

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**Estudio del diseño de una red de beacons Bluetooth para un campus
universitario**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL
GRADO DE BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

AUTOR

Stephany del Carmen Quiñones Guevara

ASESOR:

Luis Ángel Velarde Criado

Lima, diciembre, 2020

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en el estudio del diseño de una red de beacons Bluetooth para un campus universitario. En concreto, el lugar del estudio a considerarse será la PUCP.

El marco problemático en el que se desarrolla este trabajo de investigación contempla cómo la PUCP es un espacio donde toda la comunidad universitaria puede gozar de servicios y oportunidades, sin embargo, la forma en que se comunica esta información no permite que las personas se enteren de estos sucesos.

La investigación realizada analiza cuál sería la mejor solución de tecnología para transmitir información de forma instantánea, ligada a los lugares donde se encuentran las personas, además de qué cómo hacerla llegar a los usuarios. Algunas alternativas propuestas para la transmisión son los RFID, NFC, WiFi y los beacons; de los cuales los criterios para la elección de la tecnología óptima fueron: consumo, tasa de transferencia y compatibilidad con dispositivos móviles.

El estudio finalmente propone un modelo de solución que considera la utilización de beacons (dispositivos que trabajan con Bluetooth Low Energy) que transmitirían mensajes dependiendo de su ubicación, y que serían escaneados gracias a una aplicación móvil.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 1: MARCO PROBLEMÁTICO	7
1.1 Motivación	7
1.1.1 Contexto actual.....	7
1.1.2 Planteamiento del problema	7
1.2. Estado del Arte	8
1.2.1 NFC	8
1.2.2 RFID	9
1.2.3 Wi-Fi	9
1.2.4 Beacons.....	9
1.3 Justificación del estudio	10
1.4 Objetivos.....	12
1.4.1 Objetivo general.....	12
1.4.2 Objetivos específicos	12
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS PARA EL DESARROLLO DEL MODELO PROPUESTO	13
2.1 Tecnología Beacon	13
2.1.1 Bluetooth Low Energy.....	13
2.1.2 Protocolos de Beacons	14
2.1.2.1 iBeacon.....	15
2.1.2.2 Eddystone.....	15
2.2 Desarrollo de aplicaciones móviles	16
2.2.1 SDK	17
2.2.2 IDE	17
2.2.3 CMS.....	17
2.3 Base de datos con soporte en la nube.....	18
2.4 Modelo de la solución propuesta.....	19
CONCLUSIONES	20
RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	21
BIBLIOGRAFÍA	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de sistema de beacons.....	10
Figura 2: Capas de protocolo BLE [15] [16]	13
Figura 3: Estructura de paquete advertising [17].....	14
Figura 4: Paquete iBeacon [17].....	15
Figura 5: Trama Eddystone [17].....	16
Figura 6: Diagrama de construcción de una aplicación [19].....	17
Figura 7: Esquema de solución.....	19



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparativa entre tecnologías. [6] [7] [8] [9] [13] [14] 11



INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías IoT (de sus siglas en inglés, *Internet of Things*) están revolucionando la sociedad y están apuntando hacia un futuro interconectado en lo que respecta a las comunicaciones y el desarrollo de aparatos electrónicos que se encuentren permanentemente “en línea” a través de Internet. Sensores, actuadores, teléfonos celulares, computadores, edificios, autos, pueden ser parte de esta red inimaginable, en la que puede ser activados o manipulados en cualquier momento desde cualquier lugar [1]. Dichas tecnologías están llegando cada vez a más sectores y se están probando las ventajas que traen para las personas, apuntando en un futuro cercano en su inclusión en las *Smart Cities*.

Partiendo de un contexto más cercano, se pueden aplicar tecnologías IoT en un espacio como los campus universitarios. Se presenta la oportunidad de encontrar los beneficios de las aplicaciones disponibles, en este estudio, se utiliza la fácil disposición de los dispositivos para permitir que la comunidad universitaria pueda estar informada sobre la universidad según cómo se movilizan a través de ella, desde la comodidad de sus dispositivos móviles.

Por lo tanto, el presente documento tiene la siguiente distribución: en el capítulo 1 se introduce la problemática que motiva a desarrollar el estudio, además de presentar el estado del arte y la justificación del estudio; y el capítulo 2 presenta los fundamentos teóricos del estudio, concluyendo con el modelo de solución propuesto.

CAPÍTULO 1: MARCO PROBLEMÁTICO

1.1 Motivación

1.1.1 Contexto actual

La Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) ha cumplido 103 años desde su creación en 1917. Para el semestre 2020-2 se matricularon 24,361 alumnos en pregrado y 5,878 en posgrado. Cuenta con 16 departamentos académicos, 40 centros, escuelas e institutos y 31 direcciones y oficinas distribuidos tanto dentro como fuera del campus [2].

La PUCP es reconocida tanto a nivel nacional como internacional por su excelente propuesta educativa y formación continua. Busca el desarrollo científico, humanista, cultural y social de sus egresados, por esta razón ofrece servicios y oportunidades para toda su comunidad, promoviendo una formación integral [3]. Algunos de los servicios ofrecidos dentro del campus universitario incluyen cafeterías, centro de ayuda espiritual y psicológica, centro de salud, bolsa de trabajo y puntos de conexión inalámbrica Wi-Fi a lo largo de sus 413,902 metros cuadrados de extensión [2]. Inclusive, ha desarrollado aplicaciones, como PUCP virtual, Paideia y Descubre PUCP, que buscan facilitar y mejorar su vida universitaria de la comunidad PUCP. Todo en fin de mejorar la experiencia universitaria y cultivar un sentimiento de pertenencia para con la universidad.

1.1.2 Planteamiento del problema

A pesar de que la PUCP se presenta como un ambiente ideal para el desarrollo de múltiples habilidades a partir de las facilidades ofrecidas, eventos y oportunidades de aprendizaje o entretenimiento que se presentan día a día, existe un número elevado de la comunidad PUCP que no tiene conocimiento de estos sucesos.

Se podría concluir que una de las razones de este problema es debido a la difusión no uniformizada de estas informaciones, ya que por lo general se hacen por diversos canales (redes sociales, correo electrónico, página web) y una sola persona no llega a recibir toda la información de forma conjunta. Además, sería oportuno que la información pudiese ser personalizada de tal manera que la comunidad sea notificada sobre eventos o sucesos de su interés.

En consecuencia, el presente trabajo de investigación busca aprovechar la tecnología de proximidad para transmitir oportunidades, facilidades, novedades e información. que se

presentan dentro de la PUCP mediante la tecnología móvil a través de una aplicación en el momento en que estas están sucediendo o estén próximas de suceder.

1.2. Estado del Arte

Las tecnologías de proximidad se basan en la localización de un usuario a través de una red inalámbrica y buscan transmitir información haciéndola llegar a su respectivo dispositivo móvil [4]. De esta forma, trabajan en un área específica con los usuarios que pasan generando una experiencia física y tecnológica mejorada, siendo su principal aplicación el marketing de proximidad o los servicios basados en locación. Se resaltan tres aspectos principales para decidir qué tecnología debería implementarse, como características de la tecnología (rango de frecuencias, consumo, compatibilidad), experiencia en el usuario (la información se solicita o se entrega) y el costo que podría significar implementar todo el sistema [5]. Existen tecnologías pasivas como los códigos QR o los códigos de barra que necesitan ser de tecnología adicional para funcionar. Sin embargo, se mencionan a continuación algunas de las alternativas tecnológicas activas que cumplen con este propósito por sí solos.

1.2.1 NFC

Near Field Communication (NFC) es un protocolo de comunicación sin contacto half-duplex para distancias cortas (hasta 10 cm). Opera en la banda de 13.56 MHz y requiere dos dispositivos compatibles para establecer comunicación a través de acoplamiento inductivo. La tecnología puede transmitir hasta en tasas de 424 Kbps y su funcionamiento está basado en RFID. Una ventaja de NFC es que es posible su utilización con dispositivos móviles como smartphones, a diferencia del RFID tradicional. Algunas de sus aplicaciones habituales son pagos a través de redes inalámbricas, y tokens de acceso e identificación [6] [7].

Tiene tres modos de operación: lectura/escritura, *peer to peer* y *card emulation*. El método lectura/escritura trabaja en un solo sentido, donde el tag pasivo tiene escrita información y el dispositivo NFC se encarga de su lectura. El método *peer to peer* consta de una comunicación bidireccional en la que un dispositivo NFC puede comportarse tanto como un tag o un lector activo para intercambio de datos. Finalmente, en el modo *card emulation* un NFC móvil (como un teléfono móvil, por ejemplo) se comporta como una *smart card* o tarjeta inteligente, que se usa de la misma manera que una tarjeta de crédito sin necesidad de deslizarla o insertarla en un lector sino simplemente acercándose al rango de lectura [7].

1.2.2 RFID

Radio Frequency Identification (RFID) es considerada una de las primeras tecnologías de comunicación sin contacto. Un sistema RFID consta de dos partes importantes: un transpondedor (que va en el objeto a ser identificado) y un lector (que permite la lectura sobre el objeto, o en otros casos, la lectura/escritura). El transpondedor es un tag, el cual puede ser activo, si es que no requiere ser energizado, o pasivo, en el caso de que no posea una fuente de poder interna y requiere del lector para ser activado a través de generación de campo electromagnético o acoplamiento inductivo. De esta forma, el intercambio de información surge al momento de que el transpondedor es energizado, cuando es pasivo, y en el que el lector está en el rango de distancia [8].

El rango de distancia de funcionamiento está fuertemente ligado a la frecuencia de trabajo del RFID que va desde los 135 KHz hasta 5.8 GHz (LF, HF y UHF). En el rango de 100 KHz a 300 MHz se activa mediante acoplamiento inductivo, mientras que en UHF se activa por acoplamiento a través de campo electromagnético. Los tags pasivos que trabajan en bajas frecuencias tienen una distancia de operación hasta de 15 cm, mientras que en UHF llegan a 15 m. Los tags activos dependen también de la frecuencia de trabajo. Sin embargo, con una buena configuración del sistema se llega a obtener un rango máximo de 100 metros [7] [8].

1.2.3 Wi-Fi

Wi-Fi (IEEE 802.11) es una tecnología inalámbrica de rangos cortos popularmente utilizada para establecer conectividad a Internet. Utiliza ondas de radio para transmitir datos, requiere tanto un transmisor inalámbrico (por lo general, un router) y un adaptador que permita la lectura y envío de la información a través de la red.

Durante los años se han variado los estándares para Wi-Fi, siendo el 802.11n uno de los más utilizados por los usuarios. Transmite tanto a una frecuencia de 2.4 GHz como de 5GHz, con un espaciado entre canales de 20 y 40 MHz. Puede llegar a transmitir datos a una tasa de 300 Mbps. Además, su rango de alcance es de casi 100 m en lugares cerrados (donde depende de los objetos o superficies que atraviese) o hasta casi 300 m en lugares abiertos [9]. Sin embargo, esto conlleva que Wi-Fi presente un alto consumo de energía.

1.2.4 Beacons

Los beacons (o balizas, en español) son pequeños dispositivos que utilizan tecnología BLE (Bluetooth Low Energy) para su comunicación. Su frecuencia de trabajo es de 2.4 GHz. Una ventaja de los beacons en comparación a otras tecnologías es que la disipación de potencia

es baja (promedio de 10 mW por transmisión de datos), incluso para un rango de 100 m. Los beacons transmiten una señal con su identificación por los canales 37-39 de los 40 canales brindados por BLE, la cual es recibida por un dispositivo móvil para que realice alguna acción dependiendo de la configuración del beacon y la aplicación móvil del dispositivo. Comúnmente, se realiza una distribución de beacons cuya identificación está ligada a una base datos, la cual brindará la información pertinente a los dispositivos móviles que se encuentren a su alcance [10].



Figura 1: Diagrama de sistema de beacons

Existen dos protocolos que resaltan en los beacons: iBeacon y Eddystone. Ambos se asemejan en el tamaño del paquete y payload respectivo de transmisión, pero difieren ligeramente en la distribución de bytes de identificación [7]. Se calcula que el costo aproximado de un beacon varía entre los \$15 a \$20, aunque depende de la complejidad del dispositivo, la carcasa e incluso su capacidad de manejar ambos protocolos mencionados anteriormente.

Durante los últimos años, el crecimiento del fenómeno IoT (Internet of Things) ha revolucionado la sociedad y ha generado el desarrollo de nuevos protocolos que operen para esta red como las LPWAN (Low Power Wide Area Network). Diversas compañías asociadas han implementado beacons que trabajan en LPWAN, como Viaanix, Wyres (LoRa) o Sensolus (Sigfox) [11]. Inclusive, Sigfox desarrolló su propio beacon al que denominó Bubble, que reconoce dispositivos Sigfox en un rango de 1 m a 10 m y es utilizado principalmente como solución de seguimiento de activos [12].

1.3 Justificación del estudio

Para este trabajo de investigación se justifica la utilización de beacons para diseñar un sistema de tecnología basada en proximidad en la PUCP. El rango de distancia es prudente para la distribución en el campus universitario, además que su consumo de energía no presentaría mayor inconveniente para la duración de la batería. A continuación, se mostrará en la Tabla 1, una comparativa entre los beacons y las demás tecnologías mencionadas en el estado del arte.

Tabla 1: Comparativa entre tecnologías. [6] [7] [8] [9] [13] [14]

Tecnología	Consumo de Energía	Tasa de transferencia	Aplicaciones usuales
NFC	Aprox. 10 mW	0.02–0.4 Mbps	Publicidad, autenticación, conectividad, pagos, intercambio de datos
RFID	Sujeto a la frecuencia de operación	Hasta 0.640 Mbps	Seguimiento de activos, identificación, inventario, etiquetado, prevención de pérdidas.
Wi-Fi (802.11n)	Sobre los 200 mW	300 Mbps	Conexión a internet, distintos dispositivos, transferencia de datos
Beacons (BLE)	Aprox. 10 mW	1 Mbps	Localización Seguimiento de activos Ventas

Aunque el diseño de la arquitectura beacon - aplicación - servidor propuesta será dirigida para el entorno del campus PUCP, se espera que en un futuro también pueda ser utilizada en un entorno externo a la universidad como municipios, centros comerciales o museos.

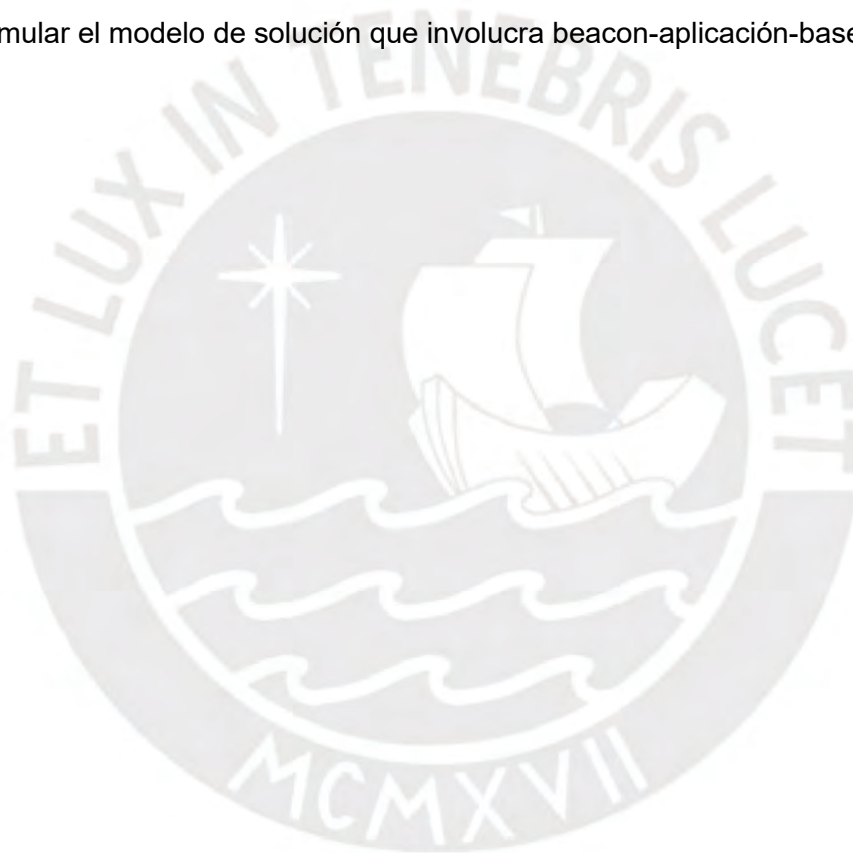
1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar el estudio del diseño de sistema de beacons que facilite el acceso de la comunidad a la información sobre edificios, negocios, actividades y facilidades de la universidad.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar el protocolo Bluetooth Low Energy en los beacons.
2. Estudiar el proceso de construcción de una aplicación móvil.
3. Analizar el cloud computing y su disposición para las bases de datos.
4. Formular el modelo de solución que involucra beacon-aplicación-base de datos.



CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS PARA EL DESARROLLO DEL MODELO PROPUESTO

En este capítulo, se describirán los conceptos teóricos de las herramientas y métodos a utilizar en el diseño de la solución frente a la problemática identificada en este trabajo, que facilitará el entendimiento del desarrollo planteado en los capítulos consiguientes. Luego de la evaluación exhaustiva del estado del arte en el marco problemático, se optó por una solución (que está constituida de tres secciones: tecnología de proximidad, dispositivo móvil y base de datos) que se adecuaba a los requisitos y necesidades del proyecto, la cual será justificada mediante los conceptos detallados en el presente capítulo.

2.1 Tecnología Beacon

2.1.1 Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy (en siglas BLE) es un rasgo distintivo del estándar Bluetooth, que apareció por primera vez en su versión 4.0. Bluetooth Smart, como también es llamado, forma parte del estándar sin interferir con el clásico Bluetooth que estaba orientado a establecer conexiones entre dos equipos con altas transferencias de datos. [7] Está compuesto por las siguientes capas en la pila: la capa física (PHY) y la capa de enlace (LL), que son las capas inferiores; y las capas superiores, como la capa de protocolo de control y adaptación del enlace lógico (L2CAP), la capa de protocolo de atributo (ATT), la capa de gestión de seguridad (SM), la capa de protocolo genérico de atributo (GATT) y capa de perfil de acceso genérico (GAP) [15].

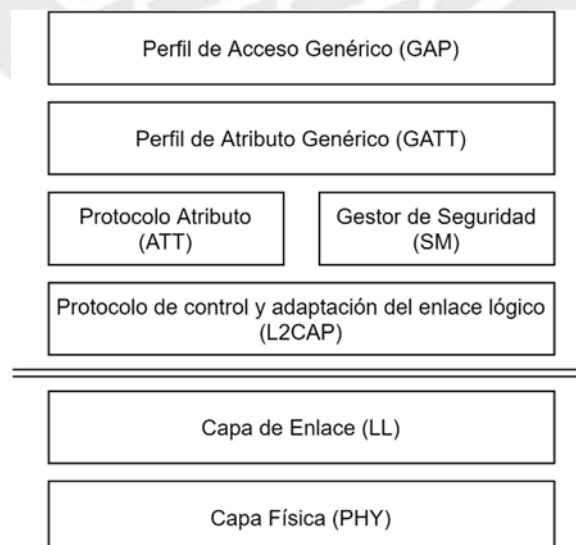


Figura 2: Capas de protocolo BLE [15] [16]

BLE opera en el rango de los 2.4 GHz, con 40 canales de radio frecuencia que se encuentran espaciados entre ellos por 2 MHz. Como este rango de frecuencias es usado usualmente por otros dispositivos, existe la posibilidad de interferencia. Una solución que presenta BLE es el salto de frecuencias [15]. También presente en Bluetooth versión 5.0 en la que se fortalece las compatibilidades de BLE con otros dispositivos, y la transferencia de datos puede llegar hasta 2 Mbps [17].

Los canales en BLE se dividen en dos categorías: *advertising* (canales 37, 38 y 39) y transferencia datos. (canales del 0 al 36). Los canales de transferencia de datos son los usados comúnmente en Bluetooth para comunicación bidireccional entre dispositivos enlazados, mientras que los canales de *advertising* son utilizados para conexiones y transmisión broadcast [16]. Una ventaja de los canales de *advertising* es que su distribución contribuye a evitar la interferencia con los canales de 1, 6 y 11 de WiFi (estándar 802.11). Los dispositivos beacons, que se usarán para este estudio, operan en los canales de *advertising*.

Los paquetes de transmisión de *advertising* tienen menor longitud que los de transferencia de datos. Los dispositivos no requieren estar enlazados para recibir los paquetes de *advertising* de un beacon. Estos paquetes tienen la estructura mostrada en la Figura 3.

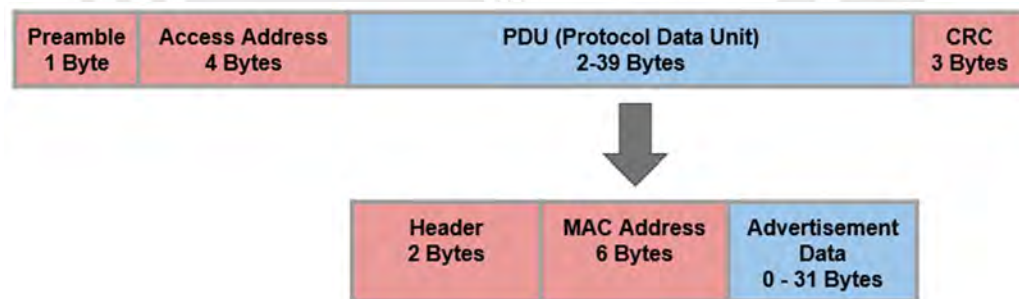


Figura 3: Estructura de paquete advertising [18]

Los paquetes *advertising* están compuestos por Preamble, Access Address, Protocol Data Unit y CRC, siendo el PDU la parte más importante del paquete. Esta estructura es bastante similar a la de un paquete convencional de transmisión de datos, sin embargo, el PDU de *advertising* tiene una longitud de hasta 39 bytes, mientras que el PDU de *data transfer* es de hasta 257 bytes.

2.1.2 Protocolos de Beacons

El *advertising data* (que se señala en la Fig. 3) es un pequeño pedazo de la unidad de datos de protocolo (PDU) que ocupa de 0 a 31 bytes. Los fabricantes de beacons introducen dentro de esta sección sus respectivos protocolos que personalizan la información a distribuir en los paquetes de *advertising*, siendo los más conocidos AltBeacon, iBeacon y Eddystone, estos son compatibles con los sistemas operativos de iOS y Android.

2.1.2.1 iBeacon

Es el protocolo de beacons ofrecido por Apple Inc., presentado en el 2013. Consiste en 31 bytes, que al adherirse al resto de arquitectura del paquete *advertising* generan un paquete de hasta 46 bytes de longitud. Contiene datos de fabricante (iBeacon Prefix), un identificador único (UUID) que es utilizado para su reconocimiento en relación con otros beacons dentro de una red, bytes Minor y Major que son declarados de forma que contribuyen con la identificación de un beacon que trabaja en cierto sector y un byte de TX Power, que sirve para indicar la intensidad de la señal a un metro de distancia [18].



Figura 4: Paquete iBeacon [18]

2.1.2.2 Eddystone

Protocolo de beacons ofrecido por Google desde 2015. A diferencia de iBeacon, Eddystone ofrece la posibilidad de difusión de paquetes con cuatro tipos de tramas distintos: UID, URL, TLM y EID, que ocupan 20 bytes del paquete. Además, cuenta con un prefijo propio del fabricante (Eddystone Prefix) de 11 bytes [18].

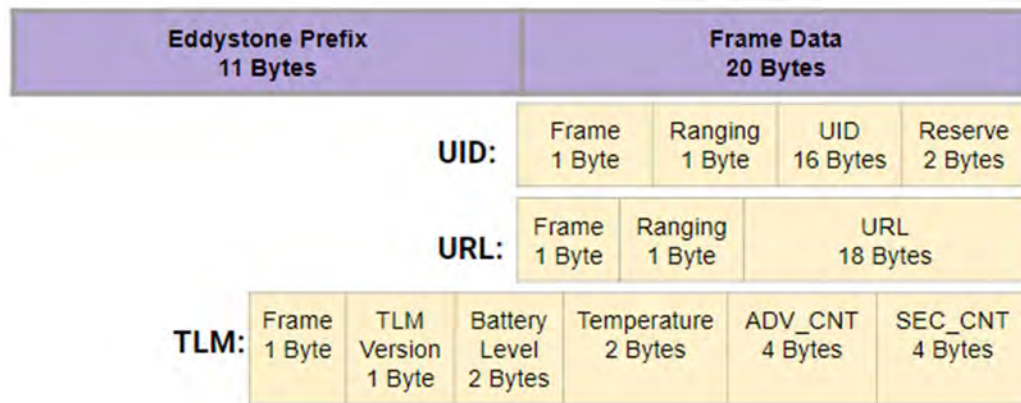


Figura 5: Trama Eddystone [18]

Respecto a las distintas tramas:

- **Eddystone-UID:**

Funcionamiento similar al de iBeacon, posee un identificador de 16 bytes que permite diferenciar a los beacons entre ellos. Estos 16 bytes están distribuidos de la siguiente forma: 10 bytes para identificar un grupo de beacons y 6 bytes para identificar a los beacons individualmente [19].

- **Eddystone-URL:**

Su modo de operación consiste en difusión de direcciones URL comprimidas y de esta forma utilizar el menor número de caracteres. Cualquier dispositivo con conectividad a internet que reciba esta señal tendrá la opción de ingresar a la dirección URL en el navegador web [19].

- **Eddystone-TLM:**

En esta trama se difunde información interna del beacon como temperatura, nivel de batería y cuenta de paquetes de broadcast. Además, Eddystone permite que los desarrolladores cambien de modo TLM a URL o UID en un beacon, intercalando los paquetes que son enviados [18].

2.2 Desarrollo de aplicaciones móviles

Como se va a desarrollar una aplicación móvil que reconozca los paquetes difundidos por los beacons, es necesario especificar el sistema operativo en el que se va a implementar esta plataforma. En el mercado, los sistemas operativos para dispositivos móviles más

populares son iOS (de Apple) y Android (de Google), existen otros como Windows Phone, BlackBerry OS y Symbian, pero que ya se encuentran descontinuados.

Para comenzar a desarrollar una aplicación, es necesario considerar qué tecnologías van a interactuar con el dispositivo móvil, qué herramientas se van a utilizar y cuál es el alcance de la aplicación. El sistema operativo que será usado será Android, porque es el sistema operativo más popular en el mercado y con mayor cantidad de usuarios. Además, el entorno de desarrollo brindado por Android es un software de libre acceso compatible con otros sistemas operativos.

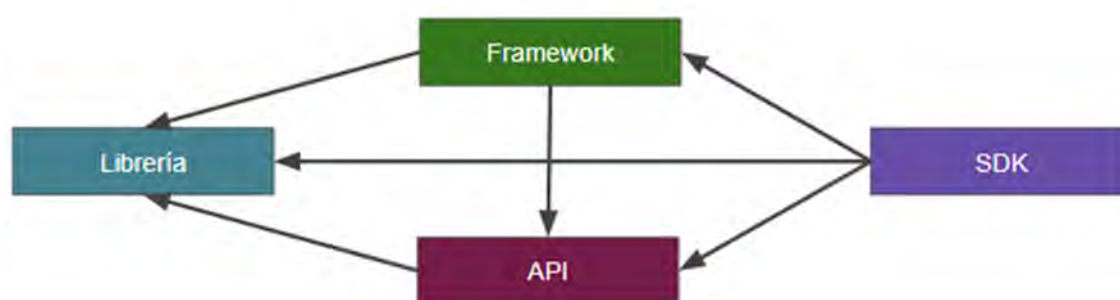


Figura 6: Diagrama de construcción de una aplicación [20]

2.2.1 SDK

SDK significa kit de software de desarrollo. Un SDK puede representar una colaboración de herramientas de desarrollo, librerías, documentación, frameworks, API, compiladores, debuggers, etc. que permiten el desarrollo de aplicaciones [21]. En muchos casos, los SDK son la base del desarrollo para un sistema operativo en específico. Por ejemplo, Android tiene su propio SDK (Android SDK) el cual es necesario para que una aplicación construida puede desenvolverse en el sistema operativo.

2.2.2 IDE

Aplicación de software que permite el desarrollo integral de aplicaciones dirigidas a un sistema operativo. Contiene todas las utilidades mencionadas anteriormente, además de herramientas extras que permiten un desarrollo más amigable para el programador y facilitan el uso de la interfaz. El IDE de Android, que es la plataforma en la que se desarrollará la aplicación móvil, se llama Android Studio.

2.2.3 CMS

Una opción distinta para el desarrollo de aplicaciones consiste en la utilización de CMS (Sistema de gestión de contenidos) que, como indica su nombre, se basa en el control y manejo de información que pueden ser páginas web y/o aplicaciones móviles a través de una base de datos [22]. Una ventaja para los usuarios de CMS es que no implica un extensivo conocimiento en programación para la distribución de contenido y presentación. Para los dispositivos móviles, existen CMS que son usados como back-end para aplicaciones móviles.

2.3 Base de datos con soporte en la nube

El cloud computing (Computación en la nube) se ha vuelto una solución muy popular debido a que los encargados de centros de cómputo ofrecen acceso rápido y sencillo a servicios, infraestructura, bases de datos y servidores a través de Internet. Esto beneficia al usuario hasta el punto en que le es más factible rentar espacio de almacenamiento en la nube que construir su propio sistema de información [23]. En la actualidad, las opciones de Cloud más populares son Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure y Google Cloud.

Cloud Computing presenta diferentes modelos de servicio. Según su influencia en el Mobile Cloud Computing (MCC), el cual se refiere al cloud computing aplicado en dispositivos móviles (sobre todo en relación con sus aplicativos), podemos destacar dos modelos representativos:

- **Software as a Service (SaaS):**

En este modelo, se ofrece que las aplicaciones sean alojadas como un servicio para los clientes y que su acceso sea a través de Internet. El usuario a su vez no requerirá de instalar software adicional para acceder al servicio [24].

- **Platform as a Service (PaaS):**

Este modelo consiste en ofrecer infraestructura y ambiente de desarrollo de aplicaciones web como un servicio. De esta forma, el usuario sólo estará pendiente de la construcción y funcionamiento de la aplicación a desarrollar [24].

Considerando las opciones de desarrolladores de Cloud mencionados anteriormente, para el diseño, se considera una base de datos que sea alojada en Cloud, la cual permita a una

aplicación móvil obtener información en tiempo real a través de Internet, de esta forma, la aplicación no consume excesiva memoria del dispositivo y la actualización de la base de datos puede ser realizada desde la misma plataforma del distribuidor. Popularmente en el mercado, existen bases de datos tanto relacionales (estructura clásica de tablas que se relacionan entre sí) y las no-relacionales (rompen con la estructura de tablas y formato).

2.4 Modelo de la solución propuesta

Del estudio realizado, se plantea el siguiente esquema de solución:

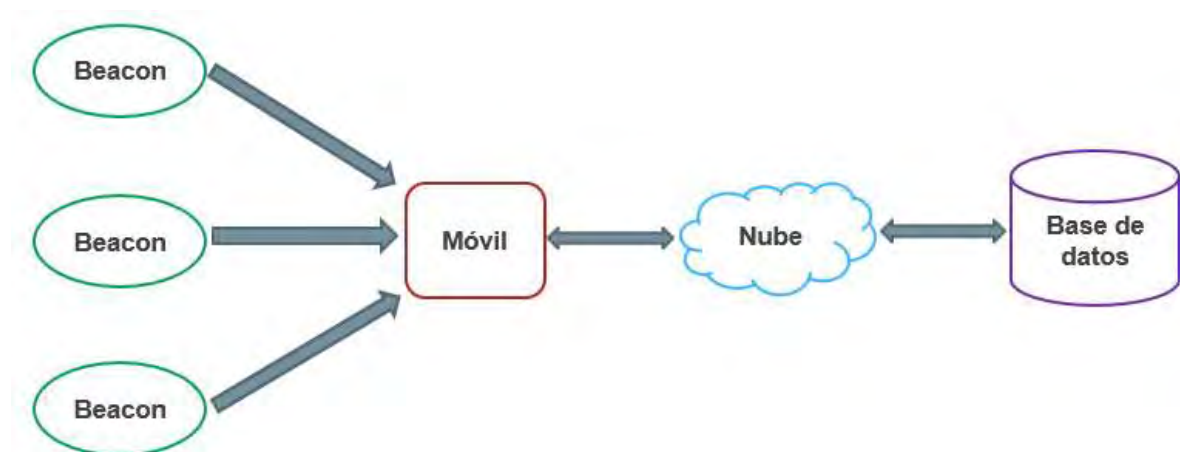


Figura 7: Esquema de solución

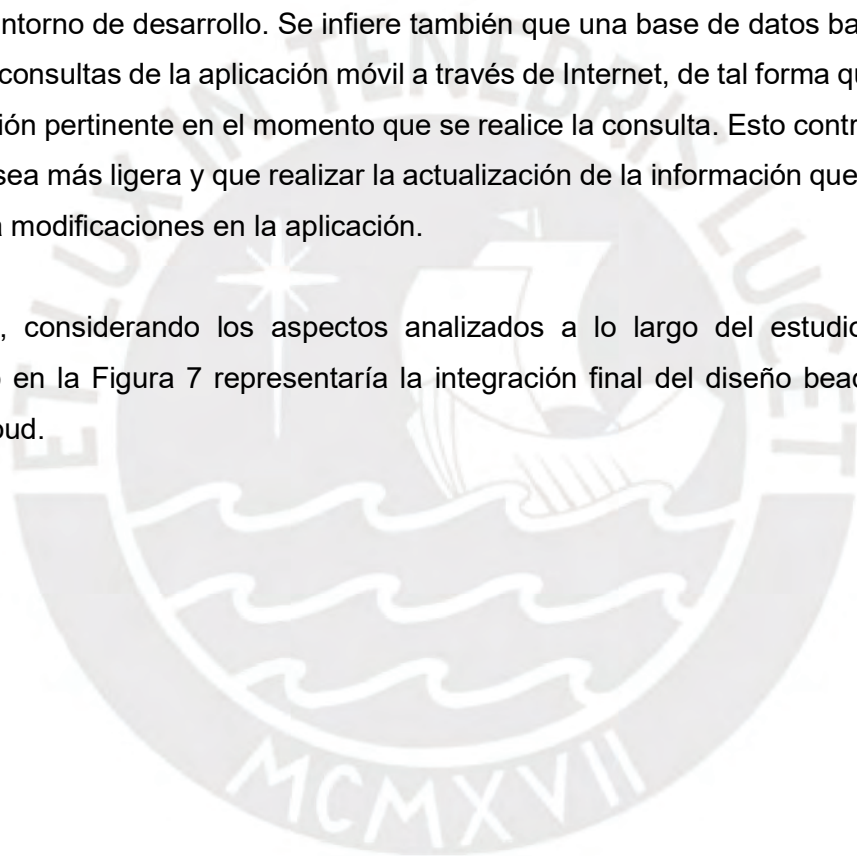
El sistema propuesto consiste en una red de beacons que se encontrarían distribuidos a lo largo del campus PUCP. Cada uno de los beacons posee un identificador propio (UUID), estos identificadores serían transmitidos usando Bluetooth Low Energy (BLE) en modo broadcast. Un dispositivo móvil debería contar con una aplicación que reciba los paquetes transmitidos por los beacons (cuando esté en el rango de alcance del beacon) y procedería a usar los identificadores recibidos para enviar solicitudes hacia una base de datos con soporte en la nube. De dicha base de datos obtendría información que sería devuelta a la aplicación, generando una notificación en el dispositivo que tenga relación con la ubicación del beacon dentro del campus universitario.

CONCLUSIONES

Se concluye del trabajo de investigación que, para contribuir con la distribución de información de una forma más estandarizada y eficaz en un campus universitario, se consideran para el diseño beacons que trabajen con Bluetooth Low Energy que garantizan bajo consumo, amplio rango de distancias y compatibilidad con dispositivos móviles.

Adicionalmente, se puede concluir que una aplicación que interactúe con los dispositivos beacons brinda facilidad para que los usuarios del campus universitario pudiesen realizar la lectura de estos dispositivos sin requerir de hardware adicional. Para desarrollar la aplicación móvil, se considera para su construcción el sistema operativo, los API, librerías, SDK e incluso el entorno de desarrollo. Se infiere también que una base de datos basada en Cloud que reciba consultas de la aplicación móvil a través de Internet, de tal forma que esta retorne la información pertinente en el momento que se realice la consulta. Esto contribuiría a que la aplicación sea más ligera y que realizar la actualización de la información que será difundida no requiera modificaciones en la aplicación.

Finalmente, considerando los aspectos analizados a lo largo del estudio, el esquema presentado en la Figura 7 representaría la integración final del diseño beacon-aplicación-servidor cloud.



RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se recomienda para trabajos futuros considerar que requerimientos serían necesarios considerar a partir de analizar la extensión de un campus universitario para la distribución de la red de beacons, y un usuario que se moviliza a lo largo del campus, que lleva consigo un dispositivo móvil.

Considerar adicionalmente distinguir entre las distintas marcas del mercado y verificar cuáles cumplirían con los requerimientos propuestos para el diseño. Ya que será preciso evaluar la estabilidad que tendría la comunicación beacon-dispositivo móvil, se sugiere analizar las condiciones y escenarios que causarían una perturbación en la robustez de esta.

En lo que respecta a la aplicación móvil, considerar un servidor de base de datos que permita la interacción con la aplicación de una forma segura y que responda instantáneamente a las consultas que se irían efectuando por múltiples dispositivos en un campus universitario.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. R. Biswas y R. Giaffreda, «IoT and cloud convergence: Opportunities and challenges,» de *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, Seoul, 2014.
- [2] Pontificia Universidad Católica del Perú, «La PUCP en cifras,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.pucp.edu.pe/la-universidad/nuestra-universidad/pucp-cifras/>. [Último acceso: 13 noviembre 2020].
- [3] Pontificia Universidad Católica del Perú, «Misión, visión y valores,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.pucp.edu.pe/la-universidad/nuestra-universidad/mision-vision-y-valores/>. [Último acceso: 24 Setiembre 2019].
- [4] N. Levesque y H. Boeck, «Proximity Marketing as an Enabler of Mass Customization and Personalization in a Customer Service Experience,» *Managing Complexity*, pp. 405-420, 2017.
- [5] S. Sharma, H. Sharma y S. Rajan, «Proximity based marketing solutions - integrating the physical and the digital,» *Your Story*, 2018. [En línea]. Available: <https://yourstory.com/2018/02/marketing-solutions-integrating-physical-digital>. [Último acceso: 5 Octubre 2019].
- [6] V. Coskun, B. Ozdenizci y K. Ok, «A Survey on Near Field Communication (NFC) Technology,» *Wireless Personal Communications*, vol. 71, nº 3, pp. 2259-2294, 2013.
- [7] S. Statler, *Beacon Technologies: The Hitchhiker's Guide to the Beacosystem*, Berkeley: CA: Apress, 2016.
- [8] K. Finkenzerler, *RFID handbook: fundamentals and applications in contacless smart cards, frequency identification and near-field communication*, Tercera ed., John Wiley & Sons, 2010.
- [9] L. Li, H. Xiaoguang, C. Ke y H. Ketai, «The applications of WiFi-based Wireless Sensor Network in Internet of Things and Smart Grid,» de *2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, Beijing, 2011.
- [10] J. Skarberg y K. Sletten, *Using Bluetooth Beacons in a museum: An exploratory study with proximity-based technology*, Univ. de Oslo, 2016.
- [11] Sensolus, «Asset Tracking Solution,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sensolus.com/>. [Último acceso: 8 Octubre 2019].
- [12] Sigfox, «Sigfox Bubble,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sigfox.com/en/solutions/sigfox-bubble>. [Último acceso: 8 Octubre 2019].
- [13] A. Lazaro, M. Boada, R. Villarino y D. Girbau, «NFC Sensors Based on Energy Harvesting for IoT Applications,» de *Wireless Energy Transfer Technology*, P. Pinho, Ed., 2019.
- [14] J. DeCuir, «Introducing Bluetooth Smart: Part 1: A look at both classic and new technologies,» *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 3, nº 1, pp. 12-18, Enero 2014.
- [15] N. K. Gupta, *Inside Bluetooth Low Energy*, Segunda ed., Artech House, 2016.
- [16] C. Gomez, J. Oller y J. Paradells, «Overview and evaluation of bluetooth low energy: An emerging low-power wireless technology,» *Sensors*, vol. 12, nº 9, pp. 11734-11753, 29 Agosto 2012.

- [17] M. Collota, G. Pau, T. Timothy y O. K. Tonguz, «Bluetooth 5: A Concrete Step Forward toward the IoT,» *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, n° 7, pp. 125 - 131, Julio 2018.
- [18] K. E. Jeon, J. She, P. Soonsawad y P. C. Ng, «BLE Beacons for Internet-of-Things Applications: Survey, Challenges and Opportunities,» *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, n° 2, pp. 811 - 828, 2018.
- [19] Github Inc., «Eddystone Protocol Specification,» 14 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://github.com/google/eddystone/blob/master/protocol-specification.md>. [Último acceso: 15 Noviembre 2019].
- [20] P. Hernández, «La relación entre Librería, API, Framework y SDK en el desarrollo de Apple,» Medium, 4 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://medium.com/@pedrohr99/la-relaci%C3%B3n-entre-librer%C3%ADa-api-framework-y-sdk-en-el-desarrollo-de-apple-b8c971cf06e3>. [Último acceso: 16 Noviembre 2019].
- [21] K. Sandoval, «What is the Difference Between an API and an SDK?,» NORDIC APIS, 16 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://nordicapis.com/what-is-the-difference-between-an-api-and-an-sdk/>. [Último acceso: 12 Noviembre 2019].
- [22] M. M. Boukar y I. Musku, «Administration and academic staff performance management system using content management system (CMS) technologies,» de *2013 International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, Ankara, 2013.
- [23] A. Velte, T. Velte y R. Elsenpeter, *Cloud Computing: A Practical Approach*, New York: McGraw-Hill, 2010.
- [24] C. Pühringer, *Cloud Computing for Home*, Vienna: Vienna University of Technology, 2012.