

# Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Oaxaca 2019

Elibro Online con ISSN 1946-5351  
Volumen 11, No. 4, 2019

Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México  
19, 20, y 21 de junio de 2019

[www.AcademiaJournals.com](http://www.AcademiaJournals.com)

ACADEMIA JOURNALS



OPUS PRO SCIENTIA ET STUDIUM



# DESARROLLO DE UN PROTOTIPO IOT DE BAJO COSTO BASADO EN EL PROTOCOLO BLUETOOTH LOW ENERGY PARA LA SUPERVISIÓN AMBIENTAL Y SEGURIDAD FÍSICA DE INVENTARIO

L.I. Wendy Caribel Nuño-Pérez<sup>1</sup>, Dr. Óscar Hernández-Uribe<sup>2</sup>,

**Resumen**—En este artículo se presentan los resultados de una investigación llevada a cabo en la empresa Redes Tecnológicas de Occidente S.A. de C.V., la investigación se enfoca en la integración de sensores para la supervisión ambiental y seguridad física en una placa de bajo costo, utilizando el protocolo Bluetooth Low Energy para la gestión de los inventarios. Bluetooth forma parte del grupo de protocolos inalámbricos, que desde su versión 4.0 en adelante sus nuevas características se han destinado para su uso en ambientes del Internet de las Cosas lo cual a contribuido a posicionarse como un protocolo innovador en este ámbito. Con el aprovechamiento de las nuevas características de Bluetooth baja energía y la integración de los sensores el resultado obtenido es un punto de control adicional al proceso de gestión de el inventario con el beneficio de la supervisión ambiental, así como a la seguridad física del equipamiento que se maneja.

**Palabras clave**—Bluetooth low energy, sensores, bajo costo, raspberry, ble, control de inventarios.

## Introducción

De acuerdo con Lin, You-Wei Lin y Chi-Yi (2018), Los escenarios de aplicaciones populares de IoT incluyen hogares inteligentes, hospitales inteligentes, fábricas inteligentes y ciudades inteligentes, o podemos ver que internet de las cosas complementa cualquiera de estos sistemas inteligentes porque varios de sus sistemas convergen hacia plataformas IP. En estos escenarios de aplicación, debe implementarse un gran número de dispositivos de IoT, tal como la infraestructura para facilitar la interconexión entre estos dispositivos y los sistemas backend. Para esto se han estandarizado varios protocolos de comunicación inalámbrica de baja potencia para IoT.

La intención de esta investigación es aprovechar las ventajas que el protocolo Bluetooth baja energía ofrece para identificar los dispositivos dentro de la organización y que permitan brindar visibilidad de estos dispositivos que componen la red y su situación o estatus como parte de esta red. Así mismo se pretende que este desarrollo aporte al ecosistema de Internet de las cosas, dando como resultado una solución que pueda ser utilizada en las ciudades inteligentes o casas inteligentes, ya que a través de la identificación de dispositivos por protocolo Bluetooth LE será posible identificar que equipos siguen estando disponibles en el mismo entorno o si alguno de ellos ya no se encuentra dentro.

Realizando así una revisión de inventario mediante este protocolo de conectividad automático, fomentando a través de este, el desarrollo de un ambiente inteligente donde diferentes factores actúen y aporten de forma paralela a una mejor gestión de todos los dispositivos y de este modo poder aplicar los principios de la ingeniería de sistemas que se utilizan para hacer los servicios y sistemas más baratos, más funcionales y llegar al mercado más rápido como menciona Tareq Z. Ahram et al. (2010).

Buscando resolver la parte de gestión y disposición de equipamiento de telecomunicaciones, la empresa se encuentra en proceso de implementación de un Sistema de Planificación de Recursos Empresariales (ERP por sus siglas en inglés), dicho sistema cuenta con un modelo de inventario desde el cual se lleva el registro del equipamiento que ingresa y sale de la empresa. Por lo tanto, los puntos que se requiere resolver en este problema son los siguientes:

- **Medición de temperatura:** Se requiere de un sensor que permita estudiar las condiciones de temperatura en una bodega y en un “site”, este sensor debe tener la capacidad de funcionar en ambiente requeridos para el enfriamiento de los dispositivos que se hospedan y operan en un espacio físico especial.

<sup>1</sup> Estudiante de Maestría en Sistemas Inteligentes Multimedia, Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ AC), Av. Nodo Servidor Público #165 Col. Anexa al Club de Golf, Las Lomas, 45131 Zapopan, Jalisco, w3ndy.carib31@gmail.com

<sup>2</sup> Laboratorio de RX y Aprendizaje Profundo, Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ AC), Av. del Retablo 150. Querétaro, Qro. México. C.P. 76150, oscar.hernandez@ciateq.mx

- Medición de Humedad: Se requiere de un sensor que continuamente este midiendo la humedad de una bodega y un “site” ya que es importante tener información precisa de la humedad siendo que la mayoría de los dispositivos manejados en ambos sitios, son dispositivos que requieren de cuidados con respecto a este factor.
- Detección de presencias: Se requiere de un sensor que pueda detectar a tiempo la presencia en bodega y “site”, de esta manera ayudaría a los procesos de entrada y/o salida de los dispositivos de ambos sitios o para llevar un registro virtual de la cantidad de veces que se ingresa a ambas partes.
- Generar red de interconexión mediante Bluetooth LE de los dispositivos que se encuentran en los sitios, con el objetivo de poder identificar dentro de esta red todos los dispositivos que la componen y que esto permita obtener visualización de alguno de los dispositivos que haya sido retirado de la ubicación.

### Descripción del Método

#### Marco Teórico

Bluetooth fue inventado por el proveedor de telecomunicaciones Ericsson en 1994 y fue concebido originalmente como una alternativa inalámbrica a los cables de datos RS-232.

Georgakakis E., et al (2011) afirma que bluetooth se puede utilizar en una variedad de aplicaciones que incluyen: control inalámbrico y comunicación entre un teléfono móvil y un auricular de manos libres, reemplazo de las comunicaciones seriales por cable tradicionales en equipos de prueba, receptores GPS, escáneres de códigos de barras, dispositivos de control de tráfico y transmisión de corto alcance de datos de sensores de salud de dispositivos médicos a computadoras médicas.

Dado que se utiliza la versión 4.2 de Bluetooth, que es la versión del modulo que incluye la plataforma Raspberry Pi 3 B+ y es compatible con el modulo HM-10 v4.0 ambas con la característica Bluetooth low energy, se profundiza un poco mas en esta versión, Shahid Raza, et al. (2016) señala que la versión 4.2 cuenta con las capacidades de protocolo de Internet (IP) a Bluetooth lo que significa que ahora se cuenta con capacidad de conectar un dispositivo Bluetooth con Internet mediante un mecanismo estandarizado.

En la tabla 1 se destacan algunos de los atributos principales de las especificaciones técnicas de Bluetooth de baja energía mencionados por Emil Nilsson y Tommy Lindman (2017).

| Atributo                   | Bluetooth Low Energy |
|----------------------------|----------------------|
| Banda de RF (MHz)          | 2400                 |
| Rango (m)                  | 100                  |
| Velocidad de bits (kb/s)   | 1024                 |
| Tamaño del mensaje (bytes) | 33                   |
| Identificadores            | 48 bit MAC address   |
| Tipo de dispositivos       | Observador, Locutor  |

Tabla 1. Especificaciones técnicas de Bluetooth Low Energy.

#### Topología Bluetooth Low Energy.

Es necesario, para la implementación de una red de dispositivos conectados por Bluetooth baja energía, identificar como se reconocen y controlan los dispositivos miembros de la red y explorar la topología que se genera a partir del reconocimiento de dispositivos.

En la figura 2, el dispositivo considerado maestro o nodo central es el que se encuentra dentro de las zonas delimitadas por puntos azules y se le conoce como baja energía piconet y el dispositivo en la zona delimitada por puntos rojos es el dispositivo esclavo, ya que los dispositivos esclavos no comparten el mismo canal físico de comunicación.

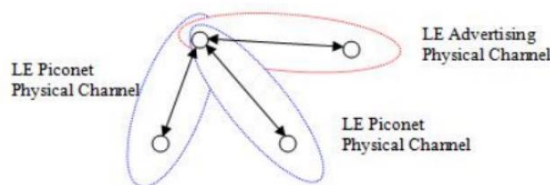


Figura 1. Topología Bluetooth baja energía por Georgakakis E., et al (2011)

De acuerdo con Mathias Baert et al, (2018) el estándar define dos tipos principales de direcciones: una uniconexión y una dirección de grupo. Se da una dirección de uniconexión a cada nodo cuando se convierte en parte de la red e identifica de forma única este nodo. Una dirección de grupo representa un grupo de nodos. Cada nodo tiene su dirección de uniconexión en la lista de suscriptores.

#### Comparativa de trabajos relacionados

En la actualidad existen varias investigaciones con respecto al protocolo Bluetooth y sus posibles configuraciones y usos sobre el ecosistema de Internet de las cosas e incluso se demuestra como el protocolo viene a aportar ventajas para la conexión de dispositivos donde los recursos y en muchas ocasiones el presupuesto es limitado y dando resultados confiables. La aplicación de estas investigaciones o la implementación de prototipos basados en Bluetooth baja energía abarcan diferentes industrias, por ejemplo:

1. Autores: Zhiheng Zhao, Mengdi Zhang, Chen Yang, Ji Fang and George Q. Huang.  
Título: “Seguimiento proactivo y colaborativo tándem localización de productos de vehículos para operaciones”  
Paráfrasis: Se propone un enfoque de seguimiento tándem colaborativo y distribuido para la eficiencia de seguimiento, incluida la precisión y la capacidad de respuesta.
2. Autor: Jay Pachman, Richard Millham and Simon James Fong  
Título: “Un modelo de diseño de bajo consumo de energía Bluetooth para la detección de sensores para un sistema de ubicación en tiempo real”.  
Paráfrasis: Modelo basado en escenarios y casos de uso en RTLS dentro del sector de salud y sanitario, Este modelo será implementado utilizando Bluetooth baja energía para dispositivos de pacientes y activos del sector salud.
3. Autor: You-Wei Lin and Chi-Yi Lin.  
Título: “Beyond Beacons – Un sistema interactivo de posicionamiento y rastreo basado únicamente en la red BLE Mweh.”  
Paráfrasis: Desarrollo de un sistema de posicionamiento y rastreo interactivo basado únicamente en la tecnología BLE, concretamente, hacen que el dispositivo Beacon sea capaz de comunicarse de dos vías.
4. Autor: Zheng Zuo, Liang Liu, Lei Zhang and Yong Fang  
Título: “Posicionamiento en interiores basado en balizas Bluetooth de baja energía adoptando la optimización del gráfico.”  
Paráfrasis: Este documento propone una forma eficiente y basada en la optimización de gráficos para estimar las posiciones de los Beacon y el RFM, que combina el método basado en el rango y el método basado en la toma de huellas dactilares.
5. Autor: Quanyu Wang, Yuan Guo, Lida Yang and Mi Tian.  
Título: “Un sistema de posicionamiento en interiores basado en iBeacon”  
Paráfrasis: Este artículo presenta un método de posicionamiento en interiores y sistema basado en iBeacons. Una matriz de iBeacons se despliega en un entorno interior para emitir periódicamente señales que pueden ser recibidas por un teléfono móvil.
6. Autor: APC by Schneider Electric.  
Título: “Dispositivo de monitoreo y control ambiental comercial Netbotz.”  
Paráfrasis: El NetBotz 300 puede utilizarse en diversos entornos que van desde las salas de red hasta los centros de datos, pero por lo general se lo utiliza en salas de red y salas de servidores. NetBotz es una solución de monitoreo activa diseñada para proteger contra amenazas físicas, ya sean ambientales o humanas, que generan trastornos o falta de disponibilidad en la infraestructura informática.

#### *Diseño y arquitectura del sistema.*

Para facilitar la comprensión del trabajo de investigación, se muestra en la figura 2 un panorama general de la arquitectura del sistema, mostrando también la correlación de los componentes y sus funciones en el prototipo.

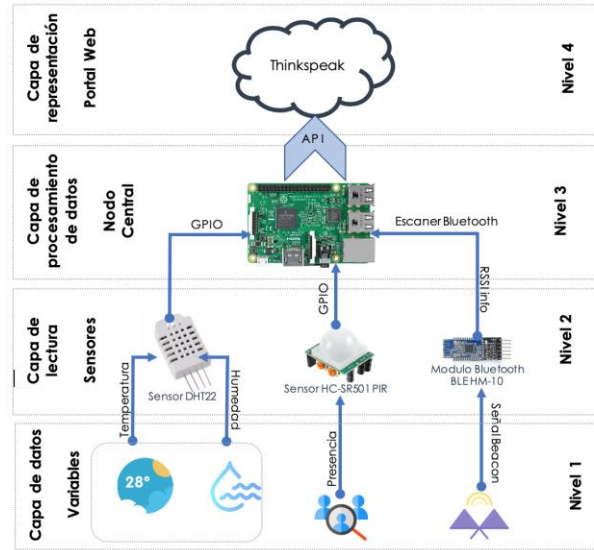


Figura 2 Esquema general de arquitectura del sistema.

De acuerdo con el diagrama anterior, se observa que los sensores se encuentran en el segundo nivel relacionándose con las variables de campo en el nivel 1, obteniendo los datos de temperatura, humedad, presencia y emitiendo el valor RSSI de bluetooth baja energía, mismos datos son enviados y capturados por el nodo central a través de los pines de propósito general. El nodo central se ubica en la capa de procesamiento, es decir nivel 3, el nodo central recibe los datos y los parametriza según el valor recibido y desde el nodo central estos datos son enviados a la nube o al portal web ThinkSpeak a través de una interfaz de programación de aplicación (API por sus siglas en inglés) ubicada en el último nivel, el 4.

*Resultados y Discusión.*

En la Figura 3 se muestra el escenario, el cual representa la bodega o almacén de Redes Tecnológicas de Occidente, el rectángulo azul representa el nodo central (Raspberry, Sensor de Temperatura, Humedad y Sensor de Presencia PIR) ubicado en el muro de la puerta, el punto rojo representa el dispositivo Bluetooth baja energía en modo Beacon y como se puede observar el sitio cuenta con servicio de internet inalámbrico para el envío de los datos a la plataforma web.

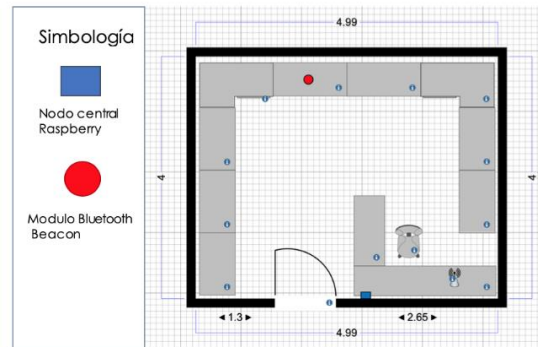


Figura 3. Plano de escenario: Bodega de Redes Tecnológicas de Occidente.

En las figuras 4, 5, 6 se observa la validación de la operación y funcionamiento de los sensores desde la terminal de la placa raspberry, se realizó esta validación desde consola pues una vez obtenidos los datos esperados se configuró la interfaz de programación de aplicación (API por sus siglas en inglés) para la transmisión de estos datos a la plataforma web ThinkSpeak la cual provee gráficas de la información obtenida.

```
wendycaribelnunoperez — pi@wendyrasp: ~ — ssh pi@172.16.40.59 — 120x39
Temperatura=26.7 Humedad=32.4%
Temperatura=26.7 Humedad=32.4%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.3%
Temperatura=26.8 Humedad=32.3%
Temperatura=26.7 Humedad=32.2%
Temperatura=26.8 Humedad=32.2%
```

Figura 4. Validación en consola del sensor de lectura de humedad y temperatura.

```
wendycaribelnunoperez — pi@wendyrasp: ~/presencia — ssh pi@172.16.40.59 — 120x39
# 0 * * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)
# # h dom mon dow command
# * * * * /home/pi/monitor.sh
# * * * * /home/pi/monitor_presencia.sh
# * * * * /home/pi/ble.sh
pi@wendyrasp:~/DHT_22 $ cd ..
pi@wendyrasp:~$ ls
Adafruit_python_DHT DHT_22 ble.py ble.sh git monitor.sh monitor_presencia.sh mycron.txt pr.py.py.save presencia
pi@wendyrasp:~$ cd presencia/
pi@wendyrasp:presencia $ ls
demo.py pir.py pir_demo.py
pi@wendyrasp:presencia $ nano pir.py
starting...
$!
$! in movimiento
$
$! in movimiento
$
23-04-2019 28:14:53 Movimiento detectado
1
23-04-2019 28:14:54 Movimiento detectado
1
23-04-2019 28:14:55 Movimiento detectado
1
23-04-2019 28:14:55 Movimiento detectado
1
$! in movimiento
$
$! in movimiento
```

Figura 5. Validación en consola del sensor de detección de presencia infrarrojo.

```
wendycaribelnunoperez — pi@wendyrasp: ~ — ssh pi@172.16.40.59 — 119x35
pi@wendyrasp:~$ sudo python ble.py
Device MAC Address d4:36:39:9c:ed:42, RSSI=-83 dB
Device MAC Address d4:36:39:9c:ed:42, RSSI=-79 dB
Device MAC Address d4:36:39:9c:ed:42, RSSI=-81 dB
Device MAC Address d4:36:39:9c:ed:42, RSSI=-83 dB
Device MAC Address d4:36:39:9c:ed:42, RSSI=-75 dB
Device MAC Address d4:36:39:9c:ed:42, RSSI=-84 dB
Device MAC Address d4:36:39:9c:ed:42, RSSI=-71 dB
Device MAC Address d4:36:39:9c:ed:42, RSSI=-86 dB
Device MAC Address d4:36:39:9c:ed:42, RSSI=-82 dB
Device MAC Address d4:36:39:9c:ed:42, RSSI=-73 dB
Device MAC Address d4:36:39:9c:ed:42, RSSI=-79 dB
```

Figura 6. Validación de escaneo y detección de dispositivos Beacon mediante protocolo Bluetooth low energy.

Por último, se muestra toda la información recopilada por los sensores en modo gráfico a través de la plataforma web Thingspeak en las figuras 7, lo cual proporciona una manera más sencilla de identificar comportamientos de las variables y obtener una mejor consistencia en la información a analizar.

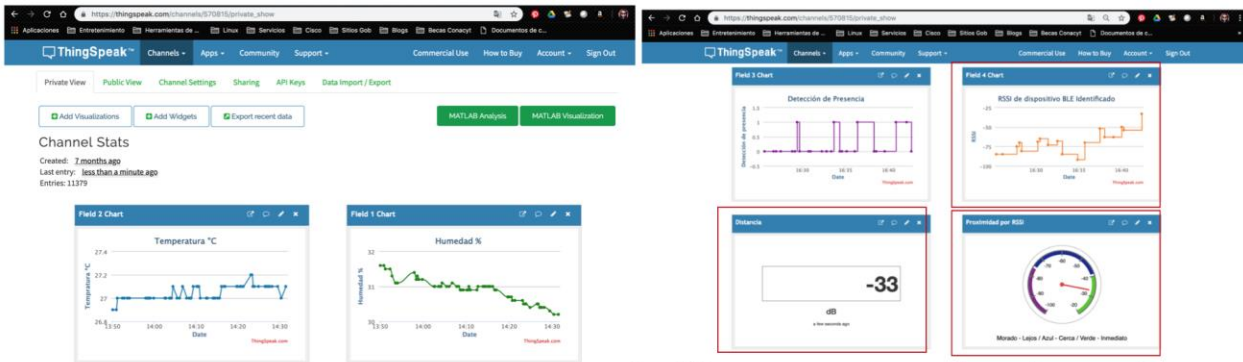


Figura 7. Muestra de datos transferidos a plataforma Thingspeak

### Comentarios Finales

#### Resumen de resultados

De las pruebas realizadas a cabo sobre esta arquitectura y el uso de la plataforma web Thingspeak se corrobora que es funcional para el apoyo a la gestión de inventario de la organización, en cuanto a los datos de temperatura, humedad y presencia actualmente se puede disponer de ellos desde el portal de Thingspeak en formato CSV, por lo que, se podría considerar como un registro histórico que contribuya para la gestión del equipo, obteniendo este dato manualmente por día desde el portal.

#### Conclusiones



De acuerdo con los resultados descritos en la sección anterior, se concluye que “El desarrollo de un prototipo de IoT basado en un protocolo de bajo consumo de energía para la adquisición de variables temporales y espaciales como la temperatura y ubicación de equipos permitirá hacer una gestión inteligente para reducir costos en el manejo, disposición y cuidado del equipo, o, que impacten durante el desarrollo de un proyecto o actividad” cumple con las expectativas esperadas aportando un apoyo “inteligente” a través del protocolo Bluetooth para reducir los costos en el manejo, disposición y cuidado del equipo, reduciendo los impactos que pudiera ocasionar una mala gestión.

#### *Recomendaciones*

Dadas las conclusiones y los resultados obtenidos, se determinan las tres siguientes recomendaciones:

- a) Llevar a un siguiente nivel el procesamiento de los datos obtenidos por los sensores, con el objetivo de implementar medidas de seguridad que apoyen y fortalezcan aún más el proceso de gestión de inventarios físicos. Todos estos datos podrían procesarse a través de algoritmos de inteligencia artificial o de aprendizaje de máquina que permitan crear una especie de almacén inteligente.
- b) En una segunda fase optar por un algoritmo para localización en interiores aplicado con el protocolo bluetooth baja energía, mediante el cual se pueda también agregar más valores informativos, como indicar información del equipo al que fue asignado el Beacon, cuanto tiempo lleva almacenado, y el responsable de ese equipo.
- c) Fortalecer la detección de presencias con una cámara la cual permita tomar una fotografía de la presencia detectada y que esta sea almacenada y posteriormente se concilie con el registro de hora y fecha en que el sensor de detección de presencia registró.

#### **Referencias**

Lin, You-Wei Lin y Chi-Yi, “An Interactive Real-Time Locating System Based on Bluetooth Low Energy Beacon Network”, 2018.

Tareq Z. Ahram, et al., “User-Centered Systems Engineering & Knowledge Management Framework for Design & Modeling of Future Smart Cities”, PROCEEDING of the HUMAN FACTORS and ERGONOMICS SOCIETY 54th ANNUAL MEETING -201, Miami, FL 33178, USA., 2010.

Georgakakis E., Nikolidakis S.A., Vergados D.D., Douligeris C. “An Analysis of Bluetooth, ZigBee and Bluetooth Low Energy and Their Use in WBANs.”, In: Lin J.C., Nikita K.S. (eds), Vol. 55, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.

Emil Nilsson, Tommy Lindman, “Implementation and Evaluation of Bluetooth Low Energy as a communication technology for wireless sensor networks”, Linköpings Universitet, Sweden, 2017.

Mathias Baert \* ID, Jen Rossey, Adnan Shahid ID and Jeroen Hoebeke ID, “The Bluetooth Mesh Standard: An Overview and Experimental Evaluation”, Department of Information Technology, Ghent University, 2018.

Shahid Raza, et al. “Building the internet of Things with bluetooth smart” , Ad Hoc Networks, 2016.

Zhiheng Zhao, Mengdi Zhang, Chen Yang, Ji Fang and George Q. Huang., “Seguimiento proactivo y colaborativo tandem localización de productos de vehículos para operaciones”, Computers & Industrial Engineering 125 (2018) 637-648, Journal home page [www.elsevier.com/locate/caie](http://www.elsevier.com/locate/caie), Hong Kong., 05 de mayo del 2018.

Jay Pachman, Richard Millham and Simon James Fong, “Un modelo de diseño de bajo consumo de energía Bluetooth para la detección de sensores para un sistema de ubicación en tiempo real”, Durban University of Technology, Durban, South Africa, pp 317-330., 2018.

You-Wei Lin and Chi-Yi Lin. “Beyond Beacons – Un sistema interactivo de posicionamiento y rastreo basado únicamente en la red BLE Mweh.” Tamkang University, Taipei, Taiwan R.O.C., Springer International Publishing AG 2018. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies 7., 2018.

Zheng Zuo, Liang Liu, Lei Zhang and Yong Fang, “Posicionamiento en interiores basado en balizas Bluetooth de baja energía adoptando la optimización del grafico.”, Article, Sensors, MDPI, <https://www.mdpi.com/journal/sensors>, 2 noviembre 2018.

Quanyu Wang, Yuan Guo, Lida Yang and Mi Tian., “Un sistema de posicionamiento en interiores basado en iBeacon” School of Computer Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing, China, pp. 262-272., 2017.

APC by Schneider Electric., “Dispositivo de monitoreo y control ambiental comercial Netbotz.” <https://www.apc.com/shop/mx/es/categories/security-and-environmental-monitoring/security-and-environmental-appliances/netbotz-300/-/N-1qdr5rh>, abril 2018.