los códigos de respuesta HTTP de la API se definen a continuación:

- **200.** Petición aceptada, se devuelven los datos estructurados en formato JSON.
- **400.** Formato de la petición inválido. Por ejemplo, introducir la fecha en un formato distinto al especificado como YYYY/MM/DD.
- **401.** Credenciales inválidas (usuario y contraseña proporcionados para autenticar el servicio).
- **404.** Recurso no encontrado. Si no se ha podido recuperar la información solicitada.
- **422.** Método inválido. Si la petición se realiza con un método HTTP diferente al definido en la API.
- **500.** Error interno del servidor. Si se produce caída del servicio web.

En cuanto a las peticiones aceptadas, las respuestas en formato JSON que devuelve la API se estructurarán de la forma mostrada desde las figuras 23 hasta la 30.

GET /geolocation/api/presence/{vendedor}

```
{
  "available": "yes"
}
```

Figura 23. Respuesta JSON si existe fabricante con servicio de presencia

GET /geolocation/api/presence/visitors/count/{vendedor}/{wifiareaID}/{startDate}/{endDate}

```
{
  "totalVisitors": 55947,
  "days": 3,
  "visitorsByTimestamp": [
    {
      "timestamp": "2017-05-01T00:00:00+02:00",
      "visitors": 14525
    },
    {
      "timestamp": "2017-05-02T00:00:00+02:00",
      "visitors": 20913
    },
    {
      "timestamp": "2017-05-03T00:00:00+02:00",
      "visitors": 20509
    }
  ]
}
```

Figura 24. Respuesta JSON con información de visitantes

GET /geolocation/api/presence/loyalty/count/{vendedor}/{wifiareaID}/{startDate}/{endDate}

```
{
  "totalNewVisitors": 8843,
  "totalRecurringVisitors": 4420,
  "totalUsualVisitors": 0,
  "days": 2,
  "loyaltyVisitorsByTimestamp": [
    {
      "timestamp": "2017-05-01T00:00:00+02:00",
      "0": {
        "newVisitors": 3740,
        "recurringVisitors": 1600,
        "usualVisitors": 0
      }
    },
    {
      "timestamp": "2017-05-02T00:00:00+02:00",
      "0": {
        "newVisitors": 5103,
        "recurringVisitors": 2820,
        "usualVisitors": 0
      }
    }
  ]
}
```

Figura 25. Respuesta JSON con información sobre los tipos de visitantes

GET /geolocation/api/presence/avgdwelltime/{vendedor}/{wifiareaID}/{startDate}/{endDate}


```
{
  "totalAverageDwellTimeMins":24.02904829805,
  "days":3,
  "dwellTimeMinsByTimestamp":
  [
    {"timestamp":"2017-05-01T00:00:00+02:00","dwellTimeMins":24.070567986231},
    {"timestamp":"2017-05-02T00:00:00+02:00","dwellTimeMins":23.707980681873},
    {"timestamp":"2017-05-03T00:00:00+02:00","dwellTimeMins":24.308596226047}
  ]
}
```

Figura 26. Respuesta JSON con información de tiempo de permanencia

GET

/geolocation/api/presence/dwelltimedistribution/{ vendor}/{ wifiareaID}/{ startDate}/{ endDate}

```
{
  "totalAverageDist2Mins":0,
  "totalAverageDist315Mins":12329.333333333,
  "totalAverageDist1630Mins":3074.3333333333,
  "totalAverageDist3160Mins":2041,
  "totalAverageMoreThanHour":1204.3333333333,
  "days":3,
  "dwellTimeDistributionByTimestamp":
  [
    {"timestamp":"2017-05-01T00:00:00+02:00","0":{"0-3 mins":0,"4-15 mins":9875,"16-30 mins":2077,"31-60 mins":1553,">60 mins":1020}},
    {"timestamp":"2017-05-02T00:00:00+02:00","0":{"0-3 mins":0,"4-15 mins":13680,"16-30 mins":3652,"31-60 mins":2335,">60 mins":1246}},
    {"timestamp":"2017-05-03T00:00:00+02:00","0":{"0-3 mins":0,"4-15 mins":13433,"16-30 mins":3494,"31-60 mins":2235,">60 mins":1347}}
  ]
}
```

Figura 27. Respuesta JSON con información de tipos tiempo de permanencia

GET /geolocation/api/heatmap/{ vendor}

```
{
  "available":"yes"
}
```

Figura 28. Respuesta JSON si existe fabricante con servicio de mapa de calor

GET /geolocation/api/heatmap/map/info/{ vendor}/{ wifiareaID}

```
{
  "vendorName":"Ruckus",
  "wifiareaID":"29n2s010",
  "wifiareaName":"CC_VIALIA",
  "totalFloors":2,
  "mapInfo":
  {
    "width":5098,
    "height":3016,
    "scale":98,
    "floorsInfo":
    [
      {
        "floorName":"Planta Baja",
        "floorNumber":1,
        "floorURL":"https://us-sys.ruckuslbs.com/venues/29n2s010/radio_maps/29n2s010_radio_map_1/files/floor_1.png"
      },
      {
        "floorName":"Planta Primera",
        "floorNumber":2,
        "floorURL":"https://us-sys.ruckuslbs.com/venues/29n2s010/radio_maps/29n2s010_radio_map_1/files/floor_2.png"
      }
    ]
  }
}
```

Figura 29. Respuesta JSON con información sobre el emplazamiento

GET /geolocation/api/heatmap/macs/list/{vendor}/{wifiareaID}/{startDate}/{endDate}/{limit}

```
[
  {
    "vendorName": "Ruckus",
    "wifiareaID": "29n2s010",
    "timestamp": "2017-05-07 00:00:00",
    "floor": 0,
    "coordX": 0,
    "coordY": 0,
    "MAC": "000666C011B8"
  },
  {
    "vendorName": "Ruckus",
    "wifiareaID": "29n2s010",
    "timestamp": "2017-05-07 00:00:00",
    "floor": 1,
    "coordX": 2470,
    "coordY": 1221,
    "MAC": "000822243B1B"
  },
  {
    "vendorName": "Ruckus",
    "wifiareaID": "29n2s010",
    "timestamp": "2017-05-07 00:00:00",
    "floor": 2,
    "coordX": 2314.05,
    "coordY": 1151.97,
    "MAC": "00116B2FF34E"
  }
]
```

Figura 30. Respuesta JSON con información de localización de los visitantes

4.3 Implementación

4.3.1 Entorno de desarrollo

En primer lugar, este proyecto se ha desarrollado en un entorno de trabajo local para evitar el posible impacto negativo que pudiera tener en la plataforma de N2S. Dicho entorno consta de un ordenador portátil con las siguientes especificaciones:

- **Marca:** Apple.
- **Modelo:** MacBook Pro (13 pulgadas, finales de 2011).
- **Procesador:** 2,4 GHz Intel Core i5.
- **Memoria RAM:** 8 GB 1333MHz DDR3.
- **Almacenamiento:** Disco SATA 500 GB.
- **Gráficos:** Intel HD Graphics 3000 512 MB.
- **Sistema Operativo:** macOS Sierra.

4.3.2 Configuración del servicio Ruckus SPoT

Antes de comenzar con la implementación de la aplicación web, es necesario realizar una configuración del servicio de localización del Centro Comercial Vialia. Para ello, es necesaria

una licencia de utilización del servicio, junto con unas credenciales de acceso en la plataforma SPoT [25] cuya página de inicio se muestra en la figura 31.

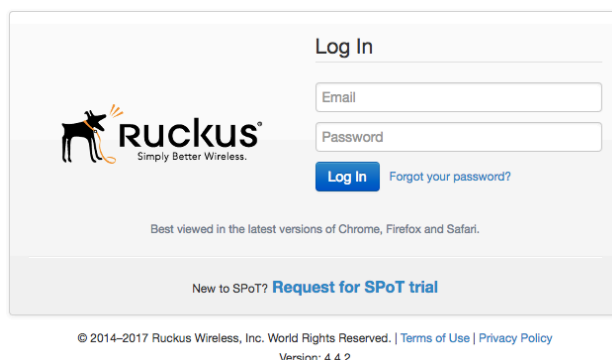


Figura 31. Página de acceso de la plataforma SPoT [25]

Una vez dentro, se añade el nuevo emplazamiento, llamados en este caso *venues*. A continuación se muestra la configuración del servicio [26]:

- **Venue ID:** 29n2s010.
- **Name:** CC_VIALIA.
- **License type:** Point.
- **Number of clients/min:** 0 x10.
- **Approximate number of access points to be deployed:** 11.
- **Industry vertical:** Retail.
- **Address:** Calle Explanada de la Estación, 29002 Málaga, España.

Después, en la pestaña **Config** aparecerá información para configurar el servicio de localización en el controlador en la nube de Ruckus, como muestra la figura 32.

CC_VIALIA (29n2s010) - Config

CONTROLLER SETTINGS

Venue name:
29n2s010

Server FQDN:
29n2s010.venue.ruckuslbs.com

Server port:
8883

Password:
oaK5uWNLAIGOGD6yR5pWGjUz5yBoshtA

Last Updated:
-

Figura 32. Información de configuración para el Centro Comercial Vialia en la plataforma SPoT [25]

Ahora, será necesario realizar algunas configuraciones en el controlador virtual de Ruckus (vSZ – *virtual Smart Zone*) al cual se conectan los APs para la utilización del servicio de localización. Entre estas configuraciones habrá que llevar a cabo de forma resumida:

- Crear dos nuevas SSIDs en la red, una para la calibración de la banda de 2,4 GHz, y otra para la de 5 GHz, cada una de las bandas en el mismo canal.
- Introducir la información de acceso en el vSZ (vista en la captura de la figura 33) proporcionada por la plataforma SPoT para que los APs puedan conectarse al servidor LBS (*Location Based Services*) de Ruckus.

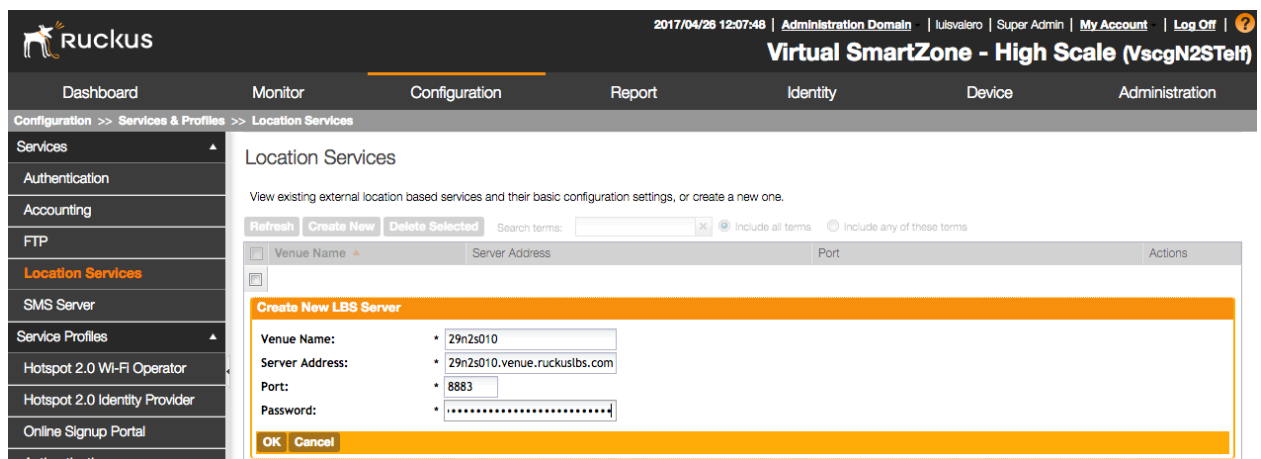


Figura 33. Configuración LBS en Ruckus vSZ [39]

Una vez configurado correctamente lo anterior, al volver a la plataforma SPoT de Ruckus se deben configurar los APs del emplazamiento con un nombre y la MAC asociada al mismo, como se observa en la figura 34.

Name	Mac	2.4GHz Status	5GHz Status
1-1	1CB9C4249200		
1-2	743E2B1AEF40		
1-3	743E2B1AEB30		
1-4	743E2B1AAD40		
1-5	743E2B1BBD30		
1-6	743E2B1AE7C0		
1-7	743E2B1B8F60		
2-1	743E2B1B89E0		
2-2	743E2B1B9180		
2-3	743E2B1B9F20		
2-4	743E2B1AF760		

Figura 34. Estado de conexión de los APs en la plataforma SPoT [25]

Además, se comprobará que los APs se están comunicando correctamente con el servicio en la nube de Ruckus SPoT, cuando tengan la columna *Provision Method* en modo *Discovered*, como se aprecia en la figura 35.

AP MAC Address	AP Name	Zone	AP Group	Model	AP Firmware	IP Address	External IP Addr...	Provision Method
1C:B9:C4:24:92:00	RuckusAP	CENTRO ...	WIFI VIALIA	R500	3.2.1.0.642	10.220.122.4	195.53.255.234:...	Discovered
74:3E:2B:1A:AD:40	RuckusAP	CENTRO ...	WIFI VIALIA	R500	3.2.1.0.642	10.220.122.5	195.53.255.234:...	Discovered
74:3E:2B:1A:E7:C0	RuckusAP	CENTRO ...	WIFI VIALIA	R500	3.2.1.0.642	10.220.122.9	195.53.255.234:...	Discovered
74:3E:2B:1A:EB:30	RuckusAP	CENTRO ...	WIFI VIALIA	R500	3.2.1.0.642	10.220.122.2	195.53.255.234:...	Discovered
74:3E:2B:1A:EF:40	RuckusAP	CENTRO ...	WIFI VIALIA	R500	3.2.1.0.642	10.220.122.3	195.53.255.234:...	Discovered
74:3E:2B:1A:F7:60	RuckusAP	CENTRO ...	WIFI VIALIA	R500	3.2.1.0.642	10.220.122.8	195.53.255.234:...	Discovered
74:3E:2B:1B:89:E0	RuckusAP	CENTRO ...	WIFI VIALIA	R500	3.2.1.0.642	10.220.122.11	195.53.255.234:...	Discovered
74:3E:2B:1B:8F:60	RuckusAP	CENTRO ...	WIFI VIALIA	R500	3.2.1.0.642	10.220.122.7	195.53.255.234:...	Discovered
74:3E:2B:1B:91:80	RuckusAP	CENTRO ...	WIFI VIALIA	R500	3.2.1.0.642	10.220.122.10	195.53.255.234:...	Discovered
74:3E:2B:1B:9F:20	RuckusAP	CENTRO ...	WIFI VIALIA	R500	3.2.1.0.642	10.220.122.12	195.53.255.234:...	Discovered
74:3E:2B:1B:BD:30	RuckusAP	CENTRO ...	WIFI VIALIA	R500	3.2.1.0.642	10.220.122.6	195.53.255.234:...	Discovered

Figura 35. Estado de conexión de los APs en Ruckus vSZ [39]

Más tarde, es necesario configurar el mapa radio que se utilizará para cada una de las plantas del local en cuestión. Para ello se siguen los siguientes pasos:

- Se pincha en la pestaña **Radio Maps**, seleccionando **Create Radio Map** en el que se introducen los campos, como se representa en la figura 36.
 - Name:** 29n2s010_radio_map (nombre del mapa).
 - Comments:** breve descripción del mapa.

CC_VIALIA (29n2s010) - Create Radio Map

RADIO MAP SETTINGS

Name:
29n2s010_radio_map
Only lowercase letters, numbers, underscores and dashes are accepted. (If this is your first radio map, you may use 1_0_0; Subsequent updates could be named 1_0_1, or 1_1_0, or 2_0_0)

Comments:
Mapa radio del Centro Comercial Vialia (Málaga)
Additional description that will help you identify this radio map.

MAPPING

- Prepare images for each floor of the venue to be used as the display map.
- Using SPoT's mapping tool, plot the required metadata over the display map.

Start Mapping

Save Back

Figura 36. Configuración del mapa radio en la plataforma SPoT [25]

- Ahora, se pincha en el botón **Start Mapping** y **Add new floor**.
- El sistema pedirá cargar una imagen en formato JPG o PNG y dar un nombre a la planta. Seguidamente, se debe indicar la zona de cobertura que se quiere tener en cuenta a la hora de detectar localizaciones (representado como una capa negra en la figura 37).

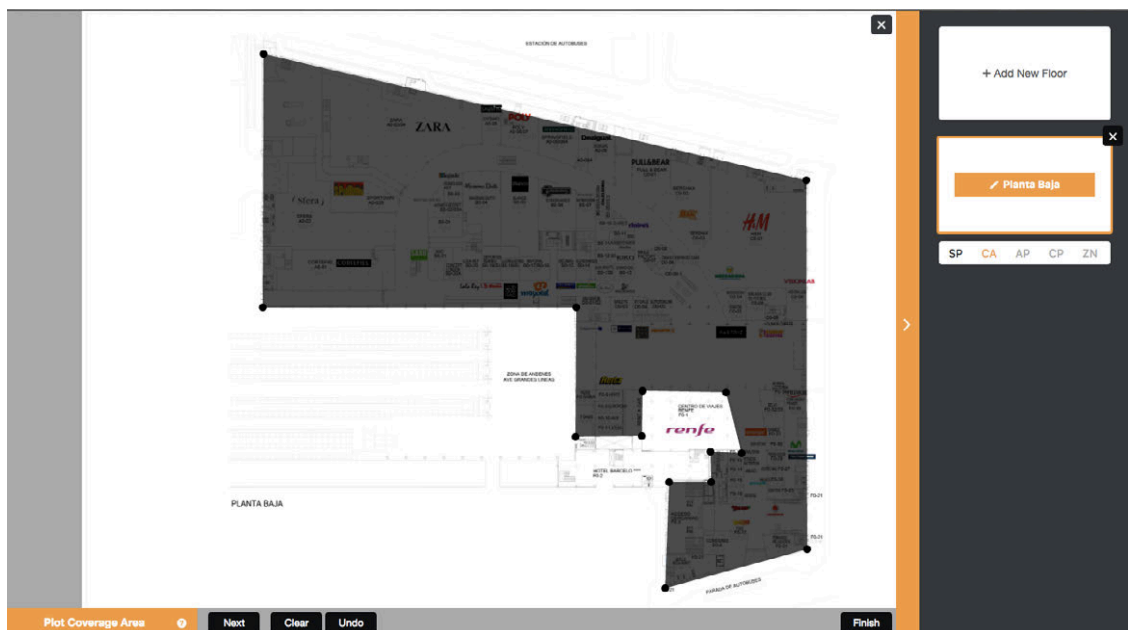


Figura 37. Selección del área de cobertura de la planta baja [25]

- Se sitúan los puntos de acceso en el mapa (representados por puntos rojos en la figura 38).

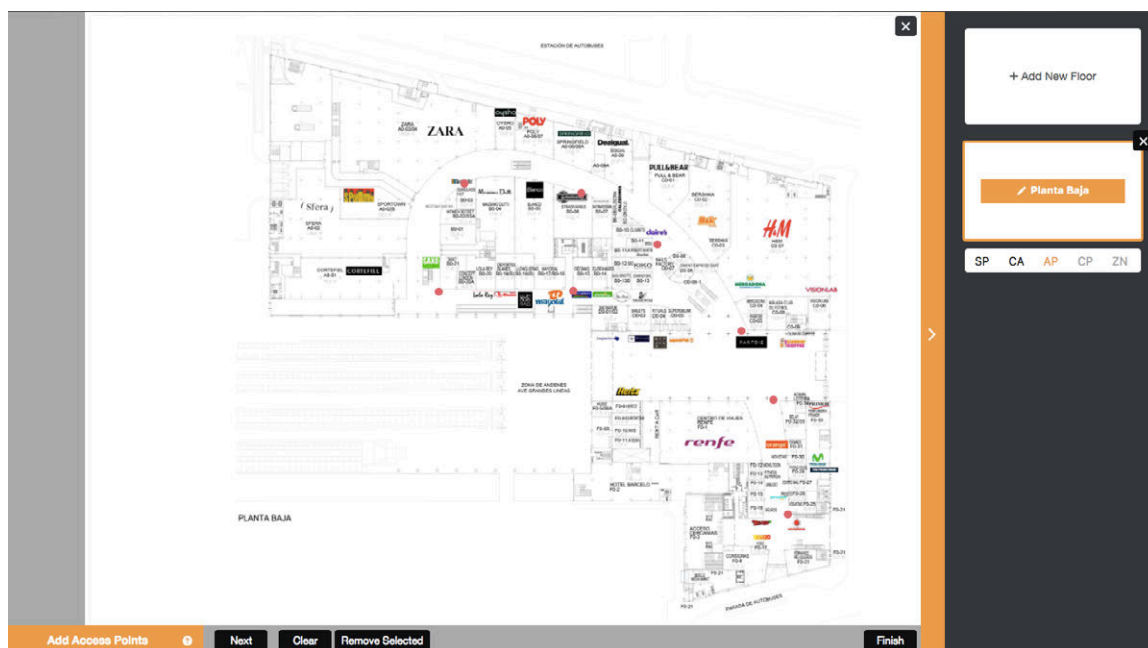


Figura 38. Situación de los puntos de acceso en la planta baja [25]

- A continuación, habrá que seleccionar una distancia dentro del mapa y facilitar al sistema la distancia real que existe en milímetros, como se aprecia en la figura 39.

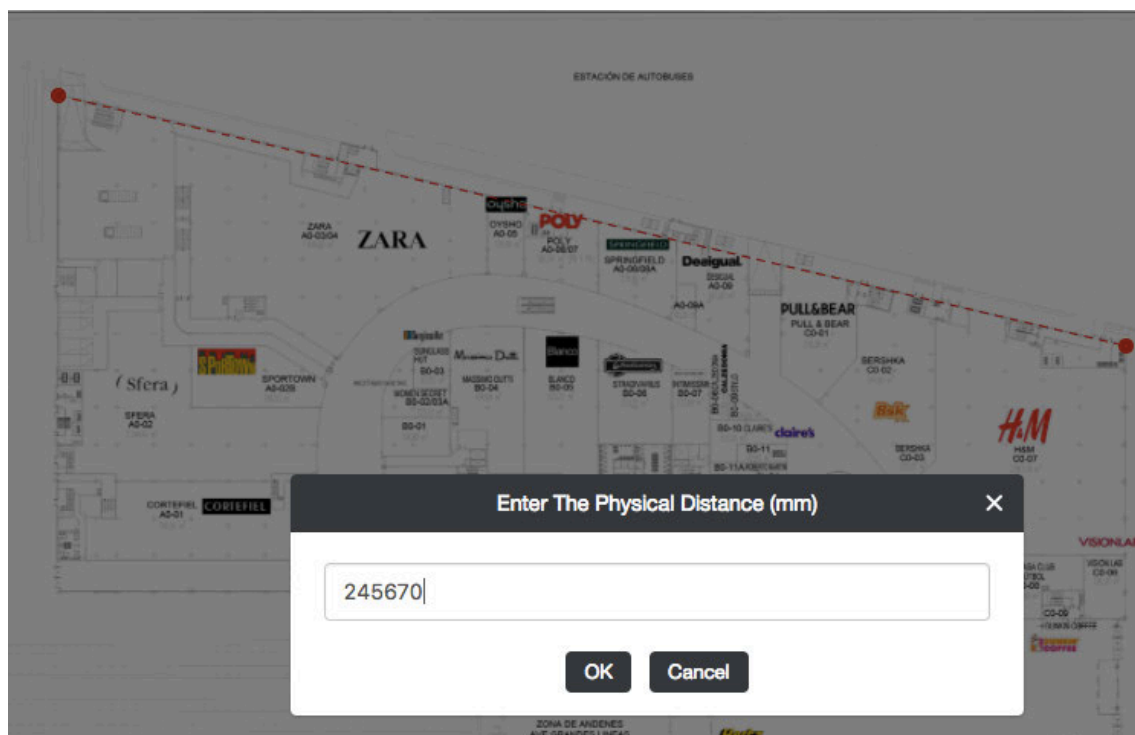


Figura 39. Introducción de la distancia de referencia en milímetros [25]

- Se introducen los puntos de calibración de la planta. Estos puntos (mostrados en color azul en la figura 40), serán aquellos donde se realizarán las medidas de intensidad para que el servicio de Ruckus complete su mapa a través de las RSSI.

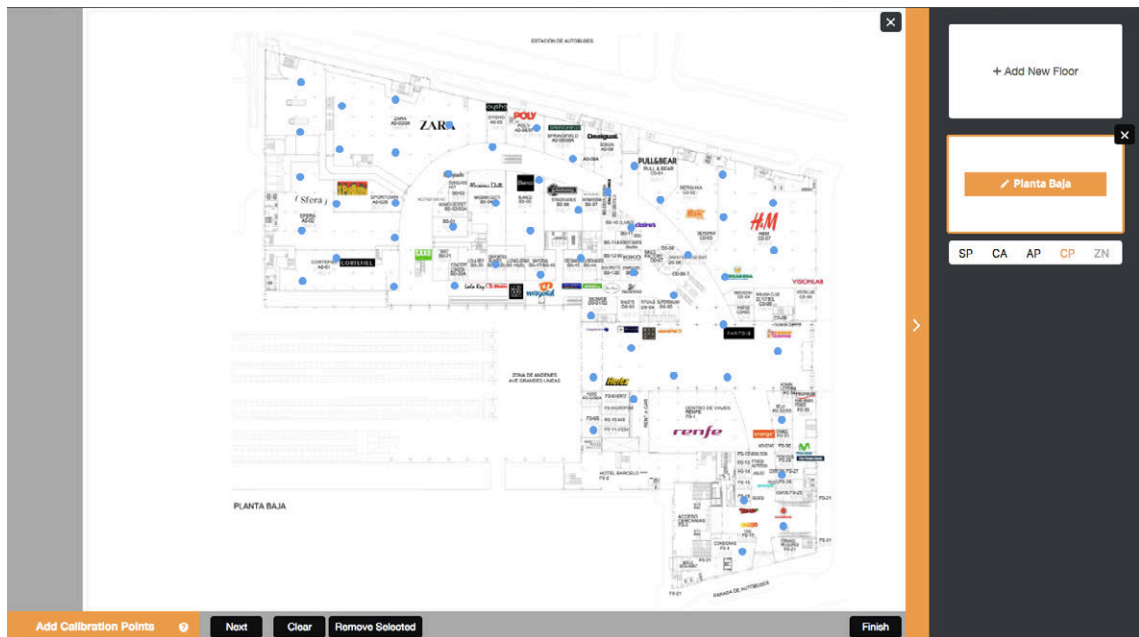


Figura 40. Situación de los puntos de calibración en la planta baja [25]

- De forma adicional, se pueden definir zonas de interés dentro del área de cobertura del centro comercial. Una opción interesante es definir una zona por cada local *retail*, como se muestra en la figura 41.



Figura 41. Selección de zonas en la planta baja [25]

El proceso anterior, desde la subida del mapa de planta hasta añadir zonas, se repite de igual forma con el de la planta primera.

4.3.3 Calibración del mapa radio de SPoT

El siguiente paso que hay que realizar para contar con datos de localización más precisos o con un menor porcentaje de error, se trata de calibrar el mapa radio en cada uno de los puntos, los cuales se ha visto en la captura de la figura 40.

Para lograr este paso, la compañía Ruckus Wireless cuenta con una aplicación en Android e iOS, por la cual se nos facilita este proceso. De esta manera, un técnico de N2S se encarga de realizar la calibración *in situ* mientras se le proporcionan una serie de directivas para que calibre correctamente el sistema [26].

- Crear un nuevo usuario en la plataforma Ruckus SPoT con permisos de calibrador, al que se le asignarán unas determinadas credenciales que configuremos (usuario y contraseña).
- El técnico descargará la aplicación en el terminal móvil en el que se realizarán las pruebas. Será interesante que el terminal disponga de una tarjeta de red Wi-Fi que opere en la banda de 5 GHz, ya que se tendrá que calibrar también en dicha banda, pero no existe una gran cantidad de terminales que dispongan de la misma.
- El técnico introducirá las credenciales de acceso proporcionadas y entrará en la aplicación, seleccionando el emplazamiento configurado anteriormente. En su interior, estarán disponibles las plantas que ya hayan sido configuradas, como se puede observar en las figuras 42 y 43.

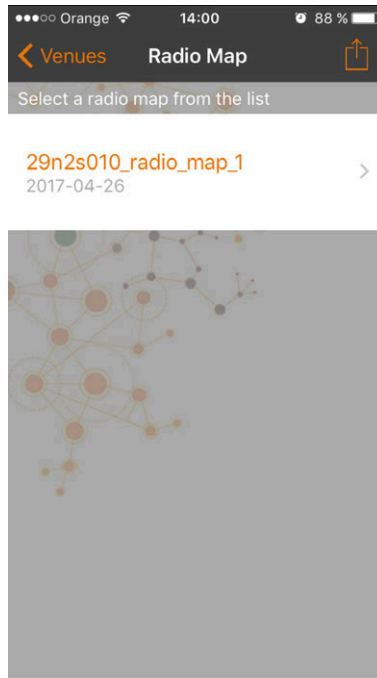


Figura 42. Selección del mapa radio en la aplicación de calibración móvil [26]

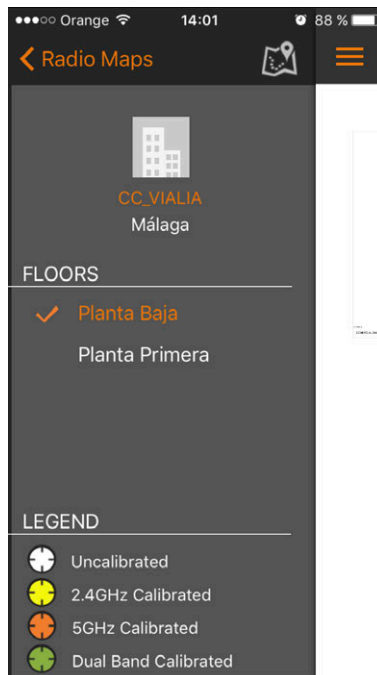


Figura 43. Selección de la planta en la aplicación de calibración móvil [26]

- La calibración se realiza en cada banda (2,4GHz y 5GHz) cuando se conecta a las SSIDs que han sido configuradas anteriormente para cada punto de calibración que haya en el mapa. Lo recomendable es que dure aproximadamente 30 segundos por cada punto. Además, durante este tiempo, la persona que se encuentre físicamente en el punto con el terminal móvil, deberá ir girando lentamente sobre sí misma (360°) para que la aplicación pueda hacer una correcta medida de la recepción de señales de los APs.

- Por último, la aplicación mostrará progresivamente el estado de calibración de los puntos (siguiendo la leyenda de colores vista en la figura Y anterior), como se puede apreciar en la figura 44 y 45 para cada una de las plantas del Centro Comercial Vialia.



Figura 44. Estado de los puntos de calibración en la planta baja [26]

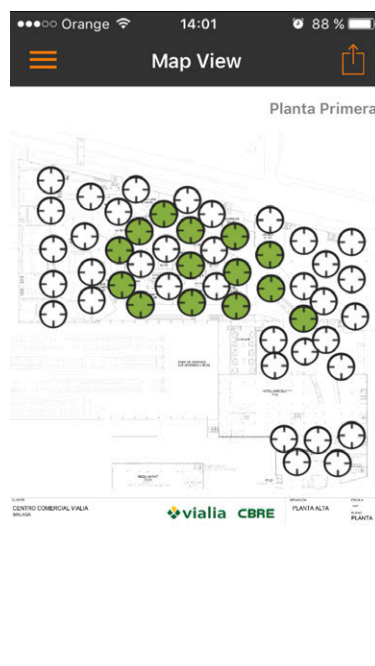


Figura 45. Estado de los puntos de calibración en la primera planta [26]

4.3.4 Infraestructura software y funcionamiento de la aplicación

Una vez configurado el servicio del emplazamiento real, el siguiente paso será definir las tecnologías a utilizar para la implementación de la arquitectura software de la aplicación web. De manera general, se puede distinguir entre dos elementos fundamentales:

- **Backend framework** o infraestructura de desarrollo de software de la parte oculta al cliente final. Se encargará de gestionar las instanciaciones de los servicios específicos del fabricante, y el formato de la información que se envíe hacia la plataforma web de N2S. Se utilizará el *framework* Symfony [27], el cual contendrá las clases requeridas para la implementación de la API escritas en lenguaje PHP (*Hypertext Preprocessor*). Es necesario distinguir entre:
 - **Controladores.** Ejecutarán métodos en función de la URI definida por cada método de la API.
 - **Interfaces.** Definirán los métodos que implementan los servicios.
 - **Servicios.** Adaptarán la información entre la API del fabricante y la API diseñada.

Symfony está formado por un conjunto de librerías reutilizables de PHP, que permiten realizar acciones comúnmente recurrentes como gestiones entre entornos de producción y desarrollo, limpiar la caché del sistema, gestionar la generación de URLs, convertir objetos en formatos de ficheros JSON y XML, enrutar peticiones HTTP, mapear bases de datos en clases PHP... Además, es importante destacar que está muy orientado a la reutilización de código, de forma que es posible realizar una aplicación web o proyecto creándolo como un *bundle* (estructura de ficheros que implementan una funcionalidad) [28], de tal manera, que si quisiera trasladar la funcionalidad que ofrece un *bundle* a otro proyecto symfony, bastaría con registrarlo en el proyecto de destino. En este caso, la API a diseñar se desarrolla como un *bundle*, para que así disponga de una fácil integración con la plataforma web N2S.

- **Frontend framework** o infraestructura de desarrollo de software de la parte que se presenta al cliente. Aquí se recogen los datos que llegan desde la API de localización, y se formateará la información en función de librerías gráficas específicas, para la correcta representación en un navegador hacia el cliente. Se utiliza el *framework* **AngularJS**, diseñado por Google para construir aplicaciones web [29]. Sigue el patrón MVVM (Modelo-Vista-VistaModelo), y las tecnologías más importantes de las que está compuesto son:
 - **HTML5.** *Hypertext Markup Language* versión 5 [30]. Es la última versión del lenguaje estándar para presentar el contenido de páginas web a través de etiquetas. Como novedad, se han introducido nuevas etiquetas como <canvas> que permitirán representar el mapa de calor de una forma más sencilla.
 - **JavaScript.** Lenguaje de programación que opera con HTML y define el comportamiento que tendrá la página web (lógica de negocio) [31].

- **CSS3.** *Cascading Style Sheets* versión 3. Última versión del estándar CSS que define el diseño de la página web [32], describiendo cómo se muestran los elementos en el navegador (organización de casillas, definición de colores, imágenes, fondos, y más).

Las ventajas principales de utilizar AngularJS son que permite el enlazado de datos (*data-binding*) bidireccional, lo que mejora la comunicación entre modelos y vistas; traslada funcionalidades del lado de servidor hacia el cliente, liberando de carga al *backend*, lo cual mejora notablemente el rendimiento de la aplicación web. Adicionalmente, incorpora unas marcas del árbol DOM, llamadas **directivas**, que permiten definir comportamientos especiales para esas marcas, y además, permite la reutilización de código en diferentes partes de la aplicación.

Una vez configurado el servicio de Ruckus SPoT y definidas las tecnologías que se usarán en la implementación, se define la estructura de la API de localización. Como se ha mencionado anteriormente, la API será un *bundle* de Symfony, y tiene la siguiente organización en forma de árbol de carpetas y ficheros, como se muestra en la figura 46.

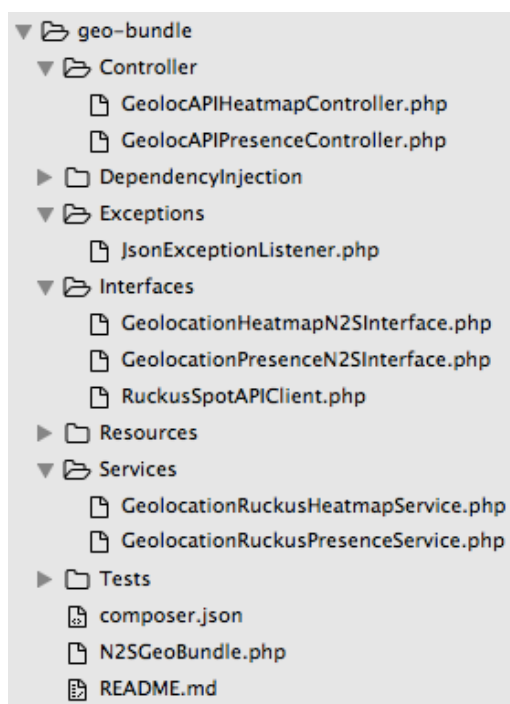


Figura 46. Estructura de ficheros del bundle de geolocalización

Se distingue una carpeta raíz, que definirá el nombre del *bundle*, en este caso, denominado *geo-bundle*. Dentro de la carpeta raíz, se encuentran otras tres que tendrán las clases principales de la implementación:

- **Controller.** Se han desarrollado dos clases PHP que actúan como controladores, una por cada funcionalidad general, atendiendo al patrón de diseño factoría.

- **GeolocAPIHeatmapController.php.** Se encarga de dirigir las peticiones a la URI que se han definido en la API, hacia los métodos propios de la parte del mapa de calor, y que instanciarán el servicio específico.
- **GeolocAPIPresenceController.php.** Se encarga de dirigir las peticiones a la URI que se han definido en la API, hacia los métodos propios de la parte de presencia y analíticas, y que instanciarán el servicio específico.
- **Interfaces.** Contiene las clases PHP que definen los métodos que deben implementar los servicios. De igual manera, hay una diferenciación entre la parte de presencia y la de mapas de calor.
 - **GeolocationHeatmapN2SInterface.php.** Métodos de la interfaz para la parte de mapas de calor.
 - **GeolocationPresenceN2SInterface.php.** Métodos de la interfaz para la parte de analíticas del sistema.
- **Services.** Consta de las clases PHP que realizarán la adaptación entre la API del fabricante y la API de localización. La estructura general para el nombre de las clases se decidió siguiendo el convenio GeolocationXZService.php, donde X será el nombre del fabricante, y Z será el tipo de servicio (Presence o Heatmap).
 - **GeolocationRuckusHeatmapService.php.** Implementa la lógica de negocio específica de Ruckus para el servicio de mapas de calor.
 - **GeolocationRuckusPresenceService.php.** Implementa la lógica de negocio específica de Ruckus para el servicio de presencia y analíticas.

El proceso que realiza la API en la parte de *backend* se describe a continuación:

1. Los controladores constan de métodos diferenciados para cada parte (presencia o mapa de calor).
2. El controlador recoge a través de la URI los parámetros de la petición y, con ellos, instancia un servicio en función del fabricante.
3. La instancia del servicio llama al método en función de los parámetros recibidos, y forma una nueva petición hacia la API del fabricante.
4. Espera a recibir la contestación, que puede ser satisfactoria (código HTTP 200, junto con un fichero JSON) o no (código de error HTTP).
 - Si la respuesta es satisfactoria, entonces se obtiene la información del JSON, se procesan los datos, y se genera un nuevo JSON (atendiendo a la estructura diseñada en el capítulo anterior) hacia el controlador.
 - Si se trata de un código de error o se produce un *timeout*, devuelve un error generado por la API, formado por un objeto JSON con un código y una descripción del error hacia el controlador.

En cuanto a la parte de presentación de los datos o *frontend*, se cuenta con la siguiente estructura principal, que se ha simplificado para mostrar los ficheros implementados para el proyecto, debido a la gran extensión del árbol en la plataforma de N2S. Se compone de tres estructuras diferenciadas:

- **Parte del controlador principal.** Existe un menú principal en el que se presenta la opción *Geolocalización*, cuando el usuario la selecciona, se despliega un submenú que contiene otras dos opciones: *Informes de presencia* y *Mapa de calor*. Cada una de las opciones tendrá asociada una ruta, así como cada ruta se asocia con una de las clases PHP desarrolladas:

- **Informes de presencia** → /geolocation/presence → PresenceAnalyticsController.php
- **Mapa de calor** → /geolocation/heatmap → HeatmapController.php

Cuando el controlador detecta alguna de las rutas anteriores, produce una instancia de las clases PHP que se observan en la figura 47. Estas instancias se encargan de producir la llamada a las plantillas gráficas que contienen la estructura de la página web cuando el usuario selecciona una opción.

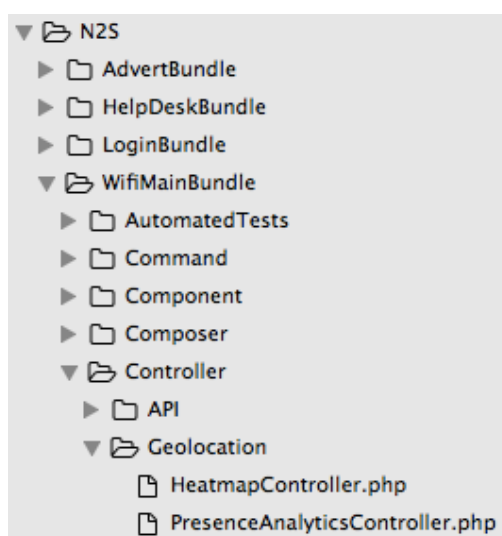


Figura 47. Estructura de la parte del controlador en la plataforma N2S

- **Parte de plantillas gráficas.** Se produce desde el controlador anterior la llamada a la plantilla gráfica, definida como extensión TWIG [33].

Este motor de plantillas suele ir de la mano de Symfony para la representación de datos en páginas web. Se utiliza este tipo de tecnología ya que TWIG permite la reutilización de código en la parte gráfica (permite herencia entre clases de este tipo), es rápida (compila la plantilla en PHP plano optimizado), flexible (se pueden definir filtros para patrones en cadenas de caracteres), permite realizar bucles, y más.

De esta forma, el contenido HTML de la página que se presenta al usuario se genera dependiendo de la opción elegida, presentándose en el navegador alguna de las clases que se observan en la figura 48 (*heatmap_analytics.html.twig* o *presence_analytics.html.twig*).

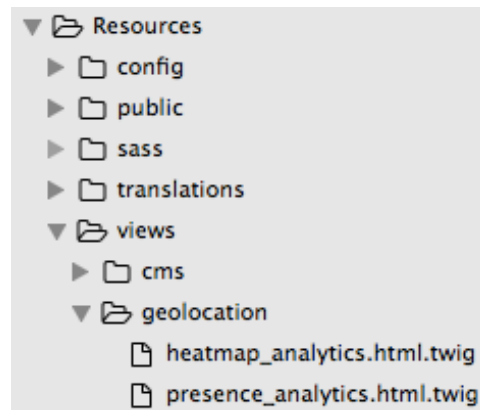


Figura 48. Estructura de las plantillas gráficas en la plataforma N2S

- **Parte de controlador de AngularJS.** Una vez que el navegador comienza a cargar la página HTML, dentro de la plantilla TWIG existen llamadas a métodos y directivas propios de AngularJS que ejecuta el navegador según interpreta la misma en tiempo real. Para ello, se definen uno o varios modelos de datos (en relación con el patrón MVVM) que son importados desde clases JavaScript definidas en la misma plantilla.

En este caso, se han implementado dos clases JavaScript que separan la funcionalidad de cada una de las plantillas y definen el comportamiento del modelo de datos (*GeoHeatmapAnalyticsController.js* y *GeoPresenceAnalyticsController.js*). Pueden observarse las clases dentro de la estructura de AngularJS en la figura 49.

Cada una de las clases JavaScript implementadas se encargan de realizar llamadas utilizando el protocolo HTTP a los métodos de la API que hemos definido en la parte de *backend*. Después, obtienen los objetos JSON y realizan una adaptación de los datos recibidos para que sean representados correctamente por las librerías JavaScript existentes. Estas librerías esperan los datos de la plataforma de una forma diferente a la que llega desde la API, por lo tanto, se realizan nuevos objetos JSON con el formato esperado por las librerías.

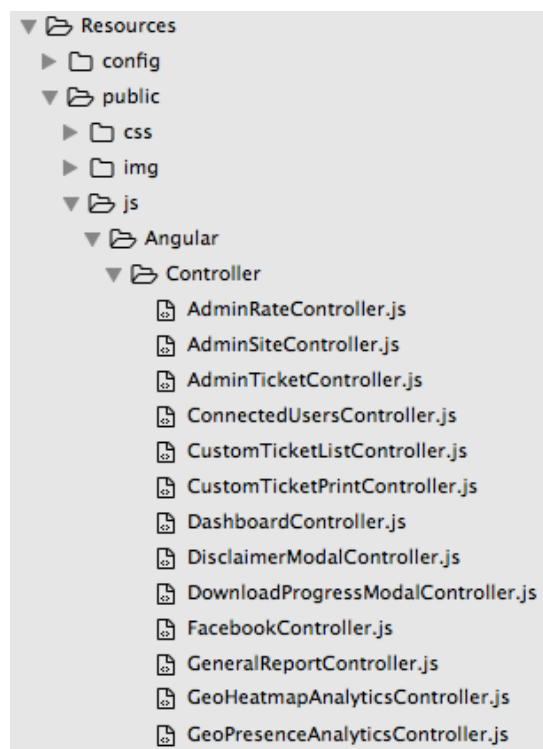


Figura 49. Estructura del controlador de AngularJS en la plataforma N2S

En cuanto a las librerías JavaScript mencionadas, se han utilizado las siguientes:

- **Librerías c3.js y d3.js.** Para la representación de las gráficas de estadísticas de número de visitantes, distribución de los mismos y tiempos de permanencia en función del rango de fechas seleccionado por el usuario [34].
- **Librería heatmap.js.** Para la representación de mapas de calor con gradientes de colores en función de los datos proporcionados [35].

5 RESULTADOS

En este epígrafe se describirán las pruebas realizadas en la aplicación, tanto en la API desarrollada como en la presentación de la información al cliente de la plataforma web. Por último, se mostrarán los resultados obtenidos en el lado del cliente y se realizará una interpretación sobre la validez de los mismos.

5.1 Pruebas realizadas

En primer lugar, mientras se han ido desarrollando las funcionalidades de cada uno de los métodos de la API de localización, se ha ido verificando el correcto funcionamiento de los mismos.

- Pruebas sobre la función auxiliar definida para la obtención del *token* de autenticación en la API del servicio Ruckus SPoT, de forma que devuelva el resultado a través de un objeto JSON con la cadena de caracteres que sirve como credencial de acceso para las futuras peticiones a la API REST de Ruckus.
- Implementación de una clase PHP en la que se realizan peticiones HTTP específicas a la API SPoT.
- Almacenamiento de objetos JSON enviados por la API SPoT, tanto satisfactorios como forzando cada uno de los errores definidos en dicha API.
- Formar nuevos objetos JSON que devolverá la API de localización desarrollada en el proyecto e imprimir el resultado por la consola del depurador para verificar la estructura.

Pero estas pruebas no son suficientes ya que el tipo de objetos JSON generados podrían ser distintos a los que espera la plataforma debido a la generación de los mismos, aunque tengan la misma estructura (por ejemplo, una cadena de caracteres con formato JSON es distinto a un objeto JSON en el ámbito de PHP), así que se realizan **pruebas unitarias** sobre el código de la API desarrollado. Dichas pruebas son interesantes ya que la aplicación se ha diseñado de forma modular, pudiendo probar la parte de presencia y la de mapas de calor de forma aislada. En cada una de las partes, cada método de la API representará una prueba separada del resto.

Para la realización de estas pruebas unitarias, se ha utilizado el software para entornos PHP llamado *PHPUnit* [36]. Para su ejecución, se deben codificar clases adicionales para cada uno de los servicios implementados en la API. El contenido de las pruebas se ha limitado al paso de parámetros correctos y erróneos, de forma que se reciba lo esperado.

Se procede a la implementación de las mismas y se sitúan en una nueva carpeta llamada *Tests* dentro de *geo-bundle*, el cual contiene el código de la API de localización, como se puede observar en la figura 50.

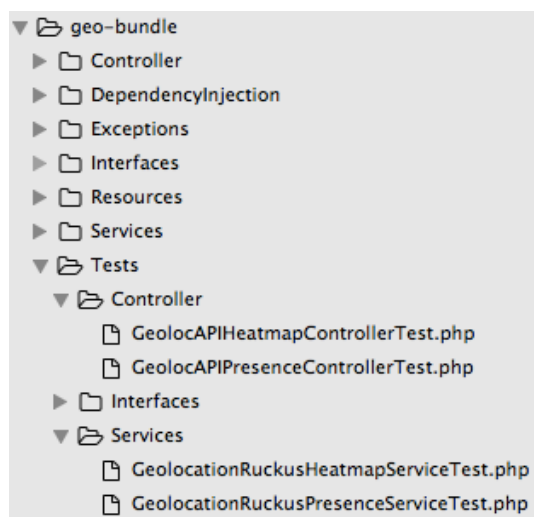


Figura 50. Estructura de ficheros de pruebas en el bundle de geolocalización

De esta manera, se realizan pruebas unitarias para cada una de las clases PHP desarrolladas anteriormente en la API, organizadas de manera que siguen la estructura de directorios y nombres de ficheros, definida en el apartado de *Descripción de la solución propuesta*:

- Controller:
 - **GeolocAPIHeatmapControllerTest.php**. Referidas a la instanciación de la clase `GeolocAPIHeatmapController.php` y llamadas a las URIs de la API.
 - **GeolocAPIPresenceControllerTest.php**. Referidas a la instanciación de la clase `GeolocAPIHeatmapController.php` y llamadas a las URIs de la API.
- Services:
 - **GeolocationRuckusHeatmapServiceTest.php**. Referidas a la instanciación de la clase `GeolocationRuckusHeatmapService.php` y pruebas sobre los parámetros introducidos. Ejecutando el comando siguiente utilizando PHPUnit a través del terminal:

```
phpunit -c app
src/N2S/GeoBundle/Tests/Services/GeolocationRuckusHeatmapServiceTest.php
```

Se observa en la figura 51 que las pruebas se realizan de forma satisfactoria para los tres métodos implementados del servicio de mapas de calor.

```
[Luis.alcon@MacBook-Pro-de-Luis-Alcon:~/geolocation]$ phpunit -c app src/N2S/GeoBundle/Tests/Services/GeolocationRuckusHeatmapServiceTest.php
PHPUnit 5.7.19 by Sebastian Bergmann and contributors.

...                                     3 / 3 (100%)

Time: 0.18 seconds, Memory: 15.00MB

OK (3 tests, 12 assertions)
```

Figura 51. Resultado de las pruebas realizadas en la parte de mapas de calor

- **GeolocationRuckusPresenceServiceTest.php**. Referidas a la instanciación de la clase `GeolocationRuckusPresenceService.php` y pruebas sobre los parámetros introducidos. Ejecutando el comando siguiente utilizando PHPUnit a través del terminal:

```
phpunit -c app  
src/N2S/GeoBundle/Tests/Services/GeolocationRuckusPresenceServiceTest.php
```

Se observan en la figura 52 que las pruebas se realizan de forma satisfactoria para los cinco métodos implementados del servicio de presencia.

```
[luis.alcon@MacBook-Pro-de-Luis-Alcon:~/geolocation] phpunit -c app src/N2S/GeoBundle/Tests/Services/GeolocationRuckusPresenceServiceTest.php  
PHPUnit 5.7.19 by Sebastian Bergmann and contributors.  
  
..... 5 / 5 (100%)  
  
Time: 8.12 seconds, Memory: 15.25MB  
  
OK (5 tests, 20 assertions)
```

Figura 52. Resultados de las pruebas realizadas en la parte de presencia

En segundo lugar, se realizan pruebas en la ejecución de los métodos a través de las peticiones a las URIs diseñadas. Es necesario mencionar que para la visualización de resultados de una forma más cómoda, se ha utilizado el navegador Google Chrome, ya que cuenta con una herramienta para realizar la depuración de las páginas web que se visualizan. Esta herramienta es accesible al pulsar con botón derecho del ratón dentro de la página web, seleccionando la opción *Inspeccionar* como se puede observar en la figura 53.

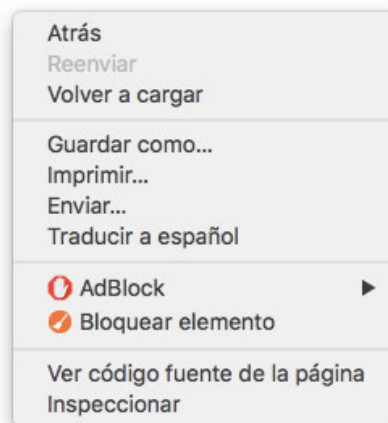


Figura 53. Acceso al depurador de Google Chrome

A través del depurador es posible analizar los elementos HTML de la página, operaciones del protocolo HTTP como el estado de las peticiones realizadas y recibidas, cabeceras, cuerpo de la petición/respuesta, consola para visualizar errores, depurador paso por paso del código que interpreta el navegador según carga la página, y más.

De tal forma, que se pueden visualizar las peticiones realizadas correctamente (columna *Status* → 200 OK) desde el navegador hacia la API de localización:

- Peticiones hacia las URIs de la API para el módulo de informes de presencia, como se observa en la figura 54.

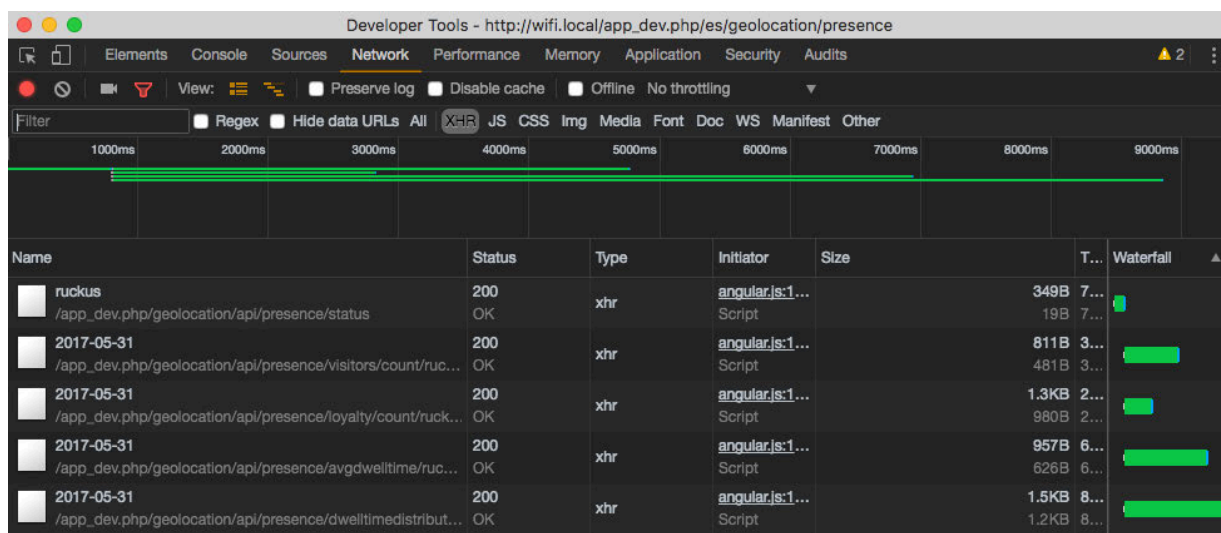


Figura 54. Estado de las peticiones HTTP de la parte Informes de presencia

- Peticiones hacia las URIs de la API de localización para el módulo de mapas de calor, mostrado en la figura 55.

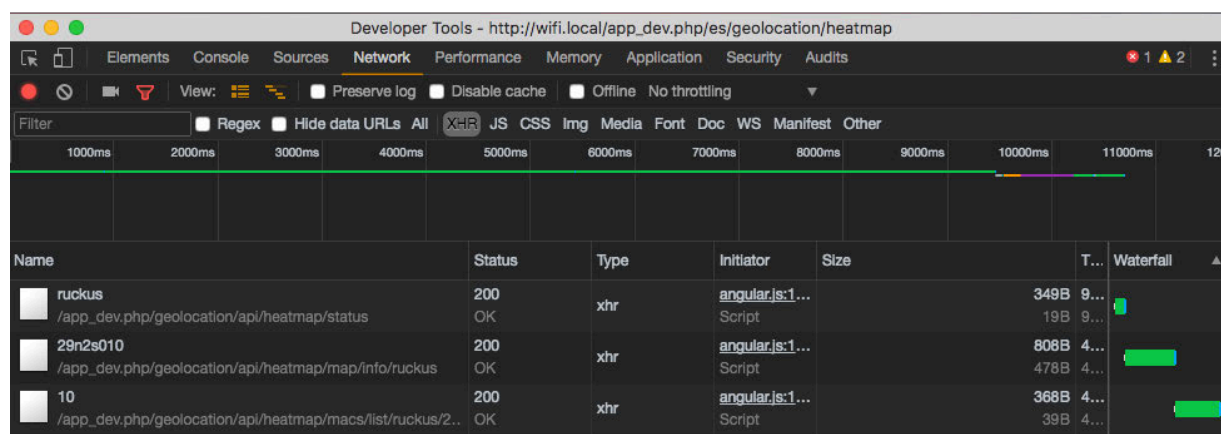


Figura 55. Estado de las peticiones HTTP de la parte mapas de calor

5.2 Resultados de la solución

Una vez que las pruebas anteriores han quedado cerradas satisfactoriamente, se mostrarán a continuación los resultados de la solución implementada, a través de los cuales el usuario final recibe información estadística sobre el Centro Comercial Vialia. Por lo tanto, el cliente final se conectará a la plataforma web de N2S y realizará el acceso con las credenciales del servicio proporcionadas.

Una vez dentro del sistema, en la zona superior existe una barra de menú en la que se encuentra la opción *Geolocalización*, el cual es otro submenú desplegable en el que se pueden seleccionar las opciones *Informes de presencia* y *Mapa de calor*.

A continuación, se muestra una captura de pantalla (figura 56) de la aplicación como resultado de una petición de datos analíticos de todo el mes de mayo.

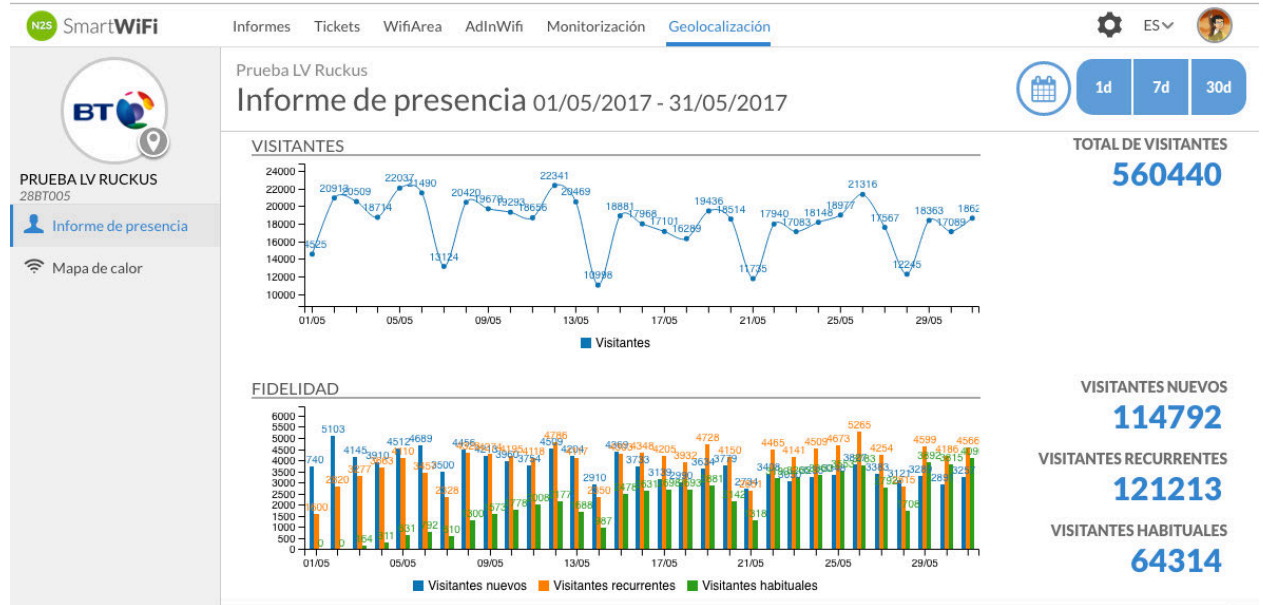


Figura 56. Presentación de resultados al cliente sobre visitantes en el mes

En esta captura se muestra:

- Una gráfica con el número de visitantes por día en dicho mes.
- El número total de visitantes del mes.
- Una gráfica con el número de visitantes nuevos (detectados una vez), recurrentes (entre 2 y 5 veces) y habituales (más de 5 veces) por cada día.
- El número total de visitantes nuevos, recurrentes y habituales en el mes de mayo.

Además, si seleccionamos un día concreto, se representan los visitantes en función de la hora del día, como se observa en la figura 57.

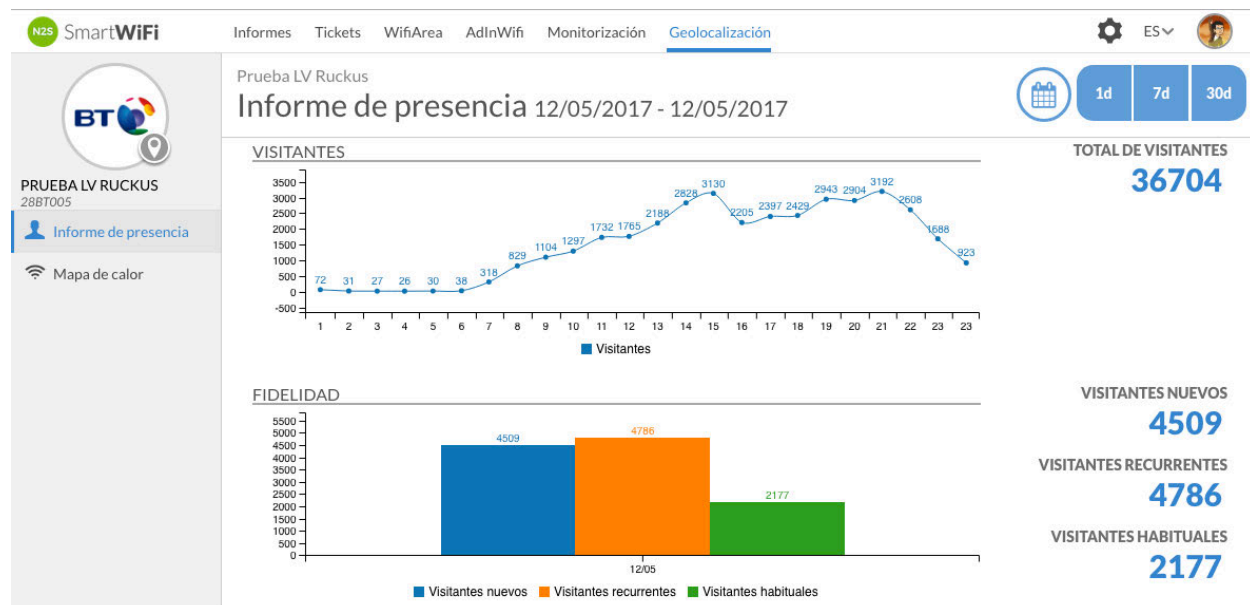


Figura 57. Presentación de resultados al cliente sobre visitantes en un día concreto

Al seguir navegando en esta página, se pueden visualizar las estadísticas restantes, como se muestra en la figura 58.



Figura 58. Presentación de resultados al cliente sobre tiempos de permanencia de visitantes en el mes

En esta captura se muestra:

- Una gráfica con el número de minutos de media de estancia por día en dicho mes.
- La media total de minutos de permanencia por día dentro del mes seleccionado.
- Una gráfica que muestra la distribución de la media de visitantes detectados por franjas de tiempo en cada día del mes.

- La media total de visitantes en cada una de las franjas de minutos en todo el mes de mayo.

Se ha realizado una captura de un mes de datos para poder visualizar de forma más clara el posible patrón que pueda existir en los datos recogidos. Por lo tanto, es interesante resaltar las siguientes características detectadas:

- En cuanto a la gráfica que muestra el número de visitantes por día, se aprecia una clara bajada en la afluencia de gente los domingos. Al consultar los horarios de apertura del Centro Comercial Vialia, se encuentra publicado que los domingos la parte comercial de tiendas permanece cerrada, mientras que la zona de ocio y restauración sí que permanece abierta. Por ello, estos datos se consideran coherentes con lo que ocurre en la realidad.
- Como patrón adicional en la gráfica de visitantes, se observa que los días de mayor afluencia son los viernes y sábados, seguramente debido a la mayor disponibilidad de tiempo libre ya que es fin de semana, y además, que todas las zonas del centro se encuentran abiertas al público.
- Si se observan varios días concretos, es posible obtener un patrón en el que se detecta que las horas de mayor afluencia son las 15:00h (hora de comer) y las 20:00h (hora de salida del trabajo). Por otra parte, las horas valle del día se producen de madrugada, que es cuando el centro comercial permanece cerrado al público.
- En cuanto al número de visitantes nuevos, recurrentes y habituales, se puede deducir que es normal que se detecten solamente una vez al día más dispositivos que los habituales. Existen tiendas en el centro comercial como The Phone House, Movistar, Vodafone y Orange, que habitualmente dejan encendidos los dispositivos móviles que exponen en sus tiendas para que los usuarios puedan probarlos, por lo que estos dispositivos formarían parte de dichos visitantes habituales. Adicionalmente, también estarán formados por los empleados que se encuentren trabajando diariamente en los establecimientos.
- Observando la gráfica que muestra los tiempos de permanencia medios de cada día, se suele gastar más tiempo los sábados, entre unos 26-27 minutos de media, frente a los 24 minutos de media en el mes. Concuerda con las interpretaciones anteriores, ya que los fines de semana el público suele disponer de mayor tiempo libre. De esta manera, los sábados serían los días en los que se produce mayor afluencia de personas, y además el día que más tiempo permanecen en el lugar, ya que aunque es fin de semana, es común que sábados y domingos no se trabaje, pero los domingos se cuenta con menor afluencia (y estancia) debido a que la parte comercial se encuentra cerrada al público. Por otra parte, vemos que se permanece una menor cantidad de minutos en días laborales.
- Analizando la distribución en franjas de tiempo, se intentó conseguir diferenciar a los transeúntes de los visitantes del centro, añadiendo la franja de entre 0 y 3 minutos, ya que se considera que una persona común no gasta un tiempo tan bajo en un centro comercial. Pero por razones de operaciones en la lógica de negocio que realice el fabricante, no se ha conseguido diferenciar y siempre resulta en 0 visitantes.

- Se aprecia que existen más visitantes entre 4-15 minutos de permanencia, y entre 16-30 minutos, lo que es relativamente acertado en comparación con el tiempo medio de estancia total (24 minutos aproximadamente).
- Por último, se puede deducir que los visitantes que permanecen más de una hora en el emplazamiento no son visitantes reales, ya que, como hemos mencionado anteriormente, existen dispositivos de tiendas que permanecen todo el día encendidos y conectados a la red Wi-Fi del centro comercial. En esta franja también se considera que los empleados formarían parte de estas estadísticas ya que permanecen gran parte del día trabajando en los establecimientos.

A continuación, se muestra la captura de pantalla 59 del módulo *Mapa de calor*, cuando el usuario selecciona dicha opción en el menú.



Figura 59. Presentación de resultados al seleccionar la opción mapa de calor

Se aprecia en la imagen que no se ha seleccionado ninguna planta por defecto, por lo que no aparece el mapa de ninguna de ellas aún. Sí que se observa información general como el número de plantas de las que dispone el edificio y las dimensiones del mismo. Cuando el usuario selecciona la opción *Planta Baja*, la información se recarga en la página como muestra la figura 60.

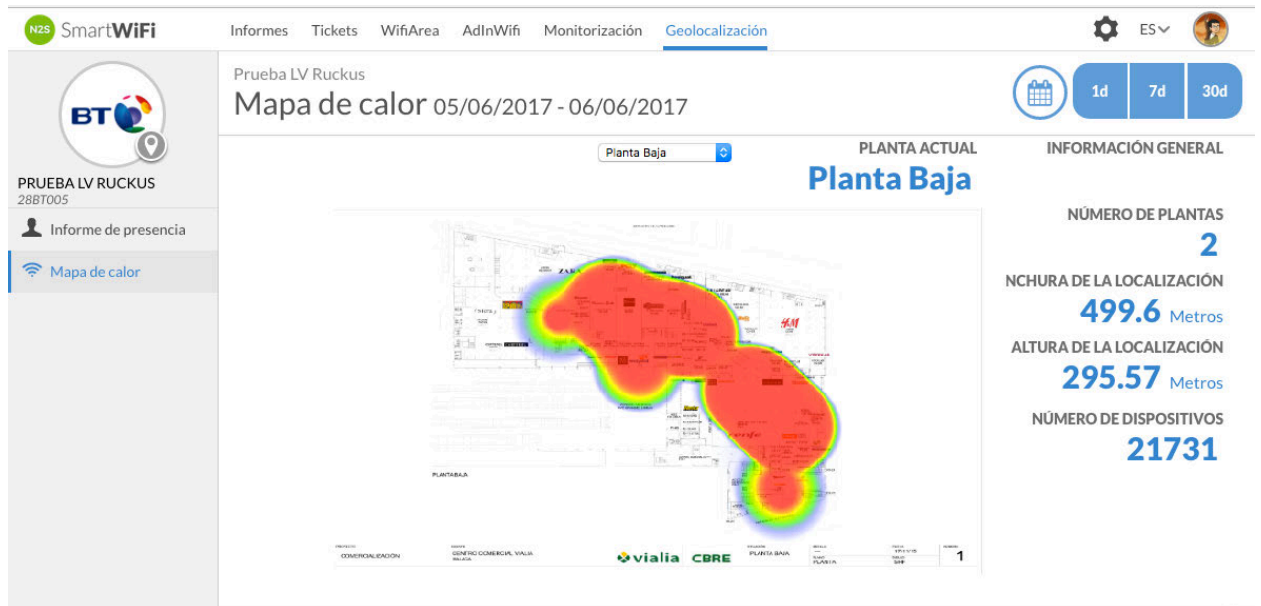


Figura 60. Presentación del mapa de calor de la planta baja

Ahora se procede a comparar esta representación con la solución que ofrece la plataforma de Ruckus SPoT en la misma planta, la cual se puede observar en la captura 61 para el mismo día que el anterior.

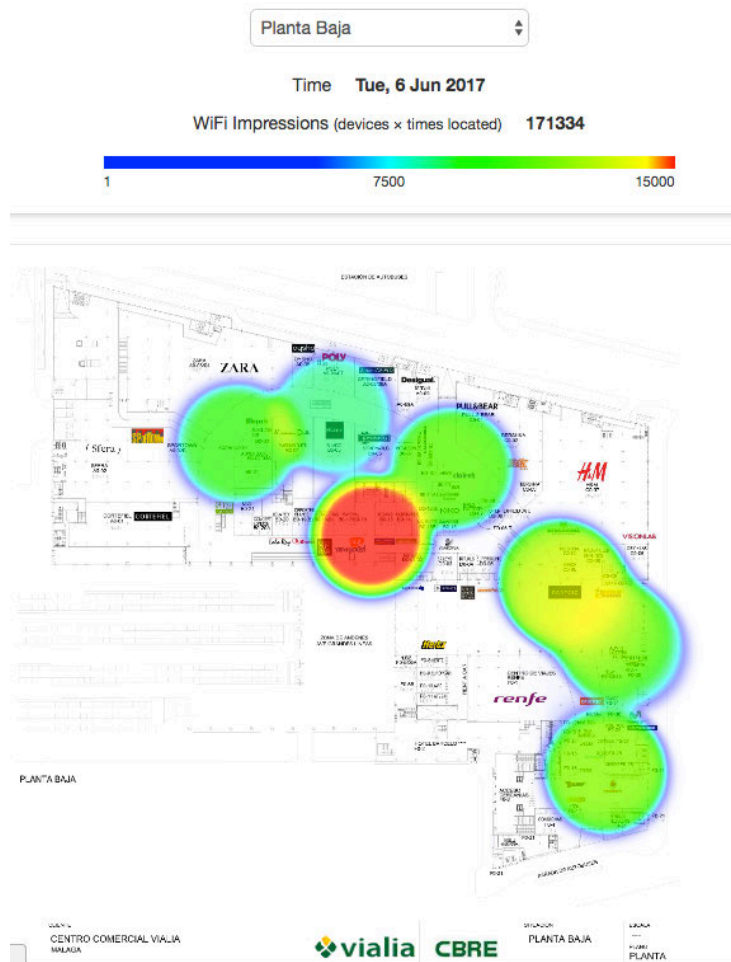


Figura 61. Vista del mapa de calor de la planta baja en la plataforma SPoT [125]

Si el usuario cambia la opción en el selector encima del mapa, por la *Planta primera*, se cargará la información representada en la figura 62.

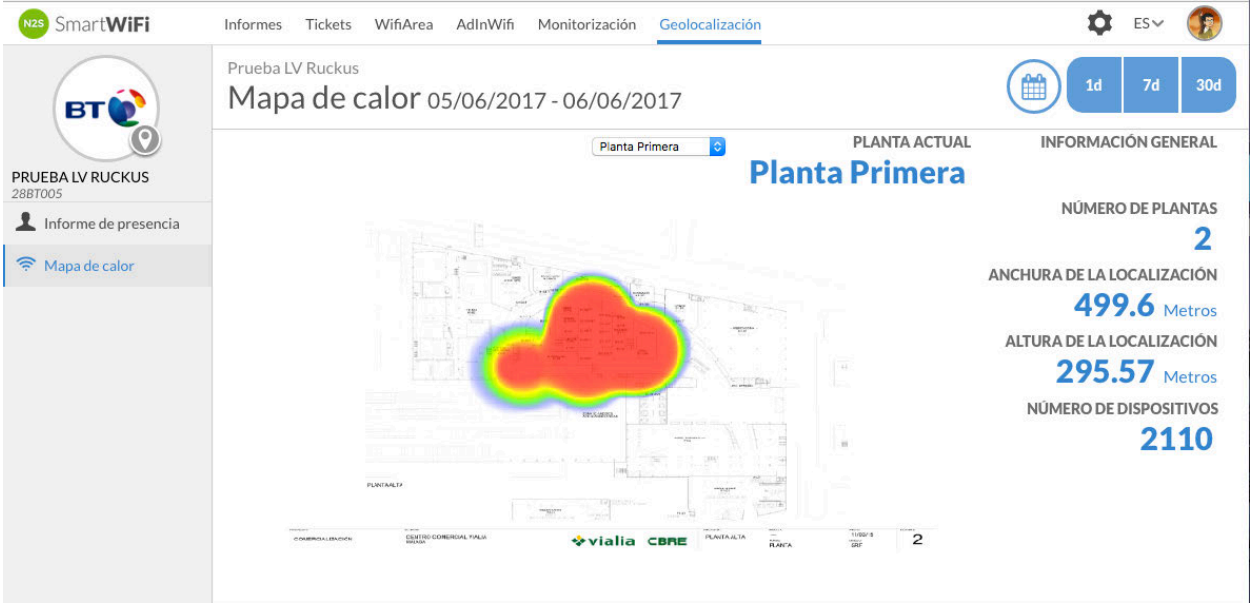


Figura 62. Presentación del mapa de calor de la planta primera

A continuación, se procede a comparar esta representación con la solución que ofrece la compañía Ruckus Wireless en la primera planta y en el día seleccionado anteriormente, que se puede visualizar en la captura 63.

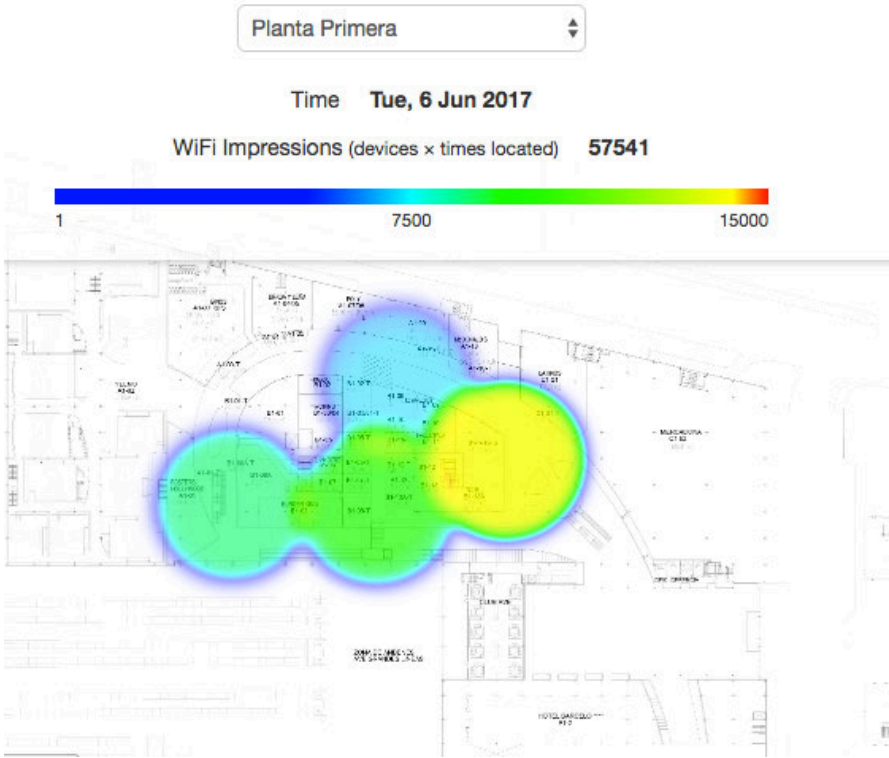


Figura 63. Vista del mapa de calor de la planta primera en la plataforma SPoT [25]

Se puede observar en la comparación entre las figuras de la solución que propone Ruckus y la que se desarrolla en este proyecto, que la aproximación en la representación que se ha llevado a cabo en la parte del mapa de calor de las plantas es bastante similar, en cuanto al área de alcance de los puntos.

En el caso de la plataforma SPoT, la representación de dispositivos se produce a través de puntos basados en una escala propia que interpreta el sistema cuando se configura inicialmente. Sin embargo, la lógica de negocio que se ha implementado en este proyecto, se ha realizado convirtiendo todas las medidas a unidades en metros, debido a que en el diseño se valoró que era unidad de medida más apropiada para la conversión de los distintos tipos de unidades de todos los fabricantes estudiados. De esta forma, se demuestra que aunque se represente en otra escala distinta, los puntos siguen ubicados de la misma manera que en el original, aportando fiabilidad en la información que se representa.

En el caso de SPoT, se observan radios de cobertura que están situados justo donde se encuentran los APs del edificio. Sin embargo, parece que el radio de las burbujas de colores representadas no es el correcto, ya que si representasen el área de cobertura del emplazamiento, en las pruebas que se hicieron al realizar la instalación de la infraestructura Wi-Fi, en los puntos más alejados (ceranos a las paredes que limitan el emplazamiento), existía un nivel de intensidad recibido medio de -65 dBm. Este nivel de intensidad entra dentro del rango de buena calidad de señal, por lo que las burbujas que se representan deberían ser algo más extensas, sobre todo por la zona interior de los mapas.

Por otra parte, la leyenda de ambas representaciones, consiste en un gradiente de diferentes colores en función del número de puntos que se representan.

En el caso del desarrollo de este proyecto, se representa la zona interior de los mapas de ambas plantas de manera más uniforme que en la solución proporcionada por Ruckus, pero puede darse el caso de que los gradientes de color que se representan no sean los adecuados, ya que solamente se está teniendo en cuenta la representación del gradiente en función de la distancia entre las ubicaciones de los dispositivos, en vez de realizar un conteo de puntos en función de las zonas y los sellos de tiempo en los que fueron detectados dichos puntos.

Para finalizar, ambas representaciones darán al cliente una primera aproximación del área por el que se suelen mover los visitantes. Sin embargo, en el caso de Ruckus SPoT, la representación de áreas no es demasiado acertada aunque los gradientes de color de las burbujas sí pueden serlo; mientras que en el caso del desarrollo de este proyecto, el área de afluencia es más uniforme pero no representa correctamente los gradientes en función del tiempo en el que se toman las medidas.

6 PLANOS

En esta sección se muestran los planos referidos al Centro Comercial Vialia (Málaga), tanto de la planta baja (figura 64), como de la planta primera (figura 65).

6.1 Planta baja

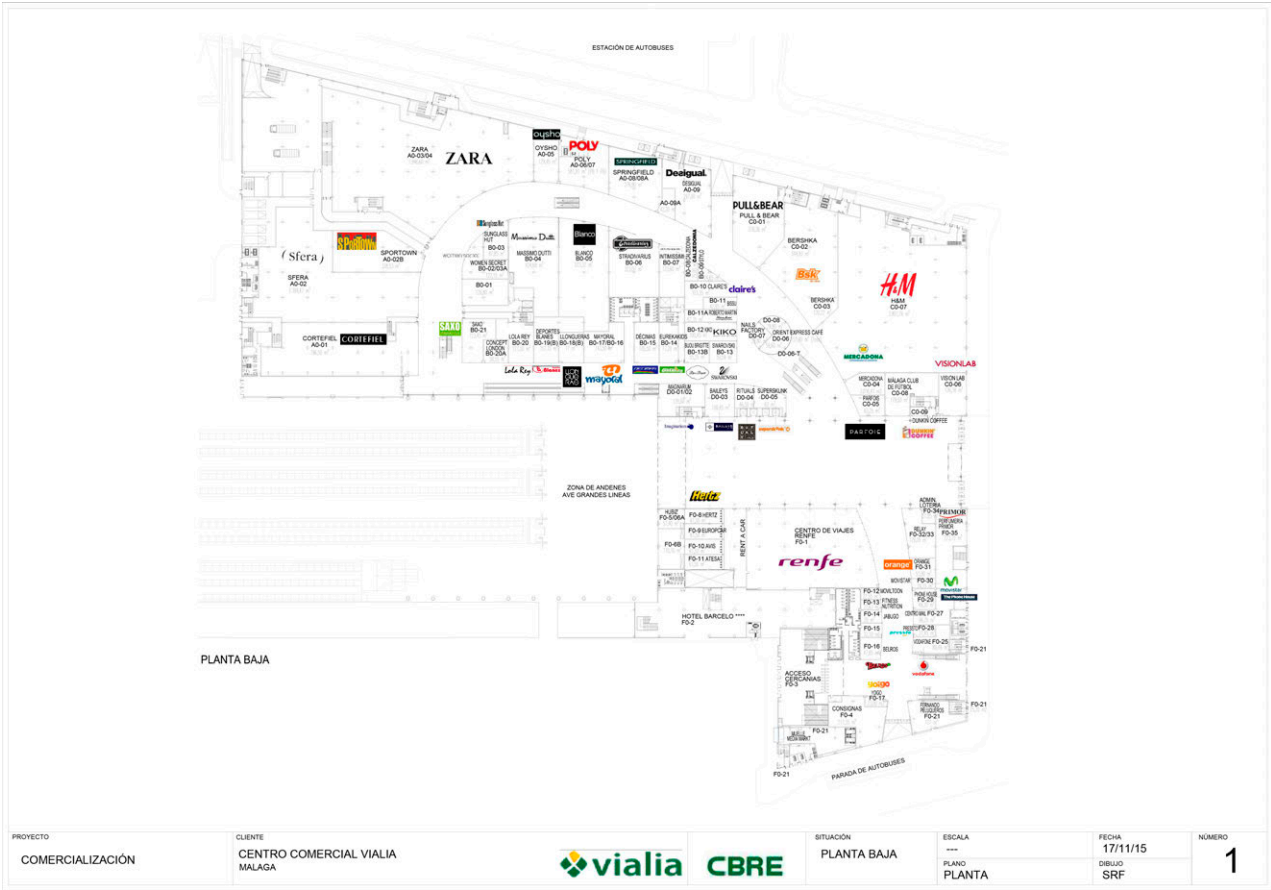


Figura 64. Plano de la planta baja del Centro Comercial Vialia

6.2 Primera planta

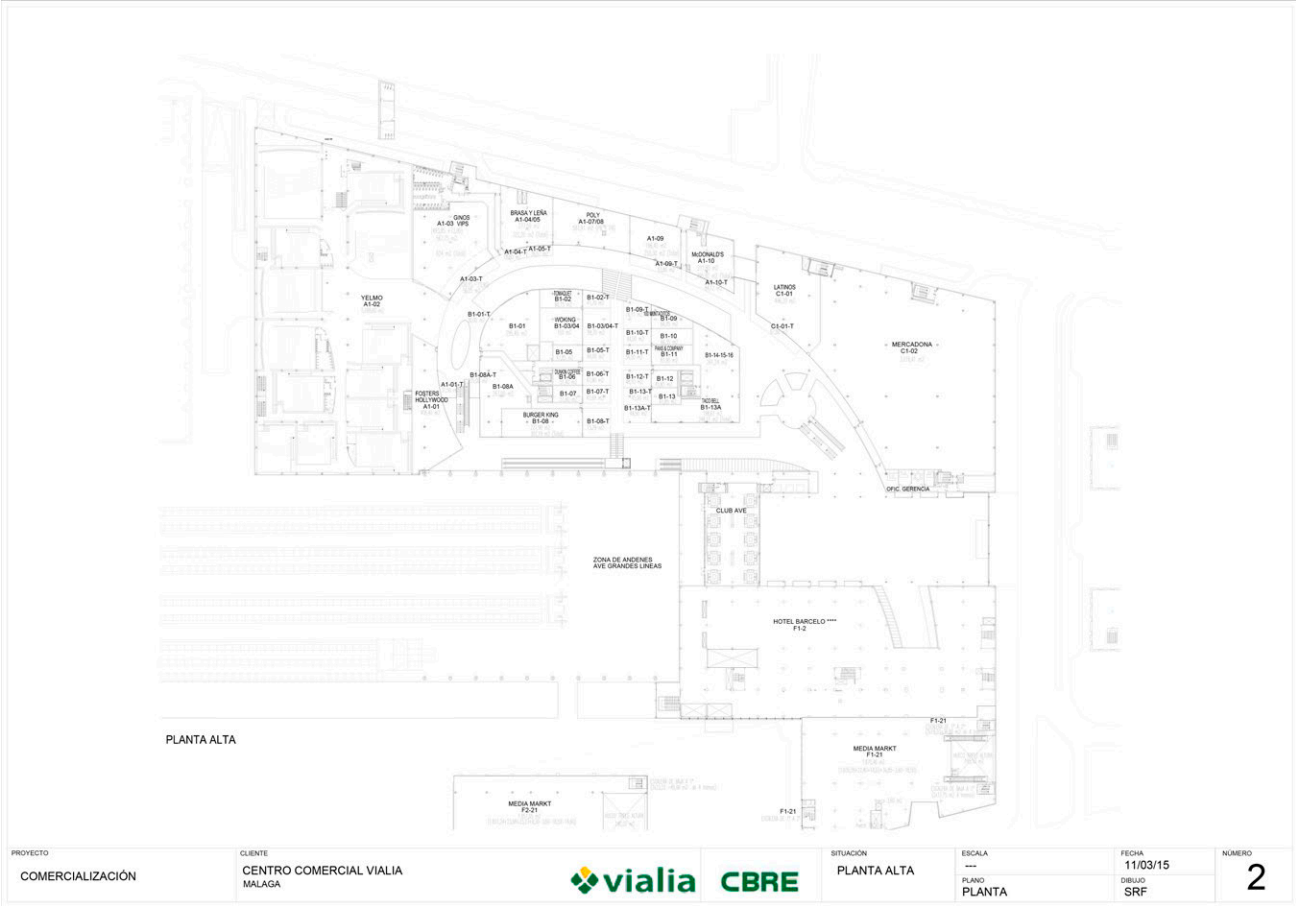


Figura 65. Plano de la primera planta del Centro Comercial Vialia

7 PRESUPUESTO

En este epígrafe se detallan los gastos producidos a la hora de desarrollar el proyecto. Como se ha partido de una instalación existente, no se tienen en cuenta los materiales ni mano de obra de la instalación de la infraestructura.

En el siguiente presupuesto parcial, representado en la tabla 12, se incluye el coste de utilización de los servicios de localización del fabricante Ruckus Wireless, en relación al Centro Comercial Vialia.

Tabla 12. Presupuesto general del proyecto

Unidades	Concepto	Parcial	Total
11	Licencia vSPoT Engine, API y Analytics (CLD-LOEA-3001). Válido por un año de suscripción por AP para una instalación.	95,00 €	1045 €

Cada una de estas licencias son válidas para aproximadamente 100 usuarios simultáneos por punto de acceso, en base a estudios realizados por los expertos de la empresa con los que se contactó.

Asciende el Presupuesto de Ejecución del proyecto a la expresada cantidad de MIL CUARENTA Y CINCO EUROS.

8 CONCLUSIONES

El objetivo principal de este proyecto consistía en diseñar y desarrollar un sistema que proporcionase información de valor a los clientes del sector *retail*. A través del mencionado sistema, se puede orientar a dichos negocios en la optimización de sus recursos y así mejorar sus ventas.

Para lograrlo, la solución hace uso de servicios de localización en interiores proporcionados por fabricantes Wi-Fi a través de la infraestructura existente en los emplazamientos. Para la representación de los datos se ha optado por utilizar tecnologías basadas en web, de forma que cualquier cliente pueda consultar información sin necesidad de software adicional y de acceso universal.

En primer lugar, se ha realizado un estudio del funcionamiento de la tecnología Wi-Fi a nivel físico, de forma que se pueda comprender de una manera profunda cómo es posible realizar la localización de usuarios en el interior de los edificios.

En segundo lugar, se estudiaron los servicios de localización de varios fabricantes Wi-Fi (Cisco, Meraki, Ruckus Wireless, Aruba y Huawei) para determinar el posible diseño de la solución para integrarlos en la plataforma web de la empresa colaboradora del proyecto, N2S.

En tercer lugar, se estudiaron las diferentes tecnologías web existentes y se han aprendido a manejar los entornos de programación para realizar una implementación rápida, flexible, fiable y compatible con la plataforma de la empresa N2S. Entre estas tecnologías se usó principalmente el *framework* de desarrollo web en PHP, Symfony, además de AngularJS para la parte de la representación de datos en el navegador del cliente.

Después, se diseñó una API teniendo en cuenta los servicios proporcionados por los fabricantes estudiados previamente, de forma que fuera posible la integración de los servicios de localización Wi-Fi. En cuanto a este objetivo, se ha implementado de forma satisfactoria la integración del servicio SPoT del fabricante Ruckus Wireless, a través del cual, es posible recabar información sobre los emplazamientos que dispongan una infraestructura Wi-Fi de la mencionada compañía.

Como implementación específica resultado del sistema, se ha utilizado como objetivo de las pruebas el Centro Comercial Vialia, obteniéndose resultados satisfactorios demostrando la validez del servicio desarrollado.

La solución web que presenta los datos al cliente consta de dos partes diferenciadas, *informes de presencia*, que contiene estadísticas del servicio sobre visitantes y tiempos de permanencia de los mismos; y *mapa de calor*, que contiene información sobre la localización de los visitantes distribuidos en las plantas del centro.

Al realizar comparaciones de los resultados entre el servicio implementado y el de la compañía Ruckus Wireless, se llega a la conclusión de que el sistema definido en este proyecto es válido, a excepción de la representación de mapas de calor, la cual es mejorable tanto en el servicio del propio fabricante como el que implementa en este proyecto.

Por lo tanto, como líneas futuras trabajo, pueden sugerirse las siguientes:

- Mejora de la presentación de los mapas de calor a través de lógica de negocio a nivel de *frontend*.
- Integración del resto de fabricantes sobre los que se realizó el estudio.

- Despliegue de una base de datos de tipo NoSQL, de forma que se puedan almacenar los datos recibidos en segundo plano contando con un alto nivel rendimiento, sobre todo para la parte de mapas de calor. Esto es debido a que realizar peticiones HTTP hacia las API REST de los fabricantes puede tener un nivel de retardo muy elevado, relacionado con la gran cantidad de datos que se reciben de los diferentes servicios.
- Investigar y evaluar las nuevas APIs que se publiquen, o las actualizaciones sobre las ya estudiadas, ya que con el paso del tiempo, cada vez habrá más empresas fabricantes de dispositivos Wi-Fi que ofrezcan mejoras de este tipo de servicios.

Por otra parte, uno de los aspectos más importantes del proyecto realizado son las consecuencias sociológicas en las que influye. Si las direcciones MAC, que identifican unívocamente a los dispositivos de los clientes, viajasen en claro desde los proveedores del servicio de localización (sin realizar la operación *hash* para la ocultación de las mismas), podría hacerse un seguimiento de un determinado usuario, el cual, si se ha autenticado en la plataforma, habrá tenido que dar ciertos datos personales dependiendo del método de registro seleccionado. Además, con el actual auge de las tecnologías BigData este seguimiento podría ser aún mayor, de manera que este tipo de soluciones de localización en interiores podría servir como complemento para trazar el perfil de una persona en concreto, lo que provoca extensos debates en cuanto al anonimato del usuario de forma práctica.

Otro de los aspectos en los que influye este proyecto son las posibilidades tecnológicas, ya que se pueden desarrollar múltiples aplicaciones para el presente y futuro inmediato, de forma que se pueda ir implementando mayor funcionalidad acorde a las actualizaciones y madurez de las APIs de los fabricantes que ofrecen los servicios de localización en interiores. Algunas de estas aplicaciones pueden ser la posibilidad de guiar a los usuarios dentro de un centro comercial para encontrar alguna tienda, o guiar al usuario al lugar donde ha aparcado su vehículo en un parking subterráneo, entre muchas otras.

Por último, este tipo de soluciones basadas en la localización a través de la tecnología Wi-Fi suele ser bastante atractiva en el apartado económico, ya que no se necesita infraestructura adicional, y se considera que, al menos en la implementación realizada en este proyecto, no es un precio demasiado elevado, siempre y cuando se sepan interpretar los datos de forma que se obtengan beneficios como resultado de las decisiones tomadas en base a dicha información.

9 REFERENCIAS

- [1] Tim Zimmermand, Christian Canales, Bill Menezes, and Danilo Ciscato. (2016) Gartner. [Online]. <https://files.jocke.no/b/gartner-wireless-august2016.pdf>. Consultado por última vez el 22 de junio de 2017.
- [2] R. Martín Yagüe, *Localización inteligente en interiores mediante tecnologías basadas en el estándar IEEE 802.11b: implementación y validación del modelo*, PFC Ingeniería de Telecomunicaciones ed., 2006.
- [3] Genk. (2015, Mayo) Simulando la forma -GPS el Sistema de Posicionamiento Global. [Online]. <http://genk.vn/kham-pha/nhung-cau-hoi-ngay-ngo-cua-nguoi-dan-my-ve-he-thong-gps-20150728170617484.chn>. Consultado por última vez el 20 de marzo de 2017.
- [4] Carlos Ramos and Miguel Ángel Valero, Introducción Unidad 3 - SISTEMAS 3G: UMTS, HSDPA, HSUPA. Transparencias asignatura Redes de Comunicaciones Móviles, 2016, Universidad Politécnica de Madrid.
- [5] Servicioalameda. (2015) Chips RFID. [Online]. <http://servicioalameda.com/servicios.html>. Consultado por última vez el 20 de marzo de 2017.
- [6] SmartBeacon. (2017, Enero) WHAT IS A BEACON. [Online]. <http://smartbeacon.it/?gclid=CLWx4b278dMCFcSVGwodhigEpg>. Consultado por última vez el 10 de mayo de 2017.
- [7] Apple. (2015, Septiembre) iOS 7: Cómo funciona Localización. [Online]. <https://support.apple.com/es-es/HT201357>. Consultado por última vez el 10 de mayo de 2017.
- [8] Intel. (2017, Abril) Wi-Fi diferentes protocolos y velocidades de datos. [Online]. <http://www.intel.la/content/www/xl/es/support/network-and-i-o/wireless-networking/000005725.html>. Consultado por última vez el 23 de mayo de 2017.
- [9] Ryan Dobbins, Saúl García, and Brian Shaw, *Software Defined Radio Localization Using 802.11-style Communications*. Worcester, Estados Unidos de América.
- [10] Cisco. (2014, Enero) Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide. [Online]. <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility/WiFiLBS-DG/wifich2.html>. Consultado por última vez el 20 de marzo de 2017.
- [11] Forumarduino. (2014, Marzo) Time Difference of Arrival. [Online]. <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=229758.0>. Consultado por última vez el 22 de marzo de 2017.
- [12] Cisco Meraki. (2015, Enero) 802.11 Association process explained. [Online]. https://documentation.meraki.com/MR/WiFi_Basics_and_Best_Practices/802.11_Association_process_explained. Consultado por última vez el 20 de marzo de 2017.
- [13] IEEE Computer Society Std 802.11-2012, *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications*., 2012.
- [14] RestAPITutorial. (2012, Mayo) What Is REST? [Online].

- <http://www.restapitutorial.com/lessons/whatisrest.html>. Consultado por última vez el 20 de mayo de 2017.
- [15] W3Schools. (2017) HTTP Methods: GET vs. POST. [Online]. https://www.w3schools.com/tags/ref_httpmethods.asp. Consultado por última vez el 20 de mayo de 2017.
- [16] W3Schools. (2017) XML Tutorial. [Online]. <https://www.w3schools.com/xml/>. Consultado por última vez el 20 de mayo de 2017.
- [17] W3Schools. (2017) JSON - Introduction. [Online]. https://www.w3schools.com/js/js_json_intro.asp. Consultado por última vez el 20 de mayo de 2017.
- [18] Ruckus wireless SPoT. (2016) Ruckus API Explorer. [Online]. https://us-sys.ruckuslbs.com/api_explorer. Consultado por última vez el 30 de mayo de 2017.
- [19] Cisco Systems. (2017, Mayo) API Doc. [Online]. <https://cmxlocationsandbox.cisco.com/apidocs/>. Consultado por última vez el 10 de junio de 2017.
- [20] LearningLabs Cisco. (2016) DevNet Learning Labs. [Online]. <https://learninglabs.cisco.com/lab/cmx10-rest/step/1>. Consultado por última vez el 10 de junio de 2017.
- [21] Cisco Meraki. (2016) Location API. [Online]. https://documentation.meraki.com/MR/Monitoring_and_Reporting/Location_Analytics#Location_API. Consultado por última vez el 20 de mayo de 2017.
- [22] Aruba Networks. (2009) Aruba's Location and Asset Tracking Solution. [Online]. http://www.arubanetworks.com/pdf/solutions/AB_LOC.pdf. Consultado por última vez el 20 de mayo de 2017.
- [23] Aruba Support Center. (2015, Octubre) Analytics and Location Engine 2.0 API & User Guide. [Online]. https://support.arubanetworks.com/Documentation/tabid/77/DMXModule/512/Command/Core_ViewDetails/Default.aspx?EntryId=19173. Consultado por última vez el 20 de mayo de 2017.
- [24] Antair. (2007) Centro Comercial Vialia. [Online]. http://www.antair.es/web/?page_id=12. Consultado por última vez el 10 de febrero de 2017.
- [25] Ruckus Wireless. (2014, Septiembre) Ruckus LBS Log In. [Online]. <https://us-sys.ruckuslbs.com>. Consultado por última vez el 23 de junio de 2017.
- [26] Ruckus Wireless, *Release 1.4 User Guide SmartPositioning Technology.*, 2014.
- [27] LibrosWeb. (2006) Symfony en pocas palabras. [Online]. http://librosweb.es/libro/symfony_1_4/capitulo_1/symfony_en_pocas_palabras.html. Consultado por última vez el 23 de junio de 2017.
- [28] LibrosWeb. (2006) El sistema de bundles. [Online]. http://librosweb.es/libro/symfony_2_x/capitulo_4/el_sistema_de_bundles.html.

Consultado por última vez el 23 de junio de 2017.

- [29] Google. (2010, Octubre) AngularJS. [Online]. <https://angularjs.org>. Consultado por última vez el 23 de junio de 2017.
- [30] W3Schools. (2016) What is HTML? [Online]. https://www.w3schools.com/html/html_intro.asp. Consultado por última vez el 20 de mayo de 2017.
- [31] W3Schools. (2016) JavaScript Tutorial. [Online]. <https://www.w3schools.com/Js/default.asp>. Consultado por última vez el 20 de mayo de 2017.
- [32] W3Schools. (2016) What is CSS? [Online]. https://www.w3schools.com/css/css_intro.asp. Consultado por última vez el 20 de mayo de 2017.
- [33] SensioLabs. (2010) Twig - The flexible, fast, and secure template engine for PHP. [Online]. <https://twig.sensiolabs.org>. Consultado por última vez el 20 de mayo de 2017.
- [34] Masayuki Tanaka. (2014) C3 D3-based reusable chart library. [Online]. <http://c3js.org>. Consultado por última vez el 22 de mayo de 2017.
- [35] Patrick Wied. (2016) Heatmap.js - Dynamic Heatmaps for the Web. [Online]. <https://www.patrick-wied.at/static/heatmapjs/>. Consultado por última vez el 10 de junio de 2017.
- [36] Sebastian Bergmann. (2001) Welcome to PHPUnit! [Online]. <https://phpunit.de/>. Consultado por última vez el 23 de junio de 2017.
- [37] Huawei. (2016) WLAN API RTLS. [Online]. <https://n2s-smart.atlassian.net/wiki/display/IBA/API+RTLS+WLAN+HUAWEI>. Consultado por última vez el 23 de junio de 2017.
- [38] Diego Herrero Martín, "Propuesta para la instalación de SmartWIFI en C.C. Vialia," Ingeniería, N2S, Madrid, Interno.
- [39] Ruckus Wireless. (2017) Virtual Smart Zone. [Online]. https://80.58.201.228:8443/wsg/login.jsp?_t=1493194029789. Consultado por última vez el 20 de mayo de 2017.

10 ANEXOS

10.1 Manual de usuario

Principalmente, lo que se deberá hacer es instalar un servidor web, un intérprete de lenguajes de script y la base de datos. Para las instalaciones a nivel local, existen varias distribuciones independientes de la plataforma o del sistema operativo del equipo, como:

- XAMPP (cualquier sistema operativo + Apache + MariaDB + PHP + Perl).
- LAMP (Linux + Apache + MySQL + PHP).
- WAMP (Windows + Apache + MySQL + PHP).

Al principio, se contaba con un equipo Windows, y se intentó instalar el entorno en dicho entorno algunas distribuciones (en concreto WAMP y XAMPP), pero a lo largo del tiempo, aparecieron problemas de rendimiento y errores a la hora de cerrar los puertos que se estaban usando para el servidor web.

En este proyecto, se ha procedido a realizar el desarrollo de la solución propuesta en un equipo con sistema operativo **macOS Sierra**, lo que nos ofrece una serie de ventajas con respecto a las distribuciones anteriores, que se señalan en el siguiente punto.

10.1.1 Instalación del servidor local

Para poder instalar la parte de *backend* de la aplicación, es decir, la API implementada en este proyecto, es necesario contar con un servidor web. En este caso se ha optado por un servidor Apache, ya que es el más extendido mundialmente. Para ello, el entorno del Mac tiene una versión ya instalada por defecto, pero en este caso, se instalará una versión superior (en caso de que no se encuentre ya instalada). Por lo tanto, se usará la versión Apache 2.4., la cual se descargará [1], y se seguirán los siguientes pasos para su configuración:

- `$ gzip -d httpd-NN.tar.gz`
- `$ tar xvf httpd-NN.tar`
- `$ cd httpd-NN`
- `$./configure --prefix=PREFIX`
- `$ make`
- `$ make install`
- `$ vi PREFIX/conf/httpd.conf`
- `$ PREFIX/bin/apachectl -k start`

- A continuación, se edita el fichero `httpd.conf`:
 - `sudo vi /etc/apache/httpd.conf`
- Y se descomentan las líneas siguientes para la activación del módulo del lenguaje de scripts PHP en el servidor Apache:
 - `LoadModule php5_module libexec/apache2/libphp5.so`
 - `LoadModule deflate_module libexec/apache2/mod_deflate.so`
 - `LoadModule expires_module libexec/apache2/mod_expires.so`
 - `LoadModule rewrite_module libexec/apache2/mod_rewrite.so`

- Se reinicia el Apache con privilegios de administrador:
■ `sudo apachectl restart`
- Para comprobar que se ha configurado el servidor Apache y PHP correctamente,
- Abrir el terminal del Mac.
- Crear un fichero PHP que muestre la configuración del mismo, dentro de la carpeta por defecto `/Library/WebServer/Documents`, de la siguiente forma:
■ `echo '<?php phpinfo();' > /Library/WebServer/Documents/phpinfo.php`

Ahora se procederá a la instalación de la base de datos de tipo MySQL versión 5.7, para lo cual tendremos que descargarla a través del enlace [2] mostrado en la imagen 1.



Imagen 1. Descarga de MySQL

- Una vez instalado, se puede comprobar si está activo accediendo a *Preferencias del sistema*, luego pinchar en el icono MySQL, y se verá al final de la ventana como la mostrada en la imagen 2.



Imagen 2. Verificación de instalación de MySQL

- Ya se encuentra el servidor web preparado para ejecutar lo necesario para el siguiente paso.

10.1.2 Instalación de Symfony

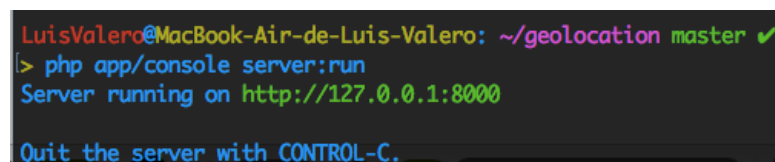
Se procede con la instalación del *framework* Symfony para montar la estructura de *backend*, es decir, la API desarrollada en el proyecto.

- En primer lugar instalaremos y configuraremos el gestor de dependencias de código PHP, *Composer* [3]:

- `php -r "copy('https://getcomposer.org/installer', 'composer-setup.php');"`
- `php -r "if (hash_file('SHA384', 'composer-setup.php') === '669656bab3166a7aff8a7506b8cb2d1c292f042046c5a994c43155c0be6190fa0355160742ab2e1c88d40d5be660b410') { echo 'Installer verified'; } else { echo 'Installer corrupt'; unlink('composer-setup.php'); } echo PHP_EOL;"`
- `php composer-setup.php`
- `php -r "unlink('composer-setup.php');"`
- Una vez instalado, procedemos a instalar Symfony y le damos permisos de ejecución:
 - `sudo mkdir -p /usr/local/bin`
 - `sudo curl -Ls https://symfony.com/installer -o /usr/local/bin/symfony`
 - `sudo chmod a+x /usr/local/bin/symfony`

Se puede añadir el fichero ejecutable *symfony* al al directorio */usr/local/bin*, de tal manera, que al encontrarse este directorio declarado en la variable *\$PATH* del sistema, es posible ejecutar el comando desde cualquier parte del sistema.

- Ahora se crea el proyecto Symfony [4] en la versión 2.7, que se considera estable, y además es la misma en la que se encuentra el *geo-bundle* de la API desarrollada. Se ejecutará en el terminal en el directorio que se desee (por ejemplo, el directorio del usuario) el comando mostrado a continuación:
 - `composer create-project symfony/framework-standard-edition geolocation "2.7.*"`
- Finalmente, se despliega la API copiando el contenido de la carpeta del proyecto llamada *geo-bundle* en el interior del proyecto recién creado con nombre *geolocation*.
- Para comprobar que la instalación se ha realizado correctamente, a través del terminal, hay que entrar dentro del directorio *geolocation* y ejecutar el siguiente mandato, cuyo resultado se muestra en la imagen 3.
 - `php app/console server:run`



```
LuisValero@MacBook-Air-de-Luis-Valero: ~/geolocation master ✓
> php app/console server:run
Server running on http://127.0.0.1:8000
Quit the server with CONTROL-C.
```

Imagen 3. Puesta en marcha del proyecto con la consola de Symfony

- Si se accede a través del navegador a la dirección <http://127.0.0.1:8000>, deberá salir una página en la que se visualice el mensaje de la imagen 4.

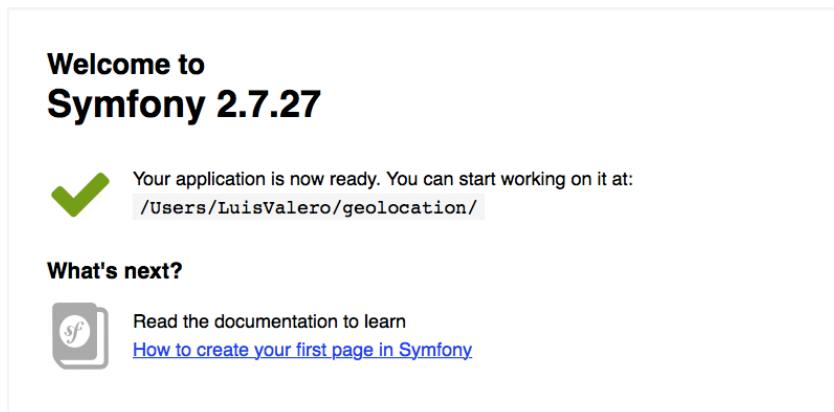


Imagen 4. Página web inicial del proyecto Symfony

10.1.3 Configuración del servidor web

Si se quisiera acceder al servidor web de manera que no hiciera falta ejecutar este comando cada vez que se inicia el equipo, se puede configurar el servidor Apache de manera que el proyecto sea un Sitio Virtual o *Virtual Host*. Para ello, seguiremos los siguientes pasos:

- Modificar el fichero `httpd.conf` y descomentar la siguiente línea mostrada en la imagen 5 para activar el módulo de sitios virtuales:
 - `sudo vi /etc/apache2/httpd.conf`

```
# Virtual hosts
Include /private/etc/apache2/extra/httpd-vhosts.conf
```

Imagen 5. Activación de los sitios virtuales

- Además, nos fijaremos en el usuario y grupo que se encarga de gestionar el servidor Apache, como se muestra en la imagen 6.

```
# User/Group: The name (or #number) of the user/group to run httpd as.
# It is usually good practice to create a dedicated user and group for
# running httpd, as with most system services.
#
User _www
Group _www
```

Imagen 6. Verificación del usuario y grupo de Apache

- Se modifica el fichero `httpd-vhosts.conf` con permisos de administrador, configurando todas las variables del sitio web:
 - `sudo vi /etc/apache2/extra/httpd-vhosts.conf`
- Una vez dentro del fichero, se desea acceder al sitio web a través del nombre `wifi.geolocation.local` en vez de la dirección IP 127.0.0.1, y se debe apuntar al directorio web del proyecto *symfony* como se visualiza en la imagen 7, es decir, la parte pública de la aplicación web.

```

NameVirtualHost 127.0.0.1
<VirtualHost *:80>
    ServerAdmin luis.alcon@n2s-group.com
    DocumentRoot "/Users/LuisValero/geolocation/web"
    ServerName wifi.geolocation.local
    ServerAlias wifi.geolocation.local
    ErrorLog "/private/var/log/apache2/geolocation.local-error_log"
    CustomLog "/private/var/log/apache2/geolocation.local-access_log" combined

    <Directory /Users/LuisValero/geolocation/web>
        Allow From All
        AllowOverride All
        Options +Indexes
        Require all granted
    </Directory>
</VirtualHost>

```

Imagen 7. Configuración del Virtual Host

- Modificamos el fichero hosts que actúa como servidor DNS local para que resuelva el nombre y puerto configurados en el host virtual como se muestra en la imagen 8.
■ `sudo vi /etc/hosts`

```

##
# Host Database
#
# localhost is used to configure the loopback interface
# when the system is booting. Do not change this entry.
##
127.0.0.1        localhost
255.255.255.255 broadcasthost
::1             localhost
fe80::1%lo0     localhost

127.0.0.1        wifi.geolocation.local
127.0.0.1        wifi.local

```

Imagen 8. Adición del host al DNS local

- Ahora, al entrar en el navegador a la dirección <http://wifi.geolocation.local>, deberá aparecer la misma página web de bienvenida a Symfony. La diferencia ahora es que no es necesario ejecutar el comando `php app/console server:run` cada vez que deseemos acceder.

Por último, es necesario destacar que la parte referida al *frontend*, que sería el *framework* AngularJS, está situado dentro del proyecto *symfony* llamado *geolocation*, en la carpeta *Resources*. Aunque se intente acceder a las rutas por el navegador, dará error, ya que aunque el código de la página que se ha desarrollado está presente, la parte gráfica mantiene dependencias de estructura de paneles, herencias y directivas propias de la aplicación AngularJS de la empresa

N2S, que no se adjunta en el proyecto debido a su volumen y a condiciones de confidencialidad de la compañía.

Sin embargo, el código referido a la API implementada como adaptación del fabricante Ruckus Wireless es totalmente funcional sin necesidad del entorno gráfico, simplemente habrá que componer las URLs en el navegador con los parámetros correspondientes, como se mostró en la sección de *Diseño* dentro del capítulo *Descripción de la solución propuesta*.

10.2 Referencias del anexo

- [1] Apache Software Foundation. (2017) Descarga de Apache 2.4. [Online]. <http://httpd.apache.org/download.cgi#apache24>. Consultado por última vez el 23 de junio de 2017.
- [2] Oracle Corporation. (2017) Descarga de MySQL 5.7. [Online]. <https://dev.mysql.com/downloads/mysql/>. Consultado por última vez el 23 de junio de 2017.
- [3] Nils Aldermann, Jordi Boggiano. (2017) Instrucciones para instalación Composer. [Online]. <https://getcomposer.org/download/>. Consultado por última vez el 23 de junio de 2017.
- [4] Fabien Potenfier, SensioLabs. (2017) Installing and setting up the symfony framework. [Online]. <https://symfony.com/doc/2.7/setup.html>. Consultado por última vez el 23 de junio de 2017.

