Capítulo 6

Arquitectura del sistema ubicuo: Escenario IOT

Este capítulo describe un desarrollo tecnológico basado en Internet de las Cosas, utilizando la plataforma SIGFOX (Soportada por una red LPWAN de bajo consumo) y un prototipo a nivel de hardware que permite garantizar, por un lado, interactividad en los televidentes que tienen dificultades de conexión a Internet y, por otro lado, hacer mediciones de la calidad de la experiencia (QoE) en transmisiones en las clases dirigidas a este tipo de comunidades. Esto para tener insumos que permitan definir estrategias de mejoramiento en pro de garantizar niveles óptimos de calidad en este tipo de formación a distancia.

En los últimos años el mundo ha sido testigo del rápido crecimiento de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), que han adquirido una importancia cada vez mayor. Esas tecnologías se han convertido en un activo dinámico, estratégico e indispensable para el desempeño de la misión y el logro de los objetivos de todas las organizaciones (Zhang & Chulkov, 2011). La televisión digital es una variante de las TIC que presenta uno de los mayores avances en la implantación de nuevos modelos educativos a distancia, haciendo del televisor un instrumento interactivo para la adquisición de contenidos educativos por parte de los usuarios.

Esto ha llevado a que la Institución Universitaria Antonio José Camacho pretenda afianzar su política de cobertura educativa en las comunidades que no tienen acceso en los diferentes ambientes de aprendizaje de sus sedes, por ello, en el marco de un proyecto de investigación aplicada que se enfoca en el desarrollo de servicios para formación ubicua (tipo de formación que puede ser ejecutada en cualquier lugar, en cualquier espacio físico y por medio de cualquier dispositivo) se implementó una infraestructura de red piloto basada en Televisión Digital (TDT) para ofertar inicialmente cursos complementarios a distancia bajo el concepto de T-Learning (Formación a través de la televisión digital).

La propuesta de masificar los servicios educativos sobre la TDT está soportada por aplicaciones híbridas de tipo HBBTV, las cuales permiten desarrollar soluciones web interactivas que se integrarían a la emisión de contenidos de audio y video sobre el estándar DVB-T2, que rige actualmente la emisión de la señal TDT. Sin embargo, en algunas comunidades rurales aún se presentan problemas de conexión a Internet, lo que dificulta tener una interacción de los estudiantes con los servicios de clases en vivo emitidas por el docente.

Las situaciones definidas anteriormente requieren de soluciones alternativas que permitan garantizar la interactividad sobre la TDT y hacer las mediciones de la calidad de la experiencia (QoE) para conocer los niveles de audio, video y la comprensión de los contenidos que se emiten de forma masiva en una clase en vivo a este tipo de comunidades.

Por esta razón, en este capítulo se describe un desarrollo tecnológico basado en soluciones que hagan uso del concepto de Internet de las Cosas, utilizando la plataforma SIGFOX (Soportada por una red LPWAN de bajo consumo) y un prototipo a nivel de hardware que permita garantizar, por un lado, interactividad en los telespectadores que tienen dificultades de conexión a internet y, por otro lado, hacer mediciones de la calidad de la experiencia en transmisiones en las clases dirigidas a este tipo de comunidades. Esto para tener insumos que permitan definir estrategias de mejoramiento en pro de garantizar niveles óptimos de calidad en este tipo de formación a distancia.

6.1 Metodología utilizada

Con el fin de ejecutar eficientemente el desarrollo de la solución para validar la calidad de la experiencia en transmisión de video en tiempo real, se propone una variante compuesta de la metodología de Software RUP y XP. En la metodología RUP se manejan ciclos iterativos, se define un manejo del tiempo, se hereda de modelos y se define una documentación estricta, por el lado de la metodología XP se establece un enfoque en las personas, se obtienen resultados rápidos, el cliente interactúa con el proceso y se permite la refactorización del código. La metodología híbrida propuesta se basa en una fase de investigación, dos fases iterativas de implementación y pruebas y una fase final de producción. Las fases y actividades del proyecto son las que se muestran en el siguiente diagrama. La Figura 46 muestra la estrategia metodológica con las diferentes fases y la secuencia en que se llevarán a cabo.

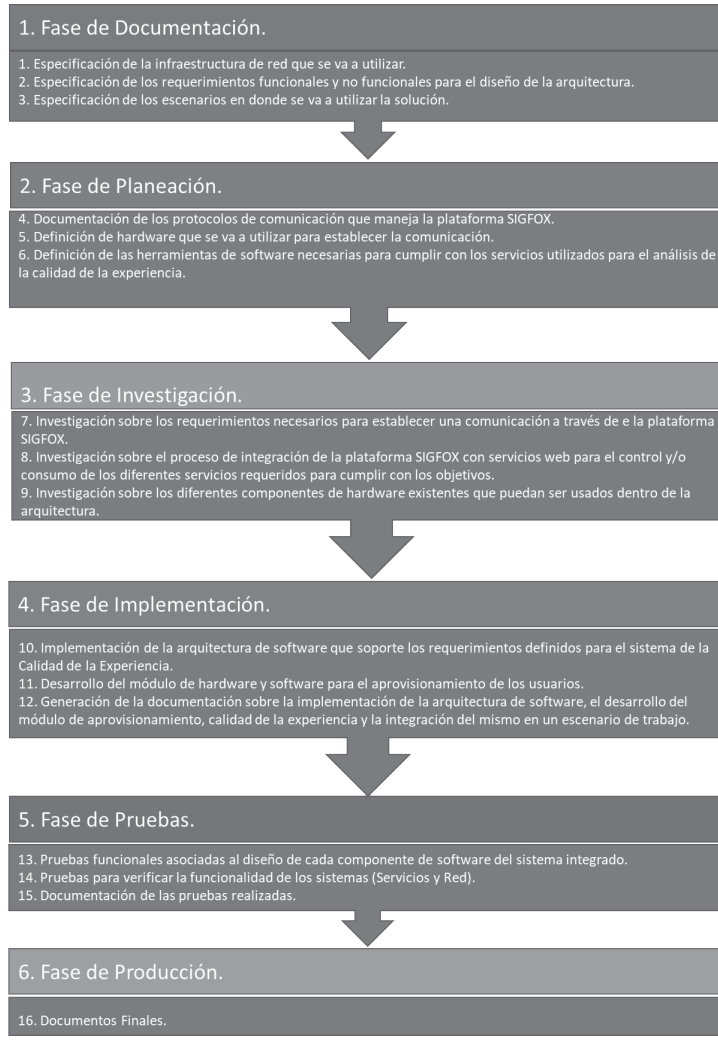

Figura 46. Estrategia metodológica
Fuente: los autores.

6.2 Diseño de la arquitectura propuesta

Teniendo en cuenta los estándares y protocolos de IOT, la caracterización de los escenarios de formación ubicua y los niveles de medición de QoE, se definen los requerimientos funcionales de la solución tecnológica a implementar. Inicialmente a través de la vista de los casos de uso se modela una vista de escenarios para realizar una definición del alcance funcional del producto software en cada uno de los subsistemas funcionales que los constituyen, luego se plantea una arquitectura inicial (basada en la descripción de los casos de uso) y se especifican algunas decisiones de diseño para la implementación de la arquitectura final del sistema que está conformada por las cuatro vistas de Kurtchen que son:

- **Vista de despliegue:** compuesta por un diagrama de Nodos y Componentes que explica en detalle cada uno de los servidores (Nodos) que conforman la arquitectura y sus aplicaciones a nivel de software (Componentes).

- **Vista lógica:** describe tres escenarios para modelar la interacción en el tiempo de los componentes de software por medio de diagramas de secuencia.

- **Vista de procesos:** describe un diagrama de actividad en el cual se especifica la interacción del Docente y Estudiante con los procesos del software enfocados a la evaluación de la calidad de la experiencia.

6.2.1 Vista de procesos de la arquitectura

La vista de procesos de la arquitectura se describe por medio de un diagrama de actividad que permite representar la aplicación T-learning como un flujo de trabajo por medio de una serie de acciones de software ejecutadas por el Administrador-docente y soportadas por los componentes de dicha aplicación, que se ejecutan desde el servidor de aplicación (incluyendo las bases de datos) ya descritos en el diagrama de Nodos y componentes. La Figura 47 muestra el diagrama de actividades del Administrador-docente.

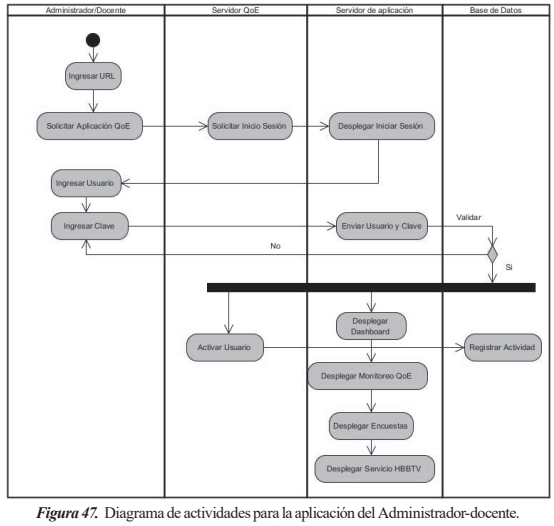

Figura 47. Diagrama de actividades para la aplicación del Administrador-docente.
Fuente: los autores.

En la Figura 48 se muestra un diagrama de nodos y componentes de la arquitectura para la oferta de servicios T-Learning. Cada componente es un módulo de software ejecutable.

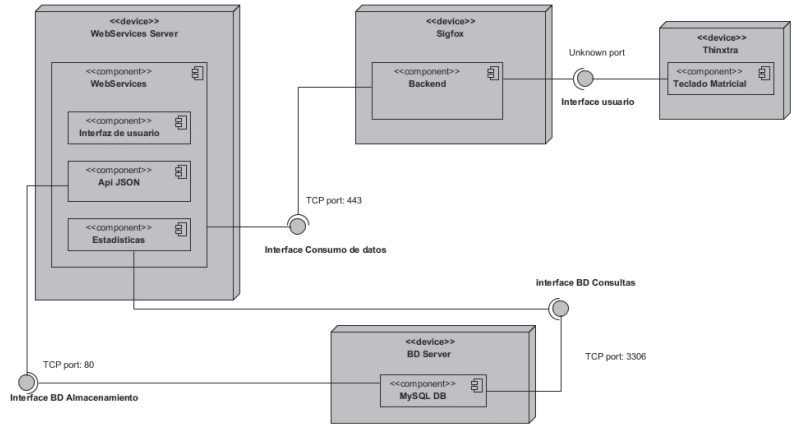

Figura 48. Diagrama de despliegue.
Fuente: los autores.

El diagrama de despliegue los conforma los siguientes nodos:

- **Nodo Web Service:** en este nodo se encuentran los servicios que recogen la información suministrada por el Backend de Sigfox, contiene una interfaz de usuario para la gestión de estudiantes, cursos, dispositivos y el despliegue de la clase en vivo. También contiene las estadísticas conformadas por las respuestas enviadas por los estudiantes y una API a través de la cual se almacena y se consulta la información de las respuestas enviadas por los estudiantes.

- **Nodo Sigfox:** este nodo contiene el Backend de Sigfox, que es en donde se reciben los datos enviados por los dispositivos Thinxtra, a través de los cuales se está realizando la calificación de QoE y se responden preguntas durante la clase en vivo. Contiene todas las herramientas de Sigfox, dedicadas a la comunicación de dispositivos IOT. La forma como se realiza la comunicación para este proyecto es a través de una URL de Callback que utiliza el servidor de aplicaciones para traer la información que llega al backend.

- **Nodo BD Server:** es el servidor de base de datos en donde se acumulan las respuestas enviadas por los estudiantes y se sincronizan mediante una API para mostrar las estadísticas de las valoraciones de los estudiantes en tiempo real. También contiene los datos de inicio de sesión de los administradores-docentes.

- **Nodo Dispositivo Thinxtra:** es el dispositivo a través del cual se realiza la calificación de QoE, se conecta a través de UNB (Ultra Narrow Band) a la infraestructura de red de Sigfox y desde ahí se realiza la transmisión de las calificaciones al Backend de Sigfox. Los datos que llegan al Backend posteriormente son consumidos por el servidor de aplicaciones a través de una URL de Callback.

6.2.2 Vista lógica

La vista lógica la conforman los diagramas de secuencia de las interacciones del docente y administrador, la gestión de los procesos de validación de estudiantes y la calificación de la calidad de la experiencia en el escenario de prueba donde se validará la solución tecnológica.

6.2.2.1 Diagrama de Secuencia Docente/Administrador (Iniciar Sesión).

El administrador tiene una interacción directa con el servidor de aplicaciones, realiza el proceso de autenticación en el módulo de inicio de sesión. Una vez se valide el ingreso al sistema, el administrador puede acceder a los componentes de configuración de los cursos, gestión de estudiantes, gestión de dispositivos, estadísticas y desarrollo de la encuesta QoE. En la Figura 49 se puede apreciar el diagrama de secuencia Inicio Sesión (Administrador/Docente).

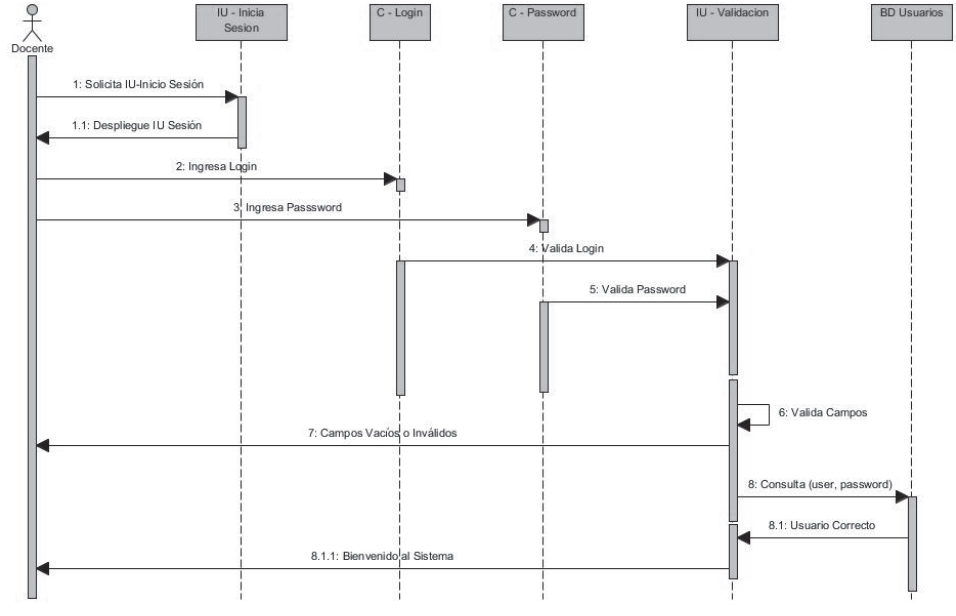

Figura 49 Diagrama de Secuencia Docente/Administrador (Iniciar Sesión).
Fuente: los autores.

6.2.2.2 Diagrama de Secuencia Gestión de Estudiantes.

El Docente/Administrador tiene una interacción directa con los módulos de gestión de usuario en donde él podrá registrar los datos del estudiante en la plataforma, a la vez que también podrá asignar el estudiante al curso que el estudiante decida. La aplicación a su vez se encarga de almacenar los datos en una base de datos y de esta manera podrá realizar consultas y actualizaciones de estudiantes. En la Figura 50 se puede apreciar el diagrama de secuencia de la Gestión de Estudiantes.

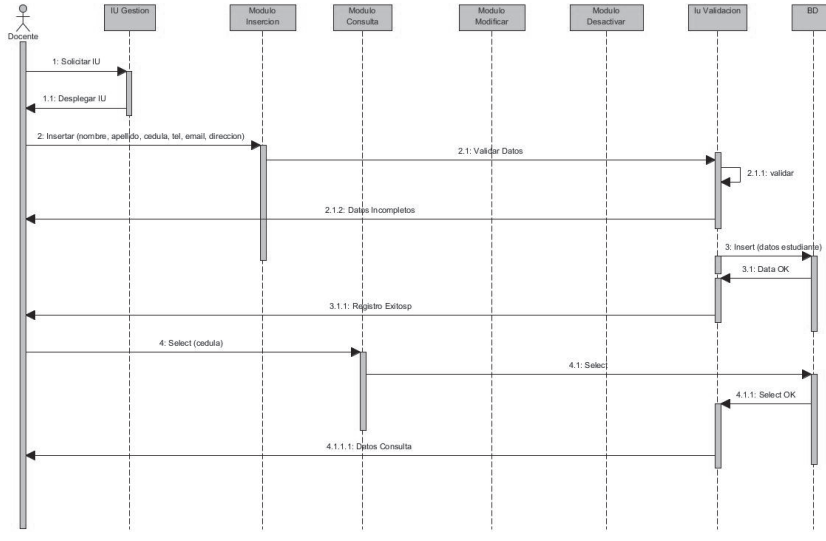

Figura 50. Diagrama de Secuencia Gestión de Estudiantes
Fuente: los autores.

6.2.2.3 Diagrama de Secuencia Calificación de QoE

En la calificación de QoE, el Docente y el Estudiante interactúan en tiempo real, el docente realiza la transmisión de la clase, despliega el video que es recibido por el estudiante a través del canal de TDT, el docente emite la encuesta y el estudiante responde a través del dispositivo IOT. Finalmente, se guardan las respuestas y se generan las estadísticas. En la Figura 51 se puede apreciar el diagrama de secuencia Calificación de QoE.

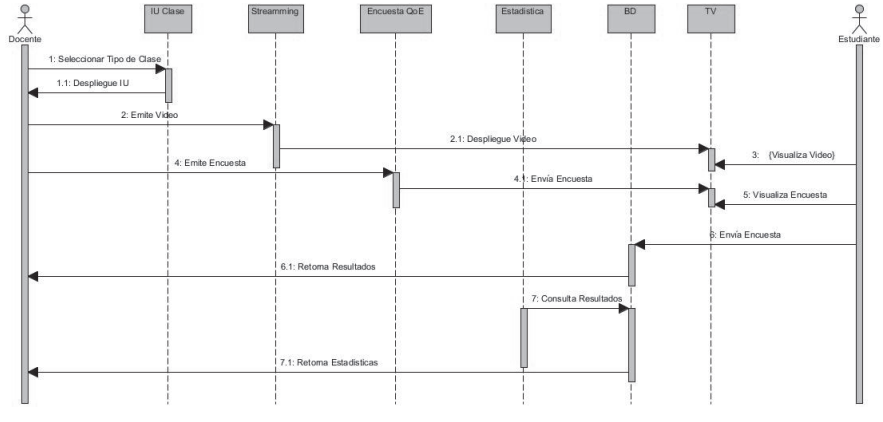

Figura 51. Diagrama de Secuencia Gestión de Estudiantes.
Fuente: los autores.

6.2.3 Vista de escenarios

Al contar con dos roles definidos en el sistema (Administrador/Docente, Estudiante) y los requerimientos funcionales, se propone en la vista de los escenarios de la arquitectura un diagrama de casos de uso con su descripción general enfocado hacia las actividades que realiza el rol de "Docente" y un diagrama de casos de uso enfocado a las actividades del rol "Estudiante". Las figuras 52 y 53 muestran los diagramas de casos de uso del Administrador-Docente y del Estudiante respectivamente

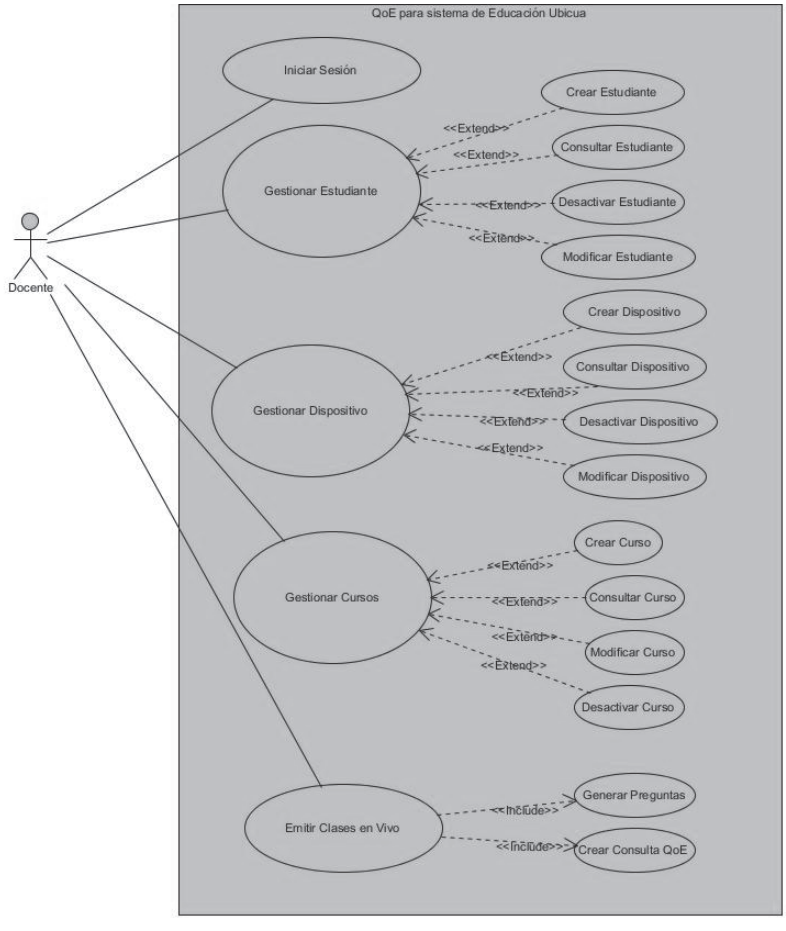

Figura 52. Diagrama de casos de Uso Administrador/Docente.
Fuente: los autores.

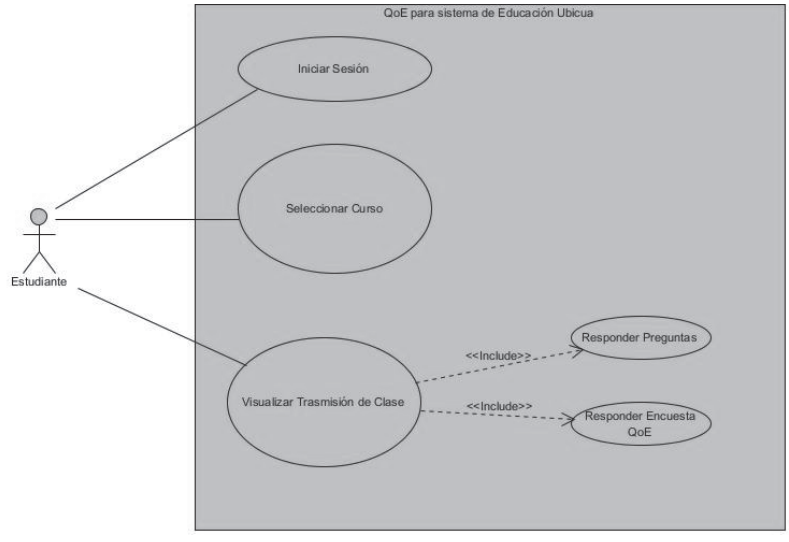

Figura 53. Diagrama de casos de uso Estudiante.
Fuente: los autores.

6.3 Implementación de la solución tecnológica

Con los servicios de arquitectura que se realizará la implementación, se trata de lograr que los datos registrados por el usuario viajen a través de la infraestructura de red de Sigfox, lo cual facilita mucho la conectividad, debido a que se realiza a través de una tecnología de radiofrecuencia de gran alcance. Esto con el fin de que la información sea enviada a un back-end (servicio en la nube) desde donde puede ser consumida a través de un proveedor de servicios de aplicaciones o una aplicación web propietaria.

6.3.1 Definición de la infraestructura de red

La infraestructura de red se integra con Sigfox, que se caracteriza por ser un servicio de red de cobertura amplia de bajo consumo – LPWAN (Low Power Wide Area Network), una red inalámbrica que fue creada para que funcione e interactúe con dispositivos de bajo consumo energético. Esta infraestructura de red funciona con la tecnología de transmisión UNB (Ultra Narrow Band), lo que permite tener una cobertura mucho más amplia geográficamente para proporcionar interactividad y poder realizar calificación de la Calidad de la Experiencia (QoE) sobre los servicios de Televisión digital en lugares remotos y que presentan deficiencia en conectividad a Internet.

6.3.1.1 Arquitectura para el intercambio de información de la plataforma Sigfox.

La arquitectura que maneja Sigfox corresponde al modelo de intercambio de datos a través del back-end, que se refiere a una arquitectura de comunicación que permite que los usuarios exporten y analicen datos de objetos inteligentes de un servicio en la nube en combinación con datos de otras fuentes. Esta arquitectura permite agregar y analizar los datos recogidos de flujos obtenidos del dispositivo Thinxtra (Dispositivo IOT) utilizado para este proyecto. De acuerdo con esto, la calificación de QoE podrá ser emitida a través de servicios asociados o

interfaces de programación de aplicaciones (APIs) en la nube, lo que garantiza el despliegue de las estadísticas QoE en tiempo real. En la Figura 54 se observa el Modelo de intercambio de datos a través del Back-end utilizado para el desarrollo de este proyecto.

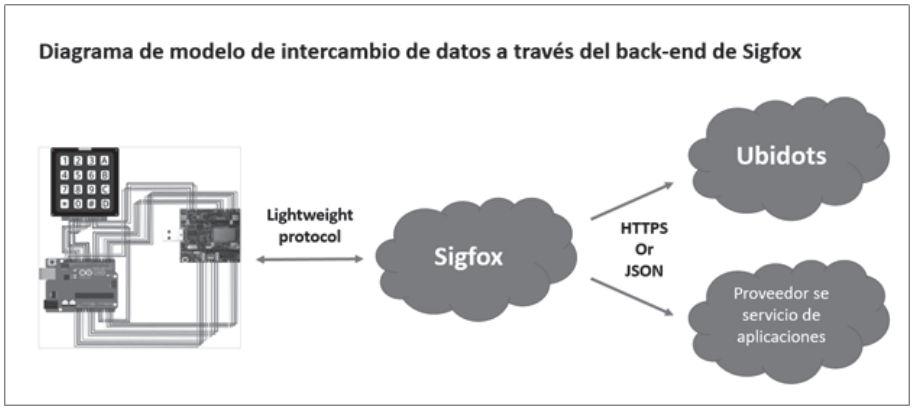

Figura 54. Modelo de Intercambio de datos a través del Back-end de Sigfox.
Fuente: los autores.

6.3.1.2 Proceso de comunicación a través de la plataforma Sigfox

Para crear un enlace entre Sigfox Cloud y su plataforma/servidor se han establecido dos formas de comunicación para responder a todos los requisitos del cliente: métodos de devolución de llamadas y una API REST.

Para el caso del presente proyecto se ha tomado como mejor opción el método de devolución de llamadas, dado que es la forma en la que se pueden enviar datos personalizados emitidos no por un sensor, sino por un teclado matricial operado por un estudiante que requiere realizar calificación de QoE. En la Figura 55 se muestran las formas en las que se puede comunicar Sigfox con la granja de servidores QoE.

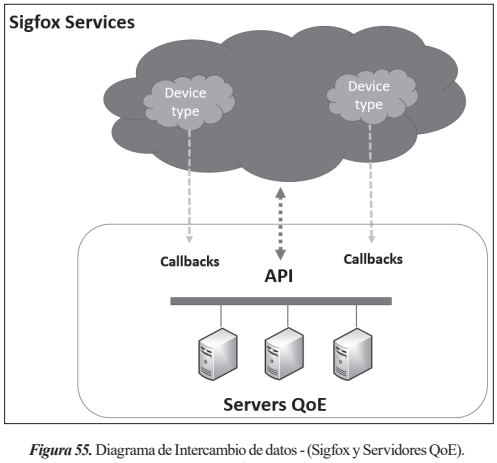

Figura 55. Diagrama de Intercambio de datos - (Sigfox y Servidores QoE).
Fuente: los autores.

6.3.1.3 Herramientas de software necesarias para cumplir con los servicios utilizados para el análisis de la calidad de la experiencia

Para dar cumplimiento a los requerimientos se debe contar con el siguiente software:

- Un motor de base de datos.
- Un servidor web desde donde se puedan consumir los datos recolectados por el back-end de Sigfox.
- Una aplicación Web que realice las consultas necesarias a la base de datos para desarrollar las estadísticas y presentarlas bien sea en forma de tablas o gráficamente.

6.3.2 Pruebas realizadas con el Kit de desarrollo de Thinxtra y el teclado matricial

Se realizaron pruebas con el Kit de Desarrollo Thinxtra, el cual se programó previamente utilizando el IDE de Arduino. Se configuran las librerías que permiten la conexión a través del Thinxtra con la plataforma Sigfox (WISOL.h, wire.h) y las librerías para el funcionamiento del teclado matricial (Keypad.h). La Figura 56, muestra las librerías utilizadas en el IDE de Arduino.

```
1  #include <WISOL.h>
2  #include <LiquidCrystal.h>
3  LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);  //Pines donde va conectada la pantalla (RS, E, D4, D5, D6, D7)
4  #include <Keypad.h>
5  #include <Tsensors.h>
6  #include <Wire.h>
7  #include <math.h>
8  #include <avr/wdt.h>
9
```

Figura 56. Librerías que se utilizan en el código de Arduino.
Fuente: los autores.

Se programó la tecla numeral con la función SendSensor para que al presionar se realice el envío de la calificación. La Figura 57 muestra el código correspondiente a la Tecla numeral (#).

```
337      case '#':
338        //Condicional para que avance el cursor si anteriormente se estaba presionando una tecla distinta
339        lcd.clear();
340        Send_Sensors();
341        delay(1000);
342        posX = 0;
343        posY = 0;
344        lcd.print("Message sent");
345        delay(2000);
346        lcd.clear();
347        mensaje = "";
348        break;
349
```

Figura 57. Programación de la tecla numeral para enviar el mensaje.
Fuente: los autores.

La función SendSensor envía los datos concatenados en la variable calificación. Esta función utiliza otra función llamada SendPload, que es la que se encarga de establecer la conexión con la red de Sigfox y enviar el mensaje de calificación a través de ella. La Figura 58 muestra la función que realiza el envío del mensaje.

```
91  void Send_Sensors(){
92    UINT16_t tempt, photo, pressure;
93    INT16_t x_g, y_g, z_g, calificacion, califica;
94    acceleration_xyz *xyz_g;
95    FLOATUNION_t a_g;
96
97    // Sending a float requires at least 4 bytes
98    // In this demo, the measure values (temperature, pressure, sensor) are scaled to ranged from 0-65535.
99    // Thus they can be stored in 2 bytes
100   tempt.number = (uint16_t) (tSensors->getTemp() * 100);
101   Serial.print("Temp: "); Serial.println((float)tempt.number/100);
102   pressure.number =(uint16_t) (tSensors->getPressure()/3);
103   Serial.print("Pressure: "); Serial.println((float)pressure.number*3);
104   photo.number = (uint16_t) (tSensors->getPhoto() * 1000);
105   Serial.print("Photo: "); Serial.println((float)photo.number/1000);
106   califica.number = (int16_t) (mensaje);
107   Serial.print("Calificacion: "); Serial.println(mensaje);
```

Figura 58. Función que realiza la codificación del mensaje para ser enviado.
Fuente: los autores.

```
77  // SendPayload Function => Send messages to the Sigfox Network
78  void Send_Pload(uint8_t *sendData, int len) {
79    recvMsg *RecvMsg;
80
81    RecvMsg = (recvMsg *)malloc(sizeof(recvMsg));
82    Isigfox->sendPayload(sendData, len, 0, RecvMsg);
83    for (int i = 0; i < RecvMsg->len; i++) {
84      Serial.print(RecvMsg->inData[i]);
85    }
86    Serial.println("");
87    free(RecvMsg);
88  }
89
```

Figura 59. Función que realiza el envío de la información a través de la red de Sigfox.
Fuente: los autores.

6.3.3 Resultado de las pruebas realizadas con el Kit de Thinxtra

Los siguientes son los resultados obtenidos a nivel de consola IDE Arduino. Como se puede apreciar en la siguiente imagen, se realiza envío de una calificación de 5 y se observa al final el mensaje exitoso de la operación. La Figura 60 muestra las pruebas de envío visualizadas en el monitor serial del IDE de Arduino.

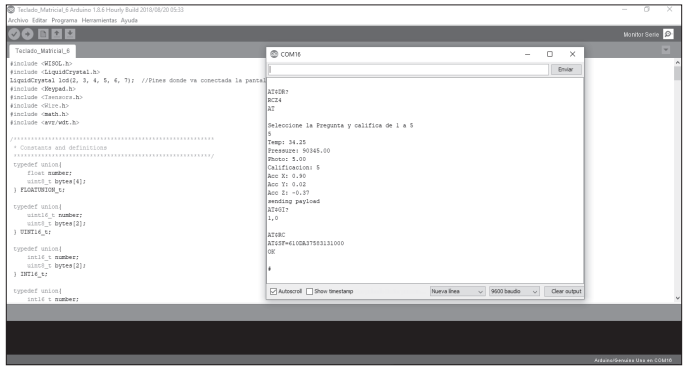

Figura 60. Pruebas de envío visualizadas en el monitor de Arduino.
Fuente: los autores.

6.3.3.1 Resultados de las pruebas observadas en el Backend de Sigfox

Las pruebas realizadas en la consola IDE Arduino se reflejan inmediatamente en el backend de Sigfox. A continuación, las muestras de los mensajes enviados desde el Kit de Thinxtra en donde se observan los datos que recibe la plataforma Sigfox, de acuerdo con la configuración del tipo de dato realizada en el callbak. Las figuras 61 y 62 muestran los mensajes que almacena la plataforma Sigfox y la prueba de callback con la calificación enviada y recibido por el backend de Sigfox respectivamente.

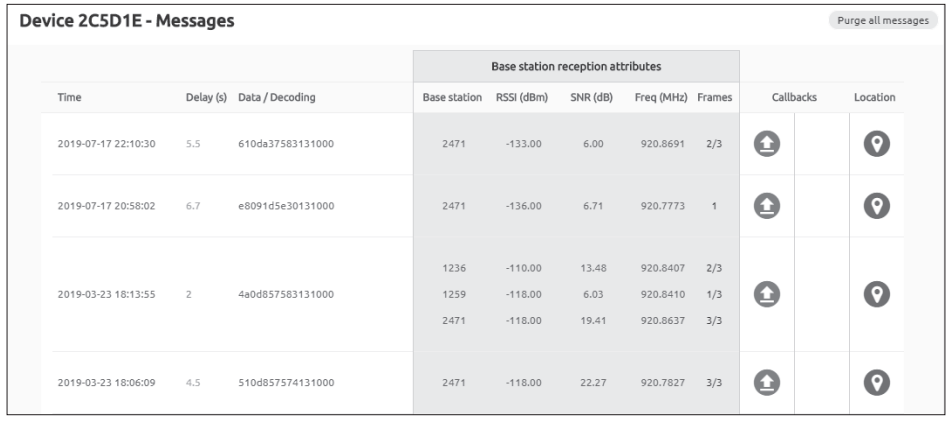

Figura 61. Mensajes que llegan al backend de Sigfox.
Fuente: https://backend.sigfox.com

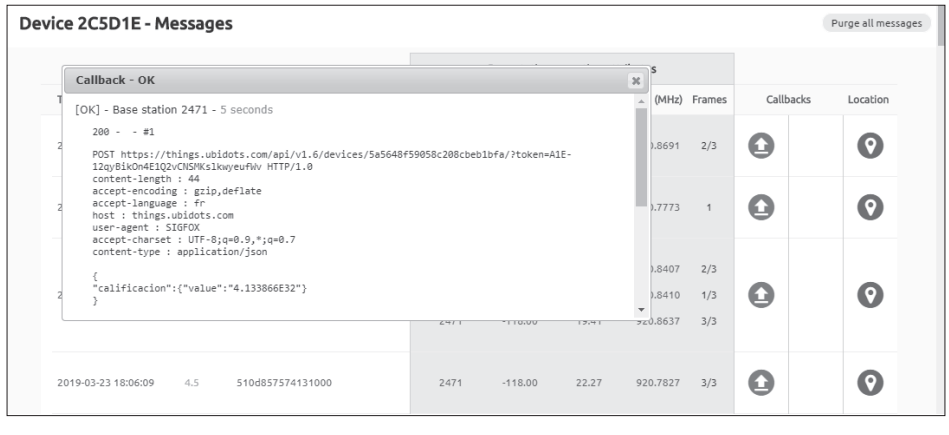

Figura 62. Prueba de callback con la calificación enviada.
Fuente: https://backend.sigfox.com

6.3.3.2 Consumo de datos del Backend de Sigfox a través de la plataforma Ubidots Education.

Utilizando una URL de callback se direccionan los datos recolectados por el backend de sigfox hacia la plataforma de Ubidots Education y, posteriormente, se presentan a través de un dashboard. A continuación, la imagen relaciona el dashboard que se puede crear gráficamente en la plataforma Ubidots Education. En esta imagen se pueden observar los sensores que contiene el dispositivo y el valor actual de cada uno de ellos. Las figuras 63 y 64 muestran el dashboard de Ubidots en donde llega el mensaje y el detalle de mensajes recibidos en la plataforma Ubidots respectivamente.

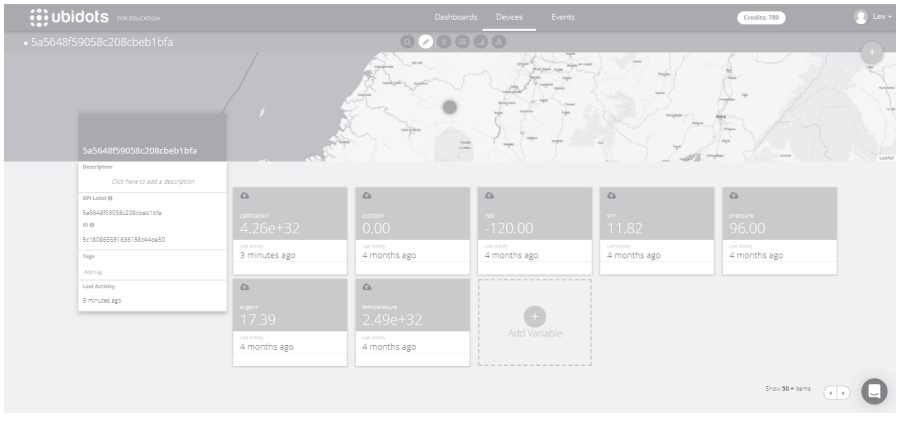

Figura 63. . Dashboard de Ubidots a donde llega el mensaje.
Fuente: https://app.ubidots.com/ubi/datasources/#/detail/5c180865591636198c44de50

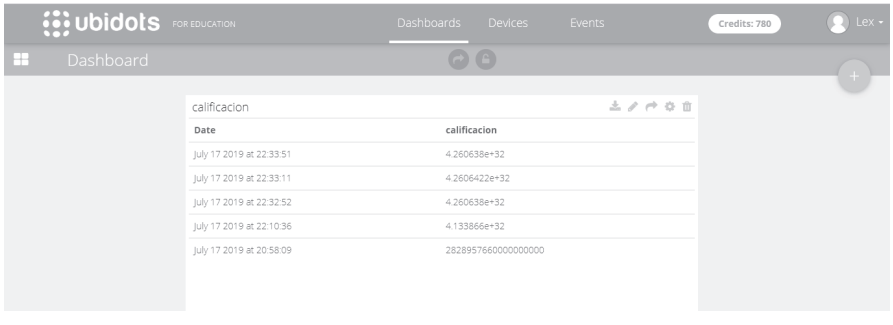

Figura 64. Detalles de mensajes recibidos en la plataforma Ubidots.
Fuente: https://app.ubidots.com/ubi/insights/#/list

6.3.4 Prototipo de la aplicación T-Learning

El prototipo de la aplicación que se usó para la solución fue desarrollado con el framework Angular, el cual permite crear aplicaciones web responsivas que pueden ser desplegadas desde cualquier navegador o dispositivo móvil. Este framework está basado en NodeJS, TypeScript,

HTML y CSS para la parte visual. En la Figura 65 se detallan los aspectos de desarrollo relacionados con la vista que define la interfaz de la aplicación, el controlador que se encarga de comunicarse con la colección de datos y el servicio que tiene el almacenamiento de la información relacionada con los diferentes procesos de la aplicación.

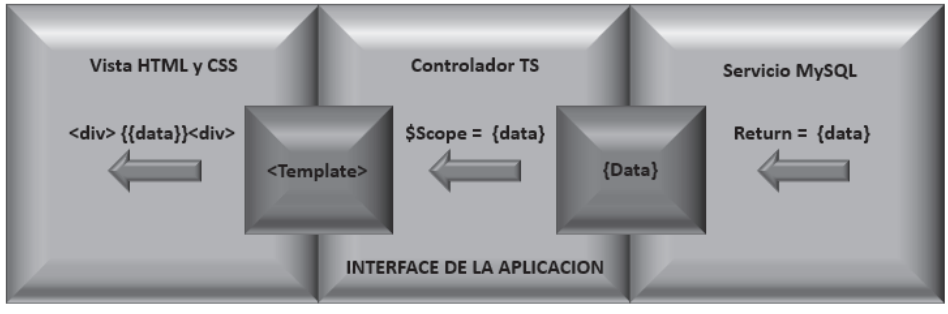

Figura 65. Interface de la Aplicación
Fuente: los autores.

En el módulo de configuración se maneja una vista en Angular, HTML y CSS, la cual se conecta por medio de un JSON al controlador, el cual está desarrollado en TypeScript y se integra con MySQL por medio del protocolo HTTP. En la Figura 66 se observan algunas etiquetas en HTML usadas para la página principal que redirecciona a los diferentes módulos.

```
<mat-toolbar color="primary">Menu</mat-toolbar>
<mat-nav-list>
  <a matLine mat-list-item href="/config"><i class="material-icons md-48">settings </i>Configur
  <a matLine mat-list-item href="/en-vivo"><i class="material-icons md-48">airplay </i>En vivo
  <a mat-list-item href="/cuestionario"><i class="material-icons md-48">live_help </i>Banco de
  <a mat-list-item href="/estadistics"><i class="material-icons md-48">trending_up </i>Estadist
  <!--<a mat-list-item href="/en-vivo"><i class="material-icons md-48">trending_up </i>Prueba</
</mat-nav-list>
</mat-sidenav>
<mat-sidenav-content>
<mat-toolbar color="primary">
```

Figura 66. Etiquetas HTML página principal.
Fuente: los autores.

Una vez la aplicación se encuentre en ejecución se vería de la siguiente forma. En la Figura 67 se muestra la configuración de la aplicación.

Figura 67. Módulo de Configuración.
Fuente: los autores.

En el módulo de Clase en Vivo se maneja una vista basada en Angular, HTML y CSS conectada por medio de un JSON al controlador, el cual está desarrollado en TypeScript y se comunica con el servicio de Streaming por medio del protocolo HTTP. En la Figura 68 se puede apreciar el bloque de componentes del módulo Clase en Vivo.

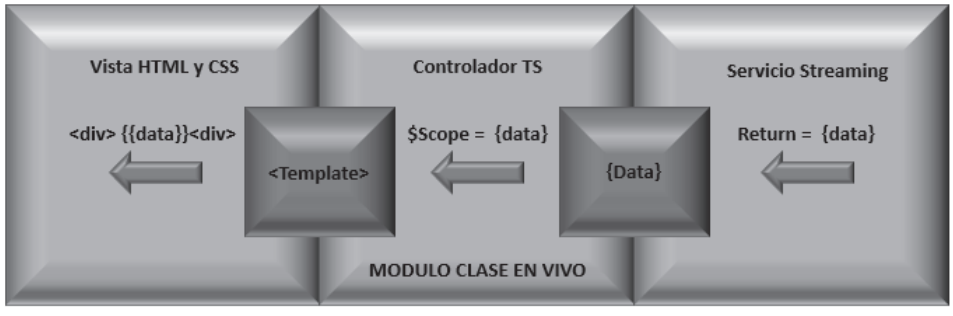

Figura 68. Modulo Clase en Vivo.
Fuente: los autores.

Una vez la aplicación se encuentre en ejecución se vería de la siguiente forma. En la Figura 69 se muestra la transmisión en vivo. Se debe tener en cuenta que la aplicación, al integrarse al proyecto macro, consumiría el streaming desde la plataforma T-Learning a través del canal de TDT.

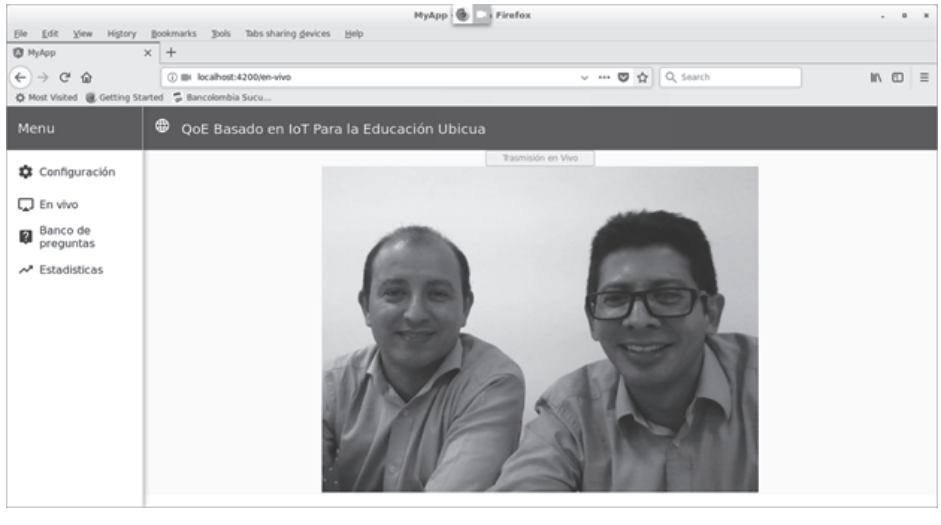

Figura 69. Módulo de clase en vivo.
Fuente: los autores.

El módulo de Banco de Preguntas maneja una vista en Angular basado en HTML y CSS, el cual se conecta por medio de un JSON al controlador desarrollado en TypeScript, este se conecta con el servicio de MySQL por medio de conector desarrollado en PHP. En la Figura 70 se observa el bloque de componentes del módulo Banco de Preguntas.

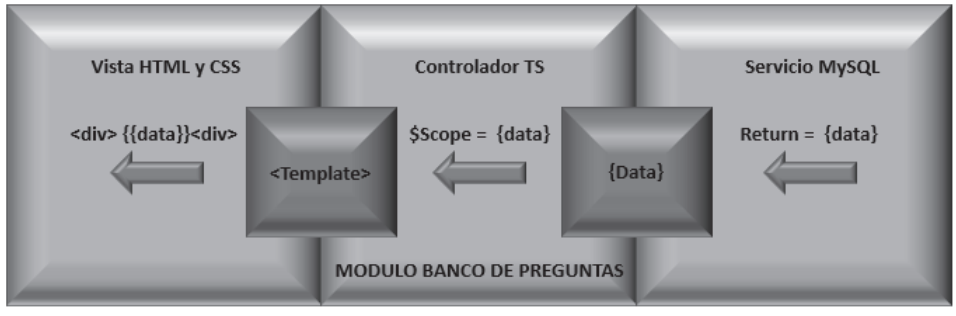

Figura 70. Banco de Preguntas.
Fuente: los autores.

Una vez la aplicación se encuentre en ejecución se vería como se muestra en la Figura 71.

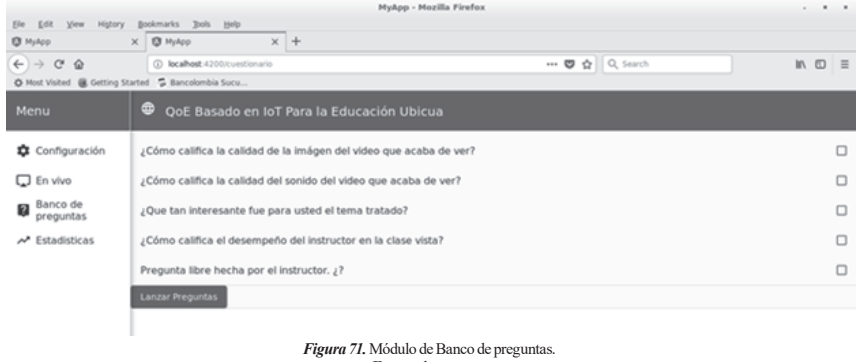

Figura 71. Módulo de Banco de preguntas.
Fuente: los autores.

En el módulo de Estadísticas se desarrolló en Angular basado en HTML y CSS, el cual se conecta por medio de un JSON al controlador desarrollado en TypeScript, este se conecta con el servicio de MySQL por medio conector desarrollado en PHP. En la Figura 72 se puede apreciar el bloque de componentes y estadísticas.

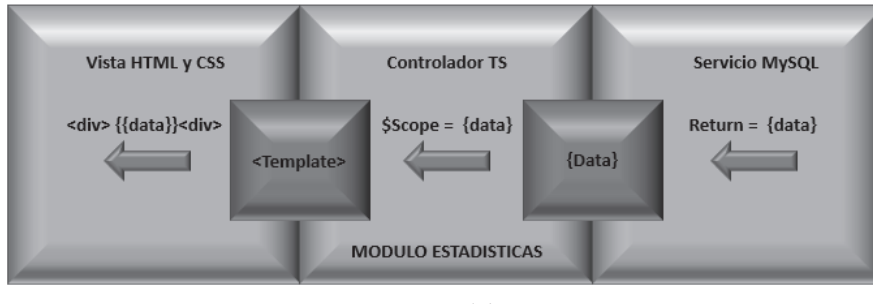

Figura 72. Estadísticas.
Fuente: los autores.

Una vez la aplicación se encuentre en ejecución se vería como se ilustra en la Figura 73.

Figura 73. Módulo de estadísticas.
Fuente: los autores.

Teniendo en cuenta la implementación definida en este capítulo, algunos de los aspectos más relevantes en el desarrollo de este proyecto que aportan a la investigación son:

1. Este proyecto propone un desarrollo tecnológico basado en soluciones que hagan uso del concepto del Internet de las Cosas, utilizando la plataforma SIGFOX (Soportada por una red LPWAN de bajo consumo) y un prototipo a nivel de hardware que garantizó, por un lado, interactividad en los telespectadores que tienen dificultades de conexión a Internet y, por otro lado, hacer mediciones de la calidad de la experiencia en transmisiones en las clases dirigidas a este tipo de comunidades. Esto para tener insumos que permitan definir estrategias de mejoramiento en pro de garantizar niveles óptimos de calidad en este tipo de formación a distancia.

2. Teniendo en cuenta la importancia de contar con un canal de retorno alterno para la trasmisión de video en vivo que se realice a través de la TDT, en este proyecto se toma la iniciativa de realizar un piloto usando Sigfox, una plataforma dedicada a IOT que cuenta con una cobertura mucho más amplia y a través de la cual se podría llegar a los lugares más apartados del territorio colombiano.
Esta solución serviría como una herramienta para medir calidad de la experiencia en este tipo de trasmisiones, a la vez que se amplía las formas o medios a través de los cuales se puede llegar con educación virtual a los diferentes contextos que abarca el territorio colombiano.

Conclusiones y aportes del proyecto

1. Los desarrollos tecnológicos implementados en relación a las soluciones M-Learning y T-Learning para formación ubicua y la integración con el IOT para la validación de la calidad de la experiencia, permitieron representar adecuadamente las recomendaciones del modelo conceptual, metodológico y tecnológico propuesto. Todo esto le permitirá a las instituciones educativas del país proyectarse en el contexto de sistemas de formación ubicuos apoyados en tecnologías de IOT, con lo que se puede generar una alternativa de oferta de formación a distancia soportada por una metodología de aprendizaje propuesta para este tipo de

formación. Esta evolución de los procesos de formación ubicua ofrecen una mayor calidad en cuanto al estilo de aprendizaje debido a la capacidad de visualizar contenidos didácticos multimedia y lograr la interacción con herramientas de la Web 2.0 e incluso a futuro inmediato la Web 3.0, aprovechando la integración de las tecnologías de la información con el Internet de las Cosas y los medios de uso masivo como la televisión, los computadores y dispositivos móviles.

2. Esta investigación aporta significativamente a la UNIAJC, ya que consolida unas bases que sirven como referente para continuar con el perfeccionamiento de técnicas orientadas al desarrollo de la educación ubicua, que para este caso es de tipo T-Learnnig y M-Learning. De otro lado, sirve como punto de partida para la exploración de nuevas herramientas que puedan suplir las deficiencias que puedan tener los tipos de educación ubicua en los diferentes escenarios. Todo esto es posible aprovechando las nuevas tecnologías orientadas al Internet de las Cosas y las facilidades en cuanto al desarrollo y despliegue de servicios web.

3. Los servicios orientados al despliegue de contenidos educativos T-Learning, M-Learning y de calidad de la experiencia basada en IOT permiten proyectar a la UNIAJC en el contexto de servicios complementarios para proporcionar interactividad en contenidos presentados a través de la TDT y contar con un canal de retorno a contenidos audiovisuales que se trasmitan en tiempo real logrando que el estudiante tenga un acompañamiento del docente y, por ende, una mejor experiencia de aprendizaje.

4. La caracterización de los componentes didácticos basados en los aspectos pedagógicos de la UNIAJC permitieron determinar los diferentes recursos de formación virtual desarrollados en las aplicaciones ubicuas para televisión digital y dispositivos móviles, obteniendo así la posibilidad de generar espacios de aprendizaje en dispositivos de consumo masivo y de fácil acceso, con uso de interactividad y contenidos multimedia que facilitan la apropiación del conocimiento. Por otro lado, el esquema arquitectónico diseñado hace uso de los componentes didácticos definidos, por medio de una infraestructura de servidores en la nube que proveen servicios LMS, transmisión en vivo, chat en tiempo real y despliegue por medio de tecnologías como HBBTV y Flutter, lo cual permite reproducir contenidos basados en los escenarios previamente mencionados.

5. Las novedades y aportes identificados en este proyecto de investigación se espera puedan ampliarse y contribuir a los siguientes campos de aplicación del conocimiento en el país:

- Generación de conocimiento basado en las arquitecturas de servicios para formación ubicua apoyada en IOT que servirán de base tecnológica para la implementación de sistemas de formación virtual en el país.
- Generación de conocimiento sobre metodologías de aprendizaje que se apoyen en modelos pedagógicos y didácticos de la formación a distancia sobre escenarios de aprendizaje ubicuos
- Diseño e Implementación de plataformas de formación virtual basado en las recomendaciones metodológicas y didácticas de la formación ubicua y tecnologías basadas en IOT para el despliegue de servicios educativos en escenarios rurales o de difícil acceso a las TIC.
- Despliegue de cursos pilotos basados en escenarios de formación ubicua, apoyados en tecnologías IOT y soportada por la metodología de aprendizaje definida, que sirva como referente para las instituciones educativas del país que estén interesadas en implementar sistemas de formación virtual de este tipo.