

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Informática

IoT aplicado a las emergencias

IoT applied to emergencies

Josué Toledo Castro

La Laguna, 05 de junio de 2017

Dña. **María Candelaria Hernández Goya**, con N.I.F. 45.441.714-Q profesor Titular de Universidad adscrito al Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas de la Universidad de La Laguna, como tutor

D. **José Iván Santos González**, con N.I.F. 78.637.989-T Investigador FPI adscrito al Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas de la Universidad de La Laguna, como cotutor

CERTIFICA (N)

Que la presente memoria titulada:

“IoT aplicado a las emergencias”

ha sido realizada bajo su dirección por D. **Josué Toledo Castro**, con N.I.F. 42.419.077-Q.

Y para que así conste, en cumplimiento de la legislación vigente y a los efectos oportunos firman la presente en La Laguna a 5 de junio de 2017.

Agradecimientos

A mi tutora Dña. María Candelaria Hernández Goya y a mi cotutor D. José Iván Santos González por sus consejos, su motivación e interés por sacar adelante este proyecto y su apoyo desde incluso antes de elegir este trabajo de fin de grado.

A CECOES 1-1-2 por su apoyo y colaboración, en especial consideración a Carlos Rosa Remedios.

A mis amigos y a mi familia por su apoyo incondicional.

Licencia



© Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen

La eficacia y el tiempo de respuesta durante la gestión de situaciones de emergencia son factores que influyen de manera directa en el número de víctimas. En este sentido, la reducción del tiempo empleado en aspectos como el análisis de las condiciones del lugar (como, por ejemplo, las condiciones climatológicas) es prioritaria y constituye uno de los parámetros relevantes destacados por distintos organismos vinculados a la gestión de las situaciones de emergencia (CECOES 1-1-2, bomberos, etc.).

Hoy en día, el uso de dispositivos IoT conteniendo sensores permiten la monitorización de muchos factores del entorno. Entre éstos destacan los efectos producidos en el clima por los cambios de las distintas variables presentes en la atmósfera como, por ejemplo, la temperatura, humedad relativa y presión atmosférica. Las variaciones bruscas y la combinación de estas variables pueden ser los causantes de la aparición de fenómenos climatológicos adversos que desemboquen en catástrofes naturales. No obstante, dada la situación presente actualmente con el cambio climático, también es relevante el control de la concentración de distintos gases contaminantes como, por ejemplo, el dióxido y monóxido de carbono. La exposición de la población a estos gases en zonas urbanas y otros lugares donde los procesos de combustión favorecen el incremento de sus concentraciones en la atmósfera puede originar intoxicaciones y daños graves en la salud de las personas.

El control de estos parámetros puede favorecer la prevención de situaciones de emergencia o reducción del tiempo de respuesta en el caso de que se produzcan. De este modo, el sistema de información desarrollado en este proyecto monitoriza y controla distintas variables atmosféricas en tiempo real con el objetivo de activar distintas alertas cuando se dan ciertas condiciones consideradas como posibles factores causantes de fenómenos climatológicos adversos (huracanes, tormentas, olas de calor, etc.) o cuando se detectan niveles de contaminación nocivos para la salud de la población.

El sistema desarrollado integra dispositivos IoT inalámbricos con sensores cuyos resultados de lectura de datos son transferidos a un servicio web que permite monitorizar distintas variables atmosféricas y la presencia de gases contaminantes. Además, se cuenta con una aplicación móvil que permite la visualización de la información una vez procesada. Se ha prestado especial atención a seguridad en las comunicaciones realizadas entre los dispositivos IoT y el servidor dotándolas incluyendo un protocolo de transmisión de datos seguro y un algoritmo de cifrado de bloque.

Palabras clave: IoT, gestión de situaciones de emergencias, sensores, fenómenos climatológicos, Smart cities, contaminación atmosférica....

Abstract

Effectiveness and response time in emergency situations management are key factors that directly influences on the victim's number. In this way, reduction on the time invested in some aspects such as analysis of environmental conditions (like weather conditions) is crucial and is one of the relevant parameters highlighted by different agencies linked to the management of emergency situations (CECOES 1-1-2, firefighters, etc.).

Today, IoT devices and sensors allow to monitor and control different environment factors. Some of the most relevant are weather effects caused by different atmospheric variables such as temperature, humidity and pressure. Radical changes and the combination of these variables could be the reasons of adverse weather events that could cause natural disasters. Furthermore, the control of concentrations of contaminating gases in the atmosphere such as carbon monoxide and carbon dioxide is also relevant. People exposed to this type of gases where combustion process favor their concentrations may suffer from serious health damages.

Control of these parameters can improve emergency situations prevention or reduce response time. So, the system developed can perform a real time control of these different atmospheric variables allowing to activate alerts when certain conditions considered as possible factors causing adverse climatic events (hurricanes, storms, heat waves, etc.) are detected or when pollution levels harmful to the health of the population are present.

The system developed integrates wireless IoT devices with sensors whose data reading results are transferred to a web service that allows monitoring of different atmospheric variables and the presence of contaminating gases. In addition, a mobile application that allows information visualization once processed. Particular attention has been paid to security in the communications between the IoT devices and the server, a secure data transmission protocol and a block cipher algorithm have been implemented.

Keywords: *weather events, IoT, sensors, emergency situations management, atmospheric pollutions, Smart Cities.*

Índice General

Capítulo 1. Introducción	6
1.1 Motivación	6
1.2 Estado del arte	9
1.3 Conceptualización de la propuesta	11
1.4 Estructura de la memoria	16
Capítulo 2. Tecnologías	17
2.1 Dispositivos IoT	17
2.2 Tecnologías para el desarrollo	18
Capítulo 3. Dispositivos para IoT: waspmotes	22
3.1 Introducción	22
3.2 Montaje del dispositivo	22
3.2.1 Módulo de transferencia de datos	22
3.2.2 Placa de gases	24
3.2.3 Sensores	24
3.3 Funcionamiento	25
Capítulo 4. Servicio web	27
4.1 Características generales	27
4.2 Estructura del servicio	28
4.2.1 Base de datos	28
4.2.2 Rutas principales	29
4.3 Implementación	31
4.3.1 Interfaz de Administrador	31
4.3.2 Gestión de mapas	32
4.3.3 Gestión de las alertas	34
4.3.4 Visualización de datos	39
Capítulo 5. Aplicación móvil	45
5.1 Características generales	45
5.2 Servicios integrados y visualización de datos	45

Capítulo 6. Sistema global	47
6.1 Esquema general	47
6.2 Seguridad	49
6.2.1 Confidencialidad en dispositivos waspmote	49
6.2.2 Autenticación segura.....	50
Capítulo 7. Presupuesto	51
7.1 Personal	51
7.2 Componentes	52
7.3 Costes totales.....	53
Capítulo 8. Conclusiones y trabajos futuros	54
Capítulo 9. Conclusions and future works	55
Apéndice A. Esquema general de tecnologías	57
Apéndice B. Comparativa de dispositivos IoT	58
Apéndice C. Estudio de mediciones	61
Apéndice D. Verificación de pautas OWASP	70
Bibliografía	76

Índice de figuras

Figura 1. Flujo de información.....	12
Figura 2. Interfaz de captación de variables atmosféricas	12
Figura 3. Visualización de información	14
Figura 4. Administrador del sistema.....	14
Figura 5. Antenas 4G	23
Figura 6. Waspote Gas Sensor v3.0	24
Figura 7. Ciclo de funcionamiento de la waspote	26
Figura 8. Estructura de la base de datos.....	28
Figura 9. Mapa genérico con markers	32
Figura 10. Mapa de concentraciones medias	33
Figura 11. Esquema de funcionamiento mapa de medias	34
Figura 12. Generación de una alarma.....	35
Figura 13. Umbrales de temperatura	35
Figura 14. Variaciones de presión atmosférica.....	36
Figura 15. Actualización de alarmas	38
Figura 16. Panel de alarmas	38
Figura 17. Visualización de datos	39
Figura 18. Gauge controlador de temperatura.....	40
Figura 19. Histórico de humedad relativa.....	41
Figura 20. Comparativa temperatura, humedad y presión.....	43
Figura 21. Comparativa de gases contaminantes	44
Figura 22. Comparador de mediciones.....	44
Figura 23. Mapa en aplicación móvil	46
Figura 24. Esquema general del sistema	47
Figura 25. Cifrado AES CBC.....	49
Figura 26. Tecnologías del sistema	57
Figura 27. Control de la humedad relativa	63
Figura 28. Control de presión atmosférica	65
Figura 29. Umbral máximo de exposición CO en 8 horas.....	66

Figura 30. Efectos del CO en la salud	67
Figura 31. Exposición de CO2 en interiores	68
Figura 32. Umbrales definidos para CO2	69

Índice de tablas

Tabla 1. Presupuesto personal	52
Tabla 2. Presupuesto componentes hardware	53
Tabla 3. Presupuesto componentes software	53
Tabla 4. Coste total	53

Capítulo 1.

Introducción

1.1 Motivación

En la actualidad, las situaciones de emergencia implican enormes pérdidas tanto materiales como personales ocasionando problemas de gran envergadura. La imprevisibilidad unida a la incertidumbre de los hechos, constituyen algunos de los principales detonantes de este tipo de situaciones.

Los fenómenos naturales, como las tormentas, anticiclones, o las olas de calor intensas, se convierten en desastres cuando superan un límite de normalidad. Los efectos de estos sucesos pueden amplificarse debido a una mala planificación de los recursos, como puede ser la falta de medidas de seguridad o control, planes de emergencia y sistemas de alerta que puedan aumentar las opciones a la hora de predecir su ocurrencia o controlar su avance una vez que se han producido.

Otros desastres a tener en cuenta son aquellos causados únicamente por las actividades humanas. Entre estos destaca la contaminación del medio ambiente, es decir, la introducción de sustancias u otros elementos físicos provocando inestabilidad e inseguridad en el ambiente. Todos estos contaminantes pueden producir, además de daños en los ecosistemas, enfermedades diversas en la salud de las personas.

La exposición de este tipo de sustancias contaminantes gaseosas en la atmósfera constituye un riesgo para la salud. En éstas destacan el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, los clorofluorocarbonos y los óxidos de nitrógeno. La mayoría son producidas por los procesos industriales y por la combustión de los vehículos. Pese a que la contaminación atmosférica en ocasiones sólo afecta a las inmediaciones o cercanías del foco de emisión, también puede afectar de manera global afectando al equilibrio de los ecosistemas y del entorno en el que vivimos.

En una situación de emergencia, la información constituye la materia prima más preciada e importante, imprescindible durante el proceso de toma de decisiones. Es de vital importancia para garantizar una respuesta oportuna, rápida y adecuada a las personas afectadas por un desastre o una emergencia. Los datos son tan importantes en el proceso de evaluación de los daños, coordinación y planificación estratégica una vez que ha ocurrido el suceso como en la predicción de la posible ocurrencia de éste. En este sentido, constituye un factor primordial recabar y obtener todos los datos

posibles del entorno y de los recursos para intentar combatir y enfrentar este tipo de situaciones mediante la anticipación o la previsión de los factores y sucesos.

Disponer de más datos puede suponer un mejor conocimiento del estado actual y real de una situación de emergencia, lo cual puede implicar una mejor organización estratégica de los recursos disponibles por parte de los organismos encargados de la coordinación de las emergencias y de la seguridad (CECOES 1-1-2, Bomberos, etc), una mejor anticipación ante el problema, una menor pérdida de recursos tanto materiales como personales, etc.

El principal objetivo de este proyecto es el desarrollo de un sistema de información que integra dispositivos de la Internet de las Cosas (IoT) [1] con sensores integrados capaces de registrar variables atmosféricas como la temperatura, humedad y la presión además de otros tipos de sustancias y gases contaminantes como el monóxido y dióxido de carbono, isobutano, etanol y otros que afectan directamente a la calidad del aire del entorno.

La IoT [2] se puede entender como la interconexión digital de objetos cotidianos con Internet, es decir, conexión de los recursos presentes en el entorno aportando datos e información. Pese a que todavía puede ser un concepto abstracto para la mayoría de las personas, este término ha ganado bastante popularidad en los últimos tiempos en sectores como la industria, el control de la infraestructura urbana, el sector de la salud o el control ambiental. Esta última área representa uno de los sectores de más éxito en el IoT [3] en la actualidad, permitiendo acceder desde cualquier parte a información de sensores atmosféricos y meteorológicos, permitiendo el control y la supervisión del entorno que nos rodea. El uso de éste como fuente de datos a través de dispositivos como sensores es de vital importancia en la tarea de prevención y predicción de catástrofes naturales o situaciones de emergencia, aportando continuamente datos de la atmósfera favoreciendo una respuesta más productiva, sólida y con mayores posibilidades de éxito que en otros casos.

Tal y como se viene planteando, el uso de sensores en el entorno lleva consigo la introducción de un nuevo concepto cada vez más conocido y presente en todo el planeta: “smart city” [4]. Proveniente del anglosajón su significado es el de “ciudad inteligente”, la cual presenta un desarrollo económico en el que priorizan y destacan las nuevas tecnologías.

De este modo, no sólo es importante recabar parámetros referentes al lugar dónde se ha producido un accidente o un fenómeno climatológico adverso, sino también las condiciones climatológicas como la temperatura, humedad o presión, los gases o sustancias contaminantes que alteren el entorno, picos o desfases en las mediciones registradas por los sensores que puedan significar una inestabilidad del clima desembocando posiblemente en desastres naturales como los huracanes o los tornados.

Como puede observarse, el monitoreo constante de estos factores puede reducir en gran medida el tiempo de reacción en el caso de una situación de emergencia inminente o de una catástrofe natural por parte de los organismos e instituciones referentes. Sin el uso de estos dispositivos, este tipo de información sería más difícil de conseguir y de procesar, limitando las posibilidades de actuación.

De este modo, como principal responsabilidad destacan el monitoreo y control constante de las condiciones atmosféricas y de la calidad del aire favoreciendo que, dado la integración de este sistema en los organismos vinculados a la gestión estratégica de las situaciones de emergencia, aumenten las posibilidades de:

- Reducir el tiempo de respuesta en las situaciones de emergencia contribuyendo de esta manera a disminuir las pérdidas personales y materiales.
- Predecir la ocurrencia de un fenómeno climatológico adverso o una catástrofe natural a partir de la observación en tiempo real de variaciones y cambios producidos en el entorno a nivel atmosférico.
- Favorecer la gestión estratégica de los efectivos y los recursos disponibles en el lugar en la que se ha producido una emergencia. Disponiendo de información actualizada sobre la temperatura, humedad, presión y contaminación presentes en el mismo, así como sus variaciones en el tiempo.

Los dispositivos IoT [5] dispuestos en el medio se encontrarán distribuidos por distintos puntos geográficos por lo que será necesario disponer de un servicio que permita tenerlos localizados siempre. Los sensores que se añaden a los mismos tendrán capacidad sensitiva para reaccionar a distintas variables y distintos contaminantes. Por otro lado, los datos captados serán enviados de manera inalámbrica hasta un servidor que es el encargado de gestionarlos y administrarlos.

Este servidor se dispone como núcleo fundamental de un servicio web que tiene como principal responsabilidad la sincronización de todas las aplicaciones o plataformas, la administración de toda la información climatológica y el resto de los recursos disponibles como puede ser los datos descriptivos de los dispositivos inalámbricos con sensores. Por otro lado, otro requisito de este sistema es el desarrollo de dos tipos aplicaciones (web y móvil) cuya finalidad principal es mostrar información de utilidad a los usuarios a través de elementos gráficos e interactivos que les permitan interpretar rápidamente el comportamiento y las variaciones atmosféricas en cada uno de los puntos geográficos con tecnología de sensorización establecida.

A modo de garantizar la confidencialidad de los datos tratados, tanto a nivel de usuario como a nivel de los datos recogidos por los sensores, este sistema tiene también como responsabilidad la gestión segura de la información a través del uso de distintos cifrados y el seguimiento de metodologías seguras, favoreciendo así la protección frente a distintos ataques.

Finalmente, como otro objetivo fundamental destaca la configuración de un módulo de alarmas que se active cada vez que los datos atmosféricos registrados representen una posible amenaza.

1.2 Estado del arte

Pese a las tecnologías de la información y de la comunicación y al ámbito general tecnológico que debe estar presente en dicho desarrollo, toma un papel bastante relevante el uso de dispositivos con sensores para obtener datos del entorno, cuyo estudio y análisis debe contribuir y fomentar la mejora de la calidad de vida de las personas. Ciudades como Barcelona [6], Sevilla o Bilbao disponen de una red de dispositivos distribuidos suministrando información continua como, por ejemplo, la disposición del tráfico en el momento actual, las condiciones meteorológicas, los lugares más concurridos, la contaminación acústica o las concentraciones de gases contaminantes en el aire, etc.

Como ejemplo de sistemas con sensores útiles en la prevención de emergencias destaca el sistema desarrollado en Taiwán basado en una red de sensores que detecta la variación y propagación de las ondas en el mar para, basándose en diferentes modelos matemáticos, alertar de manera temprana a los habitantes de una ciudad costera de que se va a producir un tsunami o maremoto. Otro ejemplo conocido de control de la contaminación del ambiente, es el sistema de ojos submarinos empleados para vigilar el volcán del Hierro [7] para registrar su actividad. Se usaron dispositivos con sensores para realizar mediciones en tiempo real de temperatura, salinidad, PH, concentración de oxígeno disuelto, presión y otros parámetros físico-químicos y biológicos.

A continuación, se expone una lista de ejemplos de aplicaciones IoT en el ámbito de la prevención de emergencias que utilizan redes de sensores para captar información del medio, es decir, aplicaciones similares a la presentada que intentan mejorar igualmente la organización y coordinación estratégica de los servicios de emergencias en lo que respecta a un mayor aporte de datos e información útil.

- Despliegue de sensores desde helicóptero. Proyecto en el que se despliega una red de sensores desde un helicóptero y que capturan datos de índole ambiental: temperatura, gases, etc. [8]
- Tesis dónde se desarrolla una propuesta de una aplicación de red de sensores en emergencias mediante el uso de Arduino como dispositivo IoT y librerías de waspmote en C / C++. [9]
- Find&Rescue: Se basa en la administración de equipos de emergencias telemáticamente. Cada miembro del equipo de asistencia llevaría consigo un dispositivo que permite al administrador central y de control disponer de una visión global en línea de la distribución del equipo. Útil en situaciones como:

despliegues sanitarios, protestas y manifestaciones, eventos simultáneos, trabajos peligrosos (exposición a materiales tóxicos y peligrosos), incendios forestales, rastreo de personal (cuando uno de los miembros se aleja de un perímetro preestablecido), etc. Algunos aspectos técnicos:

- Comunicación GSM.
 - GPS.
 - Bluetooth.
 - Consumo de energía extremadamente bajo [10].
- Proyecto MERIS: Monitorización de Emergencia mediante Redes Inalámbricas de Sensores. El objetivo es optimizar la asignación de recursos humanos y técnicos durante la atención prehospitalaria en situaciones de emergencia humanitaria. Se trata de una aplicación en tiempo real en la que el personal acceda a la información sobre el estado de las víctimas recuperables. Se requiere para ello de un dispositivo que monitorea las constantes vitales de las víctimas a través de sensores, los cuales van a llevar a cabo comunicaciones inalámbricas en red para enviar los datos. Se utilizan métodos como el triage o M.R.C.C(Método Rápido de Clasificación en Catástrofes). Los sensores se instalan en las personas y comunican los datos de las constantes vitales a un portátil o PDA (centraliza toda la información) [11].
 - Gestión de las tácticas en emergencias: Proyecto basado en el uso de nuevas tecnologías de sensorización (como LiDAR y la plataforma Esphera) para la integración de la información recogida de un siniestro desde distintas fuentes, seguimiento gráfico y numérico de móviles aéreos y terrestres en un entorno 3D, integración de vídeo desde helicópteros y medios terrestres e integración de realidad aumentada tanto para los técnicos en las centrales como en los operativos en el terreno con el objetivo de una gestión táctica más efectiva en las situaciones de emergencias [12].
 - iSafety: Sistema Integral de Gestión de Emergencias que ofrece servicios específicos para cada organismo: 112, Bomberos, Emergencias Médicas, etc. En este caso para el Centro de Emergencias de Las Palmas de Gran Canaria. Se basa en la integración de sistemas y sensores smart para monitorizar en tiempo real, usando un videowall en el que se recoge información de la situación de la ciudad de distintas fuentes (cámaras de tráfico, de vigilancia de edificios oficiales e infraestructuras sensibles) y nuevos sistemas de comunicaciones, localización de vehículos, terminales radio, etc. [13]
 - COMSIR-SCADA Telecontrol: Sistema web concebido para el control de múltiples dispositivos remotos en tiempo real en planes de emergencias. Proporciona control y monitorización de sirenas de aviso, sensores tóxicos, estaciones meteorológicas, cámaras de video y cualquier tipo de sensor incorporado como recurso en los planes de emergencia [14].

- Fress112. Es una aplicación gratuita disponible para todo tipo de smartphones y tablets destinada a salvar vidas. Pulsando el icono de la aplicación se toma constancia de la localización del dispositivo y se conecta automáticamente con el servicio de emergencias más cercano. También es posible iniciar la comunicación por voz y el envío de imágenes a solicitud del propio centro coordinador. Además, se envían también la edad, teléfono y otros datos médicos del paciente disponiendo de este modo de todo el historial médico del usuario (patologías, alergias, ...). Para aquellos casos en los que el paciente tenga algún tipo de discapacidad auditiva, la aplicación permite el envío de mensajes de texto. La comunicación la realiza usando 4G [15].

Pese a las ventajas ofrecidas por estas aplicaciones, el sistema desarrollado en este trabajo de fin de grado destaca por otros aspectos como las tecnologías utilizadas y el tratamiento realizado de los datos. La plataforma permite que el usuario final interprete rápidamente la información que se pretende transmitir favoreciendo así una actuación más rápida por parte de los organismos encargados de la gestión de las situaciones de emergencia. Esto es debido al planteamiento de un procesado de información en tiempo real que muestra todos los datos conforme se registran y genera alarmas en base a un código de colores que sigue la tendencia europea tal y como se explica en el anexo C. Este sistema cuenta, además, con distintos modos de acceso. Destaca una aplicación móvil en la que los ciudadanos registrados pueden ver las condiciones climatológicas del lugar en el que se encuentran o al que quieren ir, la contaminación del medio y las alertas que se registran en la zona a través de notificaciones. La integración de los datos suministrados por este sistema junto con las plataformas de los organismos de gestión de emergencias puede generar una mayor cantidad de recursos que pueden favorecer y mejorar los procesos de monitorización, control y administración de los mismos. Entre estas tareas destacan la gestión de los recursos y servicios empleados, la evaluación de las condiciones antes, durante y después de que se produzcan (a través de los sensores integrados) y la reducción de las pérdidas materiales y personales originadas por una catástrofe natural o una emergencia de gravedad.

1.3 Conceptualización de la propuesta

Ante la problemática y la situación planteada se ha presentado como solución un sistema de información basado en una red de sensores inalámbrica capaz de obtener datos del entorno en el que se distribuye y procesarla con el fin de proporcionar más información a los sistemas encargados de la dirección y planificación estratégica en situaciones emergencia. Siguiendo las pautas o principios que del IoT, este nuevo sistema (Figura 1) ha basado su filosofía en la captación de datos de las cosas que nos rodean, en este caso, las magnitudes o variables físicas que determinan las condiciones y los fenómenos meteorológicos que afectan constantemente a nuestro

entorno. No obstante, para que este proceso sea de utilidad y genere información valiosa que permita añadir más información en la gestión de las situaciones de emergencia, ha sido necesario el planteamiento de un sistema de objetos o elementos interactivos (gráficas, estadísticas, etc.) que muestren al usuario rápidamente de manera directa los fenómenos meteorológicos de cada zona registrada y la evolución de los mismo hasta el punto de poder realizar una previsión más aproximada de los acontecimientos próximos.

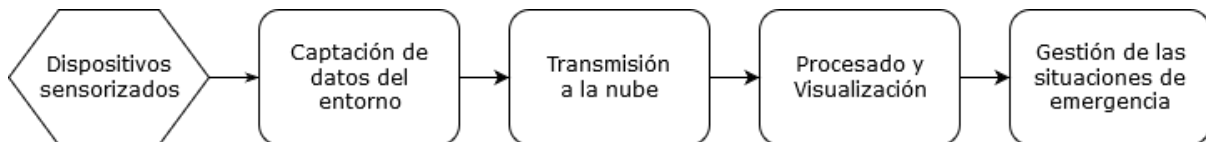


Figura 1. Flujo de información

Como puede observarse en la Figura 2, este sistema de información se encuentra constituido por un conjunto de nodos inalámbricos conectados que se comunican con un sistema central que es el encargado de almacenar y procesar todos los datos. Una vez dispuesto en el ambiente, estos nodos, es decir, los dispositivos waspmote, se han configurado para que registren distintas variables atmosféricas a través de la integración en su sistema y funcionamiento de diversos sensores capaces de interactuar con el medio y sensibles a determinadas magnitudes: temperatura, humedad, presión atmosférica, monóxido de carbono, dióxido de carbono y, de manera general, la calidad del aire en cuanto a presencia de gases se refiere (butano, etano, nitrógeno, ...).

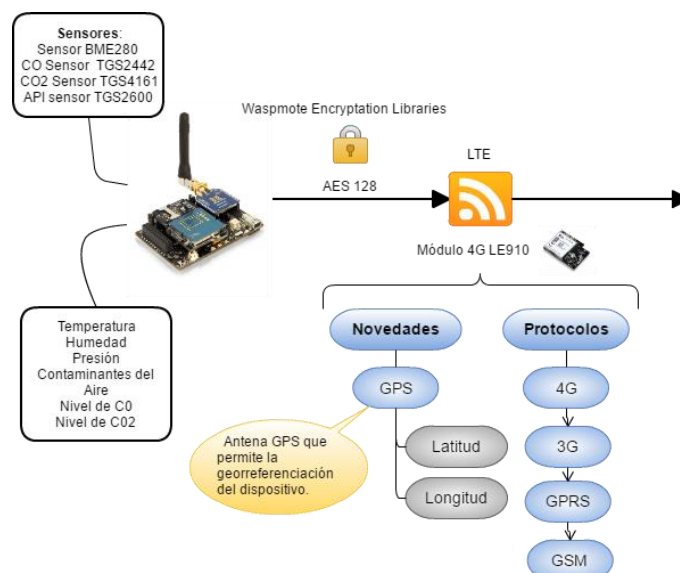


Figura 2. Interfaz de captación de variables atmosféricas

Una de las particularidades del desarrollo ha sido el objetivo de configurar un sistema de información en tiempo real, que permita al usuario realizar un seguimiento en vivo de las condiciones meteorológicas de cada uno de los puntos georreferenciados y, por

tanto, disponer de información actualizada en cada momento que permita actuar más rápido y reducir el tiempo de respuesta en las situaciones de emergencia. El concepto de tiempo real no sólo se aplica al hecho de mostrar al usuario cada nueva medida que se registra en el sistema sin necesidad de actualizar la página, sino también la posibilidad de gestionar todos los recursos disponibles, entiéndase los usuarios actuales, los dispositivos Waspote disponibles, etc. En este sentido, cada vez que uno de estos elementos sea registrado el usuario será consciente inmediatamente del mismo modo que en el caso de que un recurso desaparezca o sea modificado. Un ejemplo claro puede ser la introducción de una nueva waspote en el sistema, lo cual provocará la actualización de los mapas que geolocalizan cada uno de los dispositivos disponibles en cada momento.

El sistema constará de una aplicación web y con otra versión móvil cuyo principal objetivo es ofrecer al usuario la posibilidad de conocer las condiciones climatológicas de la zona en la que se encuentra y analizar el comportamiento y el estado de la atmósfera en cada momento.

La aplicación web ha sido diseñada con el principal objetivo de ofrecer información de manera extendida y detallada. Entre los datos que se muestran al usuario destacan la localización de las waspote en el mapa, visualizando así qué regiones del entorno están analizándose, mapas representativos con las concentraciones medias de las variables o magnitudes meteorológicas que se registran a través de leyendas y de indicadores y, entre otros, las mediciones organizadas en función del dispositivo que las ha registrado. Este último módulo cuenta con la posibilidad de distinguir los datos en la línea temporal, de manera que se separen las medidas tomadas en el momento actual con aquellas de las que se han registrado desde el momento en el que los dispositivos fueron conectados.

Tal y como se muestra en la Figura 3, cada una de las magnitudes contará en su visualización con gráficas específicas, controladores e indicadores, estadísticas comparativas entre diversas variables y, finalmente, filtros que permitirán, por ejemplo, agrupar las mediciones capturadas por fechas o periodos de tiempo. Por otro lado, como otro componente visual se ha habilitado un comparador que permite al usuario analizar múltiples zonas y magnitudes al mismo tiempo, que permite estudiar cómo se manifiestan y comportan la temperatura, humedad, presión y los gases en el entorno.

Puesto que se trata de un sistema con usuarios registrados, la aplicación web ofrecerá a cada uno de ellos la posibilidad de acceder a su perfil, cambiar su configuración y borrar su cuenta si lo desea. Además, cuenta con la opción de contactar con el administrador y comunicarle cualquier incidencia lo cual ayudará a mejorar el sistema.

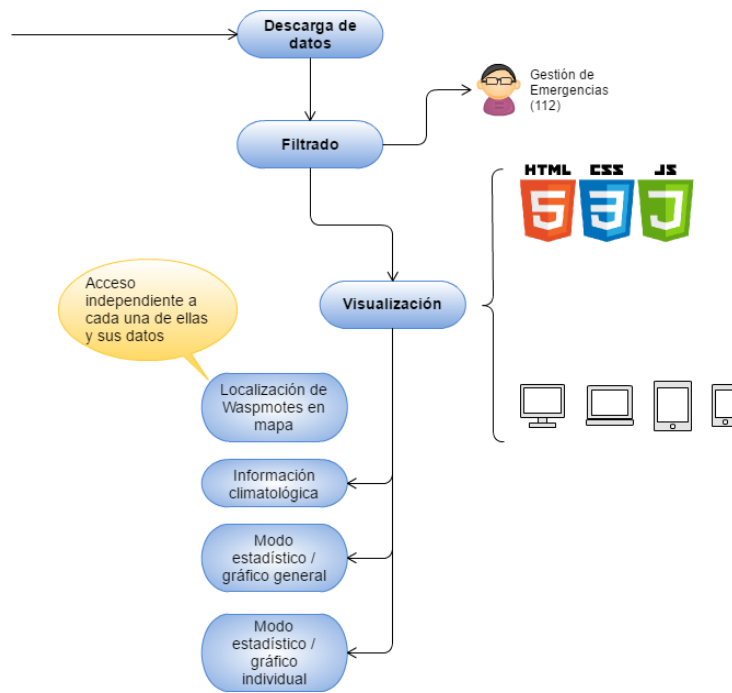


Figura 3. Visualización de información

Para administrar los recursos de esta aplicación se ha configurado una vista exclusiva para el rol de administración (Figura 4), el cual podrá realizar labores de gestión del sitio como, por ejemplo, registrar, eliminar y modificar los dispositivos waspmotes, cambiar parámetros de configuración y observar logs de errores y mensajes de los usuarios dado sus permisos especiales de administración.

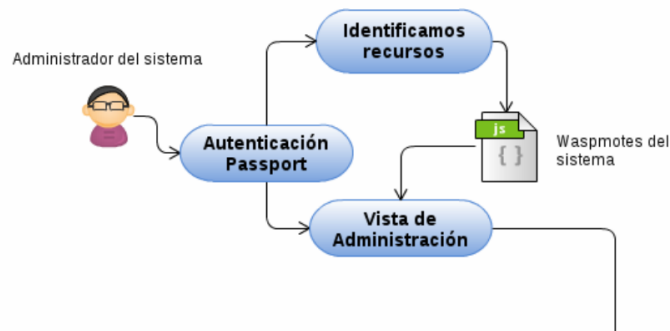


Figura 4. Administrador del sistema

Por otro lado, la aplicación móvil se ha pensado para ofrecer al usuario información y datos meteorológicos de una manera más simplificada, planteando un diseño fluido y usable sin demasiados elementos que sobrecarguen la aplicación de contenido innecesario. De este modo, se han incluido mapas, gráficas interactivas que toman por valores las mediciones capturadas por los dispositivos y otros elementos. Del mismo modo que en la versión web, se ha incluido un control de accesos basado en contraseñas.

Finalmente, dado la vinculación directa con las situaciones de emergencia y la prevención de éstas, se ha configurado un sistema de alertas que se activa e informa al usuario de los acontecimientos más importantes en cada momento y de las posibles situaciones de emergencia que puedan generarse en cada zona registrada. De este modo, tanto en la versión web como en la móvil, los usuarios tendrán acceso en tiempo real a las alertas y a su descripción cada vez que se generen. La visualización de la misma se realizará en forma de notificaciones, destacándose un código de colores que facilite la comprensión de las mismas y facilitando al usuario los detalles. No obstante, además de gestionar y notificar al usuario del peligro actual o el que se prevé próximo, también se ha configurado la visualización de los posibles efectos que puede generar determinados efectos en la salud, contribuyendo así a la prevención de emergencias.

Para el funcionamiento del módulo de alertas ha resultado necesario el estudio y análisis de aquellos factores que pueden representar un detonante de un efecto meteorológico adverso. En este sentido, se han estudiado valores límite, umbrales, comportamientos típicos y atípicos en función de las zonas y otros aspectos de las magnitudes capturadas por los dispositivos waspmote: temperatura, humedad, presión atmosférica. Debido a que el sistema se ha planteado especialmente para su funcionamiento e integración en los servicios de prevención y organización estratégica de las situaciones de emergencia de Canarias, se ha hecho especial énfasis en el estudio del comportamiento de las variables en el archipiélago.

A continuación, se exponen las principales fases en las que se ha organizado el proyecto:

- Análisis de soluciones actuales del IoT. Comprende el estudio y la investigación de distintas aplicaciones o sistemas IoT aplicados a la gestión preventiva de las situaciones de emergencia originadas, por ejemplo, por fenómenos climatológicos adversos.
- Estudio y selección de los dispositivos de IoT a utilizar. Realización de un estudio de las principales tecnologías o plataformas hardware disponibles en el mercado que permiten la integración de sensores directamente.
- Análisis de las tecnologías de comunicación integradas en el dispositivo seleccionado. Investigación de los distintos protocolos de comunicación integrados en la tecnología a modo de seleccionar la más conveniente para transmitir los datos a la nube.
- Crear una interfaz para la captación de magnitudes del medio y transmisión a la nube. Una vez clara la tecnología hardware a utilizar, el siguiente paso es crear una interfaz que permita la recogida de datos del entorno a través de sensores para, posteriormente, enviarlos a la nube dónde serán gestionados.

- Implementación de servidor y aplicación web. Desarrollo de una aplicación cliente-servidor que se encargue de la gestión y administración de los datos, la cual debe garantizar la visualización de la información por parte de los usuarios.
- Implementación de la aplicación Android. Desarrollo de una aplicación en Android que muestre la información de una manera más simplificada que en la versión web. Ambas aplicaciones deben estar sincronizadas garantizando que los datos a mostrar sean los mismos en las dos plataformas.
- Añadir seguridad al sistema. Comprende el cifrado de los datos enviados durante los procesos de comunicación entre los distintos sistemas asociados además de garantizar los procedimientos de autenticación de los usuarios finales de una manera segura y confidencial.

1.4 Estructura de la memoria

Este documento se ha estructurado en nueve capítulos diferenciados además de la sección de anexos. En primer lugar, se realiza una introducción a la aplicación dónde se define el problema que se pretende solucionar, el estado del arte del ámbito tratado y la conceptualización de la propuesta de solución. Seguidamente, se exponen las tecnologías que se han utilizado, así como sus principales implicaciones o funcionalidades.

Puesto que este proyecto engloba distintos tipos de sistemas, a continuación, se definen y detallan cada uno de ellos, sus funciones u objetivos principales y cómo se ha abordado su implementación. De este modo, se incluyen los siguientes capítulos: dispositivos IoT (capítulo 3), servicio web (capítulo 4) y aplicación móvil (capítulo 5).

Una vez definidos cada uno de los sistemas implicados, el capítulo 6 detalla cómo se integran los servicios y las tecnologías utilizadas y cómo se ha implementado la capa de seguridad añadida para mantener el sistema de información seguro.

Todo proyecto tiene unos costes por lo que en el capítulo 7 se detalla el presupuesto estimado de todo el proceso de desarrollo. Posteriormente, se exponen las conclusiones y futuras implementaciones interesantes a desarrollar (capítulo 8), su versión en inglés (capítulo 9) y una bibliografía con enlaces y recursos de referencia que se han utilizado durante el proceso de desarrollo.

Finalmente, se han incluido distintos anexos a modo de detallar más específicamente algunas tecnologías e información relevante. Concretamente se incluye una comparativa de los dispositivos de IoT actuales, un esquema general de las tecnologías que se han utilizado, el estudio o investigación que se ha realizado sobre la meteorología y el clima con el objetivo de comprender mejor el comportamiento y efectos de las variables atmosféricas en el entorno, los resultados de la verificación de las pautas OWASP a nivel de autenticación y, por último, algunos fragmentos de código destacable.

Capítulo 2. Tecnologías

Para abordar el aspecto tecnológico de este proyecto debemos distinguir dos ámbitos: el soporte tecnológico inalámbrico que posibilite el uso de sensores para captar magnitudes físicas y químicas del medio o entorno en el que se encuentre, y por otro lado, las tecnologías y librerías que permitan el desarrollo de la aplicación para que sea capaz de procesar todos los datos y ofrecer la visualización de los mismos.

2.1 Dispositivos IoT

Con respecto al primer ámbito tecnológico, de acuerdo a la comparación realizada entre las distintas tecnologías y dispositivos IoT [16] incluida en el anexo B, se ha optado por la selección de las Wasmotes [17] como dispositivos de la IoT. Son autómatas programables desarrollados por Libelium [18] de código abierto realmente útiles para el desarrollo de aplicaciones en múltiples ámbitos del IoT como, por ejemplo, Smart Water, Smart Environment, Smart Cities, Smart Parking o Smart Agriculture [19] [20]. Pueden adaptarse a cualquier escenario gracias a un consumo extremadamente bajo de energía a través de paneles solares y baterías que permite su funcionamiento de manera autónoma durante años, además de una carcasa impermeable que las protegen de los agentes adversos del clima. Cuenta con más de 110 sensores disponibles (contaminación acústica, temperatura, humedad, presión, contaminación del aire, etc) y 16 tecnologías de radio de rango corto, medio y largo:

- Rango largo: 4G, 3G, GPRS, GPRS+GPS, LoRaWan, Lora, etc.
- Rango medio: ZigBee, 802.15.4, DigiMesh y Wifi.
- Rango Corto: RFID, NFC, Bluetooth 2.1, BLE.

En comparación con otros sistemas como Arduino o Raspberry PI, Wasmote destaca además por contar con los siguientes aspectos:

- OTAP (Over the Air programming): Componente para programar el dispositivo a través del aire. Esta posibilidad permite las actualizaciones de software en las waspmotes sin necesidad de un acceso y cableado físico a través de USB u otro mecanismo en dos modos principalmente: unicast o broadcast en función de en qué sensores quieren incorporarse las actualizaciones de software.
- Librerías de cifrado: Para mantener la confidencialidad, autenticidad e integridad de los datos capturados a través de los sensores, las waspmotes nos permiten el uso de diferentes algoritmos de cifrado (AES 256, RSA 1024 y MD5) de manera directa a través de librerías específicas, las cuales permiten además de elegir el algoritmo realizar otras configuraciones como el modo de cifrado (para el caso del AES, por ejemplo, puede elegirse ZEROS, PKCS, etc).

- Mayor facilidad en la adaptación de las waspmotes a los ambientes y protocolos industriales, permitiendo conectar cualquier sensor a un bus de la industria.
- Disponibilidad de ejemplos para cada uno de los sensores, para cada sistema de comunicación inalámbrica y otras utilidades ofrecidas por el dispositivo.
- Se pueden crear proyectos que puedan interactuar con aplicaciones basadas en la Nube, como Azure o Amazon.
- Capacidad de desarrollo multiplataforma. El software de Arduino funciona tanto en Windows, como en Mac y Linux.
- Dispone de paquetes especializados en función del ámbito del proyecto, los cuales integran sensores específicos.

2.2 Tecnologías para el desarrollo

Una vez determinada la plataforma de sensores inalámbrica es necesario establecer qué tecnologías y librerías van a permitir el desarrollo de la aplicación móvil y la versión web capaces de procesar todos los datos del sistema. Se distinguen:

- Tecnologías para la configuración del servidor. Destacan Nodejs y Express en el proceso de desarrollo de la arquitectura cliente-servidor y MongoDB en la gestión y administración de la Base de datos.
- Tecnologías de visualización de datos. Todas aquellas librerías usadas en el sistema que participan activamente en la forma en que se presentan los datos a los usuarios. Se distinguen tecnologías para la creación de gráficos, elaboración de mapas interactivos y frameworks de diseño.
- Tecnologías de sincronización. Todas aquellas tecnologías o servicios que permiten que el sistema sincronice la información de los distintos dispositivos conectados a través de la aplicación móvil y web. Por un lado, destacan Socket.io y Ajax para la aplicación web y, para la versión móvil, la tecnología Volley en Android y el servicio de notificaciones push de Firebase (Cloud messaging).
- Tecnologías para la seguridad del sistema. Librerías usadas para el cifrado de las comunicaciones de las Waspotes con el servidor (cifrado AES) y para la autenticación local de los usuarios (Bcrypt-nodejs) a partir del paquete npm passport-local.
- Tecnologías de comunicación inalámbrica. Como tecnología inalámbrica se ha optado por el uso de 4G [21], es decir, la cuarta generación de las redes inalámbricas. Está basada completamente en IP (Internet Protocol) y constituye la mejora del sistema de comunicaciones inalámbricas 3G. En este sistema permite la integración del dispositivo waspmote con el servidor de la nube a través del módulo 4G LE910 EU/BR [22] acoplado al mismo y el envío de los

datos registrados(mediciones). Una de las ventajas más relevantes del uso del 4G en los dispositivos IoT waspmotes es la posibilidad de incorporar localización en el dispositivo a partir de la latitud y longitud correspondiente. Además, mejora la velocidad de transmisión de datos de otras tecnologías con unos 100 Mbps, permite el envío de correos desde el propio dispositivo en determinadas circunstancias, el uso de sockets SSL, FTP, etc. Del mismo modo, los dispositivos móviles acceden a través de esta tecnología y también las redes WIFI a las distintas rutas configuradas en el servidor.

- HTTPS [23] [24]. Versión segura del protocolo de aplicación basado en HTTP para el transporte de hipertexto. Utiliza un cifrado basado en SSL/TLS para crear el canal de cifrado resultando así más adecuado para el transporte de información sensible (como credenciales de usuario) que el protocolo HTTP. Se ha configurado el servidor de este sistema con HTTPS, verificando de este modo el cumplimiento de las pautas OWASP a nivel de autenticación como, por ejemplo, las relacionadas con el transporte de las credenciales de usuario a través de un enlace cifrado adecuado o con el uso de mecanismos de autenticación seguros comprobados.

En el primer caso, para la configuración de una aplicación cliente-servidor, siguiendo el esquema vista-controlador, las tecnologías principales han sido Nodejs [25] y Express. La primera constituye un entorno de ejecución para Javascript multiplataforma y de código abierto, destacando como pilar de programación ECMAScript asíncrono. Destaca por su utilidad en el campo del desarrollo de aplicaciones escalables, como por ejemplo, los servidores web. Express [26], en cambio, se concibe como la infraestructura de las aplicaciones web en Nodejs, proporcionando recursos y características para el desarrollo tanto en Web como en móvil. Fundamentalmente han participado en la creación de la estructura de archivos y directorios de nuestra aplicación, en la configuración de las rutas de acceso, vistas de usuario, etc.

Por otro lado, para almacenar los datos que se reciben en las rutas configuradas con Express y Nodejs, se ha optado por un gestor de bases de datos no relacional: MongoDB [27]. Esta tecnología destaca por seguir el esquema dinámico BSON [28] para el almacenamiento de los datos, disponiéndose cada uno de los registros que deseemos almacenar en forma de documentos en formato JSON estructurados. Se han elaborado cinco colecciones de documentos para nuestra base de datos: usuarios, waspmotes, medidas, logs y alertas. Para el acceso a las colecciones se ha utilizado el paquete npm mongoose [29], el cual se constituye como un cliente de la base de datos del servidor en Mongo.

En segundo lugar, las principales tecnologías implicadas en dar formato a los datos renderizados en las interfaces han sido Highcharts y HighStock, Google Maps,

MPAndroidChart y para el diseño general de la aplicación web se ha optado por Bootstrap [30] como framework.

Para la elaboración de las gráficas, diagramas lineales, de barras y otros objetos interactivos se ha utilizado la librería Highcharts [31] en Javascript para la aplicación web y MPAndroidChart [32] para la versión móvil. En el primer caso, se han usado principalmente dos de los tres módulos disponibles en la librería: gráficas y gauges Highcharts y gráficas HighStock. La primera se ha usado para la creación de gráficas de barras y gauges o controladores interactivos, mientras que la segunda para la configuración de gráficas lineales con filtros de búsqueda y otros aspectos de diseño como bandas de referencia con colores tanto horizontales como verticales y barras de navegación o scrollbars. En el caso de la aplicación móvil, para la elaboración de estos objetos interactivos se ha usado la librería MPAndroidChart capaz de soportar gráficas lineales, de barra, de burbujas, etc. Tanto para una plataforma como para la otra, se han añadido animaciones y la capacidad interacción con el elemento posibilitando, por ejemplo, hacer zoom sobre los valores expuestos.

Por otro lado, para la localización geográfica de los dispositivos waspmotes se ha hecho uso de la API de Google Maps [33] [34] en Javascript y en Android para la aplicación web y móvil desarrolladas, respectivamente. Permite la creación de mapas personalizados, con estilos propios, leyendas y la introducción de otros elementos como markers o círculos en latitudes y longitudes específicos.

En tercer lugar, puesto que el objetivo y la propuesta ha sido una aplicación cliente-servidor en tiempo real se ha optado por Websockets con Socket.io [35] para el intercambio bidireccional de datos entre las vistas de usuario (cliente) y el servidor sobre un único socket TCP tomando como ámbito la aplicación versión web. Con Socket.io no es necesario realizar ningún tipo de petición, sino que el servidor envía datos cada vez que se registran nuevos documentos en las colecciones de MongoDB a todos los sockets conectados y en permanente escucha. De este modo, los usuarios finales disponen de información actualizada permanentemente sin necesidad de refrescar la página. Por otro lado, desde el lado del cliente se ha usado AJAX [36] como tecnología para la realización de peticiones asíncronas al servidor. Mientras que Socket.io se ha usado principalmente desde el servidor al cliente para enviar y actualizar la nueva información registrada en el sistema, Ajax se ha usado desde el cliente para solicitar al servidor el acceso a determinados recursos cuando sea necesario y como respuesta a determinados eventos generados durante la interacción del usuario final.

Para el caso de la aplicación versión móvil desarrollada en Android, se han usado dos tecnologías para la sincronización de la misma con el sistema de información general: Volley Android [37] y el servicio de notificaciones push de Firebase [38]. Volley es una tecnología que permite realizar peticiones http al servidor desde aplicaciones Android mientras que el servicio de notificaciones de Firebase [39] permite enviar mensajes,

alertas y notificaciones a una aplicación móvil desde el servidor o desde la consola de Firebase. En este caso se envían desde el servidor desarrollado, proceso que ha hecho necesario el uso del paquete npm fcm-push [40], el cual permite activar este servicio desde el servidor de nuestro sistema indicándole los datos a enviar y el dispositivo android que debe recibirlo.

Finalmente, para configurar la capa de seguridad del sistema se ha usado AesLib [41] librería para el uso del cifrado AES [42] y el paquete npm bcrypt-nodejs [43]. Mientras que la primera se ha usado en los dispositivos waspmotes para el cifrado de los datos enviados al servidor, bcrypt-nodejs se ha utilizado para el cifrado de las contraseñas de los usuarios.

Capítulo 3.

Dispositivos para IoT: waspmotes

3.1 Introducción

Las Waspmotes son dispositivos que permiten fácilmente el desarrollo de proyectos en el marco del Internet de las Cosas de una manera escalable. Junto a la plataforma base genérica se ha acoplado una placa de gases a la que se han integrado directamente cuatro tipos de sensores.

3.2 Montaje del dispositivo

El montaje del dispositivo se ha presentado en tres fases diferenciadas: conexión de batería y encendido, montaje y configuración del módulo de 4G y, finalmente, incorporación de la placa de gases y los sensores correspondientes.

En primer lugar, se ha hecho conexión de la batería a la ranura correspondiente dispuesta al lado del botón de encendido. Pese a existir varias modalidades, la batería utilizada para el desarrollo de este sistema es recargable, siendo destacable la posibilidad de uso de paneles solares acoplados directamente a la Waspmote como fuente de energía para la batería.

Una vez que la conexión de la batería se produce correctamente, se acciona el botón de encendido y se comprueba si es correcto el estado de funcionamiento del dispositivo a partir de una serie de LEDs dispuestos al lado del punto de conexión de batería. La relevancia de este tipo de elemento se ha expuesto durante las etapas iniciales de familiarización con la tecnología y la plataforma, a modo de comprobar la respuesta del dispositivo a determinados eventos. El principal objetivo de estos LEDs es determinar o indicar que la Waspmote funciona correctamente.

3.2.1 Módulo de transferencia de datos

El siguiente paso acometido ha sido la configuración del módulo 4G para la transferencia de los datos al servidor. Permite realizar las siguientes tareas:

- Conectividad LTE, HSPA+ y redes móviles WCDMA de alta velocidad.
- Navegación HTTP.
- Descarga y actualización de contenido de servidores externos.

- Posibilidad de uso de un receptor GPS capaz de ofrecer información como la latitud, longitud y altitud entre otros, parámetros requeridos por el sistema de información desarrollado para la geolocalización de las waspmotes en mapas mediante el uso de APIs.
- Envío y recepción de mensajes.
- Servicio de TCP, SSL, FTP, etc.
- Envío y recepción de emails (SMTP / POP3).

Para su uso en la plataforma ha sido necesaria la incorporación de una tarjeta SIM en la parte inferior del módulo, requisito imprescindible para que el servicio pueda efectuarse. Una vez instalada, el siguiente paso es incorporar tres antenas, dos de las cuales se usan para el proceso de recepción eligiendo la mejor señal recibida:

- Antena principal y móvil: sus funciones son la recepción normal y diversa de la señal en cualquier momento permitiendo una máxima velocidad de descarga de 100 Mbps.
- Antena GPS: Permite la obtención de parámetros como la latitud, longitud, altitud y velocidad del dispositivo al que se encuentra conectada. Esta antena y los servicios que ofrece solo se encuentran disponibles en Europa, Brasil y América.

El posicionado de las antenas ha sido fundamental para la utilización de los servicios que ofrece el módulo 4G (Figura 5). En el caso de que no se dispongan en la forma correcta, las funcionalidades de envío y recepción de información pueden dejar de resultar efectivas y no obtener los resultados esperados. A continuación, puede verse una imagen de la posición que deben tener las antenas:



Figura 5. Antenas 4G

Algunos de los aspectos que ha determinado la elección de este módulo frente a otros ofrecidos por la plataforma (WIFI, ZigBee, Bluetooth, etc) es su especial orientación

en el trabajo con servidores en la nube como es este caso y la posibilidad de uso del GPS.

Una vez montada la infraestructura del módulo de 4G, se ha añadido la librería “Wasp4G.h” [44] la cual permite el uso del mismo y se han establecido los parámetros de configuración siguientes:

- Host servidor en la nube al que se realizan las peticiones y el puerto disponible por el que se accede.
- Recursos o datos enviados que, en este caso, comprende la ruta “/insertar_medida” y todos los datos recogidos por el dispositivo.

3.2.2 Placa de gases

Las waspmotes destacan por la posibilidad de incorporar directamente distintos módulos a la plataforma base mostrada previamente. En nuestro caso, se ha elegido la plataforma específica [45] para el registro de gases y otras variables como la temperatura, humedad y presión atmosférica. Esta placa se encuentra organizada en sockets (Figura 6) que indican dónde debe situarse cada uno de los sensores:

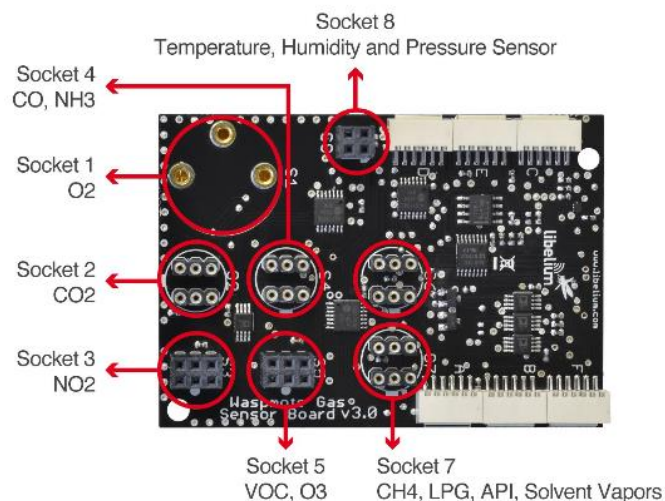


Figura 6. Wasp mote Gas Sensor v3.0

3.2.3 Sensores

Los sensores utilizados en el proyecto permiten la medición de temperatura, humedad, presión atmosférica, gases [46] y contaminantes del aire y son los siguientes:

- Sensor BME280: Sensor digital calibrado que se conecta directamente en el socket 8 para el registro de la temperatura, humedad y presión atmosférica. Para la medición de la temperatura presenta un tiempo de respuesta que oscila en torno a los 1.65 segundos y su alcance operativo se sitúa alrededor de los -40 y los 85°C. Para el caso de la humedad relativa, los valores retornados se

expresan en porcentajes con un tiempo de respuesta de 1 segundo. Finalmente, el rango de medida para la presión se expone desde los 30 a los 110 kPa. En antiguas versiones de la placa de gases, la medida de cada una de estas magnitudes se realizaba a través de sensores individuales específicos.

- Sensor TGS2442: Sensor resistivo y sensitivo a los cambios producidos en el ambiente de monóxido de carbono (CO) que se conecta al socket 4. Su rango de medida oscila entre los 30 y los 1000 ppm y su tiempo de respuesta es de un segundo.
- Sensor TGS4161: Permite realizar mediciones de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico y que se introduce en el socket 2. El rango de mediciones se sitúa desde los 350 ppm hasta los 10000 ppm y se caracteriza por un tiempo de respuesta por registro de 1,5 segundos.
- Sensor TGS2600: Realiza mediciones acerca de la concentración de distintos gases que no se encuentran habitualmente en la composición de la atmósfera considerados contaminantes: etanol, butano, monóxido de carbono y metano. Se coloca en el socket 6 o 7 indistintamente y su rango de medida es de 1 a 100 ppm con un tiempo de respuesta de unos 30 segundos. El valor retornado constituye una concentración general del nivel de contaminación presente en el aire.

3.3 Funcionamiento

Como puede observarse en la Figura 7, una vez montado el dispositivo completamente, se produce el encendido y la captura de los datos de las variables atmosféricas. Por cada medición completada (la cual incluye el valor de la temperatura, humedad, presión atmosférica, nivel de monóxido de carbono, nivel de dióxido de carbono y contaminación del aire), se activa el 4G y se configuran los parámetros de envío: host del servidor en la nube, puerto de acceso, ruta definida en el servidor (“/insertar_medida”) y la medición obtenida.

Para poder identificar el dispositivo en el servidor se ha hecho uso de un parámetro suministrado por el módulo 4G incorporado en el dispositivo: IMEI [47]. Se trata de un código identificador del dispositivo de forma exclusiva a nivel mundial y es transmitido por el aparato a la red al conectarse a ésta. Se obtiene antes de realizar la petición al servidor y se añade como otro dato más a enviar junto con los valores de la medición realizada.

No obstante, puesto que se trata de un sistema de información distribuido en el que la visualización de la información en el cliente se realiza a partir de cada punto o zona geográfica registrada, también es necesario añadir la latitud y longitud en la que se encuentra la cadena enviada. Se ha configurado el servidor para que cada vez que llega una nueva medición se compruebe si la latitud y la longitud han variado con

respecto a los datos registradas en el documento correspondiente al dispositivo en la colección waspmotes de la base de datos, provocando la actualización de los mismos si procede.

Con el objetivo de mantener controlados los dispositivos también se ha considerado conveniente enviar el nivel de batería del mismo a modo de que el sistema controle la capacidad de operatividad de las Waspmites. Del mismo modo que para la latitud y longitud, cada vez que llega una nueva medición se compruebe si el nuevo nivel de batería ha variado con respecto al registrado en la base de datos, provocando la actualización del mismo si procede.

Por lo tanto, por cada nueva medición realizada los parámetros enviados al servidor son los siguientes:

- IMEI
- Valores recogidos en la medición (temperatura, humedad, presión, ...).
- Latitud y longitud
- Nivel de batería.

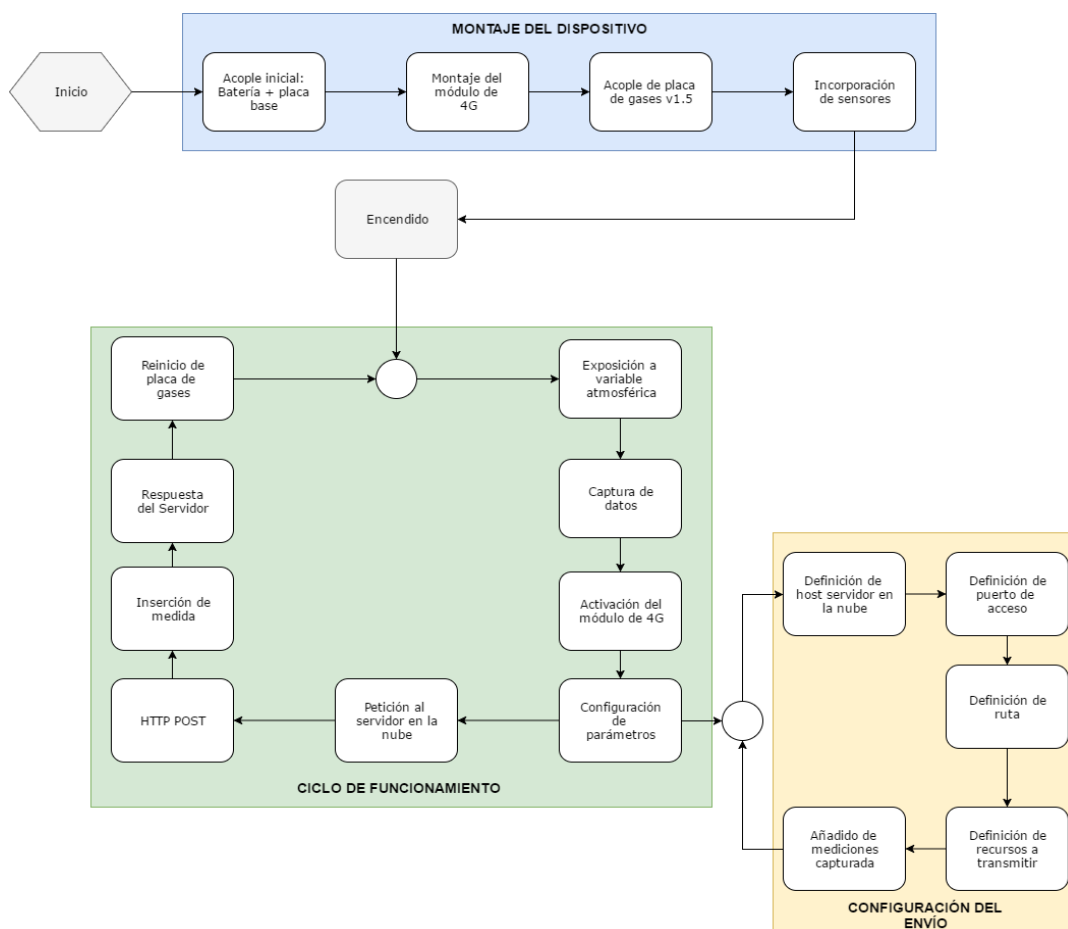


Figura 7. Ciclo de funcionamiento de la waspmote

Capítulo 4. Servicio web

4.1 Características generales

Una vez que las medidas son enviadas desde los dispositivos Waspmites a través de 4G, pasan a ser gestionados por un servicio web basado en una aplicación cliente-servidor. Las tecnologías principales para su desarrollo han sido las siguientes: Nodejs, Express, Mongodb y Socket.io además de otras librerías detalladas a continuación como Highcharts, Bootstrap o Google Maps Api Javascript. Las funciones principales de este servicio web son las siguientes:

- Recepción de los datos transmitidos desde las Waspmites
- Gestión de la base de datos de todo el sistema de información y sus recursos como, por ejemplo, los usuarios, medidas y dispositivos.
- Procesar las medidas almacenadas y gestionar su visualización a través de gráficas y elementos interactivos que permiten al usuario comprender de manera eficaz toda la información expuesta.
- Sincronización de todo el sistema de información conectando las waspmotes y los dispositivos móviles.
- Realizar un monitoreo continuo o control sobre los datos gestionando posibles alertas o alarmas en función del comportamiento de los mismos a lo largo del tiempo.

Una de las particularidades del sistema es el uso de sockets [48] para la gestión de los datos en tiempo real a modo de que todos los usuarios conectados dispongan de la información actualizada en todo momento sin necesidad de actualizar la página. De este modo, cada vez que una nueva medición es ingresada en el sistema a través de la tecnología Socket.io, todos los sockets conectados serán notificados con el cambio y actualizarán los contenedores de datos correspondientes. Éste proceso es responsabilidad del servidor que, además, realiza estas otras funciones:

- Gestión de un módulo de alertas o alarmas. Cada vez que se ingresa una nueva medida en el sistema, el servidor comprueba que los valores obtenidos se encuentran dentro de unos rangos considerados como normales o estables. En el caso de que no estén en dicho rango se registrará una alerta que se transmitirá a todos los usuarios en tiempo real.
- Descifrado de los datos entrantes. Como consecuencia de la capa de seguridad añadida al sistema, por cada nueva medida entrante de un dispositivo

Waspnote el servidor descifra su contenido y, una vez verificada la autenticidad del emisor, se registrará en la base de datos.

- Gestión y notificación de los errores que ocurran en el sistema, así como los posibles ataques a nivel de autenticación.

4.2 Estructura del servicio

En este apartado se expone a nivel técnico la estructura que sostiene el servicio web y permite la gestión y administración de los datos y recursos.

4.2.1 Base de datos

En la Figura 8 puede observarse el esquema o estructura que se ha definido para modelizar la información y los recursos tratados en el sistema de información.

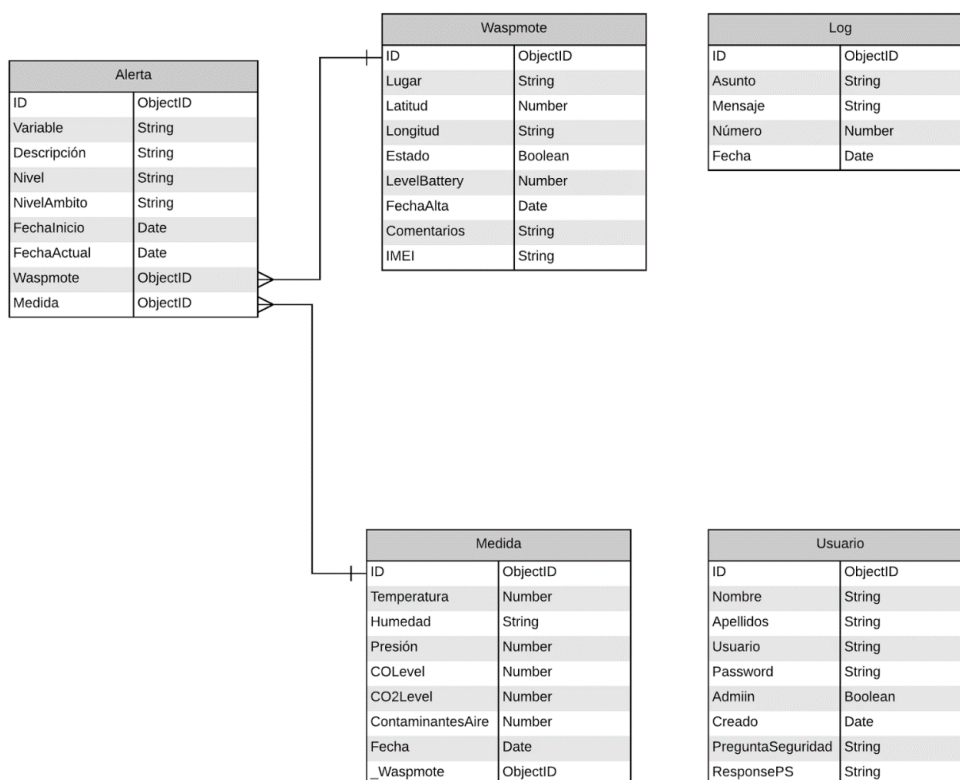


Figura 8. Estructura de la base de datos

Como puede verse en la imagen anterior, se han configurado cuatro esquemas de Mongo para la base de datos:

- Colección waspmotes: Colección de todos los documentos correspondientes a cada uno de los dispositivos waspmotes del sistema de información. Entre los atributos almacenados destacan un lugar dónde se encuentra, latitud y longitud, estado del dispositivo (activo o inactivo) y el IMEI (identificador único disponible a partir del módulo de 4G integrado en la waspmote).

- Colección medidas. Cada documento insertado en la colección define el valor de cada una de las variables atmosféricas que se ha registrado el dispositivo (temperatura, humedad, presión atmosférica, nivel de CO2 y CO y contaminación del aire). A través del atributo `_Waspnote` se establece la relación entre las colecciones `Waspnotes` y `Medidas`, indicando el identificador del dispositivo que ha generado la medición.
- Colección alertas. Contiene todos aquellos documentos que representan cada una de las alarmas o alertas generadas a partir de las mediciones registradas. Entre los campos más destacables se encuentran la variable atmosférica que ha generado la alerta (temperatura, humedad, ...), la fecha en la que se ha producido y el nivel o gravedad asociada, así como una descripción de la misma. Cada uno de estos documentos se realizan con las colecciones `waspnotes` y `medidas` a través de los atributos `“Waspnote”` y `“Medida”`, respectivamente. De este modo, cada alerta se asocia con la `waspnote` que envía los datos y la medición a partir de la cual se ha detectado.
- Colección logs. Representa mensajes de error o aviso de circunstancias excepcionales en el sistema de información. (errores en el funcionamiento general, intentos de ataque, ...). Contiene todos aquellos documentos generados en el servidor ante determinados eventos. Un ejemplo puede ser la generación de un log cuando se intenta acceder a ciertas rutas sin existir una sesión de usuario activa (rutas para borrar cuentas de usuario, actualizar perfiles o a otros datos del sistema). Otro evento que implica el registro de un log es el intento de introducción de nuevas mediciones en la colección `medidas` sin que la autenticación del dispositivo sea exitosa, indicando así una posible suplantación de identidad.
- Colección usuarios. Contiene todos los usuarios del sistema registrados. Entre los atributos destacan: nombre, apellidos, usuario, password, etc.

4.2.2 Rutas principales

Las principales rutas configuradas en el servidor son las siguientes:

- Ruta `‘/’`: Comprueba si existe sesión de usuario. En el caso de que exista se redirige a la vista del home del usuario logueado, mientras que si no se encuentra la sesión activa se redirige a la vista principal `‘index.ejs’` dónde se encuentran disponibles los formularios de inicio de sesión o login y registro. Por el contrario, si el usuario logueado es el administrador del sistema la redirección se produce a la ruta `‘/administracion’`, que es la encargada de renderizar la vista de administración.
- Ruta `‘/login’`: se accede mediante una petición HTTP POST y su objetivo fundamental es realizar la autenticación con `passport-local` (sistema de autenticación local mediante el paquete o librería en `nodejs passport-local`). En

el caso de que el usuario está registrado se activa la sesión y se le redirige a la vista de home principal.

- Ruta `'/registro'`: activa el controlador de usuarios para realizar un nuevo registro en la base de datos del sistema de información. Como valor de retorno o respuesta se muestra el usuario el mensaje de confirmación de registro en el caso de que se haya efectuado con éxito.
- Ruta `'/registroWaspnote'`: permite el registro de un nuevo dispositivo waspnote en la colección de waspnotes en la base de datos. El acceso a la misma está condicionado porque la sesión de usuario se encuentre activa y el usuario sea el administrador del sistema.
- Ruta `'/getMedicionesById'`: permite obtener las mediciones realizadas por una waspnote en particular a partir de su identificador.
- Ruta `'/comparador'`: se accede mediante HTTP GET y es la encargada de dar soporte al comparador de mediciones accesible desde el home principal de usuario. Como parámetros recibe los identificadores de las waspnotes y la variable atmosférica que se quiere comparar, devolviendo el conjunto de mediciones correspondiente.
- Ruta `'/insertar_medida'`: es la ruta a la que los dispositivos waspnotes envían los nuevos datos de las variables atmosféricas que han registrado (temperatura, humedad, presión atmosférica, etc). El servidor registra los nuevos datos y replica los cambios a los clientes conectados.
- Ruta `'/geo_waspnotes'`: su principal objetivo es acceder a la colección de waspnotes y devolver todos los documentos existentes, los cuales representan cada uno de los dispositivos registrados hasta el momento. Esta ruta es accedida tanto desde la aplicación móvil como la versión web principalmente para obtener los datos necesarios para referenciar a los dispositivos en los mapas.
- Ruta `'/getAlertas'`: acceso mediante HTTP GET. Devuelve todos los documentos presentes en la colección de alertas de la base de datos, representando todas las alarmas que se han activado y registrado hasta el momento.
- Rutas `'/getAlertasByIdMedida'` y `'/getAlertasByWaspnote'`. Devuelven todas las alertas registradas en función del identificador de la medición en la que se han detectado o del identificador del dispositivo waspnote que las ha generado.

4.3 Implementación

4.3.1 Interfaz de Administrador

Esta aplicación ha sido diseñada especialmente para dos perfiles de usuario o clientes diferenciados: administrador y usuario genérico. Cada uno de ellos cuenta con vistas o interfaces específicas además de permisos diferenciados.

En el caso del administrador del sistema, la interfaz presenta principalmente paneles genéricos y tablas de contenido realizadas con Bootstrap dónde se visualizan y renderizan los recursos disponibles y registrados en la base de datos:

- Tabla de dispositivos conectados: se visualizan todas las waspmotes con botones de control que permiten realizar cambios en las configuraciones de cada uno o eliminarlos de la base de datos. Por cada waspmote se muestra su identificador (IMEI del dispositivo), dirección de ubicación, latitud y longitud, el estado del dispositivo, la descripción del mismo y su nivel de batería.
- Tabla de usuarios: se muestran todos los usuarios registrados y sus datos identificativos más genéricos (nombre, apellidos y nombre de usuario).
- Mapa genérico con las ubicaciones de cada waspmote.
- Registro de una nueva waspmote: formulario realizado con Bootstrap en el que el administrador introduce como parámetros el IMEI del dispositivo extraído a partir del módulo de 4G, su ubicación a partir de la latitud y la longitud, el nivel inicial de batería del dispositivo, una descripción y el estado (activo o inactivo). De los campos especificados únicamente podrán ser modificados por el administrador posteriormente a este registro el estado y la descripción. Sin embargo, la aplicación se ha configurado de modo que por cada nueva medida recibida de un dispositivo se compruebe si la latitud, longitud y nivel de batería se corresponden con los registrados inicialmente, de modo que si cambian se actualizan y se renderizan a todos los sockets conectados.
- Sección de logs o errores del sistema: panel de datos donde se registran errores (intento de registro de dispositivos no verificados, creación de usuario errónea, etc), inconsistencias o ataques que se realicen contra la aplicación (acceso a rutas sin sesión de usuario, intento de modificación de perfil de otro usuario, etc). Esta sección cuenta con una modalidad histórica que muestra todos los logs registrados desde la puesta en marcha de la aplicación y una modalidad instantánea que únicamente muestra los mensajes del día actual.

Todos los cambios producidos en la base de datos se renderizan en tiempo real a través de los sockets con lo que la información permanece actualizada en todo momento sin necesidad de refrescar la página.

Como puede observarse, los permisos del administrador destacan sobre los usuarios convencionales en el ámbito de la gestión de los recursos y la base de datos y la posibilidad de revisión del funcionamiento del sistema en cada momento, así como los posibles ataques recibidos.

Finalmente, como se ha comentado previamente, el sistema cuenta con un módulo de gestión de alertas o alarmas que se activa en determinadas ocasiones cuando el valor de una medida no se encuentra dentro del rango establecido como normal. En este ámbito, el administrador puede controlar el código de colores empleado en el establecimiento de las alertas a través del siguiente formulario:

4.3.2 Gestión de mapas

Uno de los componentes principales y más importantes del sistema de información es el uso de mapas para poder localizar cada uno de los dispositivos que envían las mediciones registradas desde distintos puntos geográficos. Para la creación y el tratamiento de mapas se ha utilizado como tecnología Google Maps Javascript Api, la cual nos permite la gestión personalizada de éstos incluyendo distintos elementos como pueden ser marcadores o leyendas. Se han instanciado dos tipos de mapas en la aplicación: mapa genérico con markers y mapa de concentraciones medias.

En primer lugar, el mapa genérico con markers [49] (Figura 9) tiene por funcionalidad la visualización de las localizaciones de cada uno de los dispositivos conectados que envían datos al servidor. Cada vez que el administrador del sistema introduce una nueva waspmote se almacena en la base de datos y a través de la tecnología de sockets se renderiza a todos los usuarios conectados.

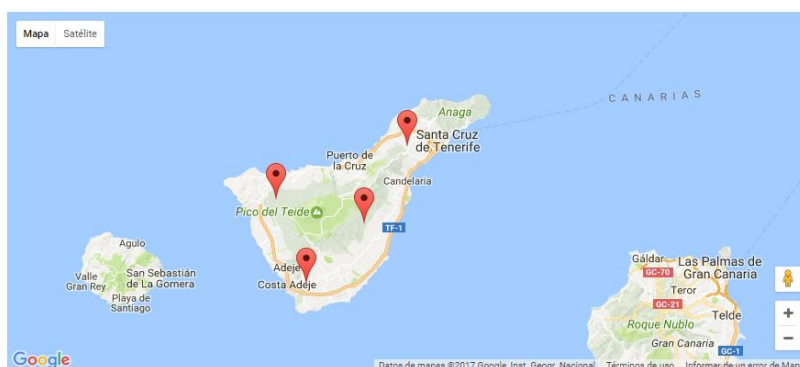


Figura 9. Mapa genérico con markers

Es responsabilidad del servidor actualizar los cambios de posición que sufra un dispositivo, de modo que, por cada nueva medición enviada, el servidor comprueba si la latitud o longitud han cambiado con respecto a las registradas en la base de datos previamente y las actualiza si corresponde.

A modo de ofrecer más detalles al usuario se han configurado los markers para que cuando los usuarios seleccionen uno de ellos se aumente el zoom del mapa a la zona

del dispositivo y simultáneamente se habilita un panel de contenido informando de los siguientes parámetros: identificador del dispositivo, latitud y longitud exactas, descripción del dispositivo, estado actual (si se encuentra activo o inactivo) y, finalmente, la fecha de activación la waspmote a partir de la cual ha empezado a enviar mediciones. Este tipo de mapas está disponible tanto en la interfaz de administración como la interfaz genérica para los usuarios finales.

En segundo lugar, el mapa de concentraciones medias. En este caso se ha sustituido los típicos markers por círculos [50] de diámetro fijo que representan a cada una de las waspmotes disponibles en las localizaciones correspondientes. Cada uno de estos círculos representa el valor medio de una de las medidas recogidas por los dispositivos mediante en el día actual a través de un código de colores detallado en una leyenda dinámica tal y como se muestra en la siguiente imagen:

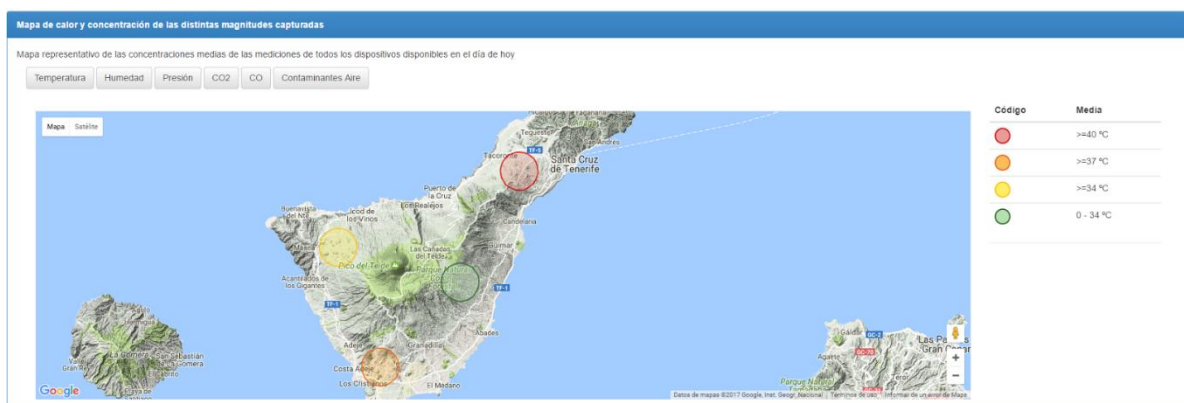


Figura 10. Mapa de concentraciones medias

Como se detalla en la Figura 10, la navegación sobre los botones del panel principal permite elegir entre las distintas variables registradas por los sensores y visualizar si la media de la variable seleccionada en cada punto sobrepasa los límites considerados como normales a partir de dicho círculo. La acción sobre cada botón genera un cambio en la leyenda del mapa visualizándose en qué rango la media se considera normal (color verde), supera un umbral o límite de alerta mínima (color amarillo), alerta o alarma media (color naranja) y alerta alta (color rojo) con las unidades correspondientes a cada variable (°C, KPa, ppm y % para la humedad relativa). Este código de colores se ha utilizado siguiendo las pautas y metodología de la AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) [51] y se ha utilizado del mismo modo para todas las variables (temperatura, humedad, presión atmosférica, monóxido de carbono, dióxido de carbono y contaminantes del aire). Del mismo modo se han utilizado para la gestión del módulo de alertas o alarmas en todo el sistema de información incluyendo la versión móvil.

A continuación, en la Figura 11 se muestra un esquema del funcionamiento de este mapa cada vez que se registra una nueva medida en el sistema:

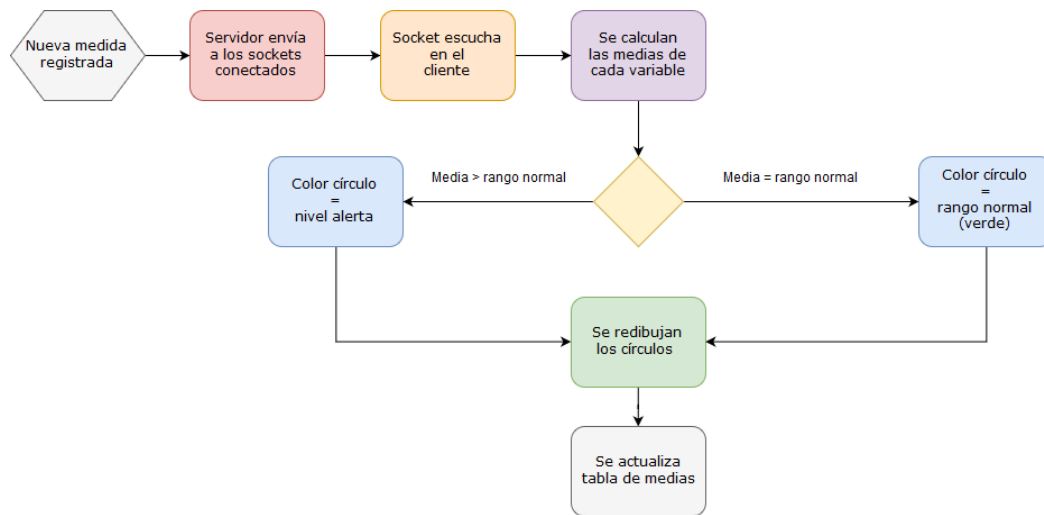


Figura 11. Esquema de funcionamiento mapa de medias

Junto a este tipo de mapa se asocia como complemento una tabla de medias que se habilita cada vez que el usuario selecciona uno de los círculos (waspmites) del mismo, pudiendo visualizarse en tiempo real como las medias de cada variable registrada cambian por cada nueva medida registrada del dispositivo correspondiente y almacenada en la base de datos. Del mismo modo, se calcula el coeficiente de varianza a modo de representar la variabilidad de los datos capturados por los sensores por cada variable. En el caso de que un dispositivo no haya registrado ninguna medida en el día actual no existe media por lo que no se dibuja ningún círculo representando al mismo.

Además de los markers y de los círculos ofrecidos por la api javascript de Google Maps se ha utilizado otro recurso: geocoder [52]. Esta funcionalidad permite la deducción de una dirección más legible a partir de una latitud y una longitud. Se utiliza principalmente cada vez que el administrador del sistema registra un nuevo dispositivo en la base de datos a partir de los parámetros de latitud y longitud específicos. Gracias a este servicio el servidor registra en la base de datos una dirección de ubicación de la waspmote legible de cara a que el usuario pueda interpretarla más fácilmente.

4.3.3 Gestión de las alertas

Una de las particularidades del sistema de información desarrollado es la introducción de un componente de gestión de alarmas o alertas que se activa cada vez que una nueva medida llega al servidor, concretamente a la ruta `"/insertar_medida"`. La recepción de una nueva medición comprende en primer lugar la verificación de la autenticidad de la waspmote (Figura 12). En el caso de que el dispositivo se encuentre registrado en el sistema, se introduce la nueva medida en la colección de medidas de la base de datos en Mongo y posteriormente se verifica si por cada una de las variables atmosféricas (temperatura, humedad, presión atmosférica, monóxido de

carbono, dióxido de carbono y contaminantes del aire) el valor correspondiente supone un peligro o índice de la proximidad u ocurrencia de un fenómeno meteorológico adverso.

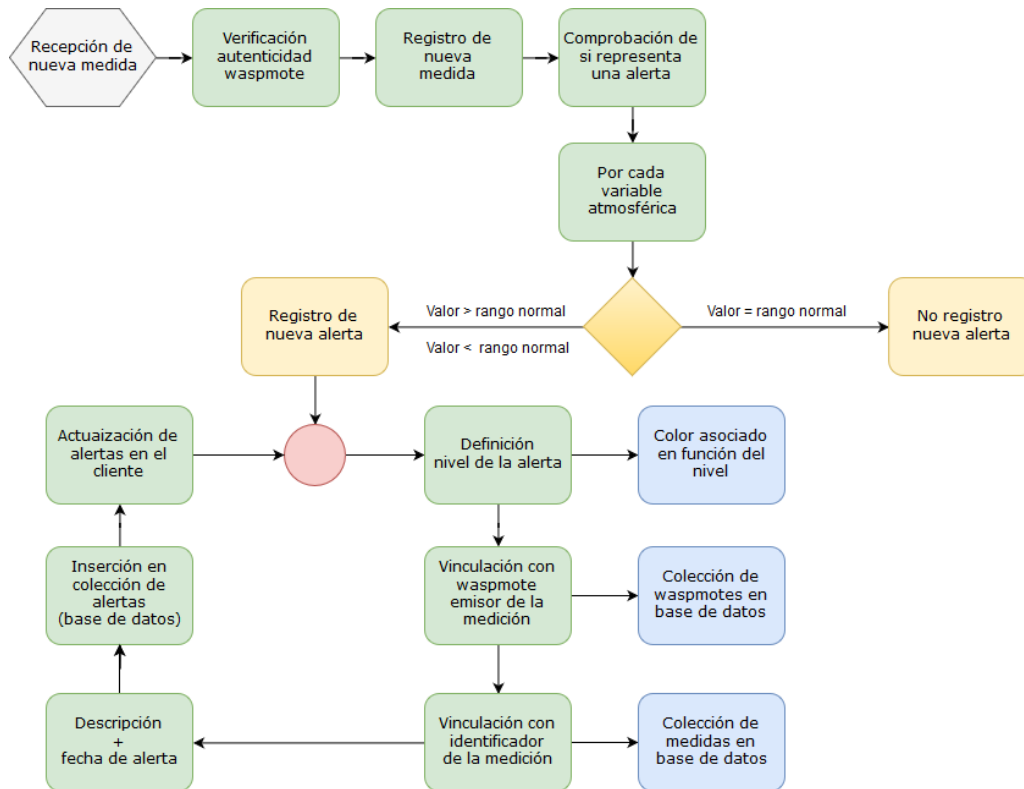


Figura 12. Generación de una alarma

Los límites o umbrales que se toman como referencia para comprobar cuando un valor se encuentra fuera del rango normal se han dispuesto en el fichero “medicionesControl.json” en el directorio “config/” situado en la raíz de la aplicación. La estructura que se ha considerado para cada variable atmosférica es similar a la siguiente:

```

"Temperatura": {
  "Nombre": "Temperatura ambiente",
  "NombreAlerta": "Temperatura",
  "minValue": "0",
  "colorMin": "rgba(92, 184, 92, 0.6)",
  "alertaNivel3": "34",
  "colorAlertaNivel3": "rgba(255, 235, 59, 0.4)",
  "alertaNivel2": "37",
  "colorAlertaNivel2": "rgb(255, 190, 94,0.7)",
  "alertaNivel1": "40",
  "colorAlertaNivel1": "rgba(247, 41, 26, 0.4)",
  "colorMax": "red",
  "maxValue": "60",
  "Unidad": " °C"
},

```

Figura 13. Umbrales de temperatura

Tal y como se muestra en la Figura 13, se han establecido de manera general tres niveles de alerta. De menor a mayor gravedad se dispone el nivel 3 de alarma (se

corresponde con el atributo “alertaNivel3” que en este caso se activaría en el caso de que la temperatura supere los 34 °C en una determinada ubicación), el nivel 2 de la alarma (atributo “alertaNivel2” con un valor de 37 °C) y, finalmente, el nivel 1 de alarma o alerta (se constituye como el rango más alarmante y que puede resultar peligroso para la salud de las personas). El número definido en el json indica a partir de qué valor se considera alerta de modo que cuanto más elevado sea ese valor mayor será la gravedad de la alarma. Cada nivel de alarma trae asociado un color específico:

- Alerta de nivel 1: color rojo.
- Alerta de nivel 2: color naranja.
- Alerta de nivel 3: color amarillo.

De manera genérica, los valores de aquellas medidas que se encuentren en el rango comprendido entre el atributo “minValue” y “alertaNivel3” se consideran normales y estables que no implican ningún riesgo para la salud y, generalmente, no indican la proximidad de la ocurrencia de un fenómeno climatológico adverso que pueda desembocar en una catástrofe natural como un tornado, incendio o un anticiclón. En este caso, el color asociado es el verde para todas las variables atmosféricas. El código de colores utilizado así como los umbrales y valores límite para cada variable atmosférica se detallan en el anexo C.

Comparando las distintas variables atmosféricas, todas presentan una estructura similar a la anterior exceptuando la presión atmosférica, en la que la activación de una alerta depende principalmente de las variaciones o picos bruscos producidos a lo largo del tiempo. De este modo, por cada nueva medición registrada en el sistema, el servidor accede a la base de datos y compara el valor de la presión con todas las registradas previamente por el mismo dispositivo. Tal y como se detalla en el anexo C, en el caso de que se produzca una subida o bajada de 1 mb cada hora constituye un indicador de la posible ocurrencia de vientos fuertes o tormentas en un plazo menor de 6 horas, respectivamente (Figura 14).

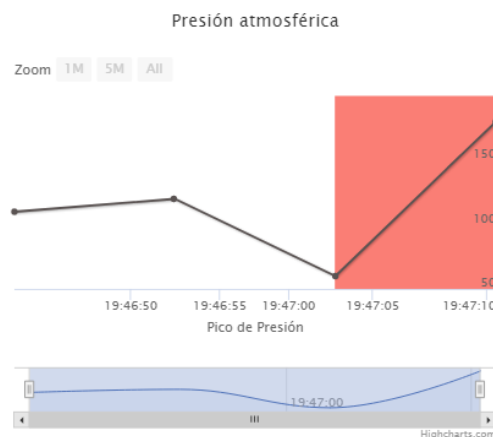


Figura 14. Variaciones de presión atmosférica

Una vez que el servidor comprueba que existe una alerta, el siguiente paso es registrarla en la colección alertas de la base de datos en Mongo, declarando los siguientes atributos:

- Nivel de la alerta. Siguiendo los umbrales establecidos en el fichero “medicionesControl.json” comentado previamente, el nivel de la alerta se corresponde con el límite superior o inferior que se ha superado. De este modo, para este atributo se almacena siguiendo la estructura “alerta-nivelX”, dónde X es el grado de la alerta (3, 2, 1 de menor a mayor gravedad).
- Vinculación con la waspmote. La alarma se ha generado a partir de una medición que ha sido enviada desde un dispositivo waspmote al servidor. Resulta conveniente añadir el identificador de la waspmote correspondiente a modo de disponer las alertas agrupadas por el dispositivo que las ha generado.
- Vinculación con la medición. Del mismo modo que en el caso anterior, es interesante conocer la medición a partir de la cual se ha detectado la alarma disponiendo así de la información organizada en la base de datos, conociendo por cada alarma el identificador de la waspmote que la detectó inicialmente y el identificador de la medición. Por esta razón, la medida debe ser registrada previamente a la alerta ya que se necesita el identificador de la primera para poder registrar la segunda.
- Descripción de la alerta. En este atributo se especifica el umbral exacto que se ha superado. Esta información será usada para que el usuario conozca el grado de gravedad de la alerta cuando se renderice en la interfaz.
- Atributos fecha de inicio y fin. Este atributo se ha dispuesto especialmente para el caso de la presión atmosférica, puesto que es necesario definir entre qué fechas se ha producido un pico de presión.
El resto de las variables atmosféricas contienen, generalmente, como fechas de inicio y fin la de la medición que ha generado la alerta.

Insertada esta nueva alarma en la colección de alertas de la base de datos, el siguiente paso es renderizar la nueva información generada en el cliente para que los usuarios conozcan en tiempo real los cambios que se han producido. El procedimiento seguido es el que puede observarse en la Figura 15:

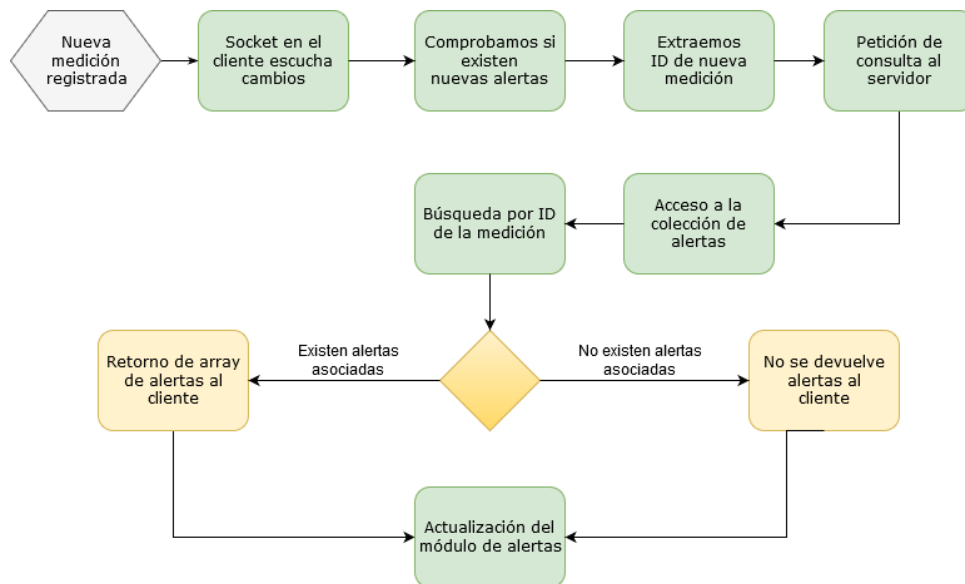


Figura 15. Actualización de alarmas

Cuando la waspmote capta nuevos datos los envía a la ruta `/insertar_medida` configurada en el servidor. En ésta, se registra la nueva medición, se comprueba si es necesario activar alguna alerta, se emiten las nuevas medidas a través de los sockets cliente conectados. Una vez que el socket en escucha detecta una nueva medición registrada se envían los datos recibidos a la función “gráficos” para la actualización de las distintas gráficas y gauges. Además de esto, es necesario comprobar si se han almacenado nuevas alertas asociadas al identificador de la nueva medición registrada por la waspmote, por lo que se realiza una petición ajax al servidor a la ruta `/getAlertasByIdMedida`, la cual devuelve todas aquellas alarmas registradas en el caso de que existan. En el caso de que el servidor no haya registrado nuevas alarmas cuando recibió dicha medición de la waspmote se devuelve al cliente un array vacío indicando que las variables atmosféricas se encuentran estables y sin haber superado los límites en el último registro.

Para que el usuario tenga a su disposición la información en tiempo real del estado de cada variable atmosférica por cada nueva medición almacenada, se ha dispuesto un conjunto de elementos concretamente en el módulo de mediciones del día actual:



Figura 16. Panel de alarmas

Existe un elemento por cada una de las magnitudes captadas por las waspmotes (Figura 16). El código de colores utilizado para representar el estado de cada una de ellas es el mismo empleado en el mapa de concentraciones medias o el de las gráficas

dispuestas por toda la interfaz descritos previamente. El contenido mostrado por cada uno de estos elementos es la variable a la que hace referencia, la descripción de la alerta que se ha generado y el color asociado. Para la vinculación de los colores de las alarmas se han generado tres clases CSS asociadas directamente con el atributo "Nivel" del modelo Mongo para la colección de las alertas. En el caso de que, por ejemplo, el nivel de la alerta se ha definido como "nivel-alerta1", a la hora de renderizar la nueva alarma a través de este tipo de elemento se dispone como clase y estilo la clase CSS correspondiente a "nivel-alerta1". Del mismo modo ocurre para las alertas generadas para los niveles 2 y 3, vinculando las clases "nivel-alerta2" y "nivel-alerta3", respectivamente.

4.3.4 Visualización de datos

La visualización de las medidas registradas por los dispositivos se ha realizado mediante la utilización de la librería Highcharts [53] de javascript. Esta librería se compone de tres módulos diferentes, de los cuales se han utilizado los dos orientados a la elaboración de gráficas y gauges (objetos visuales e interactivos que referencian en cada momento un único valor o medición). Esta librería permite la elaboración de este tipo de elementos fácilmente e integrarlos en nuestros proyectos.

La sección de visualización de mediciones a través de gráficas se dispone accesible en la interfaz general de usuario. Se compone principalmente de dos partes diferenciadas: módulo de mediciones del día actual y módulo de mediciones histórico. Por un lado, el primer módulo (Figura 17) se compone de diversos gráficos que únicamente muestran aquellas medidas capturadas por la waspmote en el día en curso sin renderizar ningún registro comprendido entre las fechas de activación del dispositivo y el día actual:



Figura 17. Visualización de datos

Una de las principales novedades de este módulo con respecto al otro especificado, es la introducción de los gauges como componente visual interactivo para favorecer

una mejor interpretación del estado o la alerta que supone una medición específica de una variable atmosférica en concreto. A nivel de diseño, casi todos los gauges configurados presentan una estructura circular en modo de reloj en la que una aguja marca el valor del último valor registrado (por un dispositivo waspmote específico) para cada variable (última temperatura, humedad, presión, concentración de CO2, etc):

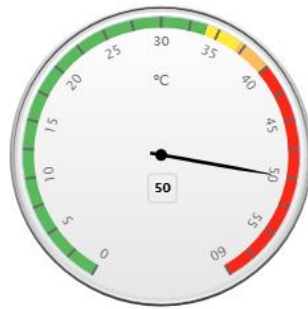


Figura 18. Gauge controlador de temperatura

Como puede observarse en la Figura 18, se representan los límites alarmantes y el rango de medición considerado normal utilizando el mismo código de colores que en las gráficas y los mismos valores umbrales en función de cada variable atmosférica visualizada. Estos elementos han sido generados usando del mismo la librería Highcharts.

Por otro lado, el módulo de mediciones histórico se compone fundamentalmente de gráficas lineales y de barras pero sin ningún tipo de gauges. El objetivo principal de este módulo es la renderización del resto de medidas que no se han contemplado en la otra sección, es decir, todas aquellas mediciones capturadas por el dispositivo waspmote desde el primer día de su activación hasta el día anterior al día en curso. De este modo, el usuario tiene acceso a la comparación constante de aquellos datos registrados nuevamente con los históricos, pudiendo favorecer una mejor comprensión e interpretación del comportamiento de las variables atmosféricas en una determinada zona y las variaciones típicas producidas en el clima. Una diferencia notable con respecto al otro módulo es la posibilidad de filtrado por fecha en las gráficas lineales de una manera más específica, pudiendo establecer una fecha como inicio y otra de finalización mostrando así únicamente las mediciones registradas durante ese periodo de tiempo, como podemos observar en el margen superior derecho de la Figura 19:

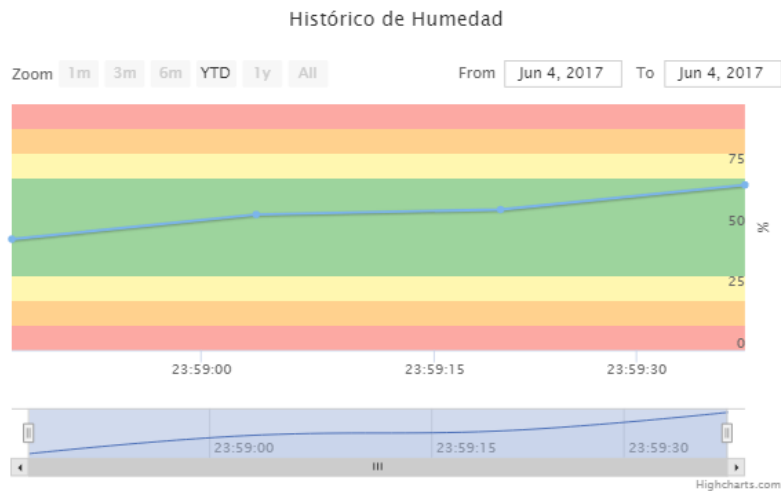


Figura 19. Histórico de humedad relativa

Cada uno de estos módulos constituyen un panel de contenido accesible desde una barra de navegación sencilla que permite al usuario navegar entre los mismos y comparar las mediciones del día en curso con las medidas tomadas en días anteriores desde la activación del dispositivo waspmote. El acceso del usuario a esta sección se produce cuando pulsa el botón de “Ver medidas” disponible en la tabla de información de dispositivos en la sección de las waspmotes de la interfaz.

Para la creación de éstas se han seguido los siguientes pasos:

- Determinación del modelo de gráfica deseada. Para este sistema se han utilizado fundamentalmente las gráficas lineales de puntos para representar los valores de cada medición y gráficas de barras o grupos de barras para realizar comparaciones entre magnitudes.
- Puesto que se ha configurado la aplicación mediante el uso de sockets, cada vez que se recibe una nueva actualización en el cliente desde el servidor por la introducción de una nueva medida, la información es enviada a las funciones correspondientes para actualizar los datos de cada gráfica. De este modo, el usuario puede observar que el contenido de las mismas se actualiza en tiempo real.
- Las nuevas medidas son enviadas a los sockets en forma de documentos json extraídos directamente de la colección de medidas en la base de datos desde el servidor, por lo que es necesario realizar un procesado de las mismas con el objetivo de ajustarse al formato requerido por las gráficas creadas con Highcharts: array de dos elementos en que el primero es la fecha en la que se ha registrado la medida y el segundo el valor de dicha medida.
- Con los datos ajustados al formato correcto, el siguiente paso es configurar las opciones a nivel de diseño y estructura de la gráfica como pueden ser: valores del eje X, valores del eje Y, bandas auxiliares (para definir visualmente en qué rango de valores se encuentra la medida y a partir de qué niveles se generan

las alarmas favoreciendo así la percepción visual del usuario), unidad representativa de la medida (°C, ppm, KPa, etc), filtros (principalmente por fecha permitiendo al usuario seleccionar distintos rangos como pueden ser las medidas en el último minuto o también definir manualmente una fecha de inicio y una de finalización) y, entre otras posibilidades, la barra de navegación horizontal o scrollbar para navegar por los distintos datos.

- Ajustados los datos y definidos el diseño y la estructura de la gráfica, el último paso es crear la misma y mostrarla en la interfaz añadiéndola a un contenedor de información en la vista de usuario.

A nivel técnico cada una de las gráficas que representa las medidas de una variable atmosférica en particular, se generan de forma dinámica en los contenedores correspondientes definidos en las vistas de la aplicación. Para ello, los parámetros de configuración necesarios que se le pasan a la función de creación son los siguientes:

- Las medidas a representar. Como se ha comentado previamente, estos datos proceden directamente del servidor en formato json dado que son documentos de la colección medidas y necesitan ajustarse al formato específico requerido por las gráficas.
- Identificador del dispositivo. Parámetro necesario para poder identificar el dispositivo que ha generado las mediciones que se renderizan en la gráfica. Como parámetro se está utilizando el IMEI que es un número identificador único proporcionado por la waspmote cuando realiza las peticiones al servidor para registrar nuevos datos.
- Variable atmosférica: temperatura, humedad, presión y la concentración de los gases (monóxido de carbono, dióxido de carbono y contaminantes del aire). Este campo es imprescindible a la hora de procesar las medidas en forma de documentos json retornadas del servidor tras la consulta de la base de datos, permitiendo la selección únicamente de las medidas de la variable atmosférica deseada.
- Color de las medidas. Por defecto se está utilizando un color gris oscuro representado en hexadecimal por el código “#5A5352” para que la visualización de las medidas en la gráfica destaque sobre el fondo de la misma y permita una interpretación visual del usuario más rápida.
- Umbrales o límites de referencia. Como se ha comentado previamente como fondo de la gráfica se ha dispuesto en función de los rangos de medición establecidos como valores normales o como alarmantes para cada variable atmosférica (según el anexo C), unas bandas de colores para que el usuario identifique de manera efectiva cuando una medida es estable o normal y cuando se produce una alerta. Estos bandas (definidas como plotbands [54] en las gráficas) se ajustan al código de colores siguiente: verde (valor en rango normal o estable), amarillo (valor por encima del valor de alerta o alarma de nivel 3), naranja (valor por encima del valor de alerta o alarma de nivel 3 y 2) y

rojo (valor por encima del valor de alerta o alarma de nivel 3, 2 y 1 que es el más preocupante). Estos datos se vinculan generalmente al eje de las Y de la gráfica mientras que en el eje de las X únicamente se exponen las fechas en las que se han tomado las medidas.

- Unidad de la variable atmosférica. La función de ésta es favorecer que el usuario interprete correctamente la variable atmosférica referente de una gráfica en concreto: °C (temperatura), % (humedad relativa), KPa (presión atmosférica) y ppm (gases).

Otro tipo de elemento utilizado en ambos módulos son las gráficas de barras utilizadas para la comparación de variables atmosféricas entre sí. La mayoría de los fenómenos climatológicos adversos se producen por la combinación de determinadas condiciones en los componentes atmosféricos como pueden ser, por ejemplo, las altas temperaturas unidas a una elevada humedad relativa provocando sensaciones térmicas muy elevadas, olas de calor, etc. En este sentido, se ha considerado el uso de dos gráficas de este tipo agrupando las siguientes variables:

- Comparativa de temperatura, humedad y presión atmosférica (Figura 20). Estas tres variables atmosféricas actúan en combinación con las otras en afectando las condiciones climatológicas del entorno, pudiendo provocar fenómenos como olas de calor, anticiclones, tormentas, etc.

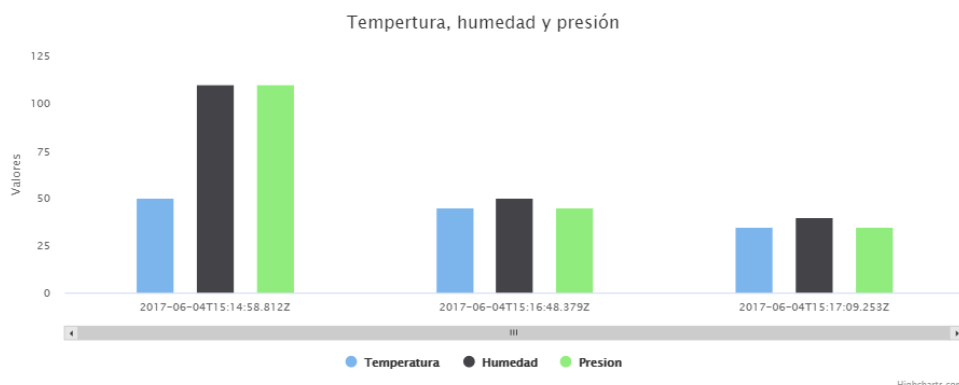


Figura 20. Comparativa temperatura, humedad y presión

- Comparativa de gases (monóxido de carbono, dióxido de carbono y otros contaminantes del aire). La contaminación de la atmósfera constituye un peligro potencial constante para la salud ambiental y de la ciudadanía. La visión global del nivel de estos contaminantes en una determinada ubicación a través de un mismo elemento visual puede favorecer el control de la calidad del aire (Figura 21):

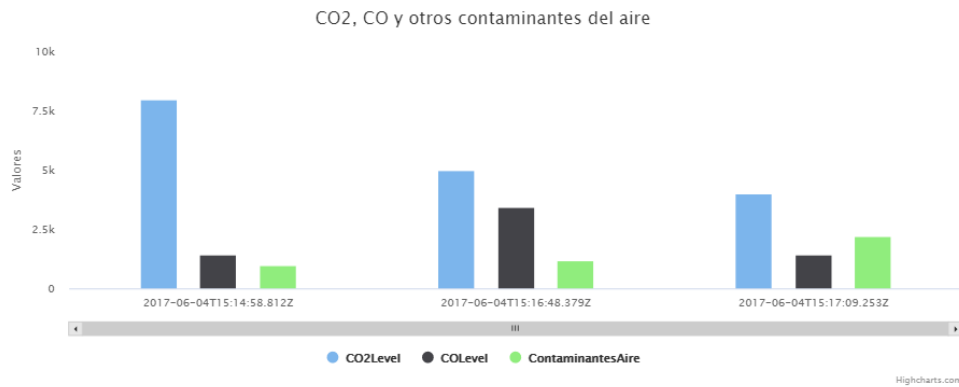


Figura 21. Comparativa de gases contaminantes

Finalmente, se ha incluido otro componente en el sistema que permite la comparación y la revisión simultánea de las mediciones registradas por distintos dispositivos waspmotes. Se trata de un comparador que permite al usuario elegir dos o más waspmotes y las variables atmosféricas deseadas. De este modo, se generará dinámicamente una gráfica lineal por cada variable seleccionada y se representarán distintas líneas de puntos con mediciones en función del número de dispositivos:

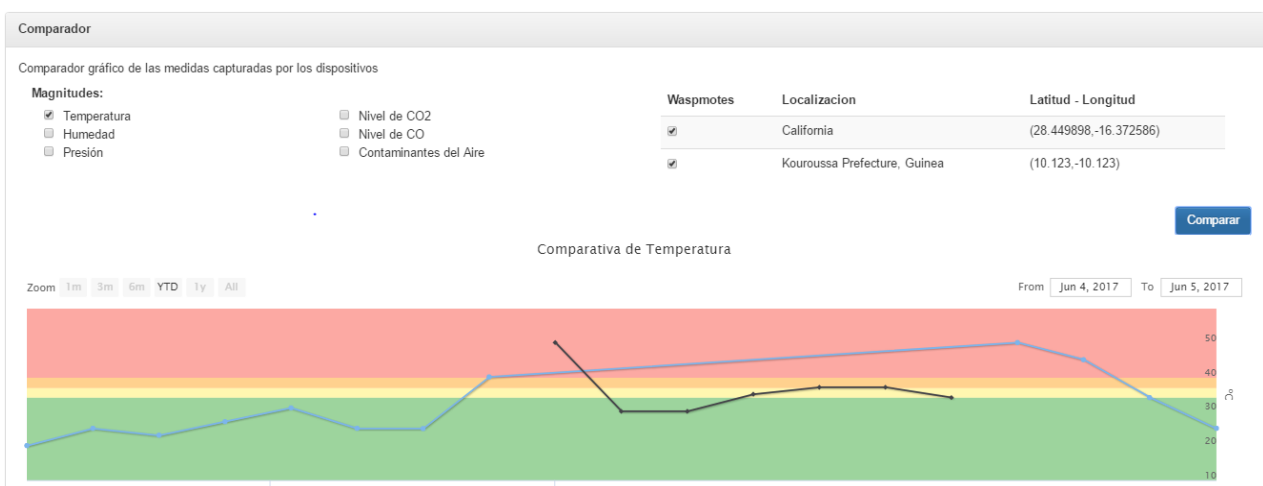


Figura 22. Comparador de mediciones

Tal y como se puede observar en la Figura 22, se compara las mediciones realizadas de temperatura por las dos waspmotes disponibles actualmente en el sistema. El usuario tiene la posibilidad de filtrar los datos indicando una fecha de inicio y otro de fin o seleccionando distintos periodos establecidos (1 año, 6 meses, 3 meses, etc.) a través del panel de botones situado en el margen superior izquierdo de la gráfica

Capítulo 5.

Aplicación móvil

5.1 Características generales

La aplicación móvil desarrollada en Android tiene por objetivo fundamental la visualización de los datos de una manera más simplificada sin poner demasiado interés en los datos específicos de las mediciones registradas por los dispositivos waspmotes, destacando los valores medios de las concentraciones de cada una de las variables atmosféricas registradas. La visualización de información se realiza únicamente para las mediciones registradas en el día actual sin tener en cuenta las de carácter histórico, las cuales únicamente pueden ser visualizadas desde la versión web.

Esta aplicación cuenta con un sistema de login y registro similar al de la aplicación web. Siguiendo con las mismas pautas de seguridad, se ha habilitado un formulario de recuperación o generación de nueva contraseña que requiere como parámetros una pregunta de seguridad con su respuesta correspondiente (gestionados y seleccionados por el usuario durante el momento de su registro) con el objetivo de verificar la autenticidad del usuario.

Una de las particularidades de esta aplicación es que se encuentra sincronizada de manera continua con el servicio web. Cada nueva medición registrada, dispositivo inalámbrico con sensores añadido al sistema o cada nueva alerta activada se sincroniza entre las distintas plataformas (móvil y web) a través de un servicio de notificaciones de mensajería en la nube gestionado por Firebase.

5.2 Servicios integrados y visualización de datos

Los principales servicios integrados en la aplicación móvil que se encuentran vinculados con la visualización de la información son los siguientes:

- Google Maps Android Api: Es la misma tecnología utilizada en la versión web para la georeferenciación de los dispositivos waspmotes en mapas, pero para la plataforma Android. Se ha configurado un mapa (Figura 23) en el que se disponen distintos markers en función de la latitud y la longitud de cada uno de los dispositivos. Los datos necesarios se obtienen realizando peticiones con la librería Volley a la ruta /geo_waspmotes del servidor, la cual devuelve todos los datos asociados a cada una de las waspmotes.

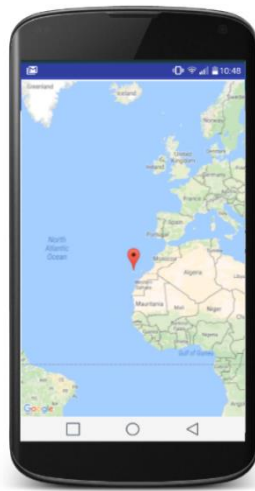


Figura 23. Mapa en aplicación móvil

- MPAndroidChart [55]: Manteniendo la misma metodología basada en el uso de gráficas para la visualización de los datos meteorológicos, se ha hecho uso de esta librería para exponer mediante gráficos de barras los valores medios de cada una de las variables atmosféricas registradas en las mediciones del día en curso.

Cada vez que el usuario selecciona uno de los markers en el mapa se realiza una petición al servidor con el identificador de la waspmote a la ruta /getMedicionesById. El resultado es un conjunto de documentos de la colección medidas de la base de datos, las cuales se renderizan a través de una tabla en la interfaz de la aplicación móvil. Una particularidad es el uso del mismo código de colores que en la versión web (verde, amarillo, naranja y rojo) para representar qué valores son normales y cuales implican una alerta, siguiendo las especificaciones detalladas en el anexo C.

Una vez que el usuario pulsa uno de los dispositivos, accede a una nueva interfaz dónde puede seleccionar dos botones principales:

- Info: permite conocer los límites o umbrales asociados a cada variable atmosférica. Como se explicó previamente, en el fichero “medicionesControl.json” se han establecido unos valores límite que establecen los inicios de una situación de alerta que puede implicar una amenaza para la salud además del rango considerado normal o estable, de modo que se ha habilitado un panel de contenido que permita a los usuarios de la aplicación de móvil disponer de tal información.
- Gráficas: permite el acceso a una nueva interfaz de gráficas que representan los valores medios de las mediciones registradas a lo largo del día, utilizando el mismo patrón de colores que en el caso anterior para favorecer una interpretación adecuada por parte del usuario de los mismos.

Capítulo 6.

Sistema global

6.1 Esquema general

A continuación, puede observarse un esquema general de cómo se han combinado los distintos sistemas y qué procesos desencadenan una sincronización de los mismos:

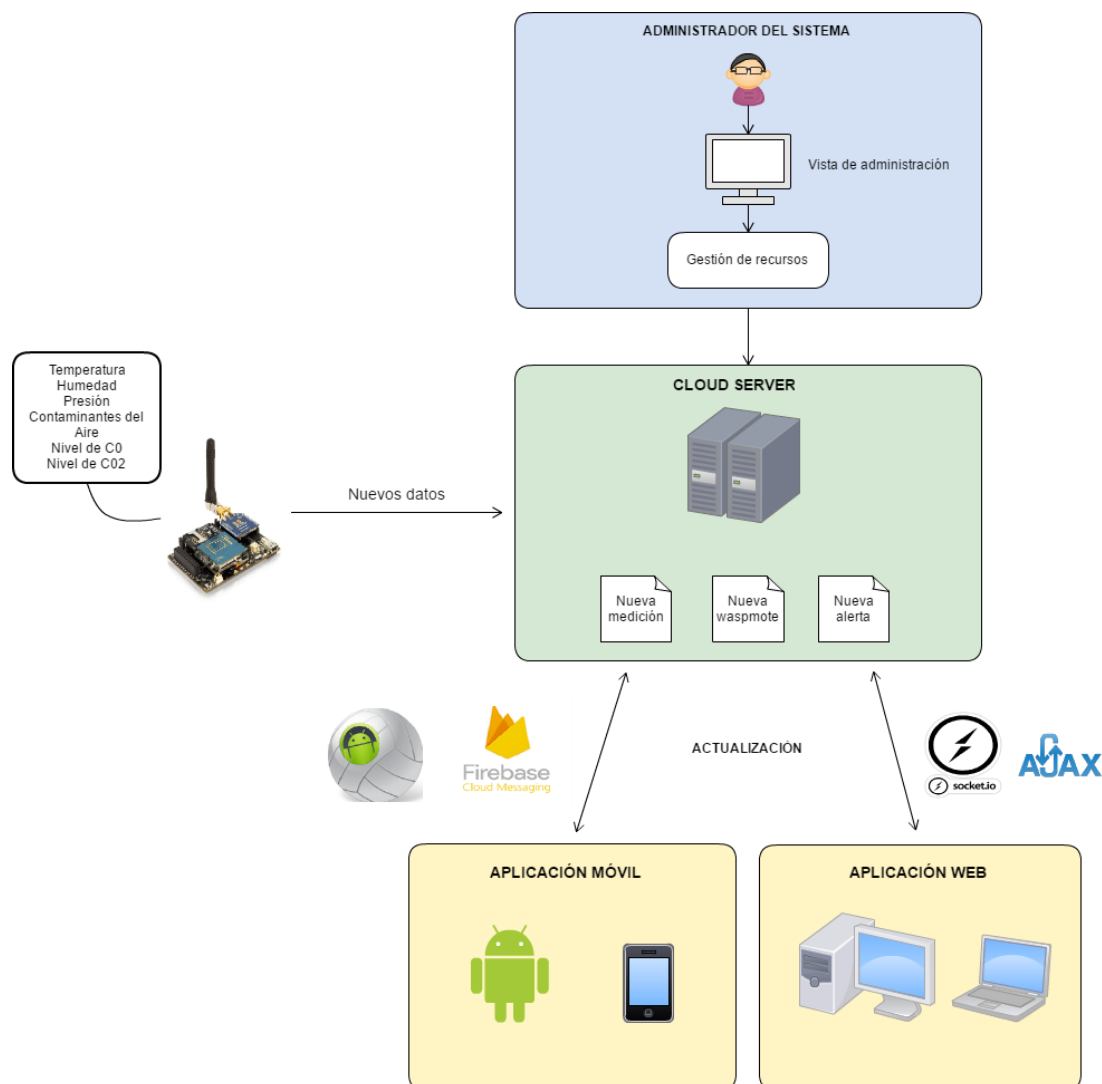


Figura 24. Esquema general del sistema

Tal y como puede observarse en la Figura 24, se distinguen principalmente tres subsistemas capaces de interactuar: red de dispositivos IoT (wasmotes), aplicación web y aplicación móvil. Las interacciones producidas por éstos ocasionan cambios en

las colecciones de Mongo configuradas por el servidor que repercuten directamente en la necesidad de replicar dichos cambios a todos los sistemas y clientes conectados, con el único objetivo de disponer de información actualizada. Igualmente, el rol de administrador, que actúa a través de la interfaz de administración configurada en la aplicación web, genera cambios y actualizaciones en la base de datos cuando registra nuevos dispositivos o cuando cambia parámetros de éstos (estado, descripción, etc).

Las variables atmosféricas capturadas por los sensores incorporados en las waspmotes se envían al servidor en la nube provocando el registro de una nueva medición y activando el proceso de comprobación de la posible existencia de alertas o alarmas asociadas. Estos cambios, junto con los generados por el administrador, deben ser replicados y sincronizados entre los distintos sistemas, proceso que requiere el uso de diversas tecnologías: Firebase Cloud Messagin y Socket.io.

Firebase Cloud Messaging es una solución multiplataforma que permite enviar de forma segura mensajes y notificaciones. Se utiliza para sincronizar el servidor en la nube con la aplicación Android. Para la configuración de este servicio se ha hecho uso de un paquete nodejs denominado fcm-push, que permite indicar a Firebase que envíe un mensaje o una notificación a un dispositivo Android específico configurando los parámetros expuestos a continuación:

- Token identificador del dispositivo Android: cadena de caracteres y números que identifican de manera única al dispositivo. Cuando un nuevo usuario se registra, junto con sus datos se envía al servidor este token y se almacena en la base de datos. Cada vez que es necesario usar el servicio de notificaciones de Firebase, el servidor accede a este token y envía la notificación o el mensaje al dispositivo correspondiente.
- Clave e identificador para configurar el servicio de mensajería y notificaciones: parámetros generados automáticamente cuando se crea un nuevo proyecto en Firebase y son utilizados para conectar al mismo con el servidor.
- Título y contenido del mensaje que recibe el dispositivo android.
- Datos adicionales a enviar: cualquier información extra que se quiera añadir en la notificación. En el caso de notificar la detección de una nueva alerta, como campos adicionales se añaden el nivel de la misma, su fecha y descripción.

Por otro lado, socket.io es una tecnología que permite sincronizar los nuevos cambios gestionados en el servidor con la aplicación web. Cada vez que un nuevo dispositivo waspmote es registrado, una nueva medición se almacena en la base de datos o se activa una nueva alarma, el servidor envía a todos los sockets conectados en el cliente los nuevos cambios. Una vez emitida la nueva información, las funciones declaradas en los ficheros javascript del cliente se encargan de renderizar y mostrar los nuevos datos. Este proceso posibilita que este sistema gestione todos los recursos en tiempo real, evitando la necesidad de que el usuario actualice la página periódicamente.

6.2 Seguridad

6.2.1 Confidencialidad en dispositivos waspmote

Antes de enviar la nueva medición capturada del entorno por parte de los sensores integrados en el dispositivo waspmote, es necesario configurar el módulo 4G y cifrar los datos para que, en el caso de que sean interceptados, sea más complicado el acceso al contenido de los mismos. Como se ha comentado previamente, entre los datos enviados al servidor destaca por encima del resto el IMEI del dispositivo, un número identificativo suministrado por el servicio de 4G añadido al dispositivo que debe permanecer seguro y cifrado para que no pueda ser interceptado. Puesto que la primera instrucción llevada a cabo por el servidor es la comprobación de que el IMEI recibido con la nueva medición se encuentra registrado en el sistema, este cifrado evita que un atacante que intercepte un envío y lo descifre pueda suplantar la identidad de la waspmote y transmitir al servidor mediciones malintencionadas que generen alertas sin control y datos erróneos.

El cifrado implementado es el algoritmo AES de 128 bits modo CBC y ZERO Padding. Tal y como puede observarse en la Figura 25, el modo CBC (Cipher Block Chaining) se caracteriza por el hecho de que a cada bloque de texto en claro sin formato se le realiza una operación de XOR con el bloque anterior cifrado. De este modo, cada bloque cifrado depende de todos los bloques de texto en claro sin formato procesados hasta ese punto. Para este procedimiento es necesario el uso de un vector de inicialización en el primer bloque:

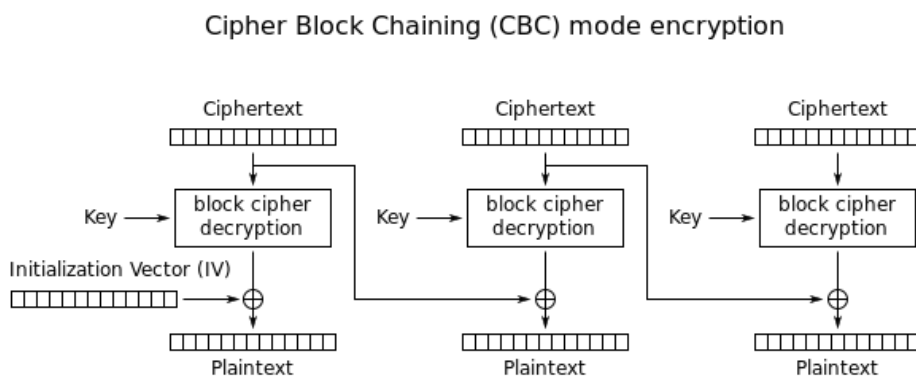


Figura 25. Cifrado AES CBC

Para realizar el proceso de cifrado se ha usado una librería de arduino denominada AESLib (ya comentada previamente en el capítulo de las tecnologías) con capacidad de ser integrada en los dispositivos waspmotes. Únicamente soporta claves de 128 bits, por lo que el tamaño de bloque será fijo a esta dimensión. Tanto el vector de inicialización como la clave o el bloque de texto a cifrar se limitan a 16 bytes. Tomando en cuenta esta restricción se ha dividido la cadena de texto en secuencias de este

tamaño y se han cifrado separadamente. Una vez que todas las subcadenas están preparadas se concatenan y se envían a través de 4G al servidor.

Por otro lado, el proceso de descifrado tiene lugar en el servidor mediante el uso del paquete npm crypto-js, el cual permite obtener los datos descifrados estableciendo su configuración en modo AES CBC de 128 bits de clave y ZERO Padding [56]. En los cifrados por bloques, en el caso de algoritmos de cifrado de clave simétrica, el tamaño del mensaje en claro no es múltiplo del tamaño de bloque, por lo que es necesario un sistema de relleno que permita conseguir que el texto en claro sea múltiplo del tamaño de bloque. En el caso de ZERO Padding el relleno se produce con caracteres nulos.

6.2.2 Autenticación segura

La capa de seguridad en este nivel se ha implementado a partir de la verificación de las pautas OWASP (Open Web Application Security Project) [57] [58]. El objetivo fundamental de éstas es combatir y determinar las causas que hacen que el software sea inseguro, protegiendo así el sistema de posibles ataques.

De manera general se han verificado y superado cada una de los criterios especificados en este estándar para garantizar una autenticación segura conforme se detalla y especifica en el anexo D(“Verificación de pautas OWASP”). Para cumplir con estos criterios, se han realizado diversas modificaciones en el proyecto como pueden ser:

- Control de acceso de usuarios y dispositivos a las rutas configuradas en el servidor.
- Forzar que los procesos de autenticación se realicen únicamente en el servidor.
- Garantizar el uso de contraseñas poco débiles a través de una expresión regular que obligue el uso de mayúsculas, minúsculas, caracteres especiales y números, además de longitudes de clave superiores a los 6 caracteres.
- Uso de rutinas de cifrado para los passwords de los usuarios lo suficientemente fuertes como para resistir los ataques por fuerza bruta.
- Uso de HTTPS para el transporte de las credenciales.
- Cifrado de las claves de autenticación para el acceso a servicios externos a la aplicación como, por ejemplo, de Google Maps Api.
- Registro de los posibles ataques realizados contra el sistema incluyendo metadatos para posteriores auditorías de seguridad como: intentos de acceso continuados del mismo usuario con contraseñas erróneas, suplantación de identidad, etc.

Capítulo 7.

Presupuesto

En este capítulo se incluyen los costes estimados del proyecto, distinguiéndose en los recursos que han sido necesarios a nivel de hardware, software y a nivel de personal.

7.1 Personal

A continuación, se exponen los costes de los recursos humanos necesarios para el desarrollo del sistema. Tomando como referencias que se han empleado aproximadamente como jornada laboral 4 horas durante 5 días cada semana y el precio de trabajo por hora en torno a unos 15 €:

Tarea	Jornadas	Total
Análisis, investigación y documentación de soluciones actuales de IoT	5	300
Estudio y selección del hardware a utilizar	5	300
Estudio y selección del software a utilizar	5	300
Estudio y selección de las tecnologías de desarrollo e implementación	5	300
Análisis de las tecnologías de comunicación integradas en el dispositivo seleccionado	10	600
Creación de interfaz para la captación de las magnitudes del medio	15	900
Transmisión de datos a la nube	10	600
Implementación de servidor	15	900
Implementación de aplicación web	15	900

Implementación de aplicación móvil	15	900
Combinación y sincronización de sistemas	15	900
Añadir capa de seguridad al sistema	10	600
Total	125	7500 €

Tabla 1. Presupuesto personal

7.2 Componentes

Presupuesto realizado a nivel de hardware:

Componente	Coste
Wasmote 4G EU/BR version	370 €
Wasmote Gases Sensor Board	120 €
Sensor BME280 (temperatura, humedad, presión)	20 €
Sensor TGS2442 (CO)	24 €
Sensor TGS4161 (CO2)	55 €
Sensor TGS2600 (Contaminantes del aire)	20 €
USB conector	0 €
Batería recargable 6600mA.h	30 €
Tarjeta SIM de prepago	10 €
Gastos de envío a Canarias	104 €

Total	753 €
--------------	--------------

Tabla 2. Presupuesto componentes hardware

Presupuesto realizado a nivel de software:

Componente	Coste
Android Studio IDE	0 €
Waspote IDE	0 €
Licencia de desarrollador Android	22,15 €
Total	22.15 €

Tabla 3. Presupuesto componentes software

7.3 Costes totales

A continuación, se exponen los costes generales estimados:

Coste del hardware	753 €
Coste del software	22.15 €
Coste de personal	7500 €
Total	8275.15 €

Tabla 4. Coste total

Capítulo 8.

Conclusiones y trabajos futuros

El sistema de información descrito en este trabajo final de grado se ha desarrollado teniendo en cuenta tecnologías novedosas para la ayuda a la gestión de emergencias como la IoT y el uso de sensores. Concretamente se ha trabajado con los dispositivos waspmotes lo que ha supuesto la solución de múltiples retos como pueden ser el uso de protocolos de transmisión de datos (4G), la interacción con dispositivos hardware, la integración de sensores, la integración distintas tecnologías (Android, servidor en Nodejs y las Waspnotes), la sincronización de alertas, etc.

Dada la importancia de garantizar la confidencialidad y la autenticidad de la información transferida se ha dotado al sistema con servicios de seguridad. Concretamente se han aplicado las pautas OWASP (Open Web Application Security Project) y el cifrado AES CBC.

Por último, ha sido posible interactuar con los organismos encargados de la gestión de las situaciones de emergencia (CECOES 1-1-2) y sus protocolos de actuación. Asimismo, el estudio y la investigación realizada en el ámbito de la meteorología, de la contaminación atmosférica y de los efectos que pueden ocasionar sus variaciones en el comportamiento del clima, entorno y en la salud han destacado la relevancia que puede implicar el hecho de disponer de un sistema de información de este tipo con sensores distribuido en el entorno aportando datos constantemente que permitan predecir la ocurrencia de nuevas catástrofes o controlar de manera más eficiente los recursos una vez que se producen aumentando así las posibilidades de reducir las pérdidas materiales y personales.

Se enumeran a continuación algunas de las mejoras a realizar a corto plazo en el sistema:

- De cara a mejorar el procedimiento de generación de alertas, podría plantearse la monitorización constante de las mismas y el análisis de las distintas alertas producidas en un mismo punto en un mismo periodo de tiempo, de manera que pueda detectarse la ocurrencia de un fenómeno o catástrofe de gravedad (tormentas, huracanes, etc.).
- En el mismo ámbito, podría plantearse utilizar el GPS para enfocar las notificaciones por alertas en la aplicación móvil en función de la localización, evitando así que lleguen a los usuarios todas las alarmas activadas en cada uno de los puntos registrados por las waspmotes.

- De cara a añadir más seguridad al sistema, podrían utilizarse tokens de autenticación durante el registro de cada dispositivo externo. De este modo, se podría controlar de una manera más eficaz los dispositivos con sensores conectados y algunas rutas del servidor podrían devolver resultados únicamente cuando el token se autentica.
- En referencia al cifrado de los datos capturados por los sensores, podría desarrollarse un protocolo de generación compartida de clave de Diffie-Hellman que permita el intercambio seguro de las claves entre los dispositivos inalámbricos y el servidor, mejorando la capa de seguridad añadida al sistema.
- Para mejorar la activación de las alarmas, se podría generar un histórico de catástrofes que se hayan producido, que detallase diversos aspectos (alertas que se generaron en la zona antes de la catástrofe, periodo de tiempo, etc.) de cara a que cuando se vuelvan a exponer algunas de las mismas condiciones en el futuro permita a los usuarios realizar comparaciones e interpretar el comportamiento del clima pudiendo así predecir nuevas situaciones de emergencia.
- Llevar a cabo una integración real de este sistema en algún organismo vinculado a la gestión de las situaciones de emergencia (CECOES 1-1-2, bomberos, etc.), para verificar que en una situación real como, por ejemplo, un incendio forestal, el aporte de datos en tiempo real de variables atmosféricas y contaminantes del medio favorece la organización de los recursos y la finalización de la emergencia o catástrofe.

Capítulo 9.

Conclusions and future works

The information system described here has been developed taking into account innovative technologies such as IoT and the use of sensors with the aim of helping to improve the management of emergencies. Specifically, waspmotes devices have been used. It has meant the solution of multiple challenges such as the use of data transmission protocols (4G), interaction with hardware devices, integration of sensors, integration of different technologies (Android, Server on Nodejs and Waspmotes), synchronization of alerts, etc.

Given the importance of ensuring information confidentiality and authenticity, the system has been provided with security services. Specifically, the OWASP (Open Web Application Security Project) guidelines and AES CBC encryption have been applied.

On the other hand, it has been possible to interact with the agencies responsible for managing emergency situations (CECOES 1-1-2) and their protocols of action. Also, the study and research carried out in the field of meteorology, air pollution and the effects that can cause variations in the behavior of the climate, environment and health have highlighted the relevance of having a system of this type with sensors distributed in the environment providing constantly data that allow to predict the occurrence of new catastrophes or control more efficiently the resources once they occur, increasing the possibilities of reducing material and personal losses.

Some of the short-term improvements to the system are listed below.

- It's possible to monitorize alarms or alerts constantly to analyse the effects when different alarms are activated in a unique zone at the same time. It can improve the procedure of generating them and the way to detect the occurrence of a serious atmospheric phenomenon.
- In the same way, it would be interesting to use GPS to improve the notifications generated by alarms in the mobile application depending on the location of the devices. This idea could avoid that mobile applications users receive all alerts generated in the server from each waspmote zone registered.
- In the way to add security to the app, it would be a good option to use authentication tokens during device registration. In this way, it would be possible to control and manage more efficiently all devices with sensors connected and some server routes configured could return results only when the token is verified.
- As future work a Diffie-Hellman key exchange protocol could be introduced in the system in order to protect keys used to cipher communication between wireless devices and the server.
- On the other hand, system could incorporate an historic module of alerts that have been activated in the past. It could allow to make comparisons when some conditions reappear with the objective to interpret weather behaviour and to avoid new emergency situations and adverse atmospheric phenomenon.
- It's important to integrate this application in an organism associated to manage emergency situations (CECOES 1-1-2, firefighters, ...) in a real case (like a forest fire) to verify its utilities and if the data registered improve the resources control.

Apéndice A.

Esquema general de tecnologías

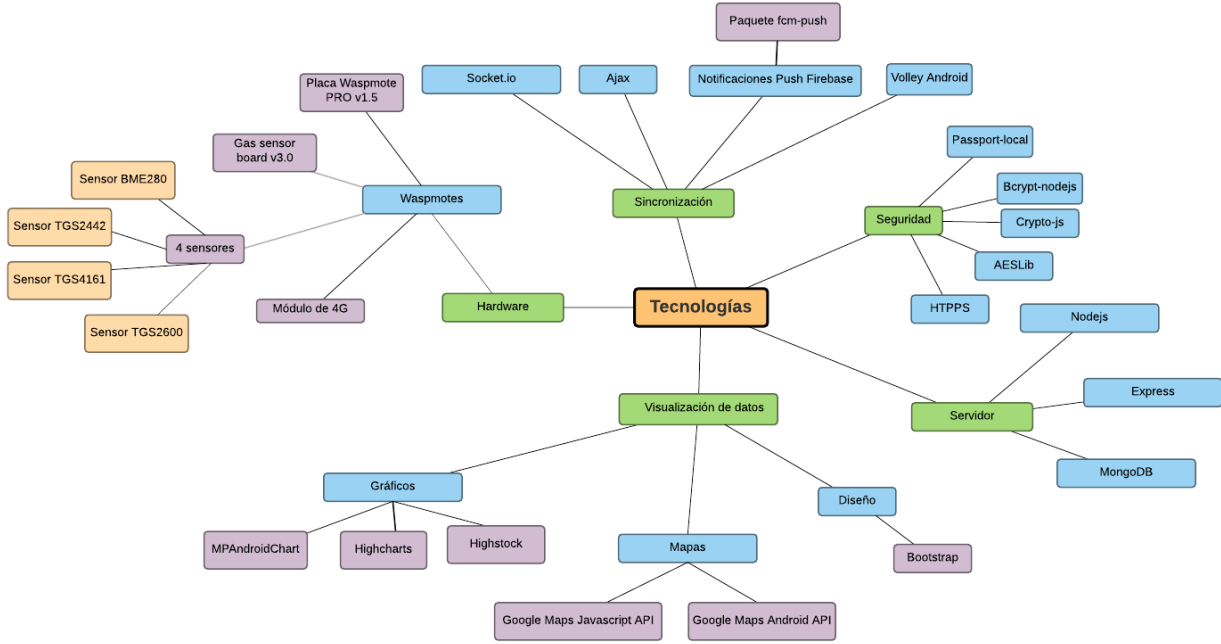


Figura 26. Tecnologías del sistema

Apéndice B.

Comparativa de dispositivos IoT

En el ámbito de los dispositivos IoT [59] existentes actualmente en el mercado, destacan distintos tipos de plataformas y sensores con distintos sistemas de comunicación inalámbrica. Serán importantes a la hora de determinar una tecnología u otra los siguientes pilares fundamentales: rendimiento del sistema (consumo de energía, mantenimiento, tamaño, etc), conectividad inalámbrica, es decir, disponibilidad de tecnologías de radio para la transmisión de datos, capacidad de integración de múltiples sensores para la toma de las medidas deseadas y, finalmente, disponibilidad de un entorno integrado de programación que facilite al programador la interacción con dichos sensores. Un primer baremo a resaltar es la distinción entre dos grupos: tecnologías basadas en autómatas programables y las basadas en microprocesadores.

Por un lado, las basadas en microprocesadores, conocido popularmente bajo el término de “miniordenador”, destacan por una alta disponibilidad de recursos tales como HDMI, salida y entrada de audio/vídeo, conexiones cableadas USB y ranuras para tarjetas SD y microSD entre otras. Como ejemplos de este tipo de dispositivos cabe destacar la Raspberry PI [60] (ampliamente conocida y partícipe de numerosos proyectos tecnológicos), BeagleBone [61], etc. En este sentido, resultan especialmente útiles para todas aquellas aplicaciones que impliquen un tratamiento de datos más profundo y extenso en cuanto a posibilidades, que puedan requerir interfaz gráfica de usuario, una mayor potencia de cálculo, etc. Son capaces de alojar un sistema operativo como Linux. No obstante, una mayor disponibilidad de recursos implica un mayor consumo de energía. Teniendo en cuenta que el sistema desarrollado precisa una tecnología que destaque por un consumo y un mantenimiento mínimos puede resultar un inconveniente a la hora de abordar su uso. Además, entre los requisitos tecnológicos que se precisan para este sistema no son necesarios ni HDMI, ni audio o video ni otros presentes en este tipo de tecnologías, por lo que serían desaprovechados.

Por otro lado, deben tomarse en consideración las tecnologías basadas en autómatas programables. Son especialmente útiles para todas aquellas aplicaciones en tiempo real que impliquen acciones como la recolección de datos del entorno, envío de alarmas, configuración de actuadores, transferencia de información en redes inalámbricas, etc. Posibilitan la integración de sensores y de módulos de transferencia y comunicación inalámbrica (como Bluetooth, WIFI o 3G y similares). Ejemplos de este grupo tecnológico pueden ser las Waspnotes, Arduino [62], Nanode [63] y otras posibilidades, como la placa Intel Galileo. En comparación con las tecnologías basadas

en microprocesadores, destacan por aspectos como una mayor disponibilidad de posibilidades e interfaces inalámbricas para el tratamiento de los datos facilitando así la comunicación y la transferencia de los mismos, por ejemplo, a servidores externos u otros servicios: WIFI, Bluetooth, 3G, 4G, etc.

La mayoría de estas tecnologías ofrecen a los programadores y desarrolladores un IDE (Entorno de Desarrollo Integrado). A diferencia de los microprocesadores, con los autómatas programables se interactúa directamente a través de una simple aplicación favoreciendo y haciendo más sencillas las labores de programación.

Además de este último apartado, algunas de estas tecnologías (concretamente las Waspmites de las comentadas previamente) ofrecen también librerías específicas para facilitar aspectos como la encriptación de los datos tratados.

Destacan ampliamente por su bajo consumo de energía que además puede ser alimentado por otras fuentes de alimentación de energía como placas solares. Esto supone, a su vez, un menor mantenimiento directo del dispositivo.

Capacidad de integrar sensores directamente sin necesidad de hardware externo como una protoboard.

Fundamentalmente por estas razones se tomó la decisión del uso de una tecnología basada en autómatas programables. Dentro de este grupo destacan el conocido Arduino o las Waspmite y otras menos populares como Nanode que, aún teniendo menos recursos y menos posibilidades, en función del ámbito y alcance del proyecto pueden resultar bastante útiles.

Arduino se constituye como una plataforma versátil y abierta que se caracteriza por el uso de un lenguaje propio basado en lenguaje de alto nivel C/C++. Integra un entorno de desarrollo dedicado (IDE) que puede descargarse gratuitamente. Sus componentes tanto software como hardware son de licencia libre y ampliables, es decir, de código abierto. Destacan principalmente por su facilidad a la hora de programar y su bajo coste en comparación con otras tecnologías, por lo que resulta ideal para iniciarse en este ámbito tecnológico. Además, es multiplataforma por lo que puede utilizarse en proyectos tanto en Windows como en Linux o Mac. En el ámbito del hardware y sus conexiones, Arduino permite microUSB y tarjeta SD de manera general. Además, en función del proyecto que el desarrollador quiera abordar existen distintas placas con funcionalidades avanzadas y específicas para determinados ámbitos. Además de estos aspectos, pueden destacarse otros como:

- Gran cantidad de documentación, ejemplos y tutoriales que facilitan las labores de programación, especialmente si no se tiene experiencia.
- Su plataforma web intuitiva y con abundante contenido que facilita la introducción y la adaptación del usuario al mundo de los autómatas programables.

- Consumo bajo.
- Grandes posibilidades de mercado para aplicaciones en tiempo real en sectores como IoT debida a la capacidad de Arduino de incorporar distintos sensores para la captación de magnitudes del entorno, interpretarla y desarrollar una respuesta.
- Precios competentes, por lo que resulta ideal tanto para pequeños como para grandes proyectos.
- Además del IoT destaca en otros aspectos como la impresión 3D o su uso en textiles.

Por otro lado, Nanode es una placa de código abierto con un microcontrolador con conectividad a Internet. Destaca por su bajo coste en torno a los 30\$ y es usada principalmente en aplicaciones basadas con la nube. Provee los mismos conectores que Arduino, permitiendo expandir las funcionalidades añadiendo nuevas placas o módulos encima de la principal.

Sin embargo, pese a su económico coste y ventajas, si lo comparamos con Arduino, Nanode no presenta tanta documentación, ejemplos y tutoriales que puedan permitir a los desarrolladores realizar implementaciones. Por otro lado, con respecto a Waspote, Nanode no resulta una gran competencia en el ámbito de las tecnologías de radio que presenta el primero (3G, 4G, WIFI, Bluetooth, LoRaWan, etc) y otras características como la programación a través del aire (OTAP) y sus más de 110 sensores para captar magnitudes del entorno de todo tipo.

Apéndice C.

Estudio de mediciones

En armonía con los criterios europeos comunes, se contemplan cuatro niveles básicos que indican los distintos niveles de adversidad, los cuales se han establecido en función del concepto de la frecuencia con la que ocurre un fenómeno climatológico adverso y la amenaza que pueda suponer para la población. De este modo, se ha utilizado el siguiente código de colores en todo el sistema:

- Verde. Implica que no existe ningún riesgo meteorológico
- Amarillo. No existe riesgo meteorológico para la población en general, aunque sí para algunas actividades concretas o localizaciones de alta vulnerabilidad, como puede ser la cercanía o contacto directo desde un punto de vista geográfico de grandes ciudades o pueblos.
- Naranja. Incluye a los riesgos meteorológicos importantes, considerados como muy poco habituales pudiendo resultar peligrosos para las actividades cotidianas y usuales.
- Rojo: riesgo meteorológico extremo. Todos aquellos fenómenos meteorológicos no habituales y de gran intensidad. Implican situaciones de riesgo y peligro para la población.

En el caso de la temperatura, se ha considerado especialmente las condiciones típicas del clima en las Islas Canarias. Siguiendo el código anterior, las temperaturas máximas en esta zona geográfica se conciben del siguiente modo:

- Todas aquellas temperaturas que no superen los 34 °C se consideran normales por lo que no implican riesgos para la salud de la población y, por lo tanto, no es necesario la emisión de alertas. Se representarán con el código verde.
- Para las temperaturas que se encuentran entre los 34 °C y los 37 °C se utilizará el color amarillo. No implican ningún riesgo para la población, aunque pueden suponer algo de peligro para ciertas actividades.
- La alerta de color naranja se reserva para aquellos fenómenos meteorológicos poco habituales que suponen riesgos en las actividades cotidianas. Las temperaturas para la emisión de esta alarma oscilan entre los 37 °C y los 40 °C.
- Finalmente, todos aquellos registros que superen los 40 °C implican la activación de alertas y protocolos de actuación para riesgos meteorológicos no

habituales y peligrosos para la salud de la población. El color asociado a esta situación es el rojo.

No obstante, las temperaturas mínimas también suponen en ocasiones un riesgo para la salud de la ciudadanía. Utilizando el mismo código de colores, en las Islas Canarias podemos especificar las siguientes pautas:

- Temperaturas superiores a $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ se sitúan dentro del rango normal por lo que se referencian con el color verde. No implican ningún fenómeno climatológico perjudicial para las personas.
- Sin embargo, temperaturas más bajas, entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ las condiciones del clima pueden suponer algún tipo de riesgo leve ante determinadas actividades al aire libre poco cotidianas. Se referencian con el color amarillo siguiendo el mismo patrón.
- Aumentando el nivel de riesgo, temperaturas entre los $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ se representan mediante alertas de color naranja e implican fenómenos meteorológicos poco comunes que pueden representar riesgos para las actividades comunes de la población.
- Finalmente, se activan alertas y se referencian con el color rojo todas aquellas temperaturas que desciendan intensamente a partir de los $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, constituyendo un peligro potencial para la salud de las personas.

La temperatura no sólo implica situaciones de peligro a partir de superar alguno de los umbrales o límites definidos anteriormente. También supone la generación de alertas o alarmas las variaciones bruscas y significativas de los valores registrados. De este modo, tomando como concepto el grado de variación se considera:

- Aumento: para todos aquellos incrementos por encima de los $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e inferiores a los 6°C .
- Aumento notable: incremento de la temperatura por encima de los $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y por debajo de los $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Aumento extraordinario: para todos aquellos aumentos superiores a los $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Del mismo modo, se establecen distintos tipos de descensos de temperatura tomando exactamente los mismos $^{\circ}\text{C}$ de variación pero en sentido inverso a los planteados para los incrementos de temperatura.

Esta variable atmosférica suele vincularse con la humedad relativa en la aparición de determinados efectos meteorológicos como puede ser la sensación térmica percibida

frente a los valores reales de temperatura expuestos. La sensación térmica hace referencia al grado de incomodidad que el ser humano percibe al combinarse la temperatura, el viento y la humedad relativa. Las mediciones de sensación térmica difieren en función de la época, siendo en el verano la época en la que humedad relativa afecta más a este fenómeno atmosférico. Puede considerarse como humedad relativa de confort la situada entre el 30% y el 70%, concibiéndose como la mayormente saludable la situada entre el 45% y el 50%. Los valores situados por encima o por debajo de este rango pueden favorecer la contaminación biológica: aumento de los ácaros del polvo, bacterias, hongos, mohos, etc [64].

La humedad relativa se debe fundamentalmente al vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera, el cual procede de la evaporación de los mares y océanos, ríos, lagos, plantas y otros seres vivos. En este sentido, la cantidad de vapor de agua que puede absorber el aire depende de su temperatura [65]. Cuanto mayor es la temperatura del aire mayor será la cantidad de vapor de agua. En aquellos casos en los que una masa de aire contiene la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener a esa temperatura se dice que el aire está saturado [66].

En la salud de las personas la humedad relativa intensa dificulta en ocasiones aspectos como la sudoración y aumenta la eliminación de líquidos a través del riñón, ocasionando que se toleren peor los ambientes naturalmente húmedos con frío o con calor intensos. En este sentido, las alarmas deben activarse cuando los valores de humedad relativa se acercan a los extremos de 0 o 100% pudiendo provocar fenómenos climatológicos adversos al combinarse con otras situaciones excepcionales generadas por otras variables atmosféricas como, por ejemplo, la temperatura y la presión.

Tal y como se muestra en la Figura 27, se ha dispuesto como rango normal de valores todos aquellos situados entre el 30 y el 70%. Las alertas se activan progresivamente cuando la humedad desciende o asciende hacia 0 y 100, respectivamente:

```
"Humedad": {
  "Nombre": "Humedad relativa",
  "NombreAlerta": "Humedad",
  "minValue": "0",
  "alertaNivel1Min": "10",
  "alertaNivel2Min": "20",
  "alertaNivel3Min": "30",
  "colorControl": "#B1D7B1",
  "alertaNivel3Max": "70",
  "alertaNivel2Max": "80",
  "alertaNivel1Max": "90",
  "maxValue": "100",
  "colorAlertaNivel1": "rgba(247, 41, 26, 0.4)",
  "colorAlertaNivel2": "rgb(255, 190, 94, 0.7)",
  "colorAlertaNivel3": "rgba(255, 235, 59, 0.4)",
  "Unidad": " %"
},
```

Figura 27. Control de la humedad relativa

Otra variable especialmente relacionada con la temperatura y la humedad es la presión atmosférica. Esta magnitud se corresponde con la fuerza por unidad de área que ejerce el aire sobre la superficie de la Tierra. El análisis de la presión debe centrarse fundamentalmente en los cambios o variaciones producidas en determinados periodos de tiempo. Se establece siempre una relación directa entre las bajadas y subidas con respecto al periodo de tiempo en el que se ha producido, pudiéndose determinar así la gravedad del efecto climatológico. Además de saber si la presión baja (indicador de que se acerca una borrasca) o sube (indicador de que viene un anticiclón), sería preciso conocer la temperatura y humedad del aire (frío, cálido, seco o húmedo) y de dónde viene el viento. Las variaciones en la temperatura ocasionan cambios en la presión en un mismo lugar geográfico. En el caso de que existan bajas temperaturas, el aire se enfría por lo que se hace más pesado y desciende originando una alta presión. En el caso de la humedad, los lugares con mayores humedades relativas se caracterizan por presiones bajas y viceversa[67].

La apariencia de borrascas, inestabilidad atmosférica o vientos intensos implica normalmente que se han producido cambios en la presión atmosférica. Los cambios de presión ocasionados por el ascenso y descenso en altura pueden generar cefalea, síntomas gastrointestinales, debilidad o fatiga, inestabilidad o vértigos y trastornos del sueño.

La activación de las alertas en el sistema se ha configurado conforme a la ocurrencia de cambios o picos bruscos de presión. Cada variación brusca o progresiva de la presión atmosférica se relaciona directamente con un periodo de tiempo determinado y con unos efectos concretos (Figura 28). Mientras que las subidas y bajadas bruscas en menos de 6 horas pueden ocasionar vientos fuertes o tormentas, las subidas progresivas generan un buen tiempo continuado mientras que las bajadas mal tiempo e inestabilidad continuada durante varios días. La activación de alarmas pasa por la comprobación de los milibares que suben o bajan cada hora (cambios bruscos) o cada 4 horas (cambios progresivos) [68]:

PRESIÓN	PERIODO DE TIEMPO	PREVISIÓN METEOROLÓGICA	ALTÍMETRO
<i>Subida brusca</i> (1 mb/hora)	Menos de 6 horas	<i>Cielo despejado</i> <i>Viento fuerte</i> Frío (en invierno)	Indicará que has bajado metros
<i>Subida lenta pero progresiva</i> (1mb /4 horas)	12 horas o más	<i>Buen tiempo continuado</i> (días) (Anticiclón) Posibilidad de fuertes vientos en altura.	Indicará que has bajado metros
<i>Bajada brusca</i> (1 mb/hora)	Menos de 6 horas	<i>Tormenta</i> (más intensa a mayor bajada de presión).	Indicará que has ganado metros
<i>Bajada lenta pero progresiva</i> (1mb /4 horas)	12 horas o más	<i>Mal tiempo e inestabilidad</i> continuada(días) (Borrasca)	Indicará que has ganado metros

Figura 28. Control de presión atmosférica

Otro elemento realmente importante es la contaminación del aire de la atmósfera. La contaminación de la atmósfera se define como la presencia en la atmósfera de sustancias en una cantidad que implique molestias o riesgos para la salud de las personas y los demás seres vivos. Algunos de los causantes más destacables son los procesos industriales que implican combustión (automóviles e industrias) y calefacciones residenciales (generadores de CO₂ y CO).

El monóxido de carbono es uno de los productos de la combustión incompleta. Es muy peligroso para las personas y los animales (sobre todo en ambientes cerrados) puesto que se fija en la hemoglobina de la sangre impidiendo el transporte de oxígeno en el organismo. Los motores de combustión interna de los automóviles emiten este gas a la atmósfera, de ahí que en las zonas urbanas con una mayor concentración de éstos las emisiones sean mayores alcanzando niveles de hasta 50-100 ppm, las cuales son peligrosas para las personas. [69]

El valor límite o umbral considerado en un plazo de tiempo de 8 horas se sitúa en torno a los 10 mg/m³. La equivalencia entre la medida común entre gases, es decir, ppm (partes por millón) y los mg/m³ se establece a partir de los °C y la presión atmosférica del entorno, aunque de manera estándar se normaliza a 20 °C y 101.35 kPa (kilopascuales), respectivamente. De este modo, teniendo en cuenta el peso molecular del monóxido de carbono (28,01 g/mol) y la temperatura y presión comentadas, se puede considerar como límite o umbral en 8 horas la exposición de una persona a 10 mg/m³ o 8.59 ppm aproximadamente.[70]

Tal y como se puede apreciar en la Figura 29, el valor umbral de 10 mg/m³ definido previamente coincide con el establecido para este contaminante según el decreto 1073/2000: [71]

Tipo de limite	Periodo de referencia	Valor limite
Valor límite para la protección de la salud humana	Media octohoraria máxima en un día (de forma escalonada)	10 mg/m ³

Figura 29. Umbral máximo de exposición CO en 8 horas

Los efectos del monóxido de carbono en la salud de las personas se asocian directamente con el periodo de tiempo de exposición por lo que la generación de alarmas debe realizarse del mismo modo. Los principales síntomas detectados a corto plazo derivados de dicha exposición son dolores de cabeza, mareos, sensación de desvanecimiento y cansancio. Cuando los niveles son más alto, los síntomas son más intensos destacando la somnolencia, alucinaciones, convulsiones e, incluso, pérdidas de conocimiento. Cuando la exposición es demasiado intensa y extrema se pueden producir cambios en la memoria, personalidad, pérdidas de visión y la formación de carboxihemoglobina que reduce la capacidad de la sangre para transportar el oxígeno provocando problemas para respirar, colapso, convulsiones intensas, el coma y la muerte. Como puede observarse, los principales indicios del envenenamiento por monóxido de carbono se desarrollan en los sistemas de órganos más dependientes del oxígeno: sistema nervioso central y miocardio [72].

El portal sanitario de la Región de Murcia [73] ha establecido los siguientes directrices con el objetivo de no superar el nivel de carboxihemoglobina del 2.5%:

- 100 mg/m³ (aproximadamente 90 ppm) durante una exposición a monóxido de carbono de 15 minutos.
- 60 mg/m³ (aproximadamente 50 ppm) durante 30 minutos.
- 30 mg/m³ (aproximadamente 25 ppm) durante 1 hora.
- 10 mg/m³ (aproximadamente 8,7 ppm) durante 8 horas.

Como puede comprobarse en la lista anterior el máximo permitido en periodo de tiempo de unas 8 horas es de 10 mg/m³ [74][75], por lo que la superación del mismo se ha considerado como primer límite o umbral para la activación de alarmas. A continuación se muestran en la Figura 30 los efectos producidos por distintas concentraciones de monóxido de carbono en el entorno:

Efectos del monóxido de carbono a diferentes concentraciones

Concentración de monóxido de carbono	Efecto
0-229 mg/m ³ (0-200 ppm)	Ligero dolor de cabeza en algunos casos
10 mg/m ³ (8,7 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 8 horas
30 mg/m ³ (26 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante una hora
34,4 mg/m ³ (30 ppm)	La exposición diaria a esta concentración es equivalente a fumar 20 cigarrillos al día
40,1 mg/m ³ (35 ppm)	Las personas que tienen enfermedades cardíacas no deben exponerse a niveles superiores a esta concentración
60 mg/m ³ (52 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 30 minutos
100 mg/m ³ (87 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 15 minutos
115 mg/m ³ (100 ppm)	Se informó del primer indicio de angina en sujetos que hacían ejercicio con cardiopatía coronaria expuestos a esta concentración
229-458 mg/m ³ (200-400 ppm)	Después de 5-6 horas se puede observar un leve dolor de cabeza, náuseas, vértigo y síntomas mentales
458-802 mg/m ³ (400-700 ppm)	Después de 4-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, incoordinación muscular, debilidad, vómitos y colapso
802-1260 mg/m ³ (700-1100 ppm)	Después de 3-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, debilidad, vómitos y colapso
1260-1832 mg/m ³ (1100-1600 ppm)	Después de 1.5-3 horas se puede observar coma. (la respiración es aún bastante buena a no ser que el envenenamiento se haya prolongado)
1832-2290 mg/m ³ (1600-2000 ppm)	Después de 1-1.5 horas hay posibilidad de muerte
5726-11452 mg/m ³ (5000-10000 ppm)	Después de 2-15 minutos se puede producir la muerte

Figura 30. Efectos del CO en la salud

Otro gas contaminante relevante y registrado a través de los dispositivos waspmotes es el CO₂, cuya concentración en la atmósfera está aumentando debido fundamentalmente al uso de carburantes fósiles como fuente de energía. Este gas es el principal causante del efecto invernadero y el principal responsable del cambio climático [76]. De este modo, el incremento de las emisiones de CO₂ supone al mismo tiempo un aumento gradual de las temperaturas.

Según la revista digital EcoinTELigencia, basándonos en los conocimientos científicos actuales, el IPCC [77] ha llegado a la conclusión de que si la influencia humana total sobre la atmósfera supera los 550 ppm de CO₂, en medio siglo se produciría un aumento de 3 grados de temperatura, suceso que provocaría un punto de inflexión climático con impactos intolerables sobre el bienestar de la población [78]. Según este artículo, existen tres números para entender realmente el calentamiento global:

- 280 ppm de concentración de CO₂ que ha tenido la Tierra durante la Historia de la Humanidad.
- 392 ppm: la concentración actual que avanza a una velocidad superior a los 5 puntos anuales. No obstante, ya se han superado los 400 ppm de manera histórica [79]
- 350 ppm: la concentración objetivo para no comprometer el futuro de una manera compatible con el crecimiento que necesita la población.

Según un artículo del Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales de España [80], la exposición de las personas a elevadas concentraciones (> 30000 ppm) puede causar dolor de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios. El nivel de CO₂ en la atmósfera suele situarse entre los 300 y los 400 ppm pudiendo alcanzar en zonas

urbanas los 550 ppm. En lugares interiores, pese a que el dióxido de carbono sólo es tóxico para las personas a partir de concentraciones de 2,5% de volumen en el aire, el rendimiento y el bienestar disminuyen a partir de una concentración del 0,08% (800 ppm) [81]. A continuación, puede observarse la norma DIN-1946-2 propuesta por Max von Pettenkofer hace más de 140 años que determina el código actual de calidad de aire, estableciéndose como valor límite superior un valor máximo de CO₂ de 1500 ppm y 1000 ppm como valor límite para una buena calidad del aire:

Concentración de CO₂

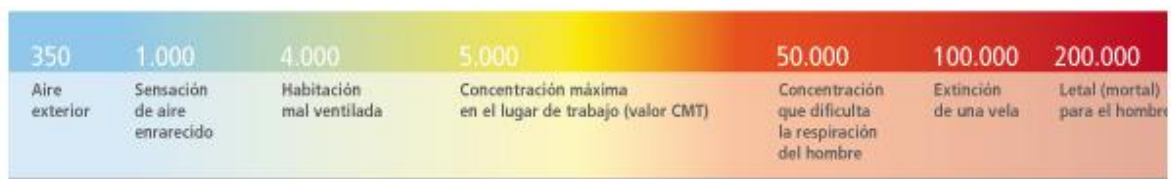


Figura 31. Exposición de CO₂ en interiores

Para los exteriores (Figura 31), se establecen 350 ppm como nivel aconsejable para mantener una buena calidad del aire. Muchos científicos, expertos climáticos y gobiernos progresistas sostienen que este valor debe ser el límite de CO₂ en la atmósfera conforme a no favorecer el empeoramiento del estado actual del cambio climático [82]. Por encima de este dato, se considera la existencia de procesos de combustión (generadores de CO₂) a partir de la detección de valores situados entre los 600 y los 900 ppm [83].

Un artículo publicado por OHS [84] sobre la detección de dióxido de carbono y el control de la calidad del aire indica que la exposición a altas concentraciones de CO₂ puede ocasionar en las personas dolores de cabeza, dolores estomacales, dificultad para respirar y taquicardias entre otros síntomas. Siguiendo con los valores y rangos especificados en el resto de artículos y los expuestos en éste se han definido como umbrales o límites los siguientes:

- 250-350 ppm: nivel normal al aire libre.
- 350-1000 ppm: rango típico encontrado en lugares ocupados con una buena ventilación.
- 1000-2000 ppm: nivel asociado con la presencia de problemas de somnolencia.
- 2000-5000 ppm: se experimentan dolores de cabeza, somnolencia, pérdidas de concentración, incremento del ritmo cardíaco y náuseas. El aire está viciado y estancado.
- 5000 ppm: condiciones inusuales del aire donde es posible la existencia de niveles elevados de otros gases también. Se corresponde con el límite máximo

de exposición al día en lugares de trabajo. Es posible la intoxicación y privación de oxígeno.

- 40000 ppm: niveles altamente peligrosos. Privación de oxígeno.

Conforme a los datos analizados, se han dispuesto los siguientes rangos y límites para la variable atmosférica del CO2 tal y como se detalla en la Figura 32:

```
"CO2Level": {  
  "Nombre": "Concentración de CO2",  
  "NombreAlerta": "CO2",  
  "minValue": "0",  
  "colorMin": "rgba(92, 184, 92, 0.5)",  
  "alertaNivel3": "350",  
  "colorAlertaNivel3": "rgba(255, 235, 59, 0.4)",  
  "alertaNivel2": "1000",  
  "colorAlertaNivel2": "rgb(255, 190, 94, 0.7)",  
  "alertaNivel1": "2000",  
  "colorAlertaNivel1": "rgba(247, 41, 26, 0.4)",  
  "colorMax": "red",  
  "maxValue": "5000",  
  "Unidad": " ppm"  
},
```

Figura 32. Umbrales definidos para CO2

Apéndice D.

Verificación de pautas OWASP

A continuación, se expone cada una de las pautas verificadas y las modificaciones realizadas para cumplirlas:

Código	Pauta	Soluciones planteadas	Superado
2.1	Verificar que todas las páginas y recursos por defecto requieren autenticación exceptuando aquellos que son intencionadamente dispuestos para ser públicos. (Principio de mediación completa)	<p>En el caso de que no exista sesión de usuario activa se redirige al usuario a la ruta '/'</p> <p>Se han configurado las rutas de modo que sólo son accesibles en el caso de que exista la sesión de usuario activa.</p> <p>En las rutas de actualización de perfil y de acceso a la vista de administración se ha determinado que el usuario de la sesión activa únicamente pueda actualizar su perfil y no el de otro, y que el atributo Admin en la base de datos debe estar activo para el acceso a la vista de administración, respectivamente.</p>	Sí
2.2	Verificar que todos los campos de password no hacen eco cuando se ingresan	Se ha hecho que cuando el usuario ingresa sus datos en el registro desaparezcan a continuación y no se muestren en los campos de los formularios correspondientes: login, registro y actualización de perfil.	Sí
2.4	Verificar que todos los controles de autenticación están forzados en el lado del servidor	Todas los eventos que implican autenticación envían peticiones ajax al servidor dónde se realizan los controles pertinentes. Ningún acceso a la base de datos para comprobar la autenticidad del usuario se realiza desde el cliente.	Sí
2.6	Verificar que todos los controles de autenticación fallan de modo seguro para asegurarnos de que los atacantes no pueden loguearse.	Los procesos de autenticación fallidos lanzan una vista error que informa de manera general sin exponer demasiados detalles cuál ha sido el problema, evitando así dar pistas ante un posible situación de ataque.	Sí

2.7	Verificar que los campos de entrada de contraseña permitan o fomenten el uso de frases de contraseña y no impidan que se utilicen contraseñas complejas y largas.	<p>Se ha creado la función "parse_password" que utiliza un expresión regular a modo de comprobar si la contraseña introducida por el usuario satisface los siguientes requisitos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 6 caracteres como mínimo 2. 1 letra mayúscula 3. 1 letra minúscula 4. 1 carácter especial 5. 1 número. <p>Esta funcionalidad se aplica principalmente en los procesos de registro y actualización de perfil</p>	Sí
2.8	Verificar que todas las funciones de autenticación de la identidad de la cuenta (como actualización de perfil, password olvidado, desactivada, etc) que puedan recuperar el acceso a la cuenta sean tan resistentes a un ataque como el mecanismo de autenticación principal.	<p>Cualquier operación para la actualización de perfil requiere las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario está logueado. 2. Se exige introducir el usuario y el password actual a modo de comprobar la autenticidad del usuario. 3. El usuario que intenta hacer los cambios tiene que ser el mismo usuario de la sesión activa. <p>En el proceso de recuperación o generación de contraseña:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se ha habilitado una pregunta de seguridad con su respuesta correspondiente que deben ser especificadas por los usuarios durante el registro de su cuenta. 2. Para que el usuario pueda recuperar la contraseña debe especificar el usuario, la pregunta y la respuesta correctas. 	Sí
2.9	Verificar que la funcionalidad del cambio de password incluye la vieja password, la nueva y la confirmación	<p>En el formulario de actualización de perfil se han habilitado 3 campos diferenciados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Password actual. • Nueva password. • Confirmación de la nueva password. 	Sí
2.12	Verificar que todas las decisiones de autenticación sospechosas se registran. Esto debería incluir metadatos	<p>Se ha creado una colección denominada logs en la base de datos para la gestión de este tipo de eventos. La generación de estos logs se produce en las siguientes circunstancias:</p>	Sí

	relevantes necesarios para las investigaciones de seguridad.	<ul style="list-style-type: none"> Actualización de perfil no permitida por proceso de autenticación fallido o intento de actualización de perfil de otro usuario. Intento de acceso al perfil de otro usuario. Intento de borrado de cuenta de otro usuario. etc <p>En el proceso de login:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se crea un log cuando no se encuentra el usuario o hay un error durante el proceso de verificación. <p>En registro de usuario:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se crea un log cuando se intenta acceder a la ruta “/registro” sin especificar Usuario y Password. Se crea un log cuando se produce un error durante la creación de un nuevo documento en la base de datos. <p>En las rutas de “/actualizarUsuario” y “/verifyPassword” se crean logs cuando:</p> <ul style="list-style-type: none"> Intendo de acceso a la ruta sin sesión de usuario activa. Pese a existir una sesión de usuario activa, se produce un log cuando un usuario intenta actualizar el perfil de otro o conocer un password, respectivamente. Se produce un log de usuario cuando ocurre un error desde el controlador de usuarios durante el acceso a la base de datos. 	
2.13	Verificar que los passwords de cuenta hacen uso de una rutina de cifrado suficientemente fuerte y que resiste el ataque por fuerza bruta sobre la rutina de cifrado	Se hace uso del paquete npm bcrypt-nodejs que utilizar un algoritmo de hashing propio basado en el cifrado Blowfish.	Sí
2.16	Verificar que las credenciales son transportadas usando un enlace cifrado adecuado y que todas las páginas y funciones que requieren que un usuario	Configuración y uso del protocolo de transferencia segura de datos HTTPS	Sí

	introduzca sus credenciales lo hacen usando un enlace encriptado		
2.17	Verificar que la función de password olvidada y otros mecanismos de recuperación no revelan el password actual y que la nueva password no es enviada en texto en claro al usuario	<p>En el registro se ha habilitado una pregunta de seguridad y un campo de texto para que el usuario introduzca la respuesta correspondiente. Cuando el usuario pierde el password y quiere generar uno nuevo tiene que seleccionar la pregunta y especificar la respuesta correcta. En el caso de que tanto el usuario como la pregunta o la respuesta sean correctos se crea un nuevo password.</p> <p>Automáticamente después del usuario enviar la solicitud desaparece el contenido de los campos de cada formulario.</p>	Sí
2.18	Verificar que la enumeración de información no es posible vía login, restablecimiento de password o la funcionalidad de olvidado de cuenta.	En ninguno de los tres casos expuestos en el criterio se realiza enumeración de información o se muestra al usuario ninguno de los datos de la cuenta registrada.	Sí
2.19	Verificar que no existen password por defecto en uso por el framework de la aplicación o algún componente usado por la aplicación.	Las claves de APIs como Google Maps son generadas por el servicio externo correspondiente y se almacenan en un fichero oculto ".configuracion.json" fuera del código fuente. Se ha configurado el fichero .gitignore para que no se añada este archivo al control de versiones de git.	Sí
2.20	Compruebe que la restricción de solicitud está establecida para evitar ataques automatizados contra ataques de autenticación comunes, como ataques de fuerza bruta o ataques de denegación de servicio	Cuando un mismo usuario introduce distintos passwords continuamente sin éxito se bloquea la cuenta del mismo. A través de un e-mail enviado a la persona propietaria de la cuenta, se le indica que debe cambiar su contraseña por motivos de seguridad.	Sí
2.21	Verificar que todas las credenciales de autenticación para el acceso a servicios externos a la aplicación están encriptados y cargados en una localización protegida	Las claves de APIs como Google Maps son generadas por el servicio externo correspondiente y se almacenan en un fichero oculto ".configuracion.json" fuera del código fuente. Se ha configurado el fichero .gitignore para que no se añada este archivo al control de versiones de git.	Sí

2.22	Verificar que las passwords olvidadas y otros campos de recuperación usan un token, un push de móvil o un mecanismo de recuperación sin conexión.	No se ha abordado su desarrollo por falta de tiempo, por lo que no se usan tokens de autenticación ni mecanismos de recuperación sin conexión. Se ha añadido como futuro trabajo a desarrollar y añadir al sistema.	No
2.26	Verificar que re-autenticación, paso a paso o autenticación adaptativa, doble factor de autenticación o firma de transacción es requerida antes de que cualquier operación sensible en la aplicación sea permitida según el perfil de riesgo de la aplicación.	No se ha abordado su desarrollo por falta de tiempo, por lo que se ha añadido como futuro trabajo a implementar y añadir al sistema.	No
2.27	Verificar que existen medidas para bloquear el uso de passwords comunes y frases débiles.	Uso de una expresión regular para controlar que los password dispongan al menos de: <ul style="list-style-type: none"> • 1 mayúscula • 1 minúscula • 1 número • 1 carácter especial • 6 caracteres como mínimo 	Sí
2.28	Verificar que todos los retos de autenticación, aunque sean exitosos y fallidos deberían responder en el mismo tiempo de respuesta medio.	Uso de passport-local para el control de autenticación tanto exitoso como fallido del usuario.	Sí
2.29	Verificar que todas las claves, API keys y passwords no están incluidas en el código fuente o en los repositorios de código online.	Las claves de APIs como Google Maps son generadas por el servicio externo correspondiente y se almacenan en un fichero oculto "configuracion.json" fuera del código fuente. Se ha configurado el fichero .gitignore para que no se añada este archivo al control de versiones de git.	Sí
2.30	Verificar que si una aplicación permite a los usuarios autenticarse usen un mecanismo de autenticación seguro probado.	Uso de HTTPS y del cifrado AES en las comunicaciones con los dispositivos de IoT waspmotes.	Sí
2.31	Verificar que si una aplicación permite a los usuarios autenticarse, pueden hacerlo mediante autenticación de dos factores u otra autenticación fuerte o cualquier esquema similar que proporcione protección contra la divulgación	No se ha abordado su desarrollo por falta de tiempo, por lo que se ha añadido como futuro trabajo añadir autenticación en dos pasos.	No

	de nombre de usuario y contraseña.		
2.32	Verificar que las interfaces de administración no son accesibles por partes no confiables	<p>No es posible el acceso a la ruta “/administracion” sin sesión de usuario y sin comprobar que el usuario es el administrador.</p> <p>Por otro lado, desde el home de usuario general no se ha habilitado ninguna posibilidad de acceso a la interfaz de administración</p>	Sí

Bibliografía

- [1] Torrez, G. Internet de las cosas
- [2] Evans, D., Internet de las cosas. Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo. Informe Técnico, CISCO, 2011 disponible en http://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf
- [3] Ortiz, L., Nelson, R. Internet de las cosas, 2017
- [4] Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., ... & Scholl, H. J. Understanding smart cities: An integrative framework. System Science (HICSS), 2012 45th Hawaii International Conference on (pp. 2289-2297).
- [5] Internet de las Cosas: <https://hipertextual.com/archivo/2014/10/internet-cosas/>
- [6] Sentilo BCN. Plataforma de Sensors i Actuadors de Barcelona. Disponible en: <http://connecta.bcn.cat/connecta-catalog-web/> (accesido el día 25 de mayo de 2017)
- [7] Ojos submarinos para vigilar el volcán de El Hierro. Disponible en: <http://www.abc.es/sociedad/20131110/abci-hierro-volcan-actividad-201311091831.html> (accesido el 29 de mayo de 2017)
- [8] Lluvia de sensores para gestionar catástrofes. Disponible en <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Lluvia-de-sensores-para-gestionar-catastrofes> (accesido el 4 de junio de 2017)
- [9] Trabajo de Fin de Máster que explora el uso de las redes de sensores inalámbricos. Disponible en http://oa.upm.es/21554/1/TESIS_MASTER_VICENTE_ALBARRAN_BLAS.pdf (accesido el 31 de mayo de 2017)
- [10] Telematic management of emergency teams. Disponible en http://iotparaemergencias.com/HTML/index-equipos_en.php (accesido el 30 de mayo de 2017)
- [11] Monitorización de emergencia de víctimas de catástrofes. Proyecto Meris. Disponible en: http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/4426/06_Articulo_MERIS.pdf (accesido el 3 de junio de 2017)
- [12] Sistema de información en tiempo real para la gestión táctica de emergencias. Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo->

- rural/formacion/5_Ponencia_sphera_LIDAR_tcm7-316451.pdf (accedido el 1 de junio de 2017)
- [13] Artículo de revista digital “DIGITAL AV” con título “Indra integra en iSafety su solución global de gestión de emergencias para Smart Cities”. Disponible en: <http://www.digitalavmagazine.com/2013/04/10/indra-integra-en-isafety-su-solucion-global-de-gestion-de-emergencias-para-smart-cities/> (accedido el 4 de junio de 2017)
- [14] FIC: COMSIR-SCADA Telecontrol . Disponible en: http://www.lafcarr.com/wp-content/uploads/FIC_COMSIR-SCADA-Telecontrol.pdf (accedido el 4 de junio de 2017)
- [15] App del 112 que permite localizar y enviar datos de las incidencias. Disponible en: <http://www.rtv.es/noticias/app-del-112-que-permite-localizar-y-enviar-datos-de-las-incidencias-103526.aspx#.WTNduWg1-XI> (accedido el 3 de junio de 2017)
- [16] Dispositivos IoT. Disponile en: <http://www.domodesk.com/a-fondo-que-es-el-internet-de-las-cosas> (accedido el 3 de junio de 2017)
- [17] Waspote sections. Disponible en: <http://www.libelium.com/products/waspote/overview/> (accedido el 1 de junio de 2017)
- [18] Libelium. Disponible en: <http://www.libelium.com/> (accedido el 4 de junio de 2017)
- [19] Casos de estudio de Libelium. Disponible en: <http://www.libelium.com/resources/case-studies/> (accedido el 2 de junio de 2017)
- [20] Libelium World. Disponible en: <http://www.libelium.com/libeliumworld/> (accedido el 1 de junio de 2017)
- [21] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, and Johan Skold. 2016. 4g, Lte-Advanced Pro and the Road to 5g, Third Edition (3rd ed.). Academic Press.
- [22] Waspote 4G Networking Guide. Disponible en: http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote_4g_networking_guide.pdf (accedido el 2 de junio de 2017)
- [23] Callegati, F., Cerroni, W., & Ramilli, M. (2009). Man-in-the-Middle Attack to the HTTPS Protocol. IEEE Security & Privacy, 7(1), 78-81.
- [24] Naylor, D., Finamore, A., Leontiadis, I., Grunenberger, Y., Mellia, M., Munafò, M., ... & Steenkiste, P. (2014, December). The cost of the S in HTTPS. In Proceedings of the 10th ACM International on Conference on emerging Networking Experiments and Technologies (pp. 133-140). ACM.

- [25] Nodejs. Disponible en: <https://nodejs.org/es/> (accedido el 4 de junio de 2017)
- [26] Express. Disponible en: <http://expressjs.com/es/> (accedido el 1 de junio de 2017)
- [27] Chodorow, K. (2013). MongoDB: the definitive guide. " O'Reilly Media, Inc."
- [28] BSON types. Disponible en <https://docs.mongodb.com/manual/reference/bson-types/> (accedido el 1 de junio de 2017)
- [29] Mardan, A. (2014). Boosting your node. js data with the mongoose ORM library. In Practical Node. js (pp. 149-172). Apress.
- [30] Krause, J. (2016). Introduction to Bootstrap. In Introducing Bootstrap 4 (pp. 23-32). Apress.
- [31] Highcharts. Disponible en: <https://www.highcharts.com/> (accedido el 15 de mayo de 2017)
- [32] MPAndroidChart. Disponible en: <https://github.com/PhilJay/MPAndroidChart> (accedido el 2 de junio de 2017)
- [33] Google Maps Api Javascript. Disponible en: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/?hl=es-419> (accedido el 3 de junio de 2017)
- [34] Google Maps Api Android. Disponible en: <https://developers.google.com/maps/documentation/android-api/?hl=es-419> (accedido el 23 de mayo de 2017)
- [35] Socket.io. Disponible en: <https://socket.io/> (accedido el 4 de junio de 2017)
- [36] Pérez, J. E. (2012). Introducción AJAX.
- [37] Transmition Network Data Using Volley. Disponible en: <https://developer.android.com/training/volley/index.html> (accedido el 23 de mayo de 2017)
- [38] Firebase Notifications. Disponible en: <https://firebase.google.com/docs/notifications/?hl=es> (accedido el 1 de junio de 2017)
- [39] Isikligil, Emre, Semih Samakay, and K. Deniz. "A Prototype Framework for High Performance Push Notifications." International Journal of Computer Applications 166.10 (2017).
- [40] Fcm-push. Disponible en: <https://www.npmjs.com/package/fcm-push> (accedido el 3 de junio de 2017)
- [41] Arduino library for AES Encryption. Disponible en: <https://github.com/DavyLandman/AESLib> (accedido el 4 de junio de 2017)

- [42] Sanchez-Avila, C., & Sanchez-Reillo, R. (2001, October). The Rijndael block cipher (AES proposal): a comparison with DES. In *Security Technology, 2001 IEEE 35th International Carnahan Conference on* (pp. 229-234). IEEE.
- [43] Bcrypt-nodejs. Disponible en: <https://www.npmjs.com/package/bcrypt-nodejs> (accedido el 20 de mayo de 2017)
- [44] Configuración 4G Disponible en: <http://www.libelium.com/development/waspmote/examples/4g-03-get-network-info/> (accedido el 3 de junio de 2017)
- [45] Smart gases 3.0. Technical guide. Disponible en: http://www.libelium.com/downloads/documentation/gases_sensor_board_3.0.pdf (accedido el 2 de junio de 2017)
- [46] Gamaza Domínguez, Á. M., & Otte Sainz-Aguirre, J. M. (2016). Memoria de prácticas: Sensores Waspmote.
- [47] IMEI (International Mobile Equipment Identity). Disponible en: <http://whatis.techtarget.com/definition/IMEI-International-Mobile-Equipment-Identity> (accedido el 1 de junio de 2017)
- [48] Socket.io. Disponible en: <https://www.npmjs.com/package/socket.io> (accedido el 29 de mayo de 2017)
- [49] Marcadores. Disponible en: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/markers?hl=es-419> (accedido el 3 de junio de 2017)
- [50] Circles Google Maps. Disponible en: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/examples/circle-simple?hl=es-419> (accedido el 3 de junio de 2017)
- [51] Agencia Estatal de Meteorología. Disponible en : <http://www.aemet.es/es/portada> (accedido el 5 de junio de 2017)
- [52] Geocoding service. Disponible en: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/examples/geocoding-simple?hl=es-419> (accedido el 1 de junio de 2017)
- [53] Highcharts demos. Disponible en: <https://www.highcharts.com/demo> (accedido el 30 de mayo de 2017)
- [54] Plot bands and plot lines. Disponible en: <https://www.highcharts.com/docs/chart-concepts/plot-bands-and-plot-lines> (accedido el 4 de junio de 2017)
- [55] Add Charts to Your Android App Using MPAndroidChart. Disponible en: <https://code.tutsplus.com/tutorials/add-charts-to-your-android-app-using-mpandroidchart--cms-23335> (accedido el 25 de mayo de 2017)

- [56] Zero padding. Disponible en: <http://www.japicoder.es/articulos/cifrado-y-descifrado-con-aes-128-entre-php-y-net> (accedido el 1 de junio de 2017)
- [57] Pautas OWASP versión 3.0. Disponible en: <https://www.owasp.org/images/6/67/OWASPApplicationSecurityVerificationStandard3.0.pdf> (accedido el 3 de junio de 2017)
- [58] Díaz, V. A. (2010). OWASP Top 10 2013: actualización de los riesgos más extendidos asociados a las aplicaciones web. Revista SIC: ciberseguridad, seguridad de la información y privacidad, 92-96.
- [59] Congduc Pham, Communication performances of IEEE 802.15.4 wireless sensor motes for data-intensive applications: A comparison of WaspMote, Arduino MEGA, TelosB, MicaZ and iMote2 for image surveillance, Journal of Network and Computer Applications, Volume 46, November 2014, Pages 48-59, ISSN 1084-8045
- [60] Guinard, D., & Trifa, V. (2016). Building the web of things: with examples in node. js and raspberry pi.
- [61] BeagleBone. Disponible en: <https://beagleboard.org/Black> (accedido el 5 de junio de 2017)
- [62] Arduino. Disponible en: <https://www.arduino.cc/> (accedido el 5 de junio de 2017)
- [63] Nanode. Disponible en: <http://www.nanode.eu/> (accedido el 5 de junio de 2017)
- [64] Sensación térmica: lo que mata es la humedad. Disponible en: <http://blog.nuestroclima.com/sensacion-termica-lo-que-mata-es-la-humedad/> (accedido el 1 de junio de 2017)
- [65] Artículo “El clima: temperatura, humedad, presión”. Disponible en: <http://www.astromia.com/tierraluna/elemclima.htm> (accedido el 25 de mayo de 2017)
- [66] Humedad relativa. Disponible en: <http://meteoares.blogspot.com.es/2010/09/que-es-la-humedad-relativa-como-varia.htm> (accedido el 2 de junio de 2017)
- [67] ¿Qué es la presión atmosférica y cómo funciona? Disponible en: <https://www.meteorologiaenred.com/presion-atmosferica.html> (accedido el 2 de junio de 2017)
- [68] La presión atmosférica. Disponible en: <http://lasrutasdemoskys.blogspot.com.es/2017/03/la-presion-atmosferica.html?m=1> (accedido el 4 de junio de 2017)

- [69] Contaminación atmosférica. Disponible en:
<https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Atmosfera/contatmosf.pdf>
(accedido el 20 de mayo de 2017)
- [70] Directiva 2000/69/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. Disponible en:
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0069&from=ES> (accedido el 5 de junio de 2017)
- [71] Valores límite por contaminantes. Disponible en:
<http://pagina.jccm.es/medioambiente/rvca/legisla04b.htm> (accedido el 3 de junio de 2017)
- [72] Oliu, G., Nogué, S., & Miró, Ò. (2010). Intoxicación por monóxido de carbono: claves fisiopatológicas para un buen tratamiento. *Emergencias*, 22(6), 451-59.
- [73] Monóxido de carbono. Disponible en:
<https://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180398&idsec=1573#> (accedido el 1 de junio de 2017)
- [74] Daños a la Salud por Monóxido de Carbono. Disponible en:
http://www.peruecologico.com.pe/lib_c24_t02.htm (accedido el 2 de junio de 2017)
- [75] Efectos del monóxido de carbono sobre el hombre. Disponible en:
<http://html.rincondelvago.com/efectos-del-monoxido-de-carbono-sobre-el-hombre.html> (accedido el 4 de junio de 2017)
- [76] La concentración de CO₂ en la atmósfera supera un nuevo récord:
<http://www.elperiodico.com/es/noticias/medio-ambiente/co2-atmosfera-supera-nuevo-record-4166896> (accedido el 28 de mayo de 2017)
- [77] Pachauri, R. K., Meyer, L., Plattner, G. K., & Stocker, T. (2015). IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- [78] ¿Por qué de CO₂ en la atmósfera?. Disponible en:
<https://www.ecointeligencia.com/2010/07/porque-350-de-co2-en-la-atmosfera/> (accedido el 1 de junio de 2017)
- [79] The World Passes 400 PPM Threshold. Permanently. Disponible en:
<http://www.climatecentral.org/news/world-passes-400-ppm-threshold-permanently-20738> (accedido el 5 de junio de 2017)
- [80] NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior. Disponible en:
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_549.pdf (accedido el 1 de junio de 2017)

- [81] Sensores de CO2. Disponible en: <https://www.theben.es/Sensores-de-CO2> (accedido el 2 de junio de 2017)
- [82] 350 partículas por millón de CO2. Disponible en: <http://www.tecnozono.com/350ppm> (accedido el 2 de junio de 2017)
- [83] A White Paper: CO2 Ventilation Control And Measurement Of Outside Air. Disponible en: <http://www.airtesttechnologies.com/support/datasheet/CO2MeasurementAndOutsideAir.pdf> (accedido el 3 de junio de 2017)
- [84] Carbon Dioxide Detection and Indoor Air Quality Control. Disponible en: <https://ohsonline.com/Articles/2016/04/01/Carbon-Dioxide-Detection-and-Indoor-Air-Quality-Control.aspx> (accedido el 1 de junio de 2017)