

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**



**GRADO EN INGENIERÍA DE  
TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS DE  
TELECOMUNICACIÓN  
TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE UN CONTROL DE ASISTENCIA  
BASADO EN TECNOLOGÍAS  
INALÁMBRICAS**

**DANIEL ACOSTA SALINERO  
2020**

# GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN

## TRABAJO FIN DE GRADO

**Título:** Diseño de un control de asistencia basado en tecnologías inalámbricas  
**Autor:** D. Daniel Acosta Salinero  
**Tutor:** D. Antonio Francisco Martínez Mas  
**Departamento:** Ingeniería de Sistemas Telemáticos

## MIEMBROS DEL TRIBUNAL

**Presidente:** D. ....

**Vocal:** D. ....

**Secretario:** D. ....

**Suplente:** D. ....

Los miembros del tribunal arriba nombrados acuerdan otorgar la calificación de:  
.....

Madrid, a                      de                      de 20...

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**



**GRADO EN INGENIERÍA DE  
TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS DE  
TELECOMUNICACIÓN  
TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE UN CONTROL DE ASISTENCIA  
BASADO EN TECNOLOGÍAS  
INALÁMBRICAS**

**DANIEL ACOSTA SALINERO  
2020**

## RESUMEN

Este documento expone el desarrollo de una aplicación elaborada como Proyecto de Fin de Grado de la titulación Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación y dedicada al ámbito académico.

Actualmente, en las clases universitarias, son cada vez más frecuentes las actividades telemáticas en el aula que requieren garantía de presencia. Esta idea nace de la necesidad de asegurar la presencia de los alumnos en pruebas telemáticas evaluables o en asignaturas donde la asistencia es valorable, puesto que, una lista firmada no puede garantizarla. Se plantea una alternativa para semiautomatizar el proceso, empleando tecnologías inalámbricas junto a los dispositivos de los alumnos.

Además del ahorro de tiempo en el aula, esta mejora supone eliminar el trabajo de transcribir los datos de una hoja de papel a ordenador, pudiendo obtenerlos directamente en una base de datos.

Como recomiendan varios estudios [1], las actividades telemáticas en clase generan mayor implicación e interés en la asignatura por parte del estudiante. Con esta idea, es posible que el profesorado considere incluir estas pruebas, o mayor número de ellas, en los métodos de evaluación.

El objetivo principal de este trabajo ha sido identificar soluciones capaces de contabilizar y reconocer a los alumnos presentes en el aula mediante la identificación y confirmación de sus dispositivos móviles para implantar un sistema no intrusivo que combine fiabilidad, sencillez, comodidad y bajo coste.

Se ha realizado una valoración de diversas tecnologías inalámbricas para deducir, de entre ellas, las más viables atendiendo a los requisitos identificados y los recursos disponibles.

Se ha diseñado e implantado un prototipo demostrador de aplicación basada el empleo de “beacons” Bluetooth Low Energy que permite a los alumnos registrarse en una lista que garantiza su presencia y al profesor consultarla en tiempo real.

## PALABRAS CLAVE

TECNOLOGÍA INALÁMBRICA, BLUETOOTH, *BEACON*, ASISTENCIA, AULA.

## **SUMMARY**

This document presents the development of an application elaborated as an End of Degree Project of the Telecommunications Technologies and Services Engineering Degree and dedicated to the academic field.

Nowadays, in university classes, telematic activities in the classroom that require guaranteed presence are increasingly frequent. This idea is born from the need to ensure the presence of students in evaluable telematic tests or in subjects where attendance is valued, since a signed list cannot guarantee it. An alternative is proposed to semiautomate the process, using wireless technologies together with the students' devices.

In addition to saving time in the classroom, this improvement means eliminating the work of transcribing data from a sheet of paper to a computer and obtaining it directly from a database.

As recommended by several studies [1], telematic activities in class generate greater involvement and interest in the subject on the part of the student. With this in mind, teachers may consider including these tests, or more of them, in the evaluation methods.

The main objective of this work has been to identify solutions capable of counting and recognizing students present in the classroom by identifying and confirming their mobile devices in order to implement a non-intrusive system that combines reliability, simplicity, convenience and low cost.

An assessment of various wireless technologies has been carried out in order to deduce, from among them, the most viable ones according to the identified requirements and available resources.

A prototype application demonstrator has been designed and implemented based on the use of Low Energy Bluetooth "beacons" that allows students to register on a list that guarantees their presence and the teacher to consult it in real time.

## **KEYWORDS**

WIRELESS TECHNOLOGY, BLUETOOTH, BEACON, ATTENDANCE, CLASSROOM.

*A mis amigos de la universidad.*

*A mi familia.*

*A Laura.*

*A mi madre.*

*Gracias por el apoyo y estos años inolvidables.*

# ÍNDICE DEL CONTENIDO

---

1	Introducción .....	1
1.1	Planteamiento.....	2
1.2	Objetivos .....	2
2	Estado del arte .....	3
2.1	Indoor Positioning System (IPS) .....	3
2.1.1	Procedimientos empleados en IPS .....	3
2.1.1.1	Detección por proximidad.....	3
2.1.1.2	Trilateración .....	4
2.1.1.3	Fingerprinting .....	4
2.1.1.4	Angle of Arrival (AoA).....	5
2.1.2	Tecnologías inalámbricas.....	6
2.1.2.1	Wireless Local Area Network (WLAN).....	6
2.1.2.2	Radio-frequency Identification (RFID) .....	7
2.1.2.3	Bluetooth Low Energy (BLE) .....	9
2.1.2.4	ZigBee .....	11
2.2	Elección y justificación .....	14
3	Desarrollo .....	15
3.1	Recursos utilizados.....	15
3.2	Requisitos.....	16
3.2.1	Requisitos funcionales .....	16
3.2.2	Requisitos no funcionales.....	16
3.3	Beacons o balizas .....	18
3.4	Cloud Firestore from Firebase by Google .....	21
3.5	Aplicación.....	24
3.5.1	Casos de uso .....	24
3.5.1.1	Caso de uso Obtener lista .....	24
3.5.1.2	Caso de uso Registrar asistencia .....	24
3.5.1.3	Diagrama de casos de uso .....	25
3.5.2	Flujo de navegación .....	26
3.5.3	Diseño de aplicación .....	28
3.5.3.1	Main Activity .....	28
3.5.3.2	BeaconActivity.....	29

3.5.3.3	Ejemplo de base de datos .....	30
3.6	Pruebas y Resultados .....	31
3.6.1	Prueba 1.....	31
3.6.2	Prueba 2.....	32
3.6.3	Prueba 3.....	33
3.6.4	Prueba 4.....	34
4	Conclusiones y líneas futuras .....	35
4.1	Conclusiones .....	35
4.2	Líneas futuras.....	35
5	Bibliografía .....	36



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Trilateración.....	4
Figura 2 - Angle of Arrival .....	5
Figura 3 - Wi-Fi-based positioning system .....	7
Figura 4 - Modo advertising.....	10
Figura 5 - Modo conectado .....	11
Figura 6 - Fabricantes de beacons .....	18
Figura 7 - Estructura de base de datos Cloud Firestore .....	21
Figura 8 - Estructura de base de datos del caso de estudio .....	22
Figura 9 - Casos de uso de la aplicación .....	25
Figura 10 - Flujo de navegación de AsistenciaBLE Alumno .....	26
Figura 11 - Flujo de navegación de AsistenciaBLE Profesor .....	27
Figura 12 - MainActivity.....	28
Figura 13 - MainActivity + SCAN .....	28
Figura 14 -BeaconActivity AsistenciaBLE Profesor .....	29
Figura 15 - BeaconActivity AsistenciaBLE Alumno .....	29
Figura 16 - Base de datos propuesta .....	30
Figura 17 - Prueba 1.....	31
Figura 18 - Prueba 2.....	32
Figura 19 - Prueba 3.....	33
Figura 20 - Prueba 4.....	34

## 1 INTRODUCCIÓN

---

En la actualidad, las plataformas de telenseñanza están cada vez más arraigadas a los sistemas de educación básica y, sobre todo, de educación superior. Esta infraestructura otorga nuevos recursos y mejora los existentes de cara a simplificar y complementar los métodos de estudio, véase documentación adicional para estudio fuera del aula, comunicación directa con el alumnado, ejercicios prácticos vía online, etc.

Sin embargo, el margen de mejora de estas plataformas sigue siendo amplio y en este trabajo se busca dar un paso más allá. Más en concreto, en relación a los métodos de control de asistencia.

En las clases universitarias, el método de control de asistencia más utilizado es hacer circular una lista entre los alumnos presentes para que firmen en la casilla de su nombre. Aunque existen otras opciones utilizando las plataformas de telenseñanza, estos métodos requieren la atención y el tiempo del alumnado e incluso del profesor.

Una lista de firmas para controlar la asistencia a un evento conlleva tener que transcribir los datos manualmente a una base de datos y un alto porcentaje de imprecisión si no se comprueba que coincide el número de firmas con el de asistentes. Además del gasto innecesario de papel que implica, es un método laborioso y poco fiable. En definitiva, este método no es capaz de garantizar la presencia de los alumnos.

Cabe destacar el positivo impacto de las actividades telemáticas en las aulas, reflejado en un estudio [1] realizado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil de la UPM. Este estudio concluye confirmando la mayor satisfacción en profesores y alumnos sobre este renovado entorno de aprendizaje respecto al tradicional.

Demostraciones como esta pueden llevar al profesorado a confiar en este tipo de evaluaciones, pero para que sean viables, han de tener un procedimiento cómodo y fiable. Por tanto, este proyecto está enfocado a facilitar e impulsar el uso de herramientas telemáticas como vías de evaluación.

## 1.1 PLANTEAMIENTO

Se ha buscado crear una solución con base tecnológica que sustituya el método tradicional para controlar la asistencia a clases universitarias. Para ello, una vez localizado el problema y fijados los objetivos, se han analizado diferentes tecnologías de posicionamiento y se ha hecho una comparación entre ellas y, a partir de ésta, se ha escogido una solución acorde a los objetivos establecidos.

Se han estudiado las posibilidades de implementación en el caso propuesto, prestando atención a casos de uso reales de sistemas de posicionamiento *indoor* ofreciendo una justificación del método escogido para desarrollar un prototipo demostrador.

## 1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo ha sido desarrollar una aplicación capaz de posicionar dispositivos móviles dentro de un aula para establecer la asistencia de alumnos a una determinada clase. De esta forma, se garantiza que el alumno está presente en el aula durante el desarrollo de las actividades propuestas por el profesor.

A continuación, se enumeran una serie de características básicas a cumplir por la aplicación:

- Combinar la fiabilidad, sencillez, comodidad y bajo coste en la mejor medida de cada uno.
- Localizar y confirmar la presencia del dispositivo en un área determinado (para este trabajo, un aula).

## 2 ESTADO DEL ARTE

---

Se procede a realizar un análisis sobre las tecnologías capaces de llevar a cabo el propósito de control de presencia de los alumnos en un aula. Este estudio se ha decidido enfocar en tecnologías de localización en entornos cerrados, donde el GPS y otras tecnologías de posicionamiento a través de satélites son imprecisas.

Existen diferentes tecnologías que han resultado eficientes a la hora de obtener posicionamiento *indoor*. Se trata de conocer las bases teóricas de las tecnologías, su funcionamiento habitual en aplicaciones reales y una posible adaptación al caso de estudio.

Este estudio nos ayuda a concluir qué método es el más acorde a las pretensiones del proyecto y elaborar una solución coherente.

### 2.1 INDOOR POSITIONING SYSTEM (IPS)

Se puede definir un sistema de posicionamiento *indoor* como una red de dispositivos interconectados que localizan personas u objetos en edificios o áreas semicubiertas.

Primeramente, es necesario introducir algunos de los métodos de posicionamiento que emplean las tecnologías que vamos a analizar. Se trata simplemente de establecer un marco teórico que justifique las aplicaciones de las tecnologías que se van a estudiar posteriormente. Por tanto, son independientes de ellas, ya que la misma tecnología puede ayudarse de diferentes procedimientos o de varios de ellos para ser más precisas o eficientes.

Los métodos no desarrollados en este estudio no tienen relación o posible aplicación a la solución que pretende ofrecer el proyecto. Me refiero a procedimientos como *Dead Reckoning*, para hallar la posición de un objeto basándose en su localización previa, o *Map Matching*, orientado a sistemas de mayor escala.

#### 2.1.1 Procedimientos empleados en IPS

##### 2.1.1.1 Detección por proximidad

El posicionamiento mediante proximidad es el más sencillo de los que vamos a tratar. Con su uso, los sistemas que lo implementan ofrecen una localización relativa o simbólica. Lo más frecuente es seleccionar el posicionamiento de uno de los puntos de acceso o balizas de la red como localización aproximada del objeto.

Es un método aplicable para casi cualquier tecnología inalámbrica estableciendo conexiones dentro de su rango de acción. Pero su utilidad reside en el rigor de posicionamiento que requiera el sistema y el objeto a vigilar. Con el ejemplo más sencillo, un sensor de movimiento en una puerta detecta las personas que la han atravesado, pero no las puede identificar.

### 2.1.1.2 Trilateración

Este método se basa en la medición de la potencia de señal, conocida como RSSI (*Received Signal Strength Indication*), proveniente de distintos puntos de acceso para situar dispositivos dentro de una red mediante diferentes métodos de cálculo.

En el escenario habitual, un servidor recoge las RSSI de al menos tres puntos de acceso con las que elabora un cálculo geométrico conocido como trilateración. En este método, se toma como referencia la posición conocida de los puntos de acceso y su distancia al objeto a situar. Esta distancia se deduce a partir de la siguiente fórmula, donde los valores  $n$  y  $A[dBm]$  son la constante de propagación del medio y la potencia recibida a un metro de distancia del emisor, respectivamente:

$$RSSI[dBm] = -10 \cdot n \cdot \log_{10} d + A[dBm] \Leftrightarrow d = 10^{\frac{RSSI-A}{-10 \cdot n}}$$

A partir de estos datos, efectuando las ecuaciones de trilateración es posible deducir la posición del objeto con un margen de error variable dependiendo del número de puntos de acceso involucrados y de la calidad de la señal.

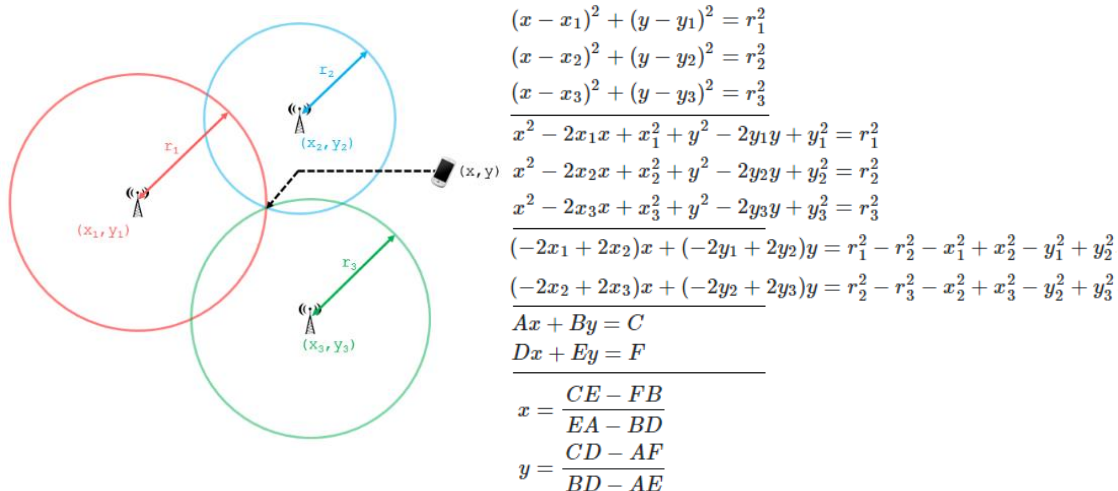


Figura 1 – Trilateración.

Fuente: <https://www.101computing.net/cell-phone-trilateration-algorithm/>

Siendo esta la más básica, existen otras maneras de tratar la señal de los puntos de acceso para obtener resultados más precisos.

### 2.1.1.3 Fingerprinting

El método de posicionamiento que más ha progresado en los últimos años es el conocido como *fingerprinting* o rastreo. De manera similar al anterior, los puntos de acceso recogen información de la señal que llega al dispositivo en cuestión. El servidor compara los resultados a los del rastreo guardado en su base de datos, definiendo como localización estimada la que más se asemeje vectorialmente. De este modo, se puede reducir considerablemente el margen de error evitando tomar como fuente de información el valor fluctuante de la potencia de la señal en un momento dado.

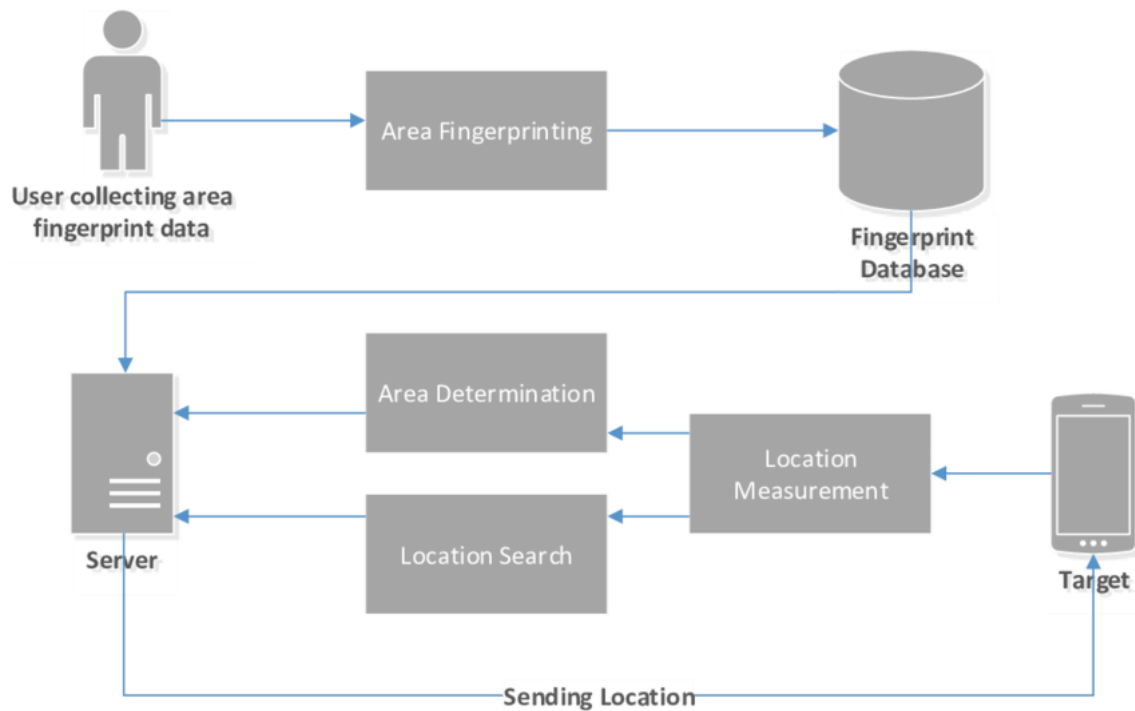


Figura 2 – Diagrama de sistema de posicionamiento indoor usando fingerprinting.

Fuente: A Mobile Based Indoor Positioning System using Wireless Indoor Positioning System, 2018 [17]

#### 2.1.1.4 Angle of Arrival (AoA)

Otra posibilidad para estimar la posición de un dispositivo es mediante el *angle of arrival* (AoA) o ángulo de llegada, deducido matemáticamente mediante el algoritmo MUSIC (*Multiple Signal Classification*) analizando las señales procedentes de las antenas transmisoras, generalmente Wi-Fi.

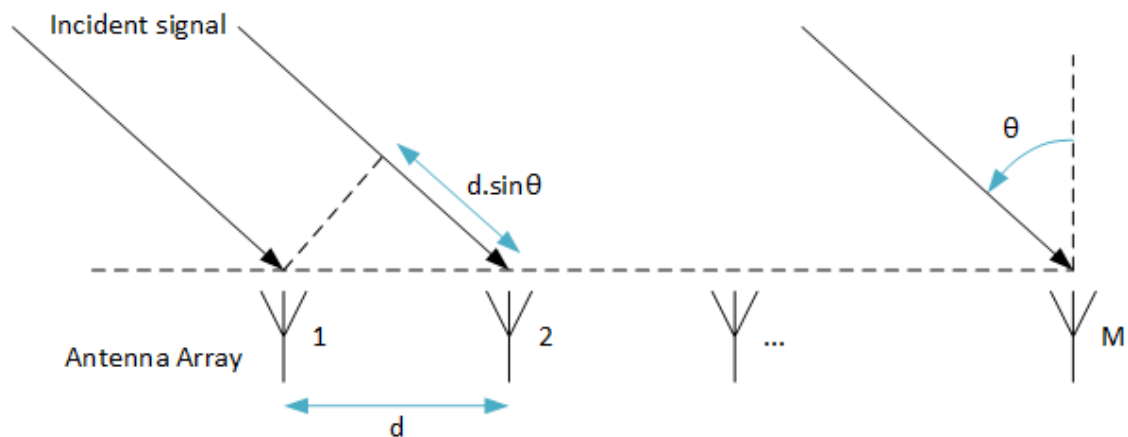


Figura 2 - Angle of Arrival

Fuente: Wikipedia

## 2.1.2 Tecnologías inalámbricas

### 2.1.2.1 *Wireless Local Area Network (WLAN)*

Para hablar sobre la tecnología WLAN pondremos el foco sobre su estándar más dominante, regido bajo el protocolo IEEE 802.11 y operando en la banda de 2,4GHz, más conocido comercialmente como Wi-Fi. Este estándar forma redes entre los puntos de acceso y los dispositivos conectados con rangos de entre 50 y 100 metros.

En la actualidad, las redes Wi-Fi se han introducido en las sociedades avanzadas de manera rotunda. Ya sea en hogares, edificios, recintos públicos e incluso en lugares al aire libre está presente alguna red Wi-Fi capaz de satisfacer las necesidades de conexión a internet de casi cualquier usuario. A raíz de esta expansión y aprovechando la infraestructura desarrollada, se han encontrado otras funciones que estas redes pueden ofrecer, como son los sistemas de posicionamiento basados en Wi-Fi (WPS).

Dentro de los *Wi-Fi-based positioning systems*, el parámetro más utilizado como herramienta de medición es el RSSI. Mediante trilateración se obtienen resultados con un error de 2 a 4 metros, pero es más común la utilización del método de *fingerprinting* que alcanza cotas de entre 0,6 y 1,3 metros de error.

Existen diferentes aplicaciones exitosas que utilizan las redes Wi-Fi como soporte, como por ejemplo Anyplace [2], que asegura un margen de error de dos metros aproximadamente.

Agrupando este análisis, las ventajas con las que cuenta esta tecnología son su rango de acción, la infraestructura presente que reduce los costes y la posibilidad de conectividad de múltiples dispositivos. Por otro lado, las aplicaciones desarrolladas están más enfocadas al *tracking* o seguimiento continuo y no al simple posicionamiento. Además, la calidad de conexión depende de diversos factores que no están al alcance del usuario como el ancho de banda, las interferencias, la carga de red, etc.

Desde el punto de vista de nuestro caso de estudio, la implementación de la tecnología Wi-Fi como herramienta principal sería similar a la de un estudio realizado en 2015 [3], utilizando la infraestructura WLAN de la ETSIT UPM. En dicho estudio, se controla la presencia de alumnos en un aula otorgando un token de acceso a los usuarios cercanos al *manager* o profesor. En la Figura 4 se observa un diagrama de secuencia que explica el funcionamiento base del prototipo.

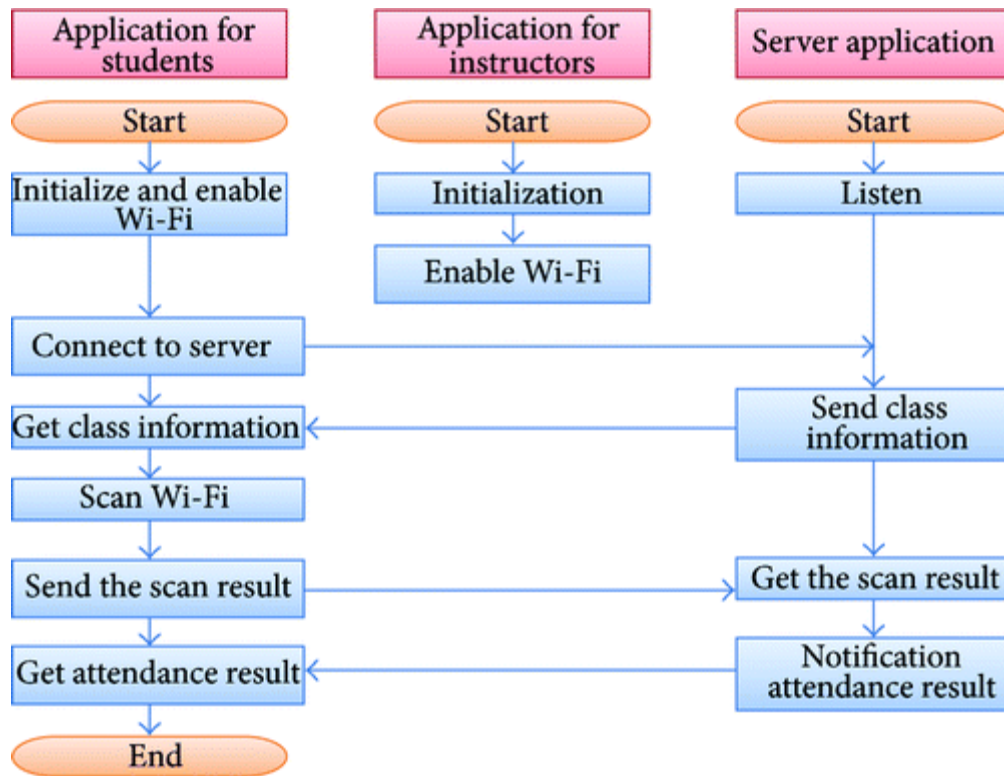


Figura 3 - Wi-Fi-based positioning system

Fuente: Attendance Check System and Implementation for Wi-Fi Networks Supporting Unlimited Number of Concurrent Connections, 2015 [3]

### 2.1.2.2 Radio-frequency Identification (RFID)

En la tecnología RFID, las ondas electromagnéticas ejercen la comunicación entre los emisores conectados al sistema de procesamiento de datos y las etiquetas RFID (*tags*) que funcionan como identificadores del elemento a observar.

Por otro lado, RFID es una tecnología muy amplia con diversos estándares diferenciados por la frecuencia en la que trabajan y, en consecuencia, sus aplicaciones. Las frecuencias utilizadas en sistemas RFID son principalmente cuatro: *Low Frequency* (LF: 120 o 150kHz), *High Frequency* (HF: 13,56MHz), *Ultra High Frequency* (UHF: 868 a 956 MHz) y *microondas* (>2,45GHz). Por esto, necesitamos reducir el abanico para encontrar la alternativa más viable dentro de esta tecnología.

Empezamos por descartar las dos bandas de frecuencias superiores, ya que suelen requerir *tags RFID* activas, mucho más caras que las pasivas por su potencia y necesidad de alimentación eléctrica. Estas etiquetas tienen mayor alcance (hasta 100m) y son más fiables, por eso se utilizan en grandes infraestructuras como militares o ferroviarias. Además, estas dos bandas de frecuencia necesitan licencias para su uso, ya que no existe una regulación global al respecto.

Por otro lado, los sistemas de baja frecuencia (LF) suelen implementarse en sistemas de almacenamiento como pueden ser librerías, tiendas y demás establecimientos. Por tanto, también necesitan de etiquetas, aunque sean pasivas, para identificar los elementos uno a uno.



Llegando a los sistemas de alta frecuencia (HF), nos encontramos con el estándar ISO/IEC 18092 que define el protocolo *Near Field Communication* (NFC), basado también en el estándar ISO/IEC 14443. Esta tecnología permite el intercambio de datos entre dos dispositivos a una distancia aproximada de cuatro centímetros, trabajando a velocidades de entre 106 y 848 kbps.

La gran ventaja de este tipo de tecnología RFID respecto al resto, en lo que a nuestro propósito se refiere, es que está presente en la gran mayoría de smartphones del mercado. La diferencia de rendimiento en favor del NFC respecto al RFID es la conclusión de un estudio [4] reflejado en el periódico *International Journal of New Computer Architectures and their Applications* en 2015. Las figuras 5 y 6 pertenecen a dicho estudio.

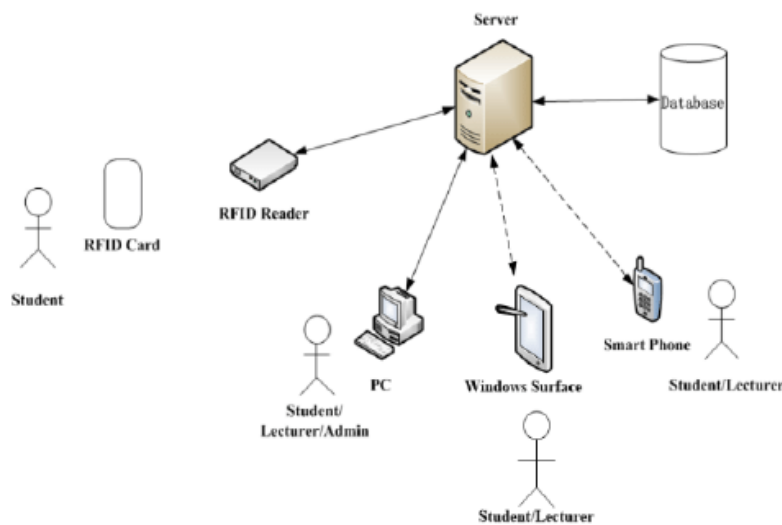


Figura 5 - Arquitectura para sistema de control de asistencia con RFID

Fuente: *Sensors-enabled Smart Attendance Systems Using NFC and RFID Technologies*, 2015 [4]

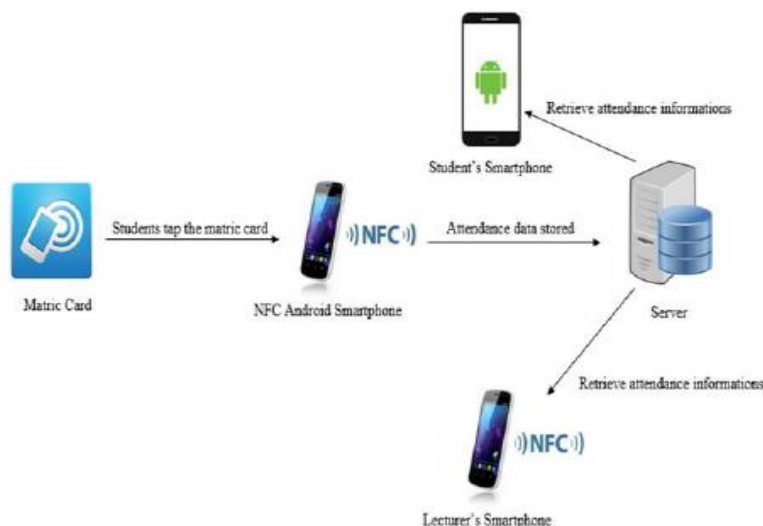


Figura 6 - Sistema de control de asistencia con NFC

Fuente: *Sensors-enabled Smart Attendance Systems Using NFC and RFID Technologies*, 2015 [4]

Su punto fuerte respecto a otras tecnologías inalámbricas es la inmediatez, ya que el intercambio puede ser de varios paquetes de datos en cuestión de una décima de segundo. Su corto alcance puede suponer un inconveniente, aunque también implica mayor seguridad para interferencias en las comunicaciones.

Pese a no constituir un sistema de posicionamiento indoor per se, el uso del protocolo NFC permitiría el desarrollo de una aplicación a través de la cual controlar la presencia de alumnos en una clase, utilizando el smartphone del profesor como recolector y controlador de información de los alumnos. Sin embargo, debido a las limitaciones de distancia entre dispositivos NFC, esta idea crearía un sistema demasiado activo para las intenciones de este proyecto.

### 2.1.2.3 Bluetooth Low Energy (BLE)

La razón de ser de la tecnología Bluetooth no es tanto la localización sino la proximidad.

Tras ocho años de desarrollo de la mano de compañías como Ericsson, Nokia o Toshiba entre otras, el Bluetooth nació oficialmente en 2002 con el estándar IEEE 802.15, pero sólo supuso el comienzo de una tecnología en constante evolución. Desde entonces, se han publicado diez versiones hasta llegar a la 5.2, revelada en enero de este año 2020 bajo el desarrollo de *Bluetooth Special Interest Group*. Este grupo, fundado por las anteriores marcas, ahora cuenta con 35.000 empresas por todo el mundo.

Se denomina Bluetooth al protocolo de comunicaciones que permite a los dispositivos intercambiar mensajes de voz o datos mediante radiofrecuencia a 2,4 GHz en la banda ISM. Las características principales de estas conexiones son el corto/medio alcance y el bajo consumo de energía.

Los dispositivos Bluetooth se clasifican en clases dependiendo de su potencia de transmisión:

Clase	Potencia máxima permitida		Alcance (m)
	(mW)	(dBm)	
1	100	20	~100
1.5	10	10	~20
2	2,5	4	~10
3	1	0	~1
4	0,5	-3	~0,5

Tabla 1 - Clasificación de dispositivos Bluetooth

Para resumir las mejoras en las versiones principales del protocolo Bluetooth, la siguiente tabla muestra la progresión de la capacidad del canal que soportan los dispositivos compatibles:

Versión	Ancho de banda (Mbps)
Versión 1.2	1
Versión 2.0 + EDR	3
Versión 3.0 + HS	24
Versión 4.0	32
Versión 5.0	50

Tabla 2 - Evolución de la capacidad del canal Bluetooth

Saltando hasta la versión 4.0, fue entonces cuando el protocolo presentó una variación de la tecnología conocida como *Bluetooth Low Energy* o BLE. Se puede definir como un complemento al protocolo clásico con el fin de conseguir una alternativa con un menor consumo energético manteniendo un rango similar de comunicaciones. Pero debido a sus objetivos y características, también es considerada una tecnología en sí, distinguiéndose del propio Bluetooth.

Las comunicaciones de la tecnología BLE transmiten menor cantidad de datos, con el objetivo de establecer conexiones breves en las que el emisor solo se activa para llevarla a acabo y el resto del tiempo está dormido. Además, no necesita de sincronización previa. Sin embargo, su rango de acción se puede equiparar al del Bluetooth con unos 100 metros como máximo aproximado.

El BLE tiene dos tipos de mensajes para transmitir la información a través del perfil de acceso genérico (GAP). Este tiene como objetivo garantizar la interoperación en la conexión de radio y establecer, mantener y liberar las comunicaciones. El *Advertising Data payload* y el *Scan Response payload* son los paquetes de información que se intercambian en una conexión BLE. Ambos paquetes contienen hasta 31 bytes, pero solo es obligatoria la transmisión del *Advertising Data payload*, ya que es el que transmite el periférico de manera continua, para dar a conocer su presencia a los dispositivos centrales que están escuchando. La transmisión del *Scan Response payload* es opcional y sirve como respuesta del dispositivo central para obtener más información sobre el periférico.

Este perfil permite el proceso conocido como *advertising*, en el que los dispositivos periféricos difunden su *Advertising Data payload* durante un intervalo programado para que cualquier dispositivo central en su rango sea consciente de su presencia.

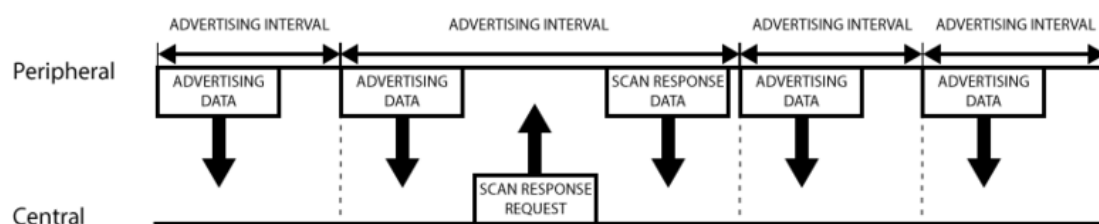


Figura 4 - Modo advertising

Fuente: [www.solidgeargroup.com](http://www.solidgeargroup.com)

En el momento que se establece la conexión entre dos dispositivos, se detiene el proceso de *advertising* y los demás dispositivos de la red dejan de recibir los *Advertising Data Payload* del periférico en cuestión. Se activa así el perfil de atributo genérico (GATT) y la transmisión de paquetes cambia radicalmente. Los dispositivos pasan a denominarse cliente (dispositivo central) y servidor (dispositivo periférico). A partir de ahora, es el cliente quien pide actualizaciones de datos procedentes del servidor en un intervalo determinado. La conexión BLE ha pasado de modo *advertising* a modo conectado.

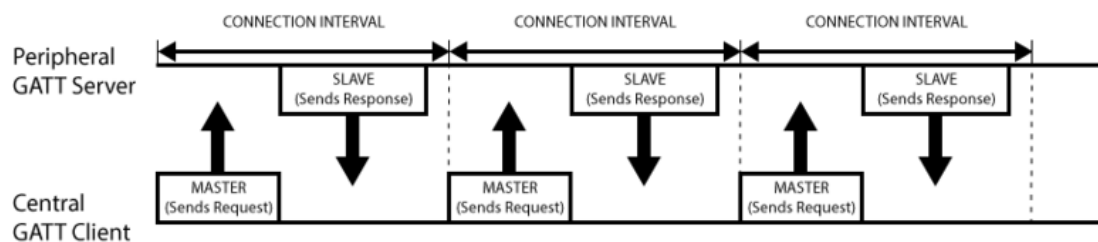


Figura 5 - Modo conectado

Fuente: [www.solidgeargroup.com](http://www.solidgeargroup.com)

Las aplicaciones exitosas que utilizan esta tecnología suelen distribuirse en los sectores de ocio y turismo. Existen aplicaciones de guía para museos, publicación de servicios en estadios y recintos deportivos, de información adicional en centros comerciales, etc.

Y en cuanto al ámbito escolar, existen diversos artículos que demuestran la eficiencia de esta tecnología para controlar la presencia en el aula. Uno de ellos [5], sirve como inspiración para elaborar la solución al problema que nos ocupa. En este artículo, los alumnos son identificados mediante perfiles que conoce la base de datos del sistema, que entra en acción cuando los alumnos están presentes en el área del *beacon* BLE.

#### 2.1.2.4 ZigBee

Esta tecnología se define como el conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica. Su propósito es un bajo consumo energético mediante la radiodifusión digital de tasas de datos reducidas. De forma similar a la relación entre Wi-Fi y el protocolo IEEE 802.11, *ZigBee* está basada en el protocolo IEEE 802.15.4 de 2003 para redes WPAN (*Wireless Personal Access Network*).

Trabaja en la banda de frecuencias ISM (2,4GHz), su velocidad de transmisión de datos es de 250kbps y su alcance puede llegar a los 100 metros.

Respecto a su principal virtud, que es el ahorro energético, *ZigBee* consume apenas 30mA en transmisión, pero la mayoría del tiempo se encuentra en estado de reposo, lo que supone solamente 0,2µA de energía.

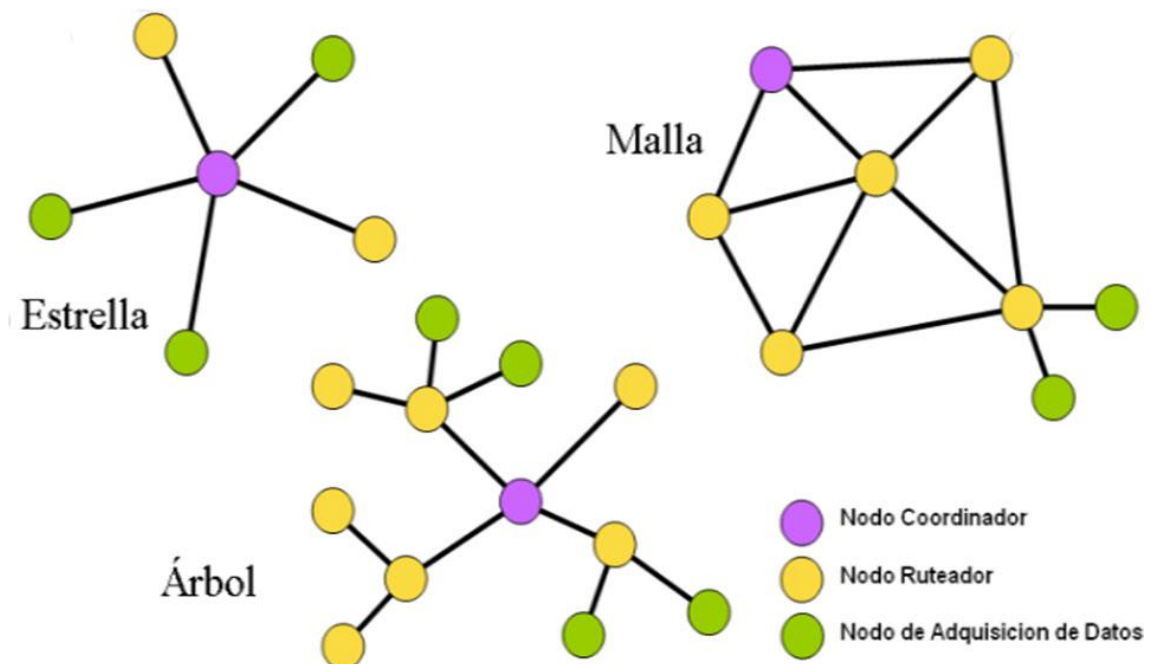
El funcionamiento de un sistema básico *ZigBee* se compone de 3 elementos:

- Coordinador: único en la red, gestiona las conexiones y los caminos que deben seguir los dispositivos dentro de la red.
- Router: interconector de los dispositivos de la red que ofrece un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- Dispositivo final: su única conexión se establece con el nodo padre y no tiene permiso de establecer comunicaciones con otros dispositivos de la red, por lo que se encuentra en estado de reposo la mayoría del tiempo.

Estos tres protagonistas se pueden reducir a dos: nodos activos, que son los dispositivos actúan con los papeles de coordinador y router, y nodos pasivos, que son los que están la mayor parte del tiempo dormidos a la espera de indicaciones de sus nodos padre.

Las 3 tipologías de red que implementa *ZigBee* que podemos apreciar en la figura son las siguientes:

- Red de tipo estrella, en la cual el coordinador está en el centro.
- Red de tipo árbol, en la que el coordinador es la raíz del árbol.
- Red tipo malla, en la que al menos un nodo de la red tendrá más de dos conexiones.



Dadas sus características, es una solución ideal para sistemas domóticos y es la tecnología seleccionada por los dispositivos dedicados a la comodidad del hogar como el asistente Amazon Echo Plus, las bombillas Phillips Hue, etc. En el ámbito de mediciones de recursos, también relacionado con la domótica, *ZigBee* demuestra su fiabilidad como se afirma en este estudio [6].

Desde el punto de vista que nos ocupa, existen ejemplos exitosos de implementación de la tecnología *ZigBee* para el control de asistencia. La mayoría de estas soluciones recurren al método de *fingerprinting* para calcular la posición de los dispositivos como explican estos dos artículos [7].

La creación de un sistema con *ZigBee* sería muy similar al diseñado mediante la red Wi-Fi, pero en lugar de utilizar los puntos de acceso de la red WLAN necesitaríamos adquirir los elementos para establecer una red WPAN en la que uno o varios sensores distribuidos por el aula establezcan la conexión con los smartphones de los alumnos, que deben confirmar esa conexión para enviar el mensaje de registro a un teórico servidor.

## 2.2 ELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Una vez obtenida una visión global del sector de las tecnologías IPS, se establece un balance general para evaluar la viabilidad de la construcción de un demostrador.

Remitiendo a los objetivos del proyecto, garantizar la presencia en un área determinado es diferente a establecer una posición aproximada de un elemento. Es decir, para confirmar la asistencia de un alumno a clase no es necesario calcular el punto exacto del aula en el que se encuentra, sino tener constancia de que se encuentra en un área aproximado al del aula.

Con este razonamiento, entiendo que el método de detección por proximidad disminuiría la complejidad del sistema a diseñar sin perjudicar la calidad de los resultados. Calcular el posicionamiento aproximado mediante trilateración o *fingerprinting* aportaría mayores funcionalidades a la solución, como dividir a los alumnos en grupos dentro de una clase para determinadas actividades, pero esto requiere de una alta dedicación a la hora de programar y, quizá, de más mano de obra.

En cuanto a las tecnologías, conviene que la solución ofrezca un bajo consumo de energía y una implementación sencilla. La tecnología WLAN implica tener acceso a la red de la universidad y sus *access points* que, para no necesitar de procedimientos con cálculo de posicionamiento aproximado, debería haber uno en cada aula. El protocolo NFC implica un sistema más incómodo y menos pasivo por el inconveniente de proximidad tan exigente. Un sistema basado en *ZigBee* requiere de una red personal de sensores que implicaría un mayor desembolso en recursos y mayor complejidad de instalación.

Por otro lado, la tecnología BLE permite establecer conexiones con un radio aproximado al de un aula normal, sus dispositivos son baratos y existen diversos ejemplos que demuestran su viabilidad y simplicidad frente al resto de soluciones. Creo que se ajusta a las exigencias de este proyecto y razonable para el desarrollo de la solución por parte de una persona.

## 3 DESARROLLO

---

### 3.1 RECURSOS UTILIZADOS

En su mayoría, el proyecto ha sido desarrollado mediante recursos software. En cuanto al material hardware solo se ha necesitado un ordenador personal y dos smartphones. Uno de ellos se ha utilizado como simulador de *beacons* mientras se testeaba el código implementado en el dispositivo principal.

En cuanto a recursos bibliográficos de los que me he apoyado, destaco el artículo sobre control de asistencia mencionado en el análisis de la tecnología BLE anterior [5] y diversos trabajos de fin de titulación relacionados con el caso de estudio. [8] [9] [10]

Durante mi investigación sobre la tecnología *Bluetooth Low Energy*, encontré un vídeo explicativo que presentaba una sencilla aplicación en la que se plasmaban las bases de esta tecnología y el funcionamiento de los dispositivos protagonistas, los *beacons*. Su única funcionalidad era mostrar un mensaje al detectar la actividad de algún *beacon*. Debido a la curiosidad que me generó la tecnología BLE, decidí probar el código que proporcionaban [11] y, tras actualizar las versiones software, lo seleccioné como esqueleto de lo que sería este proyecto.

En términos de software, la aplicación ha sido desarrollada en Android Studio y en código JavaScript. Para la simulación de *beacons* se ha utilizado la aplicación *BeaconSimulator* [12]. Y, como recurso básico de la aplicación, se utiliza la base de datos *Cloud Firestore* [13] del servicio Firebase ofrecido por Google.

También es importante señalar que la aplicación consta de dos versiones, una para el profesorado y otra para el alumnado.

Debido a la situación social actual, con la escuela cerrada como medida de prevención ante la pandemia global causada por el *COVID-19*, no he tenido la posibilidad de probar el sistema desarrollado en el entorno idóneo que sería el aula.

El código que he desarrollado queda disponible en mis repositorios de GitHub. [14] [15]



## 3.2 REQUISITOS

### 3.2.1 Requisitos funcionales

Estas son las características principales de la aplicación que definen el sistema para proporcionar valor a los usuarios.

- **Detección de *beacons*:** el sistema es capaz de recibir e identificar señales procedentes de los dispositivos BLE, generalmente *beacons*. Cabe resaltar que no incluye la detección de señales Bluetooth.
- **Registrar asistencia:** simplemente introduciendo el nombre deseado para identificarse, la base de datos en la nube gestionada por Firebase guardará este registro asociado al *beacon* que se haya seleccionado.
- **Fiabilidad de los registros:** el sistema impedirá la duplicidad o la explotación de los recursos por parte de los usuarios, como, por ejemplo, intentando registrar a varios usuarios desde un mismo dispositivo.
- **Listado de usuarios:** la aplicación del profesor ofrece una vista previa de los usuarios registrados en cada *beacon*, así como el número total de ellos.

### 3.2.2 Requisitos no funcionales

A continuación, se expone el conjunto de atributos que dotan al sistema de calidad.

- **Base de datos en la nube:** con la ayuda del servicio Firebase de Google, el sistema implementa la base de datos *Cloud Firestore*. Esta herramienta es particularmente clave para el correcto funcionamiento de la aplicación. Gracias a ella, los *beacons* pueden ser identificados con su asignatura correspondiente y almacenar los registros de los usuarios, sin necesidad de recurrir a servidores locales y/o físicos de la red inalámbrica.
- ***Beacons* o balizas:** dispositivos pequeños y portátiles que poseen los profesores y deben estar activos para el funcionamiento del sistema. Una alternativa interesante que puede otorgar nuevas funcionalidades al sistema es el uso de aplicaciones que simulan el comportamiento de los *beacons*. Véase *BeaconSimulator*, descargable desde Play Store, que puede instalarse en el smartphone del profesor para gestionar uno o más *beacons*.
- **Prestaciones:** la aplicación está diseñada para dispositivos Android posteriores a la versión 4.3 (Jelly Bean) incluida. Además, es necesaria la integración de la tecnología Bluetooth 4.0 o superior, estar conectado una red Wi-Fi (versión para el alumno) y dar permiso a la aplicación para obtener la ubicación del smartphone.

- **Protección frente fraudes:** el software recogerá el nombre introducido por el usuario y su *MAC Address* correspondiente a la red inalámbrica o Wi-Fi (solo en la versión del alumno), de modo que ambos atributos queden asociados unívocamente dentro de los registros de un mismo *beacon*. Por tanto, un usuario que trata de registrar varios nombres desde el mismo dispositivo simplemente estará actualizando el nombre asociado a su *MAC Address*. Otro intento de fraude implicaría simular el comportamiento del *beacon* del profesor desde fuera del aula utilizando aplicaciones como la mencionada anteriormente. Este intento resulta imposible de llevar a cabo, puesto que el identificador que la aplicación recoge de los *beacons* es una clave única autogenerada de 20 dígitos hexadecimales (*Namespace ID*) que se puede introducir manualmente, pero solo con letras mayúsculas lo que impide la “clonación” del *beacon*.

### 3.3 BEACONS O BALIZAS

Uno de los elementos protagonistas del sistema, si no el que más, es el *beacon* o baliza, dispositivo de tamaño pequeño que utiliza la tecnología *Bluetooth Low Energy* para establecer conexiones con dispositivos móviles, sin necesidad de sincronización previa. Este es uno de sus puntos fuertes, ya que con su aproximado 5x5cm permite instalarse en cualquier lugar pasando desapercibido.

De forma general, los *beacons* están constituidos por tres componentes principalmente: un microcontrolador con un chip de radio BLE y una o varias baterías. Las baterías que requieren suelen ser de botón y con una capacidad de entre 240mAh y 1000mAh, suelen tener una longevidad entorno a años.

Las características que definen a las señales radio que transmiten son la potencia de transmisión (RSSI) y el intervalo de publicitario (*advertising interval*). Ambas tienen un valor fijo definido por el fabricante, establecido por el *firmware* o soporte lógico del dispositivo y que determinan el consumo de batería.

Los *beacons*, cuando están activos, transmiten señales de bajo consumo en cada intervalo de publicidad (valor típico entre 100ms y 750ms) que reciben todos los dispositivos a su alrededor. Pero para que un *beacon* sea de utilidad, no basta con que los dispositivos móviles lo detecten, es necesario que sepan interpretar las señales y los mensajes que contienen. Para ello, lo habitual es que una aplicación identifique el *beacon* descifrando sus mensajes y ésta responda en función del objetivo de estar en rango de ese *beacon*. Por ejemplo, la aplicación reenvía el mensaje recibido a un servidor que identifica al *beacon* recogido en el sistema global y la aplicación responde mostrando un mensaje específico por pantalla.

El estado de transmisión de datos que se va a emplear es el modo *advertising*, que utiliza el perfil de acceso genérico (GAP), ya que nuestra intención no es establecer conexiones mutuas entre los *beacons* y los dispositivos, sino transmisiones BLE en un único sentido: *beacon* → *smartphone*.



Figura 6 - Fabricantes de beacons

Fuente: es.slideshare.net

El mercado de los *beacons* es muy amplio, tanto en hardware como en software. Existen numerosos fabricantes y hasta tres protocolos diferentes de comunicación.

- **iBeacon:** primer protocolo dedicado a la tecnología BLE creado por la compañía Apple. Ofrece dos métodos de API denominados *Ranging* y *Monitoring*; el primero solo funciona con la aplicación activada y el segundo no lo necesita. Su inconveniente principal es la exclusividad de conexión con dispositivos iOS. La especificación consta de 5 campos:
  - **Cabecera:** 9 bytes de información no modificable como la dirección MAC de la baliza.
  - **UUID:** identificador único universal de 16 bytes.
  - **Major:** 2 bytes que identifican al subgrupo de balizas del UUID.
  - **Minor:** 2 bytes del siguiente nivel de subdivisión.
  - **Tx Power:** 1byte de la potencia estimada en dBm.
- **Eddystone:** proyecto de código abierto de Google para la tecnología BLE. La aplicación ha de estar en funcionamiento. Tiene la ventaja de soportar la detección de sistemas operativos Android e iOS. Las tramas están diseñadas para soportar diversos paquetes de datos:
  - **Eddystone-UID:** contiene una identificación de 16 bytes del *beacon* única, compuesta por 10 bytes conocidos como *Namespace ID* y 6 bytes de *Instance ID*.
  - **Eddystone-URL:** comprime una URL para enviarla por la trama y que sea el dispositivo móvil el encargado de descodificarla e interpretarla.
  - **Eddystone-TML:** envía datos de telemetría del *beacon* emisor, como el estado de la batería, la temperatura, la humedad, etc.
- **AltBeacon:** es el protocolo menos utilizado y está desarrollado por la compañía Radius Networks. Su propósito es ser la alternativa al protocolo iBeacon, ofreciendo las mismas funcionalidades, pero soportando cualquier sistema operativo y siendo enviando mensajes de mayor capacidad (de 25 a 28 bytes).

Uno de los *beacons* más comercializados es el de la marca Jinou que contiene el chip nRF52810, gracias a su versatilidad de configuración para cualquier protocolo. Su precio en Amazon es de 22,14 € en el momento de consulta.

Uno de los fabricantes más éxitos es Estimote, que ofrece sistemas de posicionamiento al completo, incluyendo los *beacons*, la aplicación y el servicio de gestión en la nube. Soportan protocolos iBeacon y Eddystone y su catálogo de es más amplio, pero de categoría *premium* (el *beacon* estándar -Proximity Beacon- cuesta \$99 [16]).

Cabe mencionar, que otros portales web ofertan *beacons* más económicos (entorno a los 15 €), aunque de prestaciones inferiores, pero igualmente viables para la solución propuesta.

Volviendo al caso de estudio, este demostrador ha sido diseñado entorno a simulación de *beacons* mediante la aplicación *BeaconSimulator*. El escenario ideal de ejecución de la aplicación incluiría un *beacon* real, pero tras hacer las pruebas con esta aplicación considero que es perfectamente viable el sistema final prescindiendo del *beacon* físico. A parte del ahorro de inversión, la aplicación te permite simular varios *beacons* activos o renovar sus identificadores en caso de su publicación por error.

### 3.4 CLOUD FIRESTORE FROM FIREBASE BY GOOGLE

*Cloud Firestore* es un servicio de base de datos en la nube gratuito hasta unos límites de uso. Sin embargo, estos límites están a un nivel muy superior a los recursos necesarios para el funcionamiento de la aplicación, como son 1GiB de almacenamiento total, 20.000 operaciones de escritura al día o 50.000 operaciones de lectura al día. Por tanto, es posible afirmar que hay un amplio margen de maniobra antes de tener que pagar por este servicio.

En la actualidad, tener la información de un sistema recopilada en la nube supone diversas ventajas:

- Evita la inversión en servidores locales.
- Permite una alta escalabilidad del sistema.
- Otorga mejor accesibilidad.
- Ofrece una interoperabilidad mayor para trabajar con otros sistemas.

La base de datos *Cloud Firestore* tiene una estructura muy diferente a las bases de datos relacionales tradicionales como *MySQL*, *PostgreSQL*, *Oracle*, etc. La información no se organiza en tablas relacionadas entre sí, sino en colecciones y documentos con atributos.

En la siguiente figura se puede apreciar un ejemplo de la estructura general de estas bases de datos.

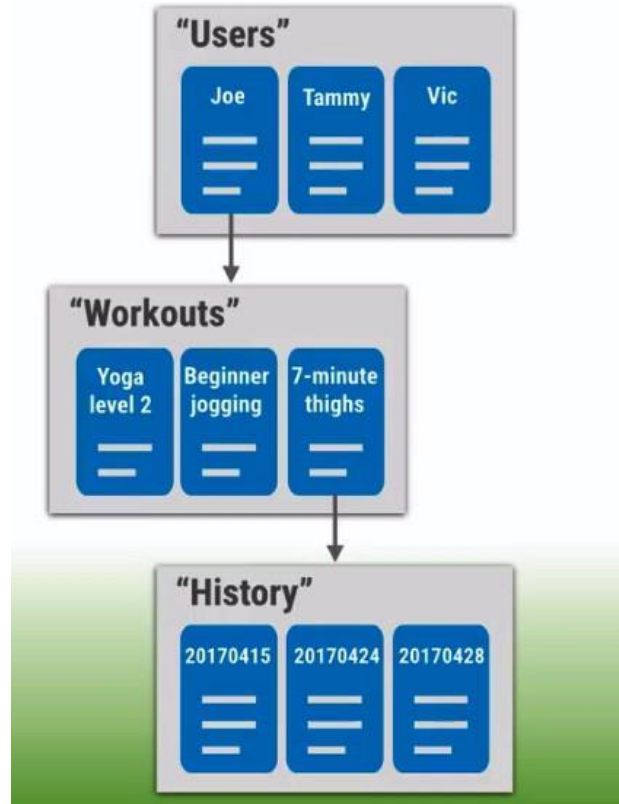


Figura 7 - Estructura de base de datos Cloud Firestore

Fuente: [android.jlelse.eu](http://android.jlelse.eu)

Las colecciones contienen documentos únicamente. Por su parte, los documentos contienen atributos de cualquier tipo: String, number, boolean e incluso matrices, todos codificados de forma similar a un archivo JSON. A su vez, estos documentos pueden apuntar a otras subcolecciones con las mismas características.

A continuación, la estructura orientada al caso de estudio que he considerado más sencilla e intuitiva.

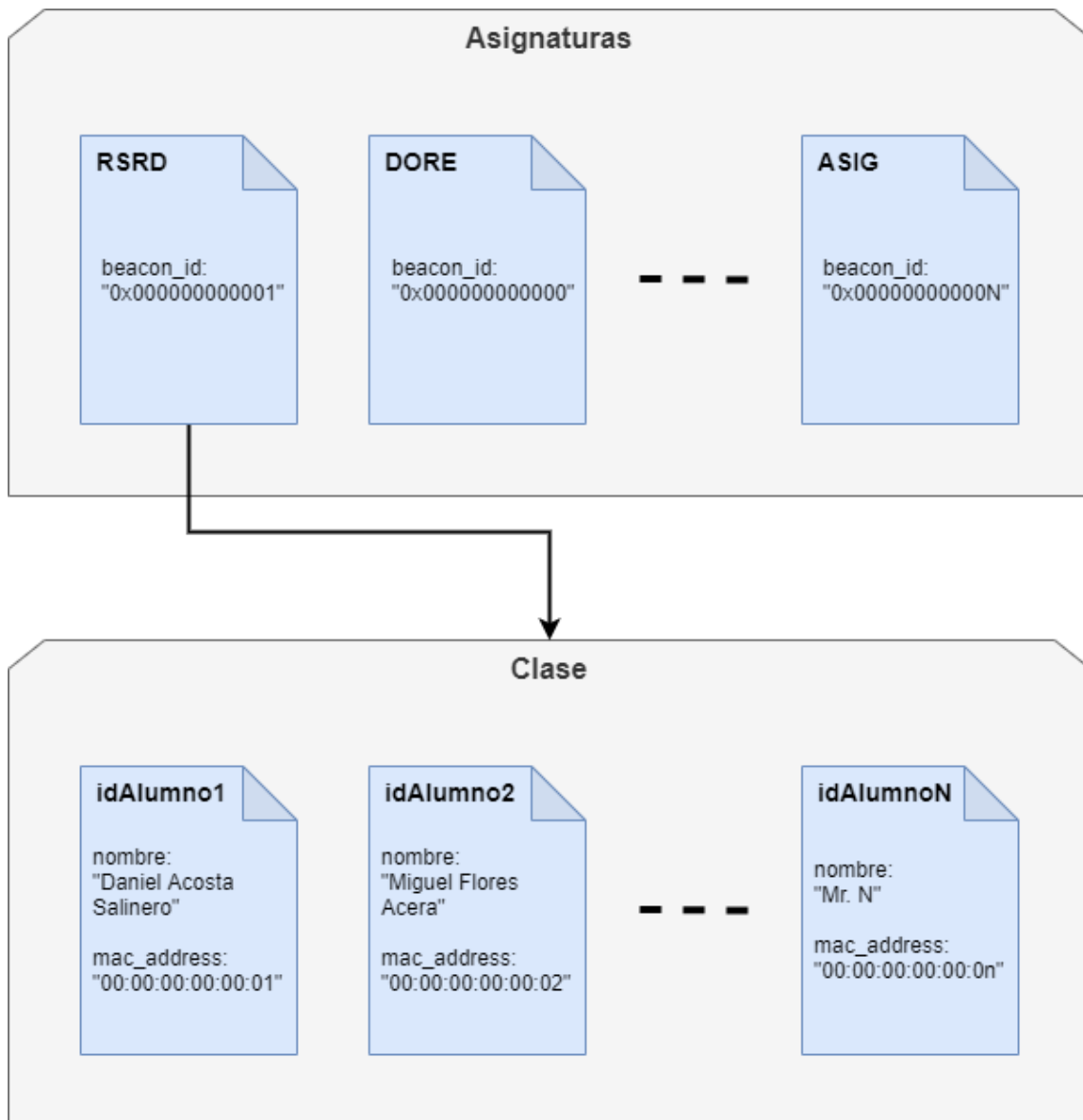


Figura 8 - Estructura de base de datos del caso de estudio

Fuente: Propia

Partiendo de una colección principal denominada Asignaturas, tiene como hijos los documentos de cada una de las mismas registradas en la base de datos. Estos documentos tienen un único atributo que coincide con el identificador del *beacon* que le corresponde a la asignatura.

Es importante tener en cuenta el tipo de identificador que vamos a registrar en la base de datos, ya que depende de la tecnología del *beacon* utilizado. En este caso, gracias a la simulación ofrecida por la app *BeaconSimulator*, he utilizado el protocolo Eddystone de tipo UID que contiene dos parámetros: *Namespace ID* e *Instance ID*. El atributo *Namespace ID* es un valor hexadecimal de 20 dígitos ideal para utilizar como identificador único en nuestra base de datos.

A parte de este atributo, los documentos de la colección Asignaturas apuntan a una o varias subcolecciones que establecemos como Clases. Cuando un alumno registra su nombre en la aplicación, está escribiendo un documento en la colección Clase, hija de la asignatura que ha seleccionado. Este documento genera un identificador de 20 números y/o letras generado automáticamente por *Cloud Firestore*. Y, por último, como queda reflejado en el esquema anterior, cada alumno queda identificado por su nombre y *MAC Address*.

Valorando la escalabilidad de este sistema, se plantea una posible ampliación de la estructura de la base de datos para añadir la funcionalidad de controlar la realización de una o varias actividades durante la misma clase. Ayudándonos de nuevo de la aplicación *BeaconSimulator*, el profesor puede simular varios *beacons* desde su dispositivo representando las actividades que se van a hacer durante la clase. De este modo, los documentos de las asignaturas apuntarían a otra subcolección denominada Actividad. Por ejemplo, en un ejercicio de clase con 3 posibles soluciones plasmadas en la pizarra, cada alumno puede registrarse en el *beacon* asociado a cada solución, para así evaluar conforme a las listas que ofrece el sistema. Es importante añadir que esta idea requiere de nueva implementación de código para evitar registros en distintas soluciones.



### 3.5 APLICACIÓN

#### 3.5.1 Casos de uso

El sistema se ha simplificado para necesitar proporcionar únicamente dos casos de uso:

##### 3.5.1.1 *Caso de uso Obtener lista*

- Actores: Profesor.
- Breve resumen del caso: el profesor obtiene la lista de alumnos presentes en el aula para comprobar que están realizando una actividad determinada sin recursos fraudulentos.
- Secuencia de acciones en un escenario de acción típica: tras anunciar la realización de una actividad en clase el profesor activa su beacon y comunica a los alumnos presentes que se registren. Tras ello, el profesor abre su aplicación y obtiene la lista de alumnos registrados en la base de datos en la nube.
- Requisitos y tecnologías requeridas para este caso de uso: el profesor ha de tener descargada su versión correspondiente de la aplicación, tener el beacon de la clase en modo activo, permitir el acceso a la ubicación de su dispositivo, tener el Bluetooth de su dispositivo activado y conexión a internet.

##### 3.5.1.2 *Caso de uso Registrar asistencia*

- Actores: Alumno.
- Breve resumen del caso: el alumno registra su nombre en la lista de clase para dejar constancia de su presencia durante una actividad.
- Secuencia de acciones en un escenario de acción típica: tras anunciar la realización de una actividad en clase el profesor activa su beacon y comunica a los alumnos presentes que se registren. Cada uno de los alumnos abren su aplicación, seleccionan el beacon correspondiente a su clase e introducen su nombre para mandar un mensaje de registro a la base de datos.
- Requisitos y tecnologías requeridas para este caso de uso: el alumno ha de tener descargada su versión correspondiente de la aplicación, permitir el acceso a la ubicación de su dispositivo, tener el Bluetooth de su dispositivo activado y estar conectado a la red Wi-Fi presente.

### 3.5.1.3 Diagrama de casos de uso

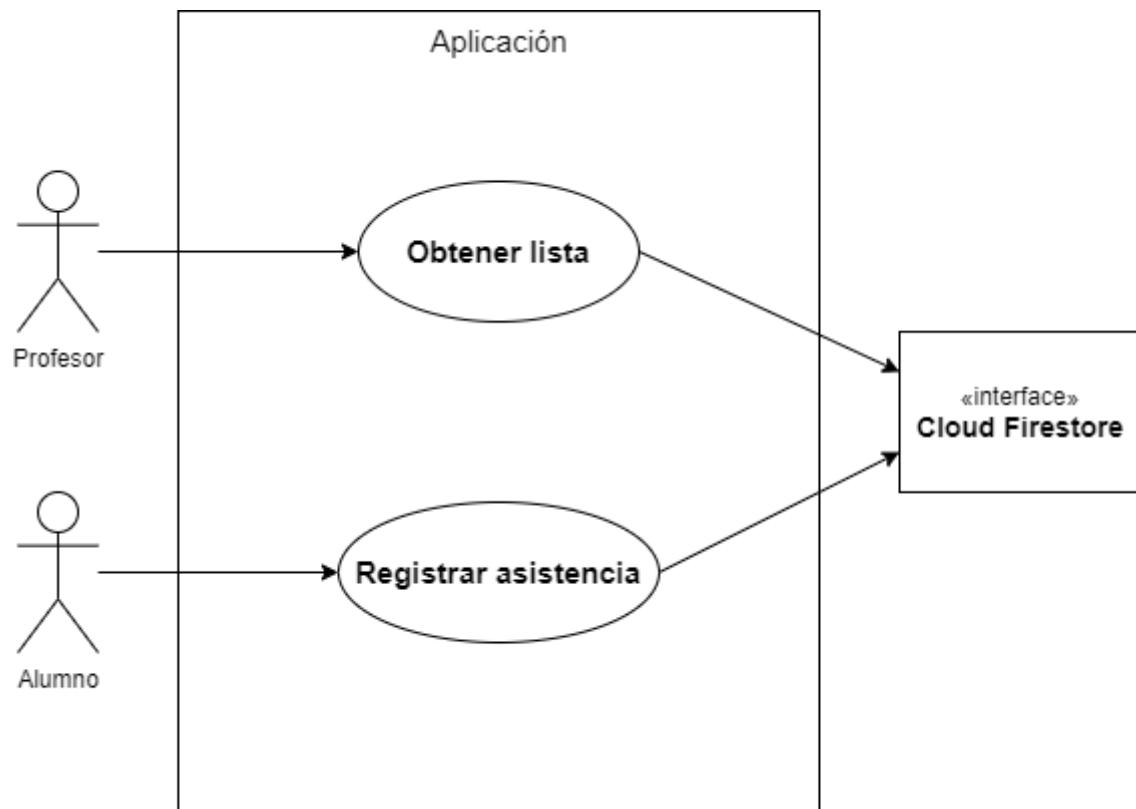


Figura 9 - Casos de uso de la aplicación

Fuente: Propia

### 3.5.2 Flujo de navegación

Como existen dos versiones de la aplicación podemos considerar dos flujos diferentes dependiendo de si el usuario es un profesor o un alumno.

Comenzamos por analizar el flujo de navegación la versión de alumno que se refleja en el siguiente esquema:

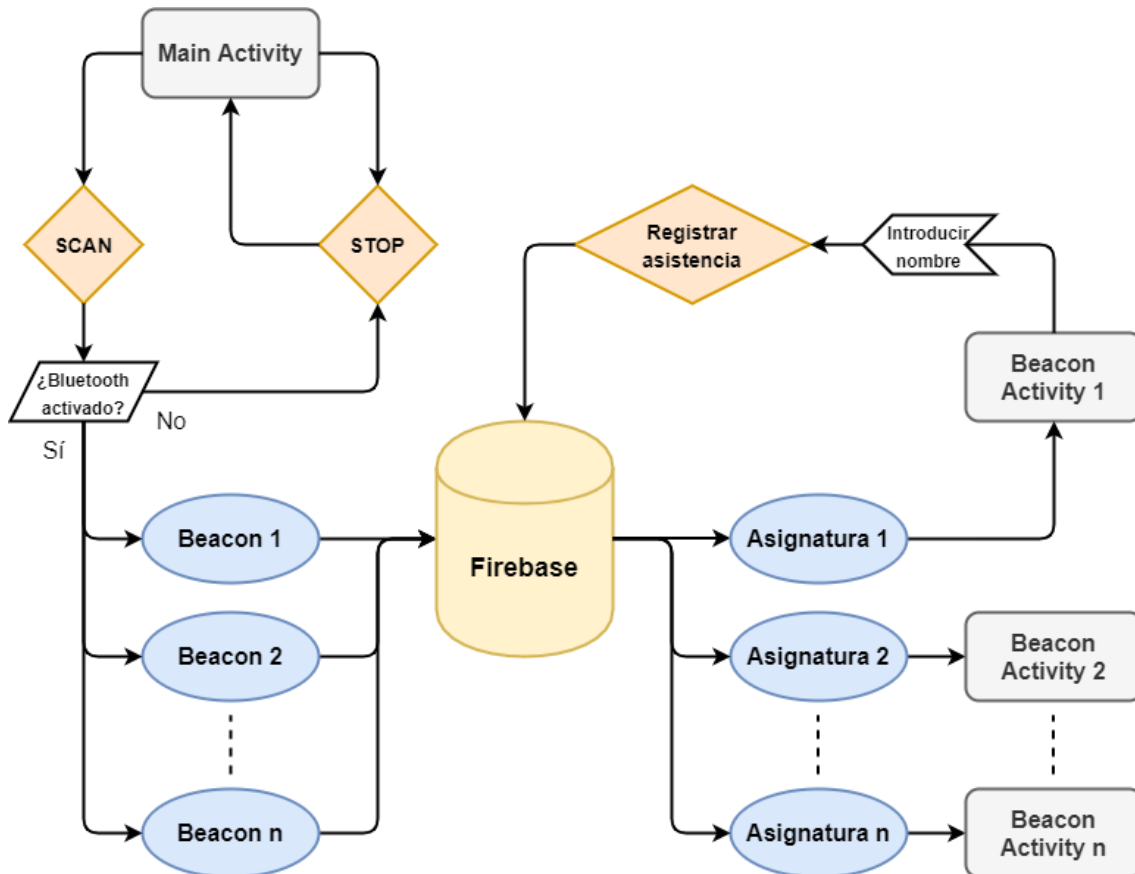


Figura 10 - Flujo de navegación de AsistenciaBLE Alumno

Fuente: Propia

En primer lugar, desde la MainActivity el usuario ha de pulsar el botón SCAN para comenzar la búsqueda de *beacons*. El sistema solicitará activar el Bluetooth, el Wi-Fi y los permisos de acceso a la ubicación por parte de la aplicación si estos no se han activado previamente. A continuación, mientras el proceso de escaneo esté activo, se mostrará el número total de *beacons* detectados y una lista de estos a medida que se vayan activando. Durante este procedimiento, la aplicación obtiene el identificador de cada *beacon*, con el que recurre a la base de datos para localizar la asignatura a la que está asociado y sacarla por la vista de la MainActivity. El botón de STOP detendrá el escaneo y apagará el Bluetooth para evitar el consumo extra.

Una vez el alumno selecciona la asignatura en la que quiere registrar su asistencia, se abre una nueva actividad con una cajetilla de texto para introducir el nombre y el botón para registrar asistencia. La aplicación comprobará que el campo de texto no esté vacío (advirtiéndole del error), que no hay ningún registro previo con ese

nombre y que la *MAC Address* de su teléfono personal sea única en la lista. Por esto, es necesario que el dispositivo esté conectado a la red inalámbrica presente de la que se obtiene este atributo.

El flujo de navegación de la versión para profesor difiere ligeramente de la comentada previamente:

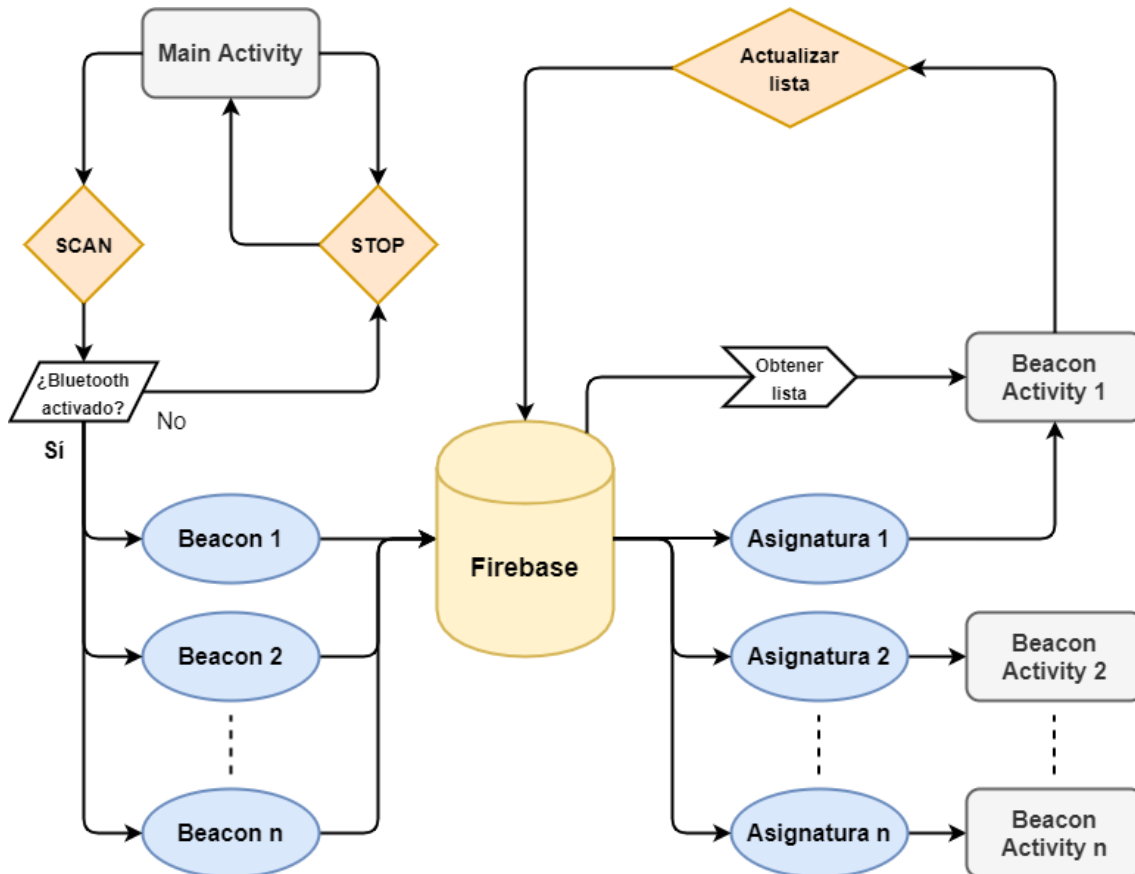


Figura 11 - Flujo de navegación de AsistenciaBLE Profesor

Fuente: Propia

El profesor solo necesita comprobar la lista correspondiente al *beacon* de clase. La base de datos en la nube nos permite obtener los datos registrados con una rapidez considerable.

La *MainActivity* de esta versión es idéntica a la programada en la versión del alumno. Una vez dentro de la *BeaconActivity* correspondiente, el botón de Actualizar lista ejecuta una llamada a la *Cloud Firestore* de la que obtiene la lista de nombres en los documentos de la clase y la imprime por pantalla. Pulsar repetidas veces este botón, como su nombre indica, actualizará la lista con los cambios que hayan ocurrido en la base de datos desde la última pulsación.

En esta versión tampoco necesitamos conocer la *MAC Address* del dispositivo en cuestión, por tanto, no es necesario que esté conectado a la red Wi-Fi.

### 3.5.3 Diseño de aplicación

#### 3.5.3.1 Main Activity

Esta actividad es idéntica en ambas versiones.

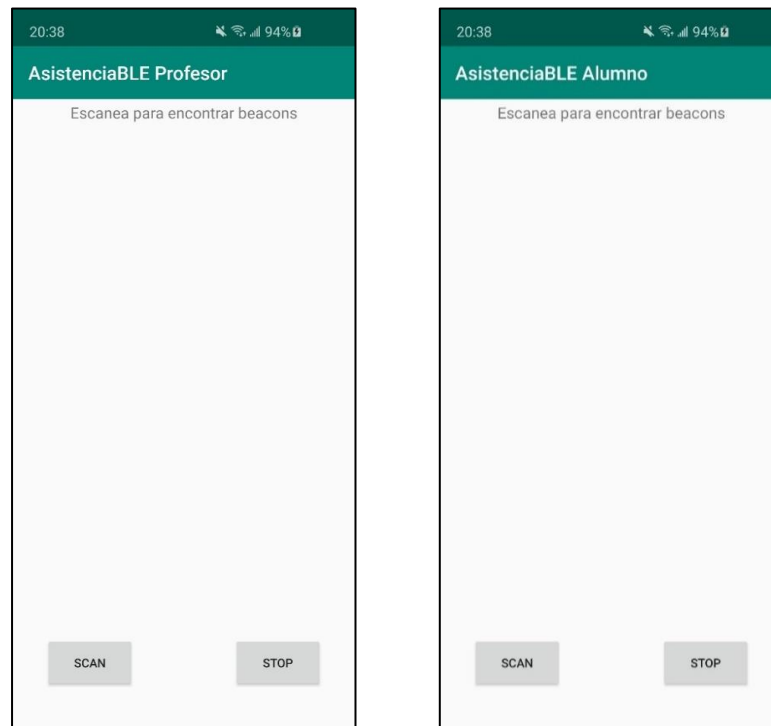


Figura 12 - MainActivity

Tras pulsar el botón SCAN, se mostrará una lista con las asignaturas de los beacons en rango similar a la siguiente.

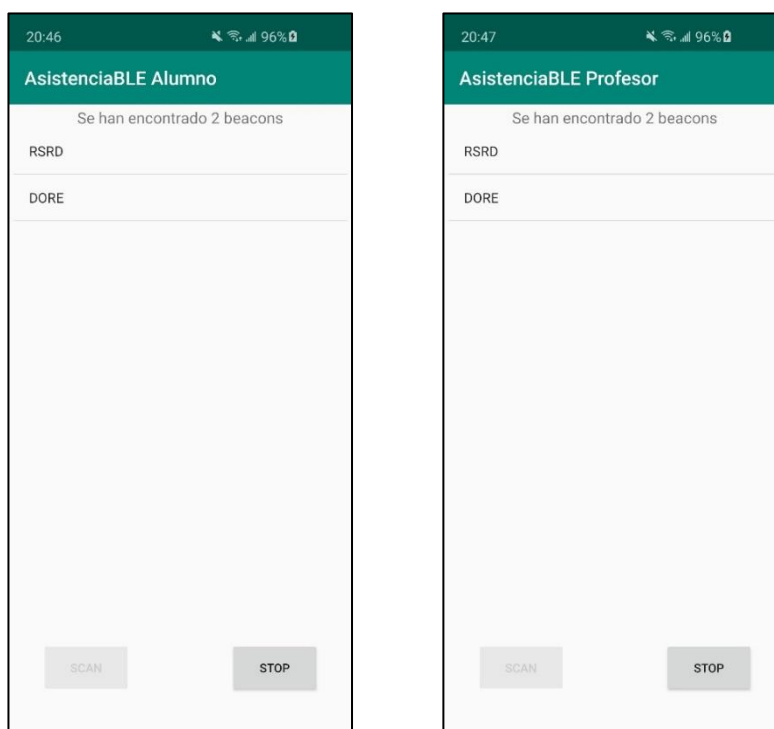


Figura 13 - MainActivity + SCAN

### 3.5.3.2 BeaconActivity

Esta actividad sí tiene diferente formato dependiendo de la versión. El siguiente es un ejemplo de la lista desplegada en la versión del profesor.

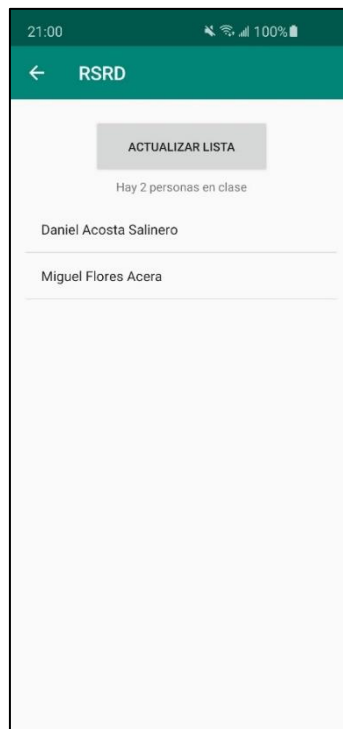


Figura 14 -BeaconActivity AsistenciaBLE Profesor

En el caso de la versión para el alumno, solo es necesario introducir su nombre.



Figura 15 - BeaconActivity AsistenciaBLE Alumno

### 3.5.3.3 Ejemplo de base de datos

Las siguientes capturas se obtuvieron en la consola que ofrece la plataforma Firebase de Google.

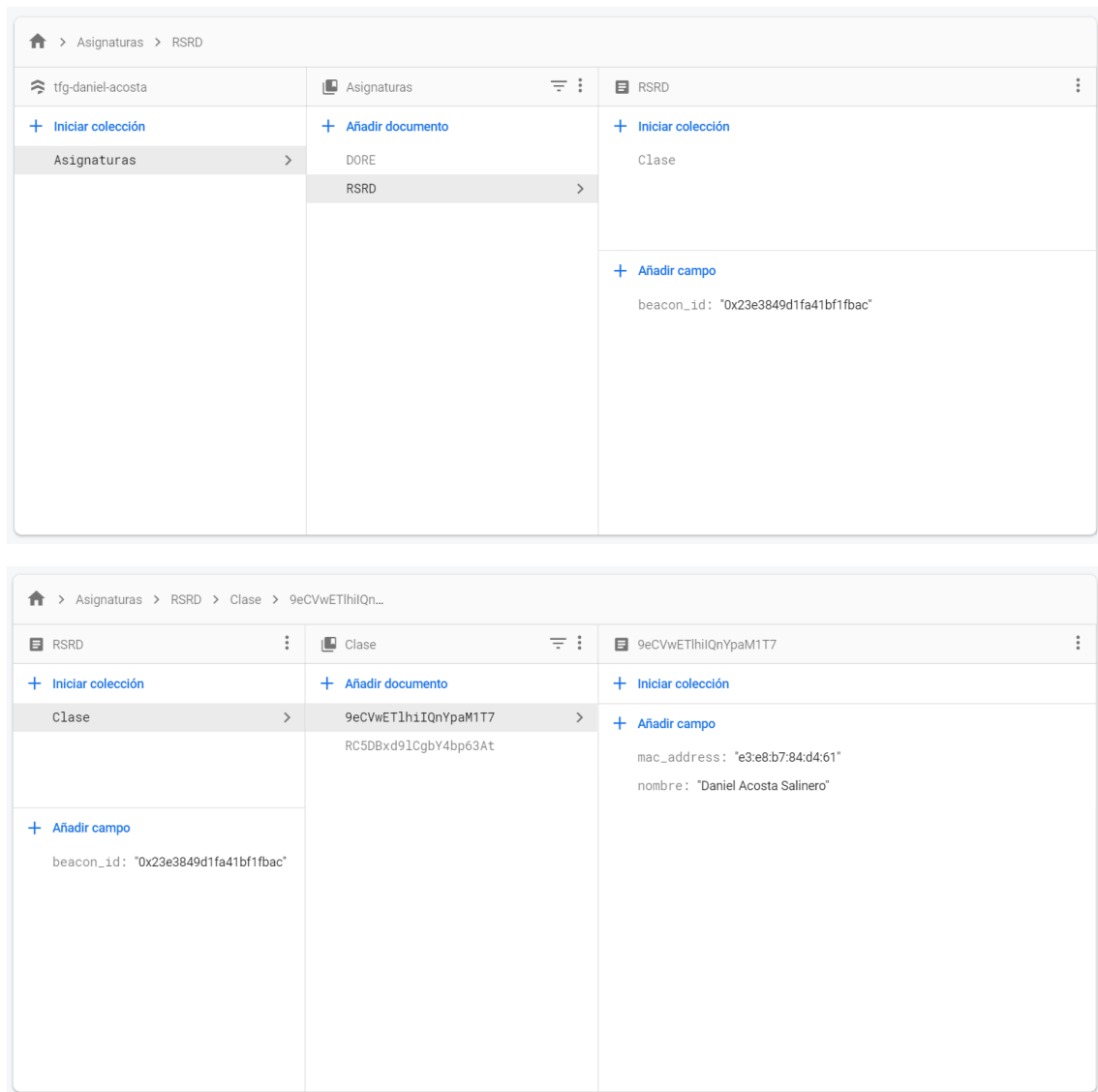


Figura 16 - Base de datos propuesta

En ellas, apreciamos la estructura de la base de datos explicada anteriormente y la forma de guardar sus registros. Dentro de cada clase, a los alumnos se les asigna un documento con un identificador autogenerado y sus atributos.

## 3.6 PRUEBAS Y RESULTADOS

### 3.6.1 Prueba 1

No hay *beacons* en el rango del dispositivo.

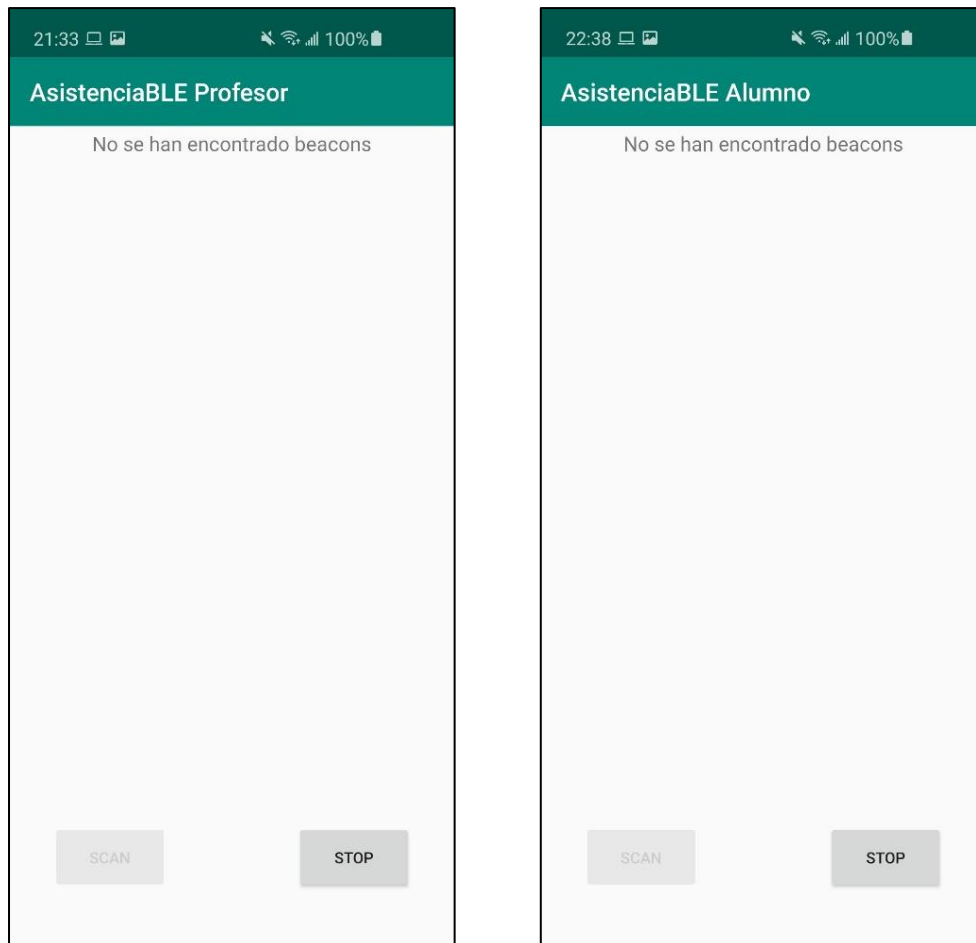


Figura 17 - Prueba 1

**Resultado:** no aparece ninguna asignatura en la lista, por lo que es necesario pulsar el botón STOP, comprobar que hay algún *beacon* activo y, si es así, acercarse al mismo.



### 3.6.2 Prueba 2

Introducir un nombre ya registrado en la base de datos o con el campo vacío.

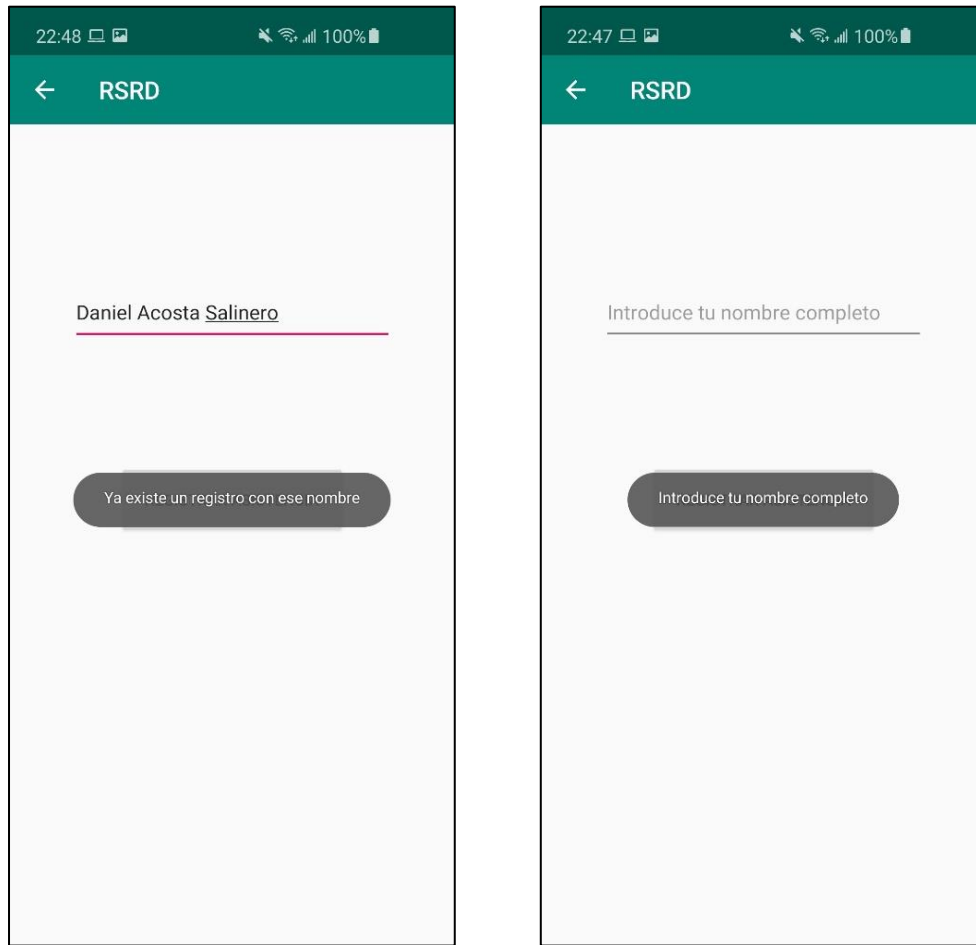


Figura 18 - Prueba 2

**Resultado:** El sistema no registra nombre con el campo vacío ni repite nombres existentes en la base de datos.

### 3.6.3 Prueba 3

Hacer dos registros desde el mismo dispositivo.

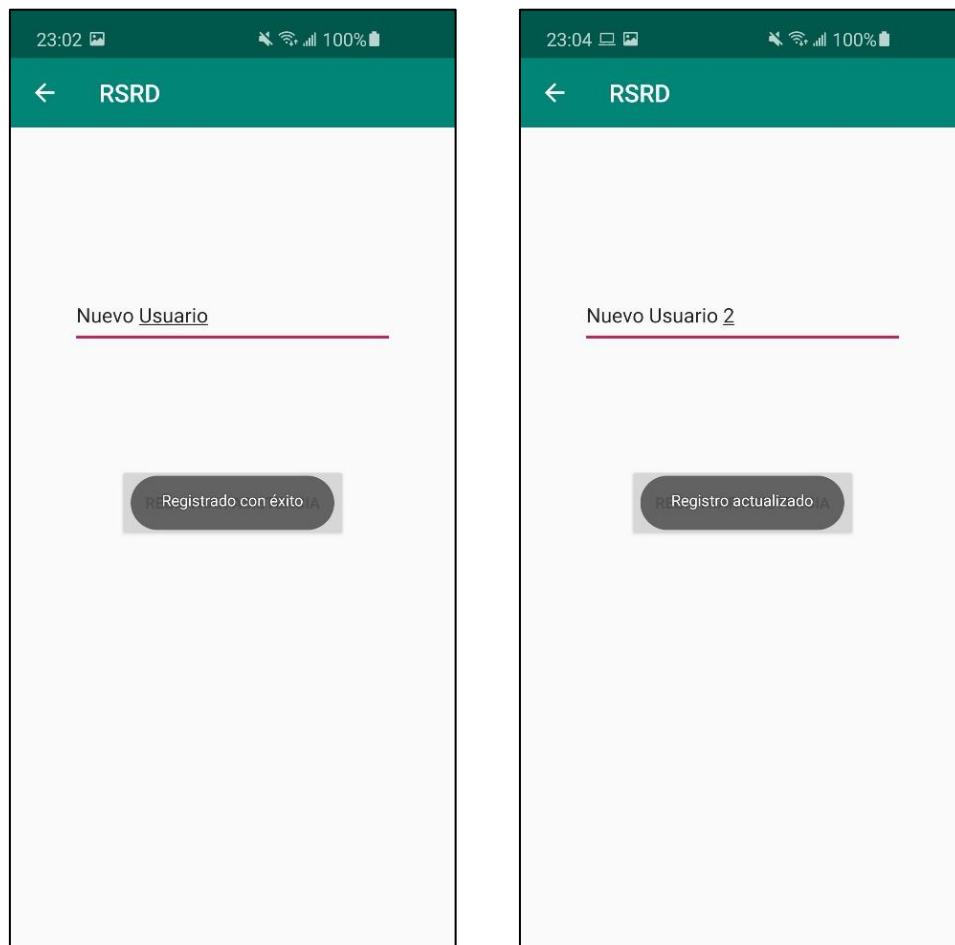


Figura 19 - Prueba 3

**Resultado:** el primer intento crea un registro nuevo en la base de datos, mientras que el segundo actualiza el anterior, puesto que poseen la misma *MAC Address*.

### 3.6.4 Prueba 4

Intento de clonación de un *beacon* desde fuera del aula.

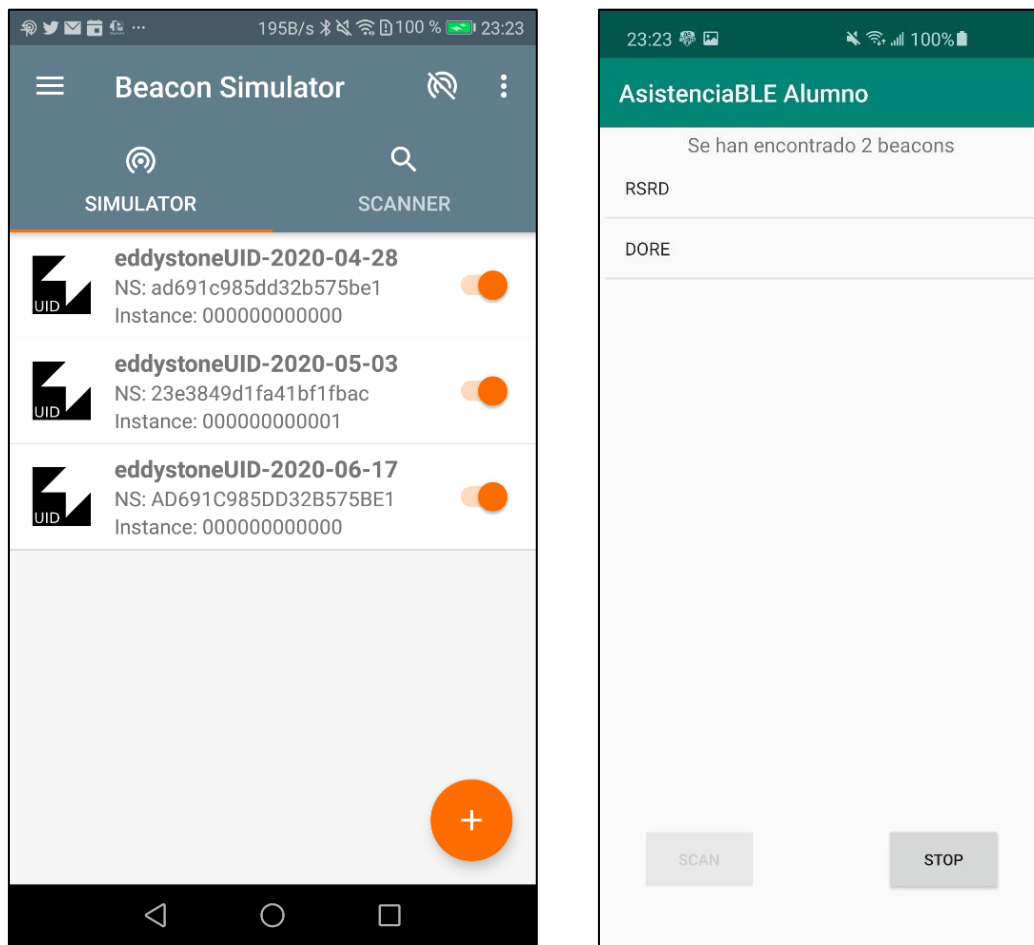


Figura 20 - Prueba 4

**Resultado:** la primera captura está tomada desde el otro smartphone en el cual simulo la actividad de los *beacons*. Atendiendo a la lista, los dos primeros están definidos con un *Namespace ID* autogenerado, mientras que el tercero de ellos intenta “clonar” el comportamiento del primero introduciendo el mismo campo como es únicamente posible, en mayúsculas. Al mismo tiempo, desde el smartphone que prueba la aplicación, se escanea la región cercana comprobando que solo podemos acceder a los *beacons* con clave autogenerada.

## 4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

---

### 4.1 CONCLUSIONES

Desde mi experiencia en la universidad, valoro positivamente el uso de actividades telemáticas en el aula de cara a un método de aprendizaje más variado e inclusivo. Todo lo que sea facilitar y promover la evolución de la enseñanza me resulta interesante y gratificante para con la sociedad.

Este proyecto aporta un granito de arena a ese propósito, en el que es importante la lealtad del alumnado. Me ha permitido explayarme y ahondar en el territorio que más me atrae del grado: las redes telemáticas. He aprendido a manejar herramientas nuevas como Android Studio y he ampliado mis conocimientos sobre las tecnologías inalámbricas. He descubierto la importancia y los numerosos usos de la tecnología BLE que apenas tenía en consideración antes de comenzar el proyecto. Se ha demostrado que tecnologías como el Bluetooth no son tan eficientes para estas aplicaciones.

Tras concluir este proyecto, me sumo a aquellos que piensan que esta tecnología (BLE) seguirá integrándose cada vez más en diferentes sectores. Sus características de sencillez y bajo coste hacen que tenga potencial para muchas más aplicaciones.

En definitiva, estoy satisfecho con el resultado final del proyecto, por cumplir con su propósito de manera simple y eficaz. Pero también soy consciente del margen de mejora y las imperfecciones de la solución ofrecida.

Individualmente, este trabajo me ha llevado un escalón por encima a lo que considero autonomía profesional, ya que durante la carrera se nos insta a comenzar a sacarnos las castañas del fuego nosotros mismos, pero siempre bajo un guión teórico. No es hasta este punto que cuando uno valora lo que es mostrar lo que ha aprendido desde su punto de vista y con su trabajo.

### 4.2 LÍNEAS FUTURAS

La vía de continuación más cercana es hacer la aplicación disponible para plataformas iOS. No debería ser un proceso muy complejo utilizando herramientas como React Native y Redux estudiadas en la asignatura de Ingeniería Web.

Pero la mejor línea de mejora de la aplicación sería poder integrar el sistema de identificación propio de la UPM. Existe la posibilidad de entrar en la aplicación identificándose con las credenciales UPM, para una mayor comodidad.

Además, la integración con la plataforma de Moodle, de forma que desde su misma aplicación se pudiese controlar la asistencia con los smartphones de los alumnos, sería el broche final al propósito del proyecto.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] M. Martínez García y D. Romero Faz, «Aprendizaje Basado en Problemas mediante un modelo de Teleenseñanza,» *Education In The Knowledge Society (EKS)*, pp. 46-66, 2016.
- [2] «Anyplace,» [En línea]. Available: <https://anyplace.cs.ucy.ac.cy/>.
- [3] M. Choi, J.-H. Park y G. Yi, «Attendance Check System and Implementation for Wi-Fi Networks Supporting Unlimited Number of Concurrent Connections,» *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2015.
- [4] C. Chew, M. Mahinderjit Singh, K. Chiang, W. Tan, W. Sheng, H. Husin, N. Hashimah y N. Malim, «Sensors-enabled Smart Attendance Systems Using NFC and RFID Technologies,» *International Journal of New Computer Architectures and their Applications*, pp. 19-28, 2015.
- [5] M. Boric, A. Fernández Vilas y R. P. Díaz Redondo, «Automatic Attendance Control System based on BLE Technology,» School of Telecommunications Engineering, University of Vigo, 2018.
- [6] M. A. Dávila, J. F. Pérez, W. Mantilla y J. E. Moreno, «Diseño de una Red Inalámbrica con Tecnología Zigbee para la Implementación de un Sistema Domótico,» *CIENCIA E INGENIERÍA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE COATZACOALCOS*, 2016.
- [7] L. Jianpo, Z. Xuning, L. Xue, Z. Zhiming y S. Jisheng, «Wireless Fingerprint Attendance System,» 2010.
- [8] R. González Rodríguez, «Sistema de balizas con tecnología Bluetooth de bajo consumo y su aplicación para facilitar a personas ciegas o con discapacidad visual la identificación y localización de lugares u objetos.,» 2018.
- [9] A. B. Hernández, «Accurate Indoor Positioning and Tracking Based on Data Fusion from Inertial Sensors, Wireless Signals and Image Devices Using Deep Learning Techniques,» 2019.
- [10] M. Á. S. Fernández, «Control de asistencia de alumnos automatizado vía Bluetooth Smart,» 2017.
- [11] D. G. Verdugo, «SG-Bootcamp-Beacons,» [En línea]. Available: <https://github.com/davigonz/SG-Bootcamp-Beacons>.

- [12] BeaconSimulator, «Play Store,» [En línea]. Available: [https://play.google.com/store/apps/details?id=net.alea.beaconsimulator&hl=es\\_419](https://play.google.com/store/apps/details?id=net.alea.beaconsimulator&hl=es_419).
- [13] C. Firestore, «Firebase,» [En línea]. Available: <https://firebase.google.com/products/firestore?authuser=0>.
- [14] D. A. Salinero, «Repositorio Trabajo de Fin de Grado,» [En línea]. Available: <https://github.com/danielacostas/TFGBLE-Profesor>.
- [15] D. A. Salinero, «Repositorio Trabajo de Fin de Grado,» [En línea]. Available: <https://github.com/danielacostas/TFGBLE-Alumno>.
- [16] «Estimote,» Estimote, [En línea]. Available: <https://estimote.com/products/>.
- [17] S. P. Yohanes Erwin Dari, «CAPTURE: A Mobile Based Indoor Positioning System,» 2018.

**Vídeos en línea que han ayudado en la elaboración de la aplicación.**

- [18] «#1, What is a NoSQL Database? How is Cloud Firestore structured? | Get to Know Cloud Firestore,» [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=v\\_hR4K4auoQ](https://www.youtube.com/watch?v=v_hR4K4auoQ).
- [19] «Getting Started With Cloud Firestore on Android - Firecasts,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=kDZYIhNkQoM>.
- [20] «Beacons en Android. Tutorial usando Eddystone Beacons.,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=NJ6dgsnhQ6M>.