

# Red de comunicación para mensajería sin cobertura de Internet o red móvil a través de dispositivos móviles

Manuel Alejandro Castro Espinoza<sup>a</sup>, Diego Alejandro González Cosío<sup>a</sup>, Jonhatan Alejandro Reyes Gracia<sup>a</sup>, Juan Pablo Morales Álvarez<sup>a</sup>, Daniel Armando Hiraes Valles<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Paz,  
Departamento de Metal Mecánica.  
Blvd. Forjadores de B.C.S. Núm. 4720. Col. 8 de octubre 1ra. Sección. C.P. 23080. La Paz, B.C.S.  
[juan.ma@lapaz.tecnm.mx](mailto:juan.ma@lapaz.tecnm.mx)

2019 Published by DIFU<sub>100ci</sub>@ <http://difu100cia.uaz.edu.mx>

---

## Resumen

Se describe el proceso para el intercambio de información entre Bluetooth y LoRa para la creación de un canal que permita la comunicación desde un dispositivo móvil sin la cobertura de red celular. Se muestra el diseño del circuito electrónico y de una carcasa para la portabilidad del prototipo, así como su montaje final. Se analiza la teoría sobre LoRa por medio de experimentos que llevan a definir los alcances que tiene al ser expuesto a distintos ambientes. Se exponen resultados de pruebas de cobertura, realizadas en un escenario real con características del protocolo específicas, incluyendo un análisis de pérdidas de mensajes con el cual se estima la confiabilidad de la red.

*Palabras clave:* Red LoRa, Bluetooth, Bluetooth/LoRa

---

## 1. Introducción

Hoy en día la sociedad tiene la necesidad de estar comunicada en todo momento, siendo el Internet y/o la red móvil importante para el estilo de vida actual. Se cuenta con 83.1 millones de usuarios de telefonía celular, lo cual es el 73.5 % del total de las personas con una edad de entre seis años o más. Dejando con ello a 29.9 millones de personas desconectadas, un 26.5% de este total [1]. El número de usuarios en México conectados a Internet, es de 74.3 millones de personas que se conectan de algún modo[1]. El indicador del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) dentro de los indicado-

res de carencia social, el indicador carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda indica 2 que en el 2016 23.7 millones de personas se encontraban en este indicador y para el 2018 aumentó a 24.7 millones de personas en este tipo de pobreza[2]. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en su informe México rural del Siglo XXI de 2018[3], establece que la población rural representa el 23 % de la población de México, la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID) 2018 indica que residen 124.9 millones de personas en México, y 28.7 millones viven en alguna población rural[4]. Con lo anterior se deduce que durante el 2018 de las 29.9 millones de personas sin teléfono celular, 28.7 millones viven

en zonas rurales y 24.7 millones carecen de servicios básicos.

Para el desarrollo de este sistema de mensajería, se expondrán los resultados de pruebas hechas en distintos escenarios de comunicación para determinar las ventajas que tiene en cuanto a funcionamiento y eficiencia, el uso de la tecnología Bluetooth/LoRa.

## 2. Justificación

El desarrollo tecnológico de los últimos años ha tenido impacto para la sociedad en diferentes aspectos, siendo uno de los más importantes la comunicación, ya sea mediante Internet y/o conexión móvil la gran mayoría de la población mundial se encuentra en constante comunicación entre sí, gracias a la infraestructura conformada por sistemas de postes, cableados y antenas, que por lo general se ubican exclusivamente en zonas urbanizadas donde se concentra la mayoría de la población y por razones de costos o complejidad de las instalaciones, normalmente se excluyen aquellas zonas que se encuentran muy retiradas o con baja densidad de residentes. La importancia de la creación de un dispositivo de mensajería instantánea que no utilice la red celular es satisfacer la necesidad de estar comunicado bajo cualquier circunstancia en la que no se cuente con la cobertura móvil. El canal de comunicación Bluetooth/LoRa permite a los dispositivos móviles no someterse a pagos de renta para el uso de la red móvil al crearse una propia, sumado a que no tiene costos de instalación por lo que podría ser utilizado aunque se cuente con la cobertura celular. Alcanzar distancias mayores a 1 km dentro de la ciudad y mayores a 5 km en espacios despejados permite desarrollar una red que cubra las áreas que no se encuentran dentro de la cobertura celular y puedan ser comunicadas con la ciudad, lo que permite desarrollar actividades en estas zonas sin la inseguridad que representa estar en ellas debido a la incomunicación.

## 3. Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas son redes que utilizan ondas de radio para conectar los dispositivos funcionando de manera similar a las redes cableadas [5], sin embargo, las redes inalámbricas deben convertir las señales que contienen información en una forma adecuada para la transmisión a través del espacio. La infraestructura inalámbrica en comparación con la alternativa cableada tradicional permite a los dispositivos remotos conectarse sin dificultad [5].

La Fig. 1 muestra un diagrama que clasifica las redes inalámbricas según su alcance y tasa de transferencia de datos.

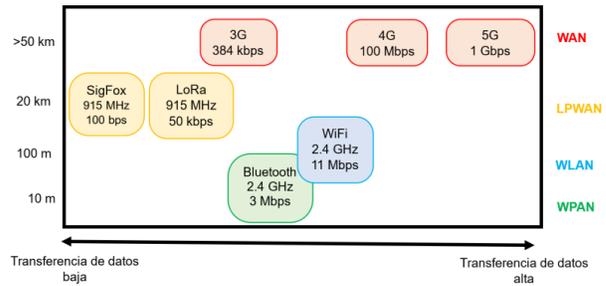


Figura 1. Clasificación de redes inalámbricas según alcance y tasa de transferencia. [6]

### 3.1. Red de amplia cobertura y baja potencia.

Existen múltiples propuestas de redes Low-Power Wide Area Network (LPWAN, por sus siglas en inglés), casi todas ellas presentan características comunes:

- Operar en la banda libre ISM por debajo de 1 Ghz. Este tipo de señales presentan un menor factor de atenuación al atravesar obstáculos respecto a la banda libre ISM de 2.4 Ghz.
- Poseer esquemas de modulación que posibilitan la creación de enlaces de varios kilómetros en zonas urbanas y de decenas de kilómetros en zonas rurales con muy bajo coste energético.

Si bien hay varias redes o propuestas de redes LPWAN que cumplen los requisitos iniciales para el Internet of Things (IoT), las empresas que en la actualidad tienen soluciones completas en el mercado son: Sigfox con su protocolo del mismo nombre y LoRa Alliance, con su protocolo LoRa (Long Range) [7].

### 3.2. LoRa

La capa física LoRa, desarrollada por Semtech, permite comunicaciones de largo alcance, baja potencia y bajo rendimiento. Opera en las bandas ISM de: 868 MHz (Europa) a +14 dBm como máximo, 915 MHz (América del Norte y del Sur, Australia y Nueva Zelanda) a un máximo de 20 dBm, 433 MHz (Europa) a un máximo de 10dBm. La carga útil de cada transmisión puede oscilar entre 2-255 octetos y la velocidad de datos puede alcanzar hasta 50 Kbps cuando se emplea la agregación de canales [8]. Muchos sistemas inalámbricos usan modulación por desplazamiento de frecuencia (Frequency

Shift Keying o FSK) la cual desplaza la frecuencia con los pulsos de la señal moduladora. LoRa utiliza Chirp Spread Spectrum (CSS) como modulación, que mantiene las mismas características de baja potencia que la modulación FSK, pero aumenta significativamente el rango de comunicación [8].

### 3.2.1. Formato de trama física

Aunque la modulación LoRa se puede usar para transmitir tramas arbitrarias, se especifica y se implementa un formato de trama física en los transmisores y receptores LoRa. El ancho de banda (BW) y el factor de dispersión (SF) son constantes para una trama. Como se mencionó, el SF deberá ser el mismo para que un emisor dado pueda ser escuchado por determinado receptor. Diferentes SF son ortogonales entre ellos, lo que permite reutilizar un mismo canal para más nodos de manera simultánea variando el SF. Dado que hay  $2^{SF}$  chirps en un símbolo, un símbolo puede codificar SF bits de información [8]. Una trama LoRa inicia con un preámbulo. A su vez el preámbulo comienza con una secuencia de chirps constantes que cubren toda la banda de frecuencia. Los últimos dos chirps codifican la palabra de sincronización. La palabra de sincronización esta formada por un byte que se usa para diferenciar las redes LoRa que usan las mismas bandas de frecuencia [8]. Un dispositivo configurado con una palabra de sincronización dada dejaría de escuchar una transmisión si la palabra de sincronización descodificada no coincide con su configuración. La palabra de sincronización es seguida por 2.25 chirps invertidos, para una duración de 2.25 símbolos. La duración total de este preámbulo se puede configurar entre 10.25 y 65,539.25 símbolos [8]. La estructura del preámbulo se puede ver en la Fig. 2.

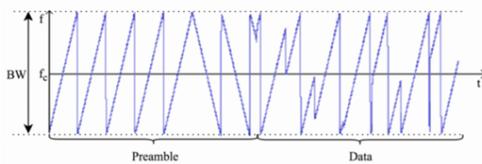


Figura 2. Variación de frecuencia a lo largo del tiempo de una señal de muestra emitida por un transmisor LoRa. Estructura de preámbulo de sincronización. fc es la frecuencia central del canal, y BW es el ancho de banda [8].

## 4. Metodología

El desarrollo de un enlace inalámbrico de larga distancia Bluetooth/LoRa en el cual no sea necesario el

acceso a Internet, satisface la necesidad de comunicar a las personas, que en caso de no tener acceso a ésta, tengan una alternativa segura y confiable con la cual puedan contar en caso de no encontrarse en el área de cobertura de red celular. Por lo tanto, es necesario cumplir con características en cuanto a las tecnologías a utilizar.

Dichas características primordiales son:

- Compatibilidad con Bluetooth
- Portabilidad
- Autonomía
- Escalabilidad tecnológica

### 4.1. Placa de desarrollo a utilizar

Se determinó utilizar la placa de desarrollo LoPy4 fabricada por la empresa Pycom, por sus ventajas en el procesamiento y contar con los módulos de comunicación requeridos para el canal de comunicación integrados en dicha placa, lo cual evita el uso de componentes extras que compliquen el diseño de circuito y el tamaño final del dispositivo. La Fig. 3 muestra los componentes de LoPy4.

Trabajando en el canal de comunicación, se dificultó implementar el protocolo Bluetooth Low Energy (BLE) que utiliza la placa LoPy4, debido a los comandos de programación complejos que presenta. Bluetooth Low Energy no es compatible con las versiones anteriores, por lo que se requirió adicionar un módulo Bluetooth externo HC-05.

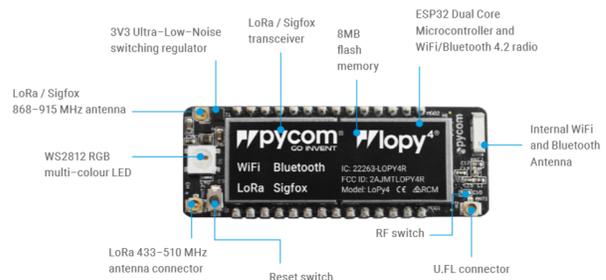


Figura 3. Componentes de LoPy4 [9]

### 4.2. Construcción del canal de comunicación Bluetooth/LoRa

En la Fig. 4 se puede observar los componentes que contiene el enlace de comunicación Bluetooth/LoRa, así

como una representación gráfica de la interacción entre ellos.

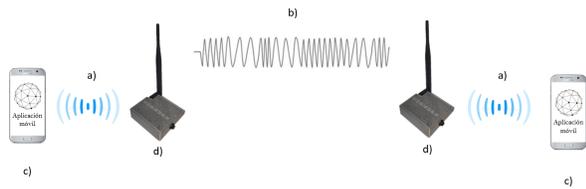


Figura 4. Diagrama de operación; donde (a) representa la comunicación Bluetooth entre dispositivo móvil y LoPy4; (b) el protocolo LoRa entre dos LoPy4; (c) el dispositivo móvil y (d) el dispositivo LoPy4.

El microcontrolador se encarga de recibir los mensajes emitidos del dispositivo móvil y transmitirlos por protocolo LoRa hasta su compañero, que hace la tarea inversa. El mensaje sale en forma de onda del emisor, codificando con CSS la información transmitida. Además de contener una llave de seguridad, para que el mensaje solo pueda ser abierto por el dispositivo que espera su recepción. La comunicación entre dispositivos, dependiendo de condiciones ambientales puede llegar hasta 10 km y de hasta 500 m dentro de edificios.

Para efectuar la comunicación se utiliza una aplicación móvil que se encarga de la interfaz entre el dispositivo móvil y el punto de acceso inalámbrico LoRa como se observa en la Fig. 5. La aplicación permite escribir y mostrar mensajes de la conversación. LoPy4 se conecta a un dispositivo móvil a la vez (emparejamiento), siempre que se encuentren a menos de 10 m de distancia.

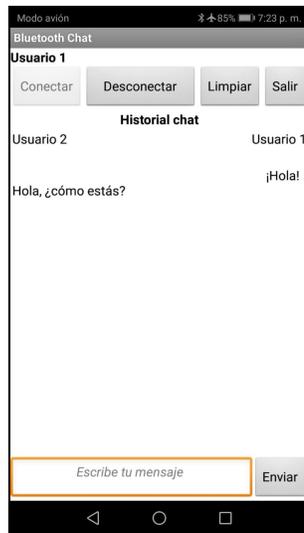


Figura 5. Interfaz de aplicación móvil.

### 4.3. Construcción del prototipo HERMESH

Se construyó el circuito electrónico, montando los módulos LoPy4 y Bluetooth sobre una placa fenólica perforada como se muestra en la Fig. 6, con fuente de alimentación de 4,2 Volt. Dicho procedimiento fue duplicado para realizar ensayos de comunicación en un enlace punto-a-punto.

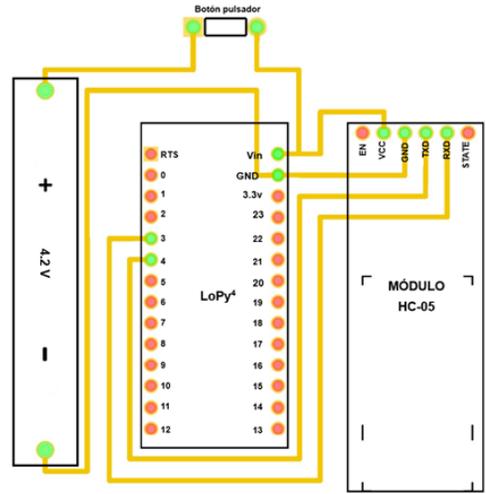


Figura 6. Diagrama eléctrico del dispositivo.

Considerando los aspectos de funcionalidad sin olvidar la portabilidad y estética, se desarrolló un diseño a través del programa de dibujo asistido por computadora, SolidWorks. El diseño (Fig. 7) cuenta con características tales como:

- Botón de acción Encendido/Apagado.
- Puerto micro USB para recarga de batería.
- Antena externa.
- Pestaña para guardar antena externa.
- Dimensiones de 86 X 82.5X 27.5 mm

Con el prototipo impreso en 3D se realiza la interconexión de los componentes electrónicos, posteriormente se montan en la carcasa. La Fig. 7 muestra el diseño del dispositivo terminado al cual se le asignó el nombre de "HERMESH".

### 5. Pruebas y resultados

Para poner a prueba la distancia que ofrece LoRa como plataforma de comunicación, se realizaron tres pruebas en distintos escenarios con el fin de analizar la

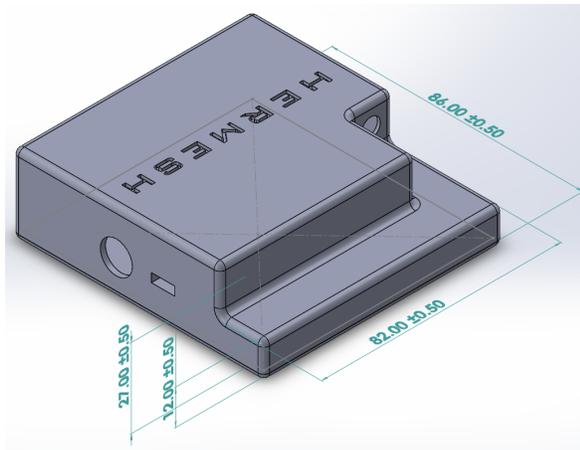


Figura 7. Diseño de carcasa en SolidWorks en vista isométrica.

efectividad del enlace y su comportamiento enviando y recibiendo mensajes. A continuación, se muestran los resultados de las pruebas realizadas.

La configuración de los equipos fue la siguiente:

- Modo LoRa.
- Frecuencia de trabajo 915 MHz.
- Factor de dispersión SF = 12.
- Potencia de transmisión 20 dBm.
- Conexión a Bluetooth clásico.

### 5.1. Prueba 1

Para determinar el tiempo de vida de la batería del dispositivo se realizaron cálculos del consumo eléctrico midiendo los valores de corriente en sus tres estados de trabajo: espera, recepción y transmisión; donde se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 1.

La corriente promedio demandada por el dispositivo se calculó mediante 500 mensajes recibidos y 500 transmitidos en un tiempo de uso de 14 horas. El tiempo que tarda en recibir y transmitir mensajes es en promedio de 1 segundo en cada estado. El porcentaje de tiempo se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Demandas de corriente y duración promedio de los estados de trabajo.

Estado de trabajo	Corriente	Tiempo
Espera	60 mA	13.7222 h (98.01 %)
Receptor	140 mA	0.1388 h (0.99 %)
Transmisor	220 mA	0.1388 h (0.99 %)

La corriente promedio se calcula con la ecuación (1).

$$I_P = I_E * t_E + I_R * t_R + I_T * t_T \quad (1)$$

donde:

- $I_P$  = Corriente promedio.
- $I_E$  = Corriente en modo espera.
- $t_E$  = Tiempo promedio en modo espera.
- $I_R$  = Corriente en modo receptor.
- $t_R$  = Tiempo promedio en modo receptor.
- $I_T$  = Corriente en modo transmisor.
- $t_T$  = Tiempo promedio en modo transmisor.

Se aplica la fórmula (1) con los valores de la Tabla 1.

$$I_P = 62.4mA$$

Para obtener el tiempo de vida de la batería se tiene la fórmula (2).

$$tiempo\ de\ vida = \frac{C(mAh)}{I(mA)} \quad (2)$$

donde:

- C = Capacidad de la batería.
- I = Corriente demandada.

Con una batería 18650 de 3000 mAh y la corriente promedio, sustituimos en la fórmula (2).

$$tiempo\ de\ vida = \frac{3000mAh}{62.4mA} = 48.07h$$

El tiempo de vida esperado para la batería, en el caso descrito en esta prueba será de 48 horas y 4.2 minutos.

### 5.2. Prueba 2

Con el fin de analizar el comportamiento del enlace en zona urbana se realizó una prueba de alcance en un área altamente transitada de la ciudad de La Paz Baja California Sur, entre los puntos A y B como se muestra en la Fig. 8, con direcciones de Boulevard 5 de febrero e/ Boulevard Forjadores y calle Aquiles Serdán e/ calle Miguel L. de Legaspy, respectivamente.

La distancia obtenida entre los puntos fue de 1.4 km, destacando que no hay visibilidad entre estos. Para estimar las pérdidas de comunicación debido a los obstáculos se enviaron 100 mensajes desde cada punto hacia

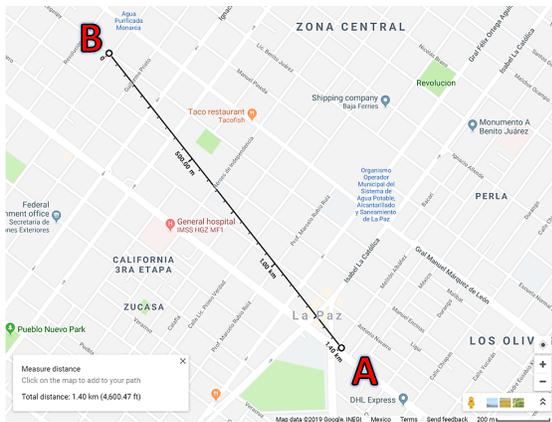


Figura 8. Imagen mostrando la trayectoria de la prueba 2[Google Maps, 2019].

Tabla 2. Resultados de la prueba 2.

Punto de recepción	Punto A	Punto B
Mensajes entregados	100 %	100 %
Mensajes sin error	85 %	93 %
Mensajes con error	15 %	7 %

el otro, haciendo registro de los mensajes entregados y de aquellos que llegaban con algún error.

Debe destacarse que todos los mensajes enviados fueron entregados a su destino. En esta prueba se presentaron casos, en donde una cadena de texto se partionaba y se empalmaba con la cadena de texto anterior o con la siguiente. A estos mensajes se les denominó mensajes con error. La Fig. 9 representa una conversación donde se aprecia la manera en la que los mensajes fueron enviados y como fueron recibidos.

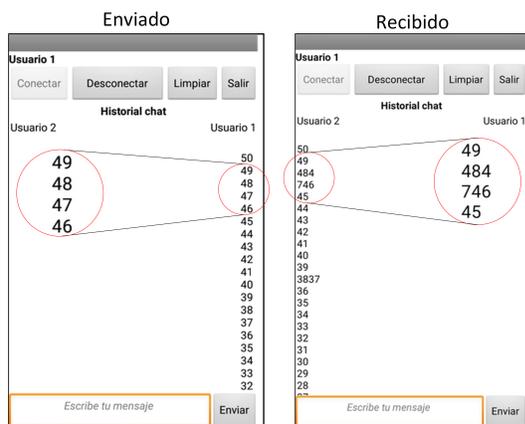


Figura 9. Imagen que muestra mensajes con error en una conversación.

### 5.3. Prueba 3

La tercera prueba fue desarrollada en la bahía de La Paz Baja California Sur, aprovechando así la costa de la ciudad como se muestra en la Fig. 10 en donde los puntos C y D son playa frente a la preparatoria CETMAR y la playa El Coromuel, respectivamente. Aquí buscamos un alcance mayor ubicando los puntos en línea de vista sin ningún tipo de obstáculo.

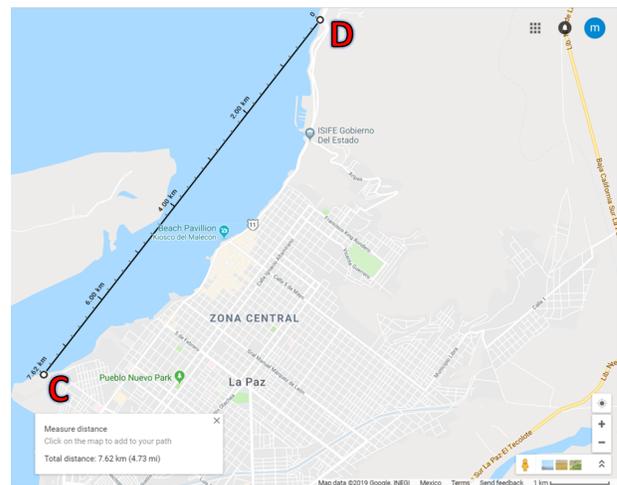


Figura 10. Imagen mostrando la trayectoria de la prueba 3 [Google Maps, 2019].

La distancia total obtenida es de 7.62 km entre los puntos C y D. De nuevo se enviaron, de igual manera, 100 mensajes desde cada punto hacia el otro. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la prueba 3.

Punto de recepción	Punto A	Punto B
Mensajes entregados	85 %	95 %
Mensajes sin error	80 %	88 %
Mensajes con error	5 %	7 %

Esta prueba mostró comunicación exitosa entre los puntos C y D, donde gran parte de los mensajes enviados fueron entregados, con porcentajes bajos de mensajes con error.

## 6. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, HERMESH mediante el uso de protocolos Bluetooth/LoRa es capaz de generar una red de comunicación punto-a-punto de largo alcance confiable.

Dichas pruebas se desarrollaron en diferentes escenarios, comunicación con y sin obstáculos, donde se

estableció la red de manera exitosa con rangos de aproximadamente 1.4 km en zona urbana y 7.62 km en línea de vista. Analizando estos valores se llega a la conclusión de que el enlace es susceptible a interferencias por objetos sólidos como lo son casas habitaciones, edificios, arboles, arbustos y vehículos en tránsito, entre otros.

Para dar seguimiento al proyecto se proponen las siguientes recomendaciones:

- Añadir el uso del protocolo WiFi, para interconectar más de un dispositivo móvil a la vez al prototipo Hermesh.
- Utilizar repetidores Hermesh para ampliar la cobertura de la red de mensajería.
- Realizar las mejoras que permitan a la red enviar y recibir paquetes de datos de tipo multimedia.
- La red de comunicación para mensajería puede usarse para interconectar sensores y actuadores a largas distancias sin Internet, se recomienda hacer las pruebas.

## Referencias

- [1] INEGI "Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares ENDUTIH", 2018. INEGI, 2018
- [2] CONEVAL "Diez años de medición de pobreza multidimensional en México: avances y desafíos en política social ." 2018 CONEVAL: 2018.
- [3] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura , 2018. "México rural del Siglo XXI." FAO: 2018
- [4] INEGI "Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica ENADID", 2018. INEGI, 2018
- [5] Salazar, J., 2017. "Redes inalámbricas." Republica checa: TechPedia.
- [6] Fernández Martínez, R., Ordieres Meré, J., Martínez de Pisón Ascacibar, F., González Marcos, A., Alba Elías, F., Lostado Lorza, R. and Pernía Espinoza "Redes Inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica", 2009. Universidad de La Rioja, 2009
- [7] Monfort, I. O., 2017. "Estudio de la arquitectura y el nivel de desarrollo de la red LoRaWAN y de los dispositivos LoRa." Universidad Oberta de Catalunya.
- [8] Augustin, A.; Yi, J.; Clausen, T.; Townsley, W.M. "A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things.", 2016. Sensors 2016, 16, 1466
- [9] "Pycom", 2017 LoPy4, Datasheet