

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE ESMERALDAS



CARRERA:

INGENIERÍA EN SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

**PREVIO AL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
Y COMPUTACIÓN**

TEMA DE INVESTIGACIÓN:

**INTEGRACIÓN DE DISPOSITIVOS IOMT EN UNA RED DE AMPLIO
ALCANCE Y BAJO CONSUMO**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

REDES Y COMUNICACIONES

AUTOR:

DUFAR BRAYAN MINA VERNAZA

ASESOR:

MGT. WILSON CHANGO

ESMERALDAS, 2021

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Título: Diseño de un sistema de radio enlaces para interconectar campus universitarios.
Caso de estudio PUCESE.

Autor(a): Dufar Brayan Mina Vernaza

Mgt. Gustavo Chango

f. _____

Asesor

Mgt. Juan Casierra

f. _____

Lector #1

PhD. Pablo Pico

f. _____

Lector #2

Mgt. Susana Patiño Rosado

f. _____

Coordinadora de carrera

AUTORÍA

Yo, **Dufar Brayan Mina Vernaza** con número de cédula de identidad 0803948538 manifiesto que mediante la presente investigación sobre el tema **“INTEGRACIÓN DE DISPOSITIVOS IOMT EN UNA RED DE AMPLIO ALCANCE Y BAJO CONSUMO”** los resultados obtenidos como tesis de grado, previo a la obtención del título de **“INGENIERO EN SISTEMAS Y COMPUTACIÓN”** son de total responsabilidad del autor, y que se ha respetado las fuentes de información consultadas, realizando las citas correspondientes y los resultados alcanzados son totalmente personales, únicos y legítimos. Al mismo tiempo declaro que todo el contenido incluyendo resultados, discusión, conclusiones, recomendaciones y otros efectos legales y académicos que se desglosan, son y serán exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE.

Mina Vernaza Dufar Brayan

C.I. 0803948538

Agradecimientos

Le agradezco a mi Madre por ser mi guía, mi razón y mis fuerzas para nunca darme por vencido, por ser un ejemplo tanto para mí como para mis hermanos, siendo siempre una mujer de principios y de fe inquebrantable, siempre dejando hasta el último aliento por el bienestar de los seres que amas, gracias, Silvia Vernaza por cada uno de los consejos y regaños que han forjado el ser hombre que soy hoy en día.

Agradezco a Laura Vernaza por tu dedicación y paciencia, por siempre creer en mí a pesar de mis arrebatos, por creer en mí, por tratarme como un hijo y por ser esa persona en la que confié a ojos cerrados, gracias por ser el ángel guardián de mi vida.

Agradezco a Lidio Valencia por convertirte en mi padre, por tu amor incondicional, por cada uno de tus consejos y sobre todo por ser esa persona llena de cualidades que me ayudan a mejorar cada día.

Agradezco a Isabel Tapia por la paciencia, por depositar esa confianza inquebrantable en mi persona siendo yo prácticamente un desconocido, gracias por tu ayuda incondicional.

Le agradezco a todos los que conforman el departamento de Bienestar Estudiantil PUCESE gracias a ellos por brindarme ese rincón donde podía desahogarme de tantas cosas, por vuestro apoyo y dedicación hacia mí les estaré eternamente agradecido.

Agradezco a todos mis maestros por fomentar la educación de generación en generación, inculcando valores y sembrando el conocimiento sobre todo por formar mejores ciudadanos.

Dufar Mina

Dedicatoria

Le dedico este trabajo a mi Tía Laura Vernaza Corozo por toda la confianza y apoyo que me ha brindado en todo este largo camino de preparación que es la vida, tú que eres mi segunda madre, mi infinita gratitud y amor siempre serán para ti por ser el pilar fundamental de cada uno de los logros que yo pueda alcanzar. A mi madre por siempre estar conmigo y apoyarme siempre. A mis hermanos porque sé que me miran como un ejemplo de lucha y perseverancia por lo que sé que este trabajo les servirá de motivación para que cada uno de ustedes puedan cumplir cada una de sus metas sin importar los obstáculos que no serán fáciles pero que tampoco serán invencibles.

Dufar Mina.

Índice general

AUTORÍA	III
Agradecimientos	IV
Dedicatoria	V
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	12
Presentación de la investigación	12
Planteamiento del problema	13
Justificación.....	14
Objetivos	15
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	16
1.1 Bases teóricas científicas.....	16
1.1.1 Internet de las cosas médicas (IoMT).....	16
1.1.2 Arquitectura	17
1.1.3 Aplicaciones de IoT en la salud.....	17
1.1.4 Dispositivos <i>Wearables</i> aplicados en la salud.....	18
1.1.5 Seguridad en la aplicación de IoMT	19
1.1.6 Arquitectura en capas de IoT en atención	19
1.1.7 Tecnologías de comunicación	21
1.1.8 Tecnologías de amplia cobertura y baja potencia.....	21
1.1.9 LPWAN (Redes de área amplia y de baja potencia)	21
1.1.10 LoRa	24
1.1.11 Modulación LoRa.....	24
1.1.12 Propiedades esenciales de la modulación LoRa.....	24
1.1.13 Parámetros de transmisión LoRa	25
1.1.14 Trama de datos LoRa	26
1.1.15 Protocolo de comunicación MQTT (<i>Message Queue Telemetry Transport</i>).....	26
1.1.16 Clases de dispositivos	28
1.1.17 Alcance de módulos LoRa.....	28
1.1.18 Node-red	29
1.1.19 Telegram.....	29

1.2	Antecedentes (estudios previos).....	30
1.3	Marco legal.....	32
	CAPITULO II: METODOLOGÍA.....	35
2.1	Descripción y caracterización del lugar	35
2.2	Tipo de investigación	35
2.3	Métodos de investigación.....	35
2.4	Definición de la estrategia de búsqueda.....	36
2.4.1	Definición de las fuentes de búsqueda	36
2.4.2	Desconocimiento de los términos de búsqueda	37
2.4.3	Proceso de selección de estudios y extracción de datos	37
2.5	Técnicas de investigación e instrumentos y análisis de datos	39
2.6	Variables sujetas a investigación.....	39
2.7	Normas éticas	40
	CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	42
3.1	Análisis e interpretación de resultados.....	42
3.2	Presentación de la distribución de datos utilizados en la investigación	42
3.3	Prueba de viabilidad.....	43
3.4	Propiedades y sensibilidad de la modulación LoRa.....	44
3.5	Ventajas y Desventajas de los dispositivos de IoMT conectados a una red LPWAN 45	
3.6	Modelo de arquitectura.....	46
3.7	Protocolo de comunicación MQTT.....	47
3.8	Envío y recepción de mensajes.	49
3.9	Integración de dispositivos <i>Wearable</i>	53
3.10	Rendimiento del dispositivo de IoMT.....	54
3.11	Evaluación de usabilidad de los dispositivos de IoMT integrados a la red LPWAN..	56
	CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....	60
	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
5.1	CONCLUSIONES	63
5.2	RECOMENDACIONES	65
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

Índice de Figuras

Figura 1 Arquitectura IoMT	17
Figura 2 Arquitectura en capaz de IoT.....	20
Figura 3 Paleta de Node Red.....	29
Figura 4 Interfaz de Telegram.....	30
Figura 5 Diagrama PRISMA.....	38
Figura 6 Distribución de protocolos y topologías	42
Figura 7 Kuder Richardson	44
Figura 8 Modelo de arquitectura	47
Figura 9 Servidor MQTT clúster HiveMQ Cloud.....	48
Figura 10 Detalles de funcionamiento del servidor MQTT	49
Figura 11 Diagrama de envío y recepción de mensajes	49
Figura 12 Bloques de datos MQTT.....	50
Figura 13 Salida de los datos del nodo MQTT	50
Figura 14 Telegram Bot	51
Figura 15 Boques de nodo para la mensajería de telegram.....	52
Figura 16 Función de envío de mensajes al Bot Asistente.....	52
Figura 17 Envío y recepción de mensajes	53
Figura 18 Plataforma IoT	54
Figura 19 Efectividad de los dispositivos IoMT	58

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparación de tecnologías de comunicación LPWAN	23
Tabla 2. Parámetros de transmisión	25
Tabla 3. Características del protocolo	27
Tabla 4. Bases de datos.....	36
Tabla 5. Cadenas de búsqueda.....	37
Tabla 6. Criterios de Inclusión	37
Tabla 7 Criterios de exclusión	38
Tabla 8. Variables e Indicadores	40
Tabla 9. Propiedades de la modulación LoRa	45
Tabla 10. Ventajas y desventajas de los dispositivos de IoMT conectados a una red LPWAN.....	46
Tabla 11 Comparando el dispositivo de IoMT	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 12. Métricas de evaluación	56

RESUMEN

El Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés) es una tecnología que está creciendo a pasos agigantados, teniendo un éxito notable tanto que esta nueva tecnología está siendo implementada en campos como: Transporte, Producción, Salud, Energía, Edificios e Infraestructura, Industria, Blockchain, entre otros. Estas nuevas implementaciones como la creación del Internet de las cosas Medicas (IoMT por sus siglas en inglés) esta tecnología ha cambiado significativamente la forma tradicional de ver la medicina y todo esto gracias a la utilización de dispositivos *Wearables* debido a su fácil portabilidad y manejo el seguimiento o monitoreo a pacientes en cualquier lugar y por largos periodos de tiempo sin necesidad de asistir a un centro de asistencia sanitaria.

El propósito de este proyecto de investigación fue lograr integrar dispositivos médicos a una red de área amplia y baja potencia (LPWAN) utilizando el protocolo de comunicación de MQTT el cual permite que estos trabajen y se comuniquen entre ellos, almacenando los datos publicados por los dispositivos de IoMT y manteniéndolos listos para su transmisión.

El desarrollo de este proyecto, debido a la sensibilidad de los datos manejados y las condiciones provocadas por la pandemia del COVID 19 se realizó mediante el método experimental integrando estrictas condiciones de control con el uso de las herramientas tecnológicas, asimismo se evaluó la usabilidad del dispositivo conectado aplicando las métricas de la ISO 9241 para evaluar la eficiencia, efectividad y satisfacción a través de pruebas realizadas por el usuario.

Finalmente utilizando el protocolo de comunicación de MQTT y los dispositivos de IoMT se implementó un sistema de monitoreo remoto para pacientes utilizando la herramienta de Node Red y un Bot de Telegram, este sistema basado en mensajería ayudará a descongestionar los centros de salud de la provincia de Esmeraldas.

Palabras Claves: MQTT, IoMT, mensajería instantánea, LoRa, alto alcance, bajo consumo, LPWAN, Gateway, Wearables.

ABSTRACT

The Internet of Things (IoT) is a technology that is growing by leaps and bounds, having a remarkable success so much that this new technology is being implemented in other fields, such as the gigantic world of medicine, Thanks to the creation of the Internet of Medical Things (IoMT) this technology has significantly changed the traditional way of looking at medicine and all this thanks to the use of wearable devices due to its easy portability and handling the tracking or monitoring of patients anywhere and for long periods of time without the need to attend a health care center.

The purpose of this research project was to integrate medical devices into a low power wide area network (LPWAN) using the MQTT communication protocol which allows them to work and communicate with each other, storing the data published by the IoMT devices and keeping it ready for transmission.

Due to the sensitivity of the data handled and the conditions caused by the COVID 19 pandemic, the project was carried out using the experimental method integrated strict control conditions with the use of technological tools. The usability of the connected device was also evaluated by applying ISO 9241 metrics to evaluate the efficiency, effectiveness, and satisfaction through user testing.

Finally, using the MQTT communication protocol and IoMT devices, a remote monitoring system for patients was implemented using the Node Red tool and Telegram Bot, this messaging-based system will help to decongest the health centers in the province of Esmeraldas.

Keywords: MQTT, IoMT, instant messaging, LoRa, high reach, low power, LPWAN, Gateway, Wearables.

INTRODUCCIÓN

Presentación de la investigación

La tecnología implementada en el área de la salud está en constante crecimiento según los avances presentados por la ciencia y tecnología. Estas tecnologías innovadoras como el Internet de las cosas (IoT), la cual presenta un renovado paradigma que genera soluciones de seguridad, conectividad, análisis de datos, automatización, administración entre otros, han abierto nuevos desafíos en el área de la salud, llamada Internet de las cosas médicas (IoMT, por sus siglas en inglés), por lo cual, provee importantes beneficios que ayudan a mejorar la vida de los habitantes del cantón Esmeraldas, gracias a la incorporación de sensores inalámbricos usados para monitorear y diagnosticar enfermedades de forma remota, en cualquier lugar y en todo momento [1].

Uno de los pilares fundamentales de esta nueva tecnología es el uso de los dispositivos vestibles (*Wearables*), debido a que estos están cambiando significativamente los paradigmas informáticos dado que, los dispositivos portátiles están siendo utilizados en diversos campos tales como: acondicionamiento físico, salud, entretenimiento e industrias [2].

Las redes de alto alcance y bajo consumo (LPWAN, *Low Power Wide Area Network*), usadas para la transmisión inalámbrica de datos han facilitado la conectividad orientada al uso de dispositivos IoT, este tipo de redes con bajo consumo de energía como se fundamentan gracias al uso de dispositivos con baterías que pueden durar largos periodos de tiempo sin presentar ningún tipo de alteraciones en su funcionamiento. Esta investigación plantea establecer conexiones de dispositivos IoMT en una red LPWAN implementando el protocolo de comunicación de MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) que permite una conexión sin intermediarios, lo que facilita la comunicación entre dispositivos [3].

Planteamiento del problema

Actualmente el Internet de las cosas médicas (IoMT) está acaparando un protagonismo esencial en el campo de la salud, mejorando la atención al paciente y fomentando la innovación de los dispositivos en el campo de la medicina, mejorando así tiempo la disponibilidad de atención para los pacientes en todo momento y en cualquier lugar. Los recientes avances tecnológicos en las comunicaciones inalámbricas han propuesto la utilización de dispositivos conectados a redes LPWAN, y un sinnúmero de aplicaciones innovadoras con ayuda de Internet de las cosas (IoT), han aportado en el progreso del campo de la salud [2].

Sin embargo, no todo es color de rosas, a pesar de que el IoMT ha generado un gran impacto en el área de la medicina, colaborado con la detección temprana de enfermedades para mejorar la calidad de vida de muchos pacientes, el Ecuador está un escalón abajo en cuanto a la implementación de estas tecnologías debido a su elevado costo, complejidad y fiabilidad de la información [3]. Un ejemplo de esto es la emergencia sanitaria provocada por el covid-19 donde la necesidad de cumplir con las necesidades de los pacientes en los centros de salud saturó el sistema y se perdieron muchas vidas humanas [4]. A raíz de esto los gobiernos han implementado medidas de recuperación, planteando mejorar la eficiencia operacional de los establecimientos con ayuda de dispositivos IoMT [5].

De aquí surge la necesidad de generar nuevos conocimientos para mejorar el manejo de gestión de datos de IoT en los centros de salud del Ecuador. De manera que, es necesario plantear esta tendencia con el principal objetivo de fomentar iniciativas de estudio, investigación y aplicación de protocolos de comunicación, para integrar dispositivos a una red LPWAN. Ello conlleva a plantear algunas preguntas de investigación que se busca responder. Estas preguntas buscan determinar ¿cuáles son los requisitos que deben cumplir los dispositivos IoMT para ser integrados a una red de alto alcance y bajo consumo? Además, se considera importante que la investigación logre establecer ¿En que beneficia la integración de dispositivos IoMT en redes inalámbricas en el desarrollo de la medicina?

Justificación

La reciente implementación de IoT en la medicina es de gran importancia porque permite descongestionar el sistema de salud brindando asistencia de forma rápida y eficiente a pacientes desde la comodidad de sus hogares o lugar de trabajo [6].

En la provincia de Esmeraldas (Ecuador) una de las problemáticas más recurrentes que presentan malestar en la población están relacionadas con los servicios brindados por los centros de salud, ya que no cuentan con los implementos necesarios para cubrir las solicitudes de atención a los pacientes y brindar una atención de calidad. Además, el intercambio de datos ofrece la atención de los pacientes que viven lejos de los centros de salud y que se les complica llegar hasta los establecimientos para realizar los chequeos.

A raíz de los daños y pérdidas ocasionados por la pandemia del covid-19 contar con sistemas de salud de primer mundo es de vital importancia, donde trabajando en conjunto con la tecnología se puede mejorar el sistema de respuestas, evitando aglomeraciones reduciendo de esta forma el número de contagios además de colocar a esmeraldas como una ciudad innovadora.

La presente investigación tendrá como beneficiarios directos a los pacientes facilitándoles diagnósticos desde la comodidad de sus hogares, a las unidades médicas descongestionando el sistema de atención y evitando aglomeraciones, a los profesionales de la salud facilitándoles una herramienta de apoyo en la toma de decisiones y permitiéndoles atender a más pacientes.

Una de las particularidades más importantes a considerar cuando se integran este tipo de dispositivos que utilizan sensores para la recolección y transmisión de información es el consumo energético, permitiendo que los dispositivos tengan una duración de la batería más prolongada y que permitan monitorear la salud del paciente en todo momento.

Objetivos

Objetivo General

Establecer la conexión de dispositivos de IoMT a una red de amplio alcance y bajo consumo (LPWAN) utilizando el protocolo de comunicación MQTT, para la gestión y monitoreo de pacientes en tiempo real.

Objetivos Específicos

1. Analizar las propiedades claves de la modulación LoRa y el alto nivel de sensibilidad necesario para la comunicación de los dispositivos IoT en la medicina.
2. Investigar las ventajas y desventajas de los dispositivos de IoMT, conectados a una red de área amplia y de baja potencia (LPWAN).
3. Proponer un modelo de arquitectura que permita la integración de dispositivos IoMT a una red de amplio alcance y bajo consumo (LPWAN) para el envío y recepción de información.
4. Evaluar la usabilidad de los dispositivos de IoMT conectados a una red de amplio alcance y bajo consumo (LPWAN).

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Bases teóricas científicas

1.1.1 Internet de las cosas médicas (IoMT)

El Internet de las cosas (IoT) es una expresión que está en constante evolución y que hace referencia a los objetos comunes que gracias a los avances tecnológicos se están interconectando a una red de internet [7]. El término de Internet de las cosas se introdujo de manera oficial entre los años 2008 y 2009 cuando el número de dispositivos supero al número de personas conectados a Internet. En la actualidad es normal que la mayor parte de la población dispongan de un dispositivo inteligente que les enviar y recibir información en todo momento sin importar el lugar donde se encuentre el usuario, además facilitar la realización de tareas en un menor tiempo [8].

El IoT está revolucionando el mundo tecnológico porque va más allá de solo proporcionar la conectividad de dispositivos a Internet. Gracias al impacto que está generando el IoT se están abriendo un sinnúmero de oportunidades en diferentes áreas como: acondicionamiento físico, salud, entretenimiento e industrias [8].

El IoMT es una de las ramas del IoT, que se encarga de integrar varios instrumentos, sensores o dispositivos médicos a una red o sistema de TI, con el fin de recolectar información, proveer atención y monitorear a los pacientes en tiempo real para obtener diagnósticos más precisos [9], [10], [11]. El IoMT se basa en la utilización de sensores los cuales una vez colocados en los pacientes pueden ofrecer importantes beneficios para el bienestar de las personas gracias al monitoreo de pacientes de forma constante y gracias a ello aumenta la calidad de vida de las personas y reducir las constantes visitas a los centros de salud [1].

La incorporación de nuevas tecnologías en el área de salud está permitiendo la innovación en la manera de brindar atención a los pacientes en distintas áreas de la medicina como: la telesalud, la telecirugía, la telerehabilitación, la telemedicina, permitiendo así el cuidado de forma intensiva realizando seguimientos de los pacientes en todo momento ya sea en el hogar/hospital [10].

1.1.2 Arquitectura

El IoT con el principal objetivo de obtener el mayor beneficio de estas nuevas tecnologías integrando dispositivos de IoMT [11], presenta una arquitectura donde se muestran aplicaciones de redes Inalámbricas de Sensores y Actuadores (WSAN) o redes de área corporal (BAN), las cuales son redes de comunicación entre dispositivos (sensores) de baja potencia utilizados en el cuerpo, por medio de los cuales se puede controlar los movimientos y los parámetros vitales de una persona [12]. Estos dispositivos o sensores además están conectados a una red inalámbrica que les permite enviar los datos corporales del paciente en tiempo real a una estación base (servidor) o directamente al hospital o clínica como se visualiza en la Figura 1.

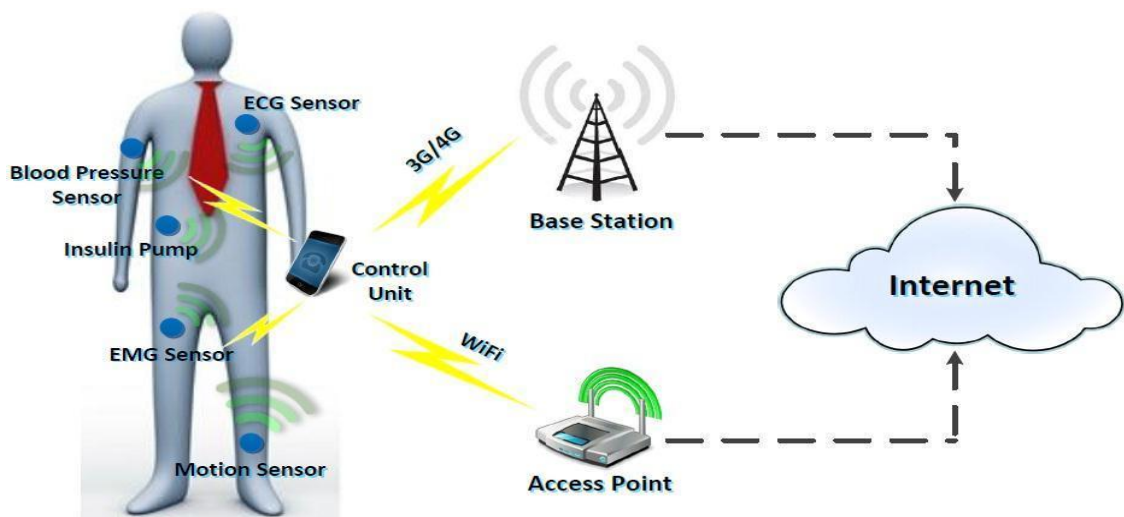


Figura 1 Arquitectura IoMT [8].

1.1.3 Aplicaciones de IoT en la salud

El progreso del IoMT se produce gracias a la evolución de tecnologías como es el caso de los dispositivos inteligentes (*smartphones*), la aparición de las redes *WIFI* con mayor alcance y calidad, la elaboración de plataformas que cuentan con servidores conectados a la nube o el diseño de sensores cada vez más completos capaces de recibir y transmitir datos en tiempo real [13], [14].

Tomando como referencia el Internet de las cosas en el hogar la cual se centra en la interconectividad de dispositivos que actúan como asistentes virtuales, en el sector médico funciona de forma similar donde los sensores están conectados con otros aparatos convirtiéndolos en objetos inteligentes tal es el caso de las máquinas de rayos X, desfibriladores, nebulizadores, sillas de ruedas entre otros [14].

La aplicación de IoMT no se limitan al uso de los aparatos presentes en los centros de salud, también están presentes en dispositivos de monitoreo, permitiendo que los médicos estén pendientes del estado de salud de sus pacientes, de esta manera pueden brindar una atención a distancia, con el fin de actuar con mayor rapidez en cuanto a la prevención de futuras enfermedades [15].

1.1.4 Dispositivos *Wearables* aplicados en la salud.

Los dispositivos *Wearables* son dispositivos electrónicos que van incorporados sobre alguna parte del cuerpo con el objetivo de realizar alguna tarea en específico. Además, son de gran utilidad, porque aparte de brindarnos información, son muy conocidos, ya que estos dispositivos vestibles están integrados en la ropa y otros complementos como: pulseras anillos, relojes entre otros [16].

Los dispositivos vestibles son capaces de medir datos biológicos transmitidos a alta velocidad, como señales neuronales, electrocardiógrafos y oximetría de pulso. Una vez obtenidos los datos estos son intervenidos, filtrados y transmitidos por medio de dispositivos IoMT hacia el médico responsable [16].

Algunos de los dispositivos de IoT en la medicina más relevantes son los sensores, actuadores, etiquetas RFID y wearables [16], [17]:

- Sensores. - Se podría definir a los sensores como los sentidos de las máquinas en distintos parámetros, para recopilar información relevante como: temperatura, posición, cantidad de luz, gases, entre otros.
- Actuadores. - Es un dispositivo que se usa con la finalidad de automatizar procesos, como es el caso de las electróvacunas, en donde el médico puede programar el dispositivo que le permita contar con la dosis exacta para cada paciente y evitar posibles problemas provocados por sobredosis.

- Etiquetas RFID. - Estas etiquetas son cada vez más empleadas ya que disponen de un minúsculo chip, además de una antena la que le permite escribir todo tipo de información gracias a que cuenta con un lector/escritor RFID, sin la necesidad de que ambos estén siendo empleados al mismo tiempo. Estas etiquetas son usadas para: control de acceso, identificación de animales, transporte público, control de mercancía, localización de pacientes en hospitales y sistemas de alarma.
- *Wearables*. - representan un conjunto de dispositivos electrónicos que están en permanente contacto con el cuerpo cumpliendo una o varias funciones que les permiten recopilar y mostrar información al interactuar directamente con el usuario. Estos dispositivos disponen de una interfaz de comunicación que trabaja en ambas direcciones permitiendo conectarse a tecnologías como Bluetooth, Wifi, LPWAN, entre otras.

1.1.5 Seguridad en la aplicación de IoMT

Cuando se maneja información sensible, donde el menor error puede ocasionar graves problemas, como es el caso de los datos que se transmiten por medio de dispositivos utilizados para la asistencia médica a distancia, la seguridad y la privacidad de la información son de vital importancia, es por esto por lo que los desarrolladores deben ayudar a reducir este riesgo, integrando seguridad a los dispositivos, aplicaciones y sistemas de IoT en la medicina. Para lograr una transmisión de datos más fiables, los desarrolladores han optado por emplear un modelo Cliente-Servidor (*Client-Server*) en el cual, el servidor comparte solo una parte de la información con usuarios sin muchos privilegios y mantiene la información más sensible protegida y solo puede ser visualizada por los usuarios con las credenciales adecuadas [17].

1.1.6 Arquitectura en capas de IoT en atención

A partir de los principios de seguridad propuestos por IoT, la arquitectura en la que se basan los objetos inteligentes para ofrecer diferentes servicios, como se presenta en la Figura 2, consta de siete capas: dispositivos, puertas de enlace (*gateways*), red, nube, aplicaciones, seguridad y gestión [18].



Figura 2 Arquitectura en capas de IoT [18]

Como se puede apreciar en la Figura 2, en el primer nivel están los dispositivos, que representan la base de esta arquitectura y se encarga de realizar las funciones relacionadas con el medio físico, entre sus principales funciones que pueden realizarse en esta capa están: generar peticiones, sensar, actuar, responder peticiones, enviar reportes y modo de ahorro. Es importante resaltar la manera en la que se presenta la capa de dispositivos, la cual está conectada directamente tanto a la capa de *gateways* como a la de red, esto se produce, ya que existen dispositivos, que se conectan de forma directa con la capa de red, sin la necesidad de contar con un intermediario. La segunda capa es el *gateways*, su función principal es hacer de intermediario entre los dispositivos y la capa de red para facilitar su conexión. A continuación, está la capa de red, la cual se encarga de transportar todo el tráfico generado por los dispositivos y *gateways* hacia el centro de datos. La siguiente es la capa de nube o centro de datos, la función principal que desempeña esta capa es procesar los datos provenientes de los dispositivos, por lo que debe estar en la capacidad de poder manejar los dispositivos que interactúen en el sistema, además de soportar los diferentes protocolos que puedan ser empleados en la comunicación de estos. En lo más alto esta la capa de aplicaciones, en esta capa los usuarios pueden interactuar con el sistema de IoT, permitiéndoles sacar provecho de un sinnúmero de procesamientos que se realizan en la capa de dispositivos. Por último, se presentan las capas de seguridad y gestión, si bien la capa de seguridad es parte de la gestión y está presente en toda la red, en IoT es necesario separarlas para resaltar su importancia, ya que cumple importantes

funciones como: cifrado, protocolo del hardware, control de acceso, gestión de identidades, antivirus, mantenimientos de actualizaciones, autenticación y autorización entre otros. Estas dos capas son las responsables de que el sistema funcione correctamente, además garantizan la protección de los recursos, por lo que es de vital importancia su presencia en todas las capas de la arquitectura de IoT [16], [17], [18].

1.1.7 Tecnologías de comunicación

Las tecnologías tradicionales con gran cobertura tienen un alto consumo energético, por ejemplo: Wifi, 2G, 3G, 4G y 5G. Otras tecnologías como: Comunicación de Campo Cercano (NFC), Bluetooth o Bluetooth de Baja Energía (BLE), en la actualidad este tipo de tecnologías está ganando popularidad gracias a su aporte en el área corporal. Por otra parte, el IoT cuenta con tecnologías nativas como las redes de área amplia y baja potencia (LPWAN) que se caracterizan por su alto alcance y bajo consumo energético, así como LoRa o Sigfox entre otras, el uso de estas tecnologías ha formado la base de lo que conocemos hoy en día como IoT [19].

1.1.8 Tecnologías de amplia cobertura y baja potencia

Para complementar la comunicación entre dispositivos físicos e inalámbricos, es necesario implementar un nuevo tipo de tecnologías para la comunicación, que pueda soportar una gran cantidad de dispositivos conectados al mismo tiempo, pero a una potencia mínima y con un costo muy accesible [20]. Las redes LPWAN en los últimos tiempos se muestran como la solución óptima implementada para el despliegue de dispositivos de IoT [20].

1.1.9 LPWAN (Redes de área amplia y de baja potencia)

LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) son redes de alto alcance y bajo consumo energético basadas en la implementación y desarrollo de IoT. Por lo general, estas comunicaciones que comprende largas distancias a una baja potencia no pueden transmitir grandes cantidades de datos como si lo pueden hacer otras redes modernas y completas como las redes de telefonía, *LTE Advanced* y las redes 5G, las cuales pueden multiplicar el número de gigabits transmitidas en cada segundo. Por lo que, es necesario resaltar que las tecnologías LPWAN pueden alcanzar más de 800 kilómetros de distancias para las comunicaciones [5], [20], [21].

Las limitaciones de ancho de banda para la transmisión de datos no son apta para la mayoría de las aplicaciones comerciales, ni para el uso de los usuarios ya que no permite la transmisión de audio, video o mensajería de texto. Es por este motivo que el uso de las redes de amplio alcance y bajo consumo (LPWAN), se emplean en su mayoría para los dispositivos de IoT o comunicación de maquina a máquina [22], [23].

Alto alcance

Uno de los puntos relevantes para la implementación de esta tecnología es la amplia cobertura a la que pueden llegar los dispositivos una vez que estén conectados. Este tipo de tecnologías de alto alcance se vienen utilizando hace décadas gracias a la modulación LoRa por medio de radiofrecuencia como AM, FM y PSK las mismas utilizadas para las comunicaciones militares y espaciales desde sus inicios [12], [22].

Para determinar el alcance que pueden alcanzar los dispositivos una vez conectados a la red, fue necesario revisar diferentes artículos referentes a la modulación LoRa, la cual se encarga de controlar el alcance o distancia que pueden alcanzar estos dispositivos como lo muestra en un estudio publicado en el 2016 por Miguel. R. [24] en donde se presenta una comparativa entre dos tecnologías que albergan dispositivos conectados y que cuentan con una capacidad de transmisión de datos entre 5 a 20 km con un alto grado de tolerancia a las interferencias provocadas por otros canales de transmisión de información, además su sensibilidad para recibir datos es de (-157dB) como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**[12].

Bajo consumo

Una de las principales características al usar dispositivos conectados a una red LPWAN, se centra en el bajo consumo energético desde cada uno de sus nodos, esta particularidad hace que esta tecnología sea ideal para trabajar con dispositivos de IoMT que transmiten pequeñas cantidades de datos (hasta 255 bytes) pueden durar entre (7 y 10] sin necesidad de cambiar su batería, ideal para llevar procesos de seguimiento y monitoreo largos periodos de tiempo como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** [22].

Tabla 1. Comparación de tecnologías de comunicación LPWAN

	Sigfox	LoRa	NB-IoT
Modulación	BPSK	CSS	QPSK
Frecuencia	433,868,915 MHz	433,868,915 MHz	LTE Frecuencia licenciada
Ancho de banda	200Hz	125-250-500 kHz	200kHz
Tasa de bits	100bps	50kbps	200kbps
Mensajes/día (máximo)	140(UL), 4 (DL)	Ilimitado	Ilimitado
Tamaño máximo del payload	12 bytes (UL) 8 bytes (DL)	243 bytes	1600 bytes
Distancia/Alcance	10 km (urbano) 40 km (rural)	15 km (urbano) 20 km (rural)	1 km (urbano) 10 km (rural)
Inmunidad a la interferencia	Muy alto	Muy alto	Baja
Tasa de bits adaptable	No	Si	No
Consumo energético	10 años	7 y 10 años	10 años
Redes privadas	No	Si	No
Topología	Estrella, Árbol	Estrella	Estrella
Duplex	medio	medio	medio
presupuesto del enlace	Up to 140 dB	Up to 157 dB	154 dB

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se comparan las tecnologías de comunicación de la red LPWAN muestra las semejanzas y las diferencias en cada una de las tecnologías. Así mismo muestra el alto alcance de la modulación y el bajo consumo de los dispositivos en cada una de estas tecnologías de comunicación y manejo de dispositivos.

1.1.10 LoRa

Es un sistema de modulación para señales de radiofrecuencia que permite extender redes tanto públicas como privadas, propias de las tecnologías que comprenden las redes de IoT. Son sistemas de comunicaciones inalámbricas de amplia cobertura, desarrollada por LoRa Alliance. Este tipo de sistemas se desarrolló con el principal objetivo de ser utilizados en dispositivos con baterías de baja potencia y de larga duración como los sensores corporales, donde el consumo de energía es de vital para el desempeño de estos dispositivos. El sistema LoRa se encuentra dividido en dos capas: la primera es la capa física donde se aplica los conceptos de radio de Espectro de Propagación del Chirrido (CSS, por sus siglas en inglés) y la segunda capa se aplica lo referente al protocolo de (MQTT) [7], [20], [25].

1.1.11 Modulación LoRa

LoRa es un sistema de redes de telecomunicaciones para IoT con alto alcance y bajo consumo energético, la modulación utilizada en lora es la CSS, la cual se utiliza en las comunicaciones militares y espaciales gracias a que se puede cubrir largas distancias con poca interferencia en las comunicaciones. Lora es el primer sistema de redes de comunicaciones en implementar este tipo de modulación de forma comercial [26].

La capa física implementa la modulación LoRa, la cual es una tecnología propia del protocolo MAC, debido a que LoRa muestra el elemento que contiene la información describiendo la modulación de una forma minuciosa hacia un cambio de frecuencia (FSCM) [5], [20], [26].

1.1.12 Propiedades esenciales de la modulación LoRa

La modulación LoRa, ayudado por la modulación de espectro y el alto nivel de sensibilidad del receptor, ofrece una comunicación de calidad con un mínimo de tolerancia a las interferencias que pueden producirse en la red. LoRa es el sistema más

idóneo para la implementación de redes de alto alcance, bajo consumo y bajo rendimiento al momento de transmitir grandes cantidades de datos.

1.1.13 Parámetros de transmisión LoRa

En este apartado se presenta los parámetros de transmisión LoRa sobre la seguridad en la transmisión de datos y el consumo de energía. Los parámetros de transmisión presentados en esta sección son: frecuencia de portadora (CF), potencia de transmisión (TP), factor de dispersión (SF), tasa de codificación (CR) y ancho de banda (BW) [19], [20]. A continuación, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se detalla a profundidad los parámetros de transmisión.

Tabla 2. Parámetros de transmisión [20].

Parámetros	Descripción
Frecuencia de portadora (CF)	La frecuencia CF central para programar en pasos es de 62 Hz entre 138 MHz y 1020MHz. Dependiendo del sistema de chip LoRa, el rango de frecuencia se limita a 860 MHz a 1020MHz.
Potencia de transmisión (TP)	El radio LoRa puede ser modelado de -4 dBm a 20 dBm, pero debido a que existen limitaciones en la implementación correspondiente al hardware, a menudo se coloca un rango que puede ir desde 2 dBm a 20 dBm.
Factor de dispersión (SF)	La relación existente entre la velocidad de los chips y la tasa de símbolos es igual a SF. Al aplicar una dispersión se produce un aumento en la relación de señal de ruido (SNR), por lo que también aumenta el alcance y la sensibilidad.
Tasa de codificación (CR)	Esta tasa de codificación utilizada para la protección de las ráfagas de interferencias y esta codificado para trabajar en CR 4/8.
Ancho de banda (BW)	De la implementación del BW dependerá el nivel de sensibilidad y velocidad al momento de transmitir información. Un BW menor es capaz de proporcionar una velocidad en la transmisión de datos menor, pero con gran sensibilidad. La mayoría de los sistemas de ancho de banda trabajan en un rango de frecuencia de 7.8 kHz a 500 kHz, pero en una red típica de datos LoRa puede operar en tres frecuencias distintas 125 kHz, 250kHz o 500kHz.

1.1.14 Trama de datos LoRa

El sistema que plantea la comunicación inalámbrica de LoRa está dividida en dos capas distintas, la primera es la capa física propia de la modulación de radio (CSS) la cual es una técnica basada en el espectro ensanchado (SSM) que permite codificar una señal base mediante una red de alto alcance disminuyendo el consumo de batería e incrementando la resistencia sobre las interferencias electromagnéticas, en la otra capa se emplea todo sobre el protocolo LoRaWAN, en esta capa se propone las normas de seguridad utilizadas para la protección de la información [38]. Independientemente del país en el que este implementado el sistema el alcance de la red trabaja en dos bandas, la ISM de 433,868 o 914 MHz. Además la carga útil permitida para cada transmisión es de 2-255 octetos con una velocidad que puede llegar hasta 50Kbps [21].

1.1.15 Protocolo de comunicación MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*)

MQTT es un protocolo de red abierto, ligero, de publicación y suscripción estándar OASIS e ISO que transporta mensajes entre dispositivos. El protocolo generalmente se ejecuta sobre TCP/IP; sin embargo, cualquier protocolo de red que proporcione conexiones bidireccionales ordenadas y sin pérdidas puede admitir MQTT [21], [27].

El protocolo MQTT es propio de LoRa y está diseñado para facilitar la conexión de forma inalámbrica para dispositivos que usan baterías y se comunican a través de internet en redes regionales, nacionales y globales. El crecimiento en el uso de este protocolo se produjo gracias a que incluye funciones que soportan comunicaciones bidireccionales, móviles y seguras para [27], [14].

MQTT está diseñado para optimizar el consumo de energía y escalar desde una instalación con un número pequeño de dispositivos conectados hasta una red global con miles de dispositivos conectados y transmitiendo información al mismo tiempo de una manera segura, para así brindar fiabilidad en el uso de los dispositivos de IoT [28]. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se detallan las características principales del protocolo.

Tabla 3. Características del protocolo [23].

Características	Detalles
Modulación	SS Chip
Topología	Estrella de estrella
Date Rate	290bps – 50kbps
Tamaño de paquete	154dB
Presupuesto de enlace	154dB
Eficiencia energética	Muy alto
Duración de batería	7 a 10 años
Seguridad / Autenticación	(32 bits)
Rango	15 km urbano / 20km rural
Estabilidad	Si
Inmunidad a la interferencia	Muy alto
Movilidad / Localización	Si

En la Tabla 3 se muestran las características propias del protocolo de comunicación MQTT, además se evidencia los atributos que de la modulación lora como la modulación, su rango o alcance, duración de batería, estabilidad, movilidad y la inmunidad o tolerancia a las interferencias provocadas por las construcciones de las grandes ciudades, esta característica garantiza la publicación de los datos y un monitoreo contante sobre los mismos.

1.1.16 Clases de dispositivos

Dispositivo Clase A

Estos dispositivos se caracterizan por su bajo consumo energético. Los nodos inician la comunicación, enviando datos al servidor ayudados por la conexión intermedia del Gateway con un intervalo de tiempo determinado y respetando el tiempo de los paquetes de respuestas durante otro intervalo de tiempo, así permiten que se produzcan las comunicaciones bidimensionales entre los nodos finales y el gateway [20].

Este modelo de dispositivos para la comunicación solo se activa cuando se realiza una operación de transmisión de datos colaborando así con el ahorro de energía en los dispositivos conectados a la red [29], [30], [20].

Dispositivo Clase B

Los dispositivos de clase B se consideran una extensión de la clase A, en la cual se reducen los problemas de latencia. Estos dispositivos le brindan un mayor protagonismo al Gateway para poder iniciar una comunicación desde este punto con el servidor de red, también permite el descenso de mensajes desde el servidor hacia los dispositivos con mensajes programados en formas de respuestas de alguna petición desde la parte inferior de la red [29], [30].

Dispositivo Clase C

Los dispositivos de clase C al igual que la clase B son una extensión de clase A, pueden mantener la recepción de ventanas abiertas mientras se está realizando una transmisión, esto ayuda para que las comunicaciones sean de bajo ratio de latencia, pero con mayor consumo de energía que las clases que le anteceden. Por lo cual los dispositivos de clase C presentan un mínimo de latencia de la comunicación, manteniendo los nodos finales siempre preparados para recibir paquetes provenientes del gateway [29], [30].

1.1.17 Alcance de módulos LoRa

El alto alcance de las redes LPWAN, está diseñado con el objetivo de poder conectar dispositivos que se encuentren separados por kilómetros no metros. por ello, el uso de tecnologías más robustas que puedan ocupar grandes distancias es de vital importancia

para el desarrollo de estas tecnologías. La tecnología LPWAN están diseñadas específicamente para cubrir las necesidades de aplicaciones que transfieren de forma inalámbrica un mínimo de datos, pocas veces al día, a través de largas distancias [19], [20].

1.1.18 Node-red

Es una herramienta de programación basada en nodos donde se muestra visualmente relaciones y funciones permitiendo a los usuarios desarrollar programas sin escribir líneas de código además Node-RED, es un editor basado en navegador, permitiendo las interconexiones de flujos y herramientas, gracias a una amplia gama de nodos fáciles de implementar con un solo clic, como se observa en la Figura 3.

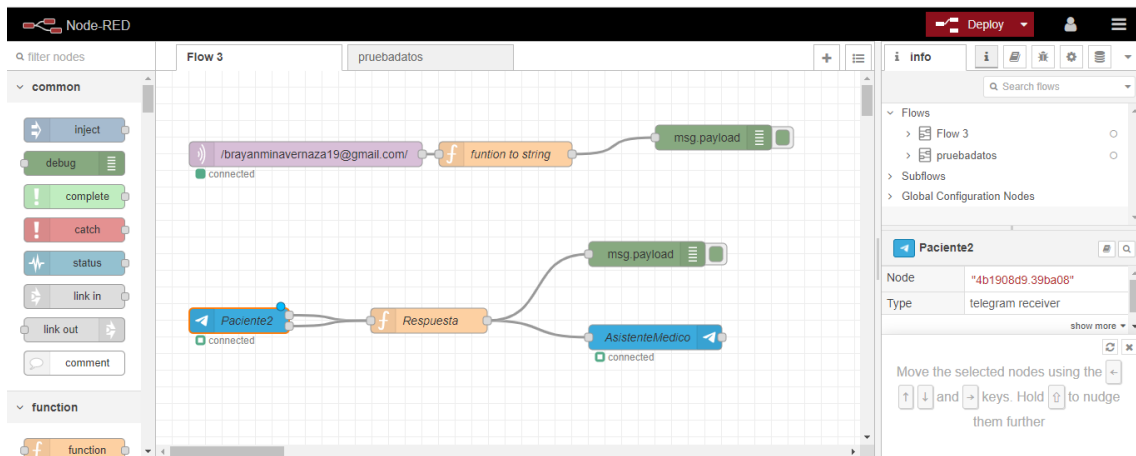


Figura 3 Paleta de Node Red

1.1.19 Telegram

Telegram es una plataforma de mensajería instantánea que se centra en el envío y recepción de información. Telegram es una de las mejores aplicaciones en lo referente a comunicaciones, gracias a su interfaz amigable que permite que cualquier usuario pueda acceder a ella. Uno de los aspectos más relevantes a la hora de usar telegram es la implementación de los Bot, los cuales son aplicaciones propias de telegram que nos permiten interactuar con ellas como si se tratara de una persona real [31] (ver Figura 4).

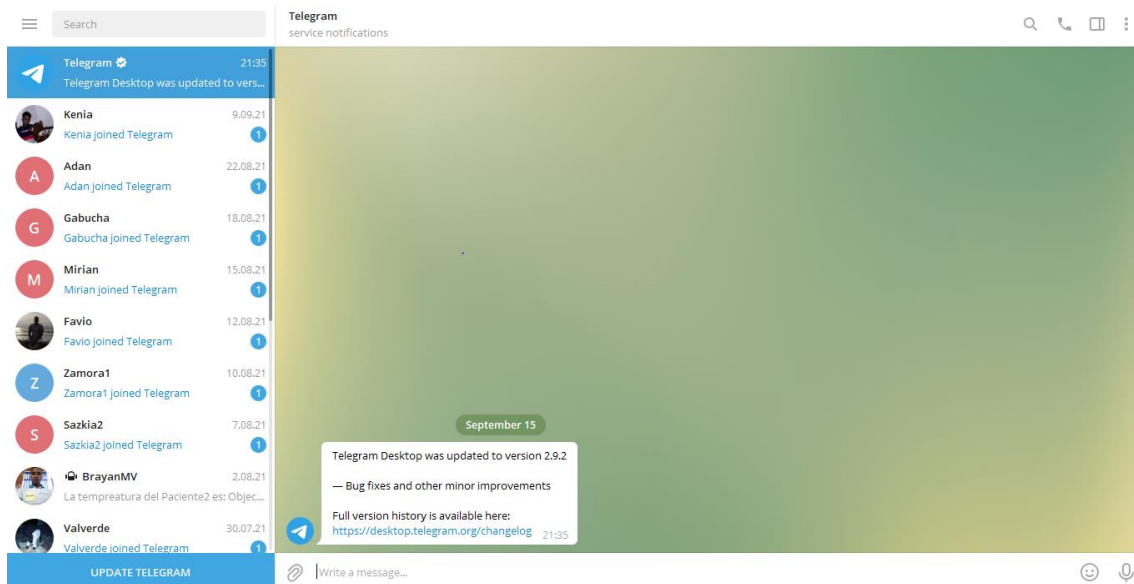


Figura 4 Interfaz de Telegram

1.2 Antecedentes (estudios previos)

Hoy en día existe una visión ampliamente compartida de acuerdo con el gran impacto generado por la implementación o integración de dispositivos de IoT, logrado impulsar la innovación en distintos campos como: Transporte, Producción, Salud, Energía, Edificios e Infraestructura, Industria, Blockchain. Por otro lado distintas investigaciones de prospectiva han identificado al sector sanitario como el segmento de mercado con mayor proyección en el futuro de acuerdo a su crecimiento en los últimos años [32] .

Los primeros indicios como antecedentes para la presente investigación en el área de salud están relacionados a la seguridad de los datos capturados por los sensores para posteriormente transmitirlos por medio de una red. Teniendo en cuenta que la salud es un campo muy delicado debido a la sensibilidad de los datos el mal uso o monitoreo de esta información pueden causar graves desastres a las personas y a la red debido a la falta de protección de la seguridad. Por lo tanto, la seguridad y la gestión del IoMT se vuelven indispensables en la implementación de estos nuevos sistemas. En el 2018 Farahat et al. [32] recentó un estudio basado en un enfoque más profundo para gestionar y asegurar la información entregada por los pacientes, implementando un sistema que permita codificar los datos, encriptarlos y transmitirlos por medio de la red. Estos datos encriptados solo pueden ser visualizados por el medico en cargado utilizando sus credenciales de autenticación, de esta forma se asegura con un 98% de acuerdo con las pruebas

realizadas en distintas ramas de la medicina que la información transmitida llegue de forma íntegra a su destino. El sistema IoMST se implementa utilizando hardware de bajo coste y software eficiente y ha demostrado ser seguro en la transmisión de los historiales de los pacientes. Desde la aparición de estas nuevas tecnologías como es el caso del IoMT los investigadores han tratado proveer una solución para prevenir el hackeo de datos o registros médicos. Así mismo, Hofer y Schmitz [33] presentan un estudio en el cual se realiza una profunda revisión literaria donde se llegó a distinguir cuatro campos fundamentales para la integración de dispositivos de IoT en una red que se debe conocer: (i) comprobaciones funcionales tanto de los dispositivos de emisor como de receptor, (ii) comprobaciones de las propiedades de seguridad, (iii) esquemas mejorados y comprobados con propiedades de seguridad y (iv) uso de protocolos de comunicación para gestionar el uso de dispositivos y manejo de información. Este estudio también señala que en LPWAN uno de los esquemas de implementación más relevantes es el AVISPA mediante una simulación JAVA demuestran que este sistema podría mejorar eficazmente los ataques de repetición y pérdida de información con un menor coste computacional. También plantea una descripción muy completa de la visión general que presentan los modelos de uso común para abordar los nuevos desafíos que puedan presentarse en el campo de IoT.

Por otro lado, en lo referente a la gestión de consumo energético, que es un aspecto muy relevante en cuanto a la implementación de dispositivos IoT en el campo de la salud, para que los objetos conectados a las personas tengan un mayor tiempo de duración y de funcionamiento. En el 2019 Gao et al. [34] presento un estudio que se centra en el desarrollo de nuevas tecnologías para recolección y administración de energía en los dispositivos IoT, permitiendo a los dispositivos mantenerse en funcionamiento grandes periodos de tiempo, además ayudan a la transmisión de datos de información en sistemas compartidos con aplicaciones que soportan la conexión a redes de hasta 5G. Este sistema implementado para aumentar la durabilidad y rendimiento propone una división de potencia, para obtener el máximo rendimiento para las distintas circunstancias de comunicación. El ahorro energético durante la comunicación entre dispositivos de IoT en la medicina juega un papel fundamental para la utilización de sensores, donde se plantea la utilización de dispositivos de IoMT para el monitoreo de pacientes. Los resultados de esta investigación han arrojado que la simulación muestra el buen rendimiento de QWOA en diferentes escenarios, siendo esta la mejor opción para lograr un mínimo consumo de

energía en los dispositivos que estarán en contacto con la piel lo cual lo vuelve factible para su implementación. en segundo lugar, S. Gull et al. [35] plantea como una posible solución un estudio para reducir el consumo de energía, implementando nuevos algoritmos que reducen el consumo energético para el sistema de IoMT, incorporando indicadores de análisis que permiten medir la intensidad de la señal que reciben los dispositivos por cada transmisión. Estos algoritmos implementados interactúan con los sensores logrando una estabilidad de energía protegiendo así la salud del paciente y la integridad del dispositivo.

1.3 Marco legal

Para garantizar la fiabilidad y viabilidad respecto al desarrollo de este proyecto de investigación, comprendido en las áreas de redes, comunicaciones y salud, es necesario considerar las legislaciones en vigencia hasta la fecha en el Ecuador, así como: Ley Orgánica de Salud [36], Ley Orgánica de Telecomunicaciones [37], Ley Orgánica de Educación superior [38], Ley de Propiedad Intelectual Ecuador [39], Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos [40] y Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2021 [40].

En la Ley Orgánica de salud, correspondiente al Libro 5, titulado “Investigación científica en salud, genética y sistema de información en salud”, en el Capítulo 1, se detalla mediante el Art. 208 que “la investigación científica tecnológica en salud será regulada y controlada por la autoridad sanitaria nacional, en coordinación con los organismos competentes, con sujeción a principios bioéticos y de derechos, previo consentimiento informado y por escrito, respetando la confidencialidad” [36]. Por ello se busca por medio de esta investigación integrar dispositivos confiables y que cumplan con los estándares de fiabilidad, para así lograr salvaguardar la integridad de los pacientes al momento que estén siendo monitoreados por los dispositivos IoMT.

Ley Orgánica de Telecomunicaciones, en el Capítulo 1, que comprende todo lo relacionado al Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, hace referencia al Art. 140 describe que:

El Ministerio encargado del sector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información es el órgano rector de las telecomunicaciones y de la sociedad de la

información, informática, tecnologías de la información y las comunicaciones y de la seguridad de la información [37].

Al momento de manejar información tan sensible, donde el mínimo error puede ocasionar problemas muy delicados, esta investigación se acoge a esta normativa gubernamental para controlar y establecer todas las medidas necesarias y garantizar la protección de datos personales, implementando protocolos de seguridad que ayudan a proteger los datos enviados o recibidos por los dispositivos médicos.

Ley Orgánica de Educación superior, en el Capítulo 3, que hace referencia a los principios establecidos por el sistema de educación superior, en el Art. 13, se refiere a las Funciones del Sistema de Educación Superior, lo cual es de suma importancia resaltar que una de sus funciones está orientada a: “Promover la creación, desarrollo, transmisión y difusión de la ciencia, la técnica, la tecnología y la cultura” [41]. De igual forma otra de sus funciones es: “Formar académicos, científicos y profesionales responsables, éticos y solidarios, comprometidos con la sociedad, debidamente preparados para que sean capaces de generar y aplicar sus conocimientos y métodos científicos, así como la creación y promoción cultural y artística” [41]. Por medio de la presente investigación se busca implementar tecnologías innovadoras como es el caso de los dispositivos IoMT que puedan ser usadas como plataforma para futuros estudios investigativos y así poder darle una solución a la problemática del sistema de salud en el que se encuentra Esmeraldas.

Para desarrollar trabajos investigativos como es el caso de los proyectos de tesis es muy importante considerar la Ley de Propiedad Intelectual Ecuador, correspondiente al Libro 1, titulado “derechos de autor y derechos conexos”, en el Capítulo 1, menciona los derechos del autor, y establece en el Art. 8 que:

La protección del derecho de autor recae sobre todas las obras del ingenio, en el ámbito literario o artístico, cualquiera que sea su género, forma de expresión, mérito o finalidad. Los derechos reconocidos por el presente Título son independientes de la propiedad del objeto material en el cual está incorporada la obra y su goce o ejercicio no están supeditados al requisito del registro o al cumplimiento de cualquier otra formalidad [39].

Por ello la presente investigación se acoge a la normativa de propiedad intelectual vigente en el Ecuador, respetando los distintos criterios mencionados en trabajos investigativos que han ayudado a complementar las bases teóricas de esta investigación.

Por otra parte, esta investigación se rige al Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, se menciona en el Art. 4 hace mención de que:

“Los procesos investigativos y generadores de tecnología e innovación deberán precautelar y proteger los derechos, dignidad e integridad física y psicológica de las personas que intervengan en ellos. Cualquier riesgo o afectación sobre los derechos de las personas o la naturaleza, deberá ser legítima, proporcional y necesaria” [40].

Uno de los pilares fundamentales en esta investigación se centra en precautelar y proteger la integridad física y psicológica de cada uno de los pacientes, para ello hacemos uso de protocolos necesarios la parte de implementación de los dispositivos como es el caso de sensores y también para la transmisión de datos desde un dispositivo a otro.

Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2021, en la norma vigente en el estado ecuatoriano establece en su plan para el buen vivir basado en tres ejes nacionales para el desarrollo de los sus habitantes:

El primer eje, “Derechos para todos durante toda la vida”, establece la protección de las personas más vulnerables, afirma la plurinacionalidad e interculturalidad, plantea la erradicación de la pobreza y de todo tipo de discriminación y violencia, y garantiza los derechos de la naturaleza. El segundo eje, “Economía al servicio de la sociedad”, plantea consolidar el sistema económico social y solidario, ampliar la productividad y competitividad, generar empleo digno, defender la dolarización, y redistribuir equitativamente la riqueza; además busca garantizar la soberanía alimentaria y el desarrollo rural integral. Finalmente, el tercer eje, “Más sociedad, mejor Estado”, promueve la participación ciudadana y la construcción de una nueva ética social basada en la transparencia y la solidaridad, un Estado cercano con servicios de calidad y calidez, así como la soberanía y la paz, posicionando estratégicamente al Ecuador en el mundo [32]

CAPITULO II: METODOLOGÍA

2.1 Descripción y caracterización del lugar

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se aplicó una metodología descriptiva permitiendo analizar estudios experimentales relacionados con la implementación de dispositivos de IoT en la salud, estos proyectos han sido tomados como base fundamental para el desarrollo de esta investigación. La implementación temporal que se consideró para el desarrollo del presente trabajo investigativo fue entre los años 2016-2021 y para la recolección de información fue necesario realizar una búsqueda exhaustiva en repositorios de bibliotecas virtuales tales como: *Scopus*, *ACM*, *ScienceDirect*, *SpringerLink* y *Web of Science*, además de la información recolectada en videos sobre debates, ponencias y cursos sobre temas de integración, seguridad y alcance de dispositivos IoMT.

Por otra parte, es importante señalar que la presente investigación, para efectos de prueba y utilizando los dispositivos de IoMT se enfocó únicamente en estudiar dos condiciones fisiológicas como: ritmo cardiaco lo que nos sirvió para medir el desempeño de nuestros dispositivos al ser integrados a una red de alto alcance y bajo consumo.

2.2 Tipo de investigación

En el desarrollo de este proyecto se aplicó un tipo de investigación en primer lugar, de laboratorio debido a que permitió investigar temas que están en constante desarrollo, permitiendo ubicarse con fenómenos poco estudiados por los investigadores. En segundo lugar, fue descriptiva, la cual nos permitió inspeccionar temas de estudio experimental familiarizándonos con trabajos que están en pleno apogeo. También fue necesario aplicar una investigación sistemática donde se aplicó los métodos cualitativo y cuantitativo, el primero debido a que, se analizaron las propiedades que deben tener los dispositivos de IoT para poder ser integrados a una red. El segundo fue necesario porque se debía conocer los datos sobre el nivel de sensibilidad de los dispositivos en términos de seguridad, transmisión, confidencialidad, resistencia y cobertura.

2.3 Métodos de investigación

En este trabajo investigativo se aplicó el método experimental, debido a que fue necesario aplicar estrictas condiciones de control, utilizando como base el método representativo, aplicado en investigaciones de creación y diseño empleadas en protocolos de seguridad y

comunicación. Este método experimental se centró en la observación, recolección y análisis de datos, gracias a la integración de dispositivos *Wearables* en redes de alto alcance y bajo consumo, necesarias para el monitoreo de pacientes en tiempo real.

Además, este proyecto tuvo como base la utilización de los métodos inductivo y deductivo. El primero, permitió identificar las generalizaciones sobre el uso y desempeño de los dispositivos de IoMT, identificando las vulnerabilidades que podrían afectar el rendimiento de los dispositivos *Wearables* utilizando el protocolo de MQTT, necesarios para la transmisión de datos entre dispositivos. El segundo, se empleó con el objetivo de recolectar información válida y lógica a partir del banco de datos extraído de las bases teóricas estudiadas y en base a los datos que fueron recolectados por la técnica de evaluación implementada en la investigación.

2.4 Definición de la estrategia de búsqueda

Para esta investigación se consideró los trabajos favorables de la literatura con respecto al uso e integración de dispositivos de IoMT en una red de amplio alcance y bajo consumo. Las estrategias de búsquedas están divididas en tres pasos: definición de las fuentes de búsqueda, definición de los términos de búsqueda y selección de los estudios y extracción de la información.

2.4.1 Definición de las fuentes de búsqueda

Para este trabajo, se realizaron búsquedas en cuatro bases de datos electrónicas Tabla 4 por lo que fue necesario enfatizar en los trabajos publicados en artículos de revistas, libros y conferencias.

Tabla 4. Bases de datos

Identificar	Base de datos	URL
ED1	IEEE	https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
ED2	SCOPUS	https://www.scopus.com/home.uri
ED3	WOS	https://login.webofknowledge.com/
ED4	Science Direct	https://www.sciencedirect.com/

2.4.2 Desconocimiento de los términos de búsqueda

La estrategia de búsqueda se centró en definir un conjunto de cadenas de búsqueda relacionadas con los uso e integración de los dispositivos de IoMT. Las cadenas de búsqueda pueden consultarse en la Tabla 5.

Tabla 5. Cadenas de búsqueda

Alcance	Cadena
IEEE	IoMT and LPWAN network
SCOPUS	IoMT and LPWAN network
WOS	IoMT and LPWAN network
Science Direct	IoMT and LPWAN network

2.4.3 Proceso de selección de estudios y extracción de datos

El proceso de selección de estudios y extracción de datos incluyó la definición de la selección y metodología de refinación para eliminar los resultados indeseables y luego recuperar los más relevantes que ayudaran a cumplir con los objetivos planteados. Por ello, se incluyó criterios de inclusión y exclusión que están visibles en las Tabla 6 y Tabla 7.

Después de definir cada condición necesaria para incluir o excluir un determinado hallazgo, el proceso de selección de estudios y extracción de datos se realizó utilizando el PRISMA fragmentadas en cuatro fases diferentes: Identificación, selección, elegibilidad y la inclusión.

Tabla 6. Criterios de Inclusión

Criterios de Inclusión	
IC1	Las fuentes que centradas en la utilización de dispositivos de IoMT.
IC2	Fuentes que contengan información sobre uso de protocolos de comunicación y la modulación LoRa.
IC3	Fuentes que contengan información de IoT y sus distintas aplicaciones en la actualidad.
IC4	Fuentes centradas en la comunicación inalámbrica de los dispositivos de IoMT.
IC5	Fuentes publicadas entre el [2016 : 2020)

Tabla 7 Criterios de exclusión

Criterios de exclusión	
EC1	Fuentes no escritas en inglés a excepción de artículos escritos desde el año 2020 en adelante.
EC2	Fuentes publicadas entre en años inferiores al 2016
EC3	Fuentes que no contengan estudios relacionados con el uso y comunicación de dispositivos de IoMT.
EC4	Fuentes duplicadas

En la Figura 5, se presenta el Diagrama PRISMA el cual muestra la distribución y proceso de selección realizado para recolectar la información necesaria para el desarrollo de este proyecto investigativo

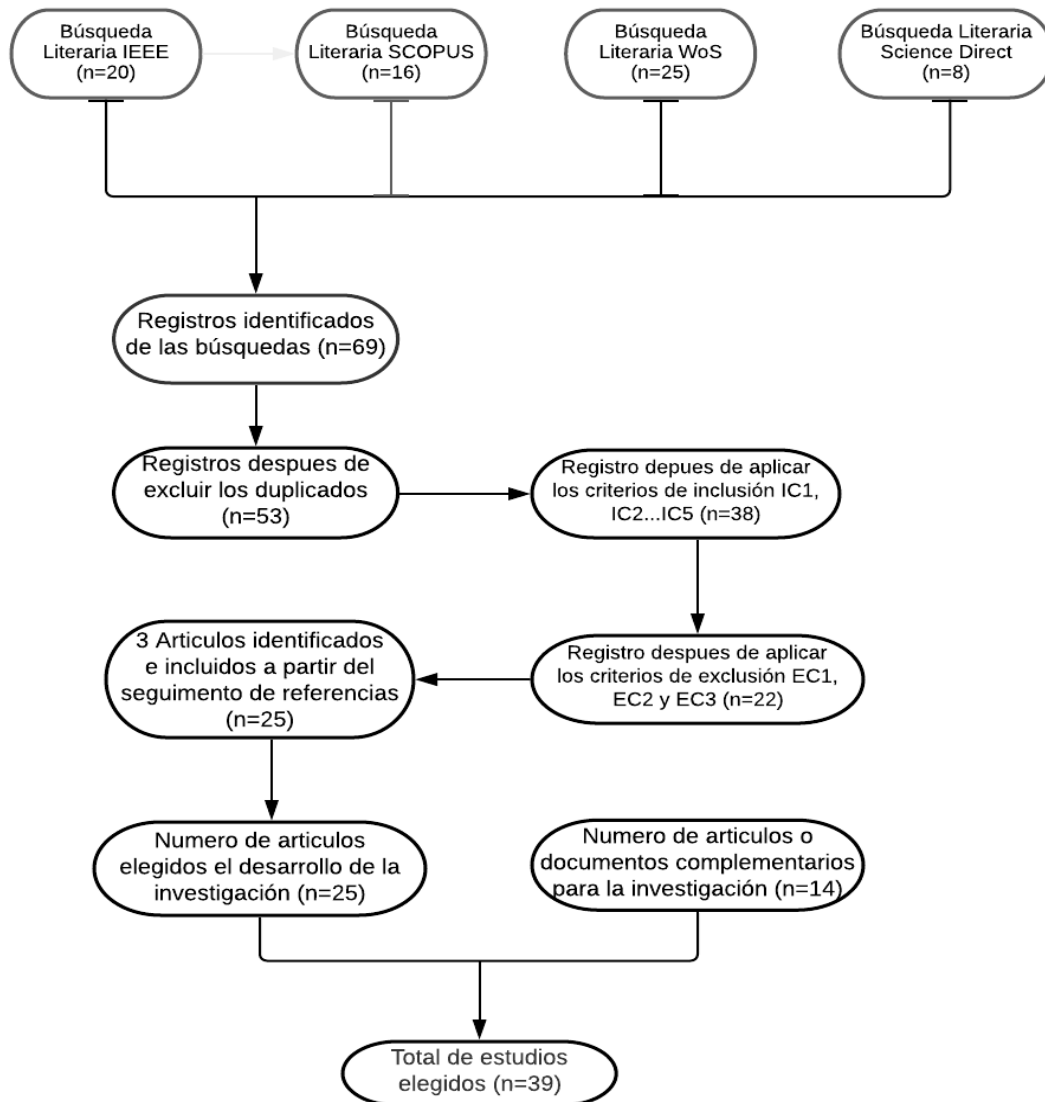


Figura 5 Diagrama PRISMA

Como se muestra en la Figura 5, correspondiente a la fase de identificación se rescataron un total de 69 documentos de las bases de datos seleccionadas. En la fase de selección se encontró 16 registros duplicados por tanto fueron los primeros excluidos (siguiendo el criterio de exclusión EC4). Aplicando los criterios de inclusión IC1, IC2, IC3, IC4 y IC5 en cuanto a los títulos y resúmenes se excluyeron 15 estudios que no cumplían con los criterios de inclusión. También se aplicaron los criterios de exclusión restantes EC1, EC2 y EC3 dejando excluidos 16 estudios, gracias al análisis de texto completo de cada uno de los documentos. Tres estudios fueron incluidos a partir de las referencias de estudios analizados, a ellos se suman los 14 complementarios que brindan los criterios de confidencialidad y fiabilidad del trabajo realizado.

Sólo 39 estudios fueron habilitados para la fase de inclusión. Cada estudio elegible efectuó una evaluación de la calidad y se clasificó de manera que esta investigación sólo considerara los trabajos más relevantes de entre estos estudios.

2.5 Técnicas de investigación e instrumentos y análisis de datos

En este trabajo se utilizó la Kuder Richardson la cual es una encuesta mediante preguntas dicotómicas de (Si o No) y (V o F), donde se registrarán los indicadores que facilitarán la medición de las variables, estos indicadores fueron aplicados en investigaciones relacionadas con el presente proyecto donde se evalúan el funcionamiento de sistemas de IoT conectados a redes de amplio alcance y bajo consumo (LPWAN).

Los resultados de la encuesta como todos los cálculos para obtener el nivel de aceptación de esta investigación se los puede encontrar en los apartados de Anexo A (encuesta de investigación) y Anexo B (aplicación del método Kuder Richardson)

2.6 Variables sujetas a investigación

Para orientar la investigación se plantean tres variables a estudiar. Las mismas que se pueden observar en la Tabla 8 que ayudaran a reflejar la usabilidad de los dispositivos *Wearables* por parte de los usuarios, el sistema se ha desarrollado para verificar si cumple con los objetivos planteados.

Estas variables o métricas de medición son propias de la normativa ISO 9241-11 la cual se emplea para determinar los niveles de usabilidad de un determinado software o dispositivo que interactúe directamente con el usuario, para profundizar mucho más en las especificaciones y aplicación de esta normativa puede revisar los estudios [42], [43].

Tabla 8. Variables e Indicadores

Variables	Indicadores	Tipo de variable	Entidades
Usabilidad	<ul style="list-style-type: none"> Nivel de facilidad para ejecución de tareas. Nivel de facilidad para instalación. Nivel de facilidad de uso del prototipo 	Cuantitativa	Paciente
Funcionalidad	<ul style="list-style-type: none"> Grado de cumplimiento de objetivo. Eficiencia de comunicación entre dispositivos. Eficiencia del cumplimiento de los dispositivos acorde a lo programado. 	Cualitativa	Sistema de IoMT o red LPWAN
Portabilidad	<ul style="list-style-type: none"> Facilidad de transporte. Grado de ubicuidad. Mecanismo de alimentación de energía. Grado de facilidad para reemplazar los sensores. 	Cualitativa	Prototipo

2.7 Normas éticas

Durante el desarrollo e investigación del presente proyecto de tesis, se respetaron las distintas normativas inherentes al instructivo de grado que presenta la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE), todo con el fin de que la investigación se enmarque en las normativas de la institución. De igual manera se respetó el derecho de autor de las diferentes fuentes que proporcionaron información importante que sirvió para enriquecer los conceptos plasmados en el proyecto, para ello se procedió a colocar las citas correspondientes a las bases de datos documentales que en el internet relacionado con la integración de dispositivos de IoMT en redes de alto alcance y bajo consumo (LPWAN).

Para el desarrollo de este trabajo se consideraron varios principios éticos:

- El principio de autonomía, este principio indica que durante todo el desarrollo de la investigación una de las prioridades será la toma de decisiones en cuanto a

valores, criterios y preferencias de los sujetos de estudio. La aplicación de esta investigación se hará con el mayor compromiso y respeto a los sujetos del estudio, brindando información suficiente y clara para la toma de decisiones.

- Principio de no maleficencia, en el presente trabajo de estudio se establece según las normativas de la universidad se obliga a no dañar a otros bajo ningún motivo anteponiendo el beneficio propio, aun mas considerando los estatutos impuestos por el *Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP)*

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1 Análisis e interpretación de resultados

En este capítulo se describe los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación. Para desarrollar este proyecto fue necesario la construcción de un prototipo de dispositivo de IoMT, necesario para captar los datos a través de sensores conectados a dispositivos portátiles que almacenan y envían datos, Además se utilizó el protocolo de MQTT para el correcto funcionamiento de los dispositivos que interactúan por medio de una red LPWAN. Los datos recogidos por los dispositivos de *Wearables* se promedian para establecer el rango de error entre estos y los dispositivos usados por los médicos. (termómetros digitales).

3.2 Presentación de la distribución de datos utilizados en la investigación

Abarcar el campo de IoMT en su totalidad es una tarea complicada, es por ello por lo que en este estudio se ha centrado en resaltar la distribución de estudios en base a sus protocolos y topologías utilizadas en cada uno de ellos como se observa en la Figura 6, esto ayudo a determinar la tendencia de cómo está evolucionando esta nueva tecnología.

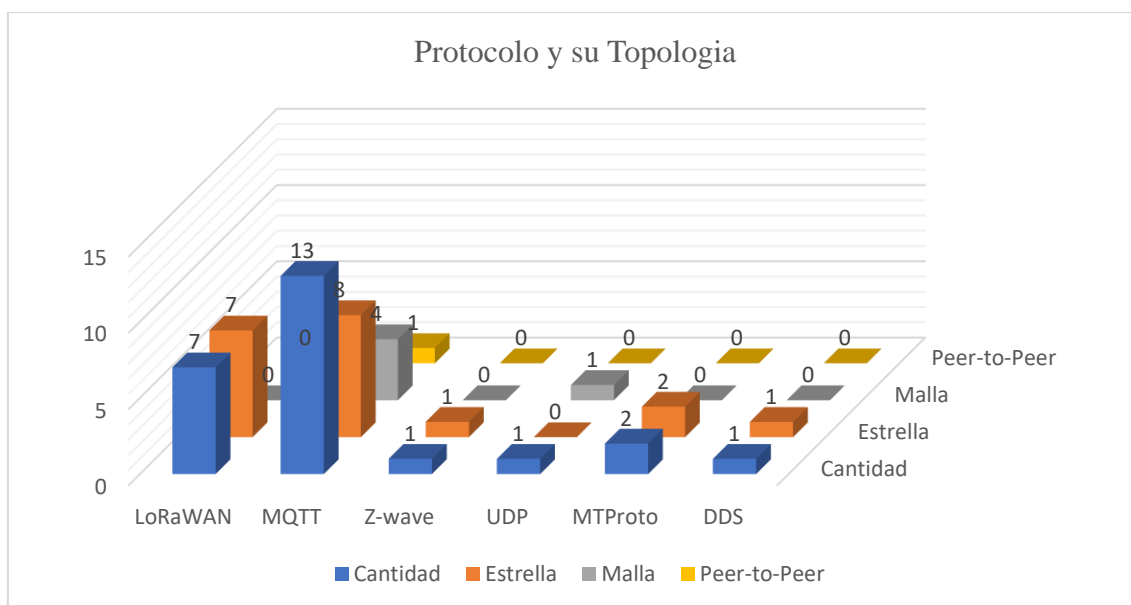


Figura 6 Distribución de protocolos y topologías

En la Figura 6, se puede observar que el notable crecimiento del IoT ha provocado un incremento en la implementación de nuevos protocolos de comunicación necesarios para brindar seguridad a los datos, además de mantenerlos siempre disponibles para su utilidad. El análisis de distribución de los datos de investigación se los puede encontrar revisando el siguiente enlace: <https://bit.ly/análisisArticulosExcel>.

3.3 Prueba de viabilidad

Para determinar la viabilidad de la investigación se aplicó el método de confiabilidad de Kuder Richardson, este método basado en formulas ha sido empleado para determinar el nivel de impacto que conllevaría el desarrollo del presente trabajo investigativo [44]. Los resultados obtenidos al aplicar cada una de las fórmulas se encuentran reflejados en la Figura 7.

Donde:

K= Número de ítems del instrumento.

U#= Número de usuarios q respondieron la prueba.

p= Porcentajes de usuario que respondieron Si.

q= Porcentaje de usuario que respondieron No.

Σ = Sumatorias.

p*q= Porcentaje de error de cada ítem.

ITEMS													
Colum	Colun	Colum	Colum	Colur	Colu	Colur	Colu	Colu	Colur	Colum	Colum	Colum	Colun
N°	Item1	Item2	Item3	Item4	Item5	Item6	Item7	Item8	Item9	Item10	Item11	Item12	Σ
U1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	11
U2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	10
U3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
U4	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	9
U5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	10
U6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
U7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
U8	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	9
U9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11
U10	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
U11	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	9
U12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11
U13	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	7
p	0,85	0,92	0,69	0,92	0,92	0,85	0,54	0,85	0,85	0,92	0,77	0,38	6,77
q=(1-p)	0,15	0,08	0,31	0,08	0,08	0,15	0,46	0,15	0,15	0,08	0,23	0,62	
p*q	0,13	0,07	0,21	0,07	0,07	0,13	0,25	0,13	0,13	0,07	0,18	0,24	1,68
		KR(12)		0,82		Resultado Kuder Richardson							

Figura 7 Kuder Richardson

Según los datos presentados en la Figura 7, después de aplicar el método de Kuder Richardson nos arrojó un resultado de fiabilidad del 82% lo cual representa un valor aceptable permitiendo el desarrollo y aceptación de esta investigación. El modelo de cuestionario para la encuesta se muestra en el ANEXO 1.

3.4 Propiedades y sensibilidad de la modulación LoRa

LoRa, cuenta con una modulación de espectro expandido y una alta sensibilidad por parte del receptor, ofreciendo buena tolerancia a la interferencia provocada lo que la hace apropiada para ser desplegada en zonas tanto urbanas como rurales. Por otra parte, Las distintas pruebas de campo realizadas demuestran que LoRa tiene puede dar cobertura hasta 3km en áreas suburbanas donde las construcciones de edificios y viviendas ofrecen un alto grado de interferencias para la comunicación y en zanas más despejadas esta tecnología tiene un alcance de 10 a 20 km. LoRa es por tanto la tecnología que permite la implementación de redes de alto alcance y bajo consumo ideal para la integración de dispositivos de IoMT, donde su amplia cobertura y baja potencia al momento de enviar datos pueden garantizar el monitoreo de los pacientes en cualquier lugar y por periodos de tiempos más prolongados.

En la modulación Lora se pueden establecer 8 propiedades claves para su desempeño las mismas que son presentadas en la

Tabla 9.

Tabla 9. Propiedades de la modulación LoRa [20].

Propiedades	Descripción
Ancho de banda escalable	LoRa puede ser adaptable con un buen ancho de banda. Estos sistemas pueden ser usados tanto para aplicaciones con secuencias directas de banda ancha al igual que los saltos de frecuencia de banda estrecha, aunque LoRa es un sistema adaptable ya que se puede usar en cualquier operación de transmisión por medio de una red.
Envolvente constante / baja potencia	De la misma forma que el FSK, LoRa se basa en un esquema basado en una modulación envolvente constante, por lo tanto, las etapas del PA más eficientes y de bajo consumo energético pueden utilizarse sin necesidad de realizar modificaciones.
Alta robustez	Gracias a la eficiencia del producto BT, una señal LoRa tienen alta resistencia debido a las interferencias existentes dentro y fuera de la banda.
Resistencia a trayectos múltiples / desvanecimientos	Pulso <i>chirp</i> es parte de la banda ancha, por ende, LoRa brinda inmunidad a multiproyectos en cuanto al desvanecimiento, esto lo hace ideal para ser implementado en áreas urbanas y suburbanas.
Doppler resistente	El desplazamiento Doppler produce cambios en la frecuencia de la modulación LoRa generando deficiencias en todo el eje de tiempo sobre el despliegue de señal de banda base.
Capacidad de largo alcance	Al hablar de eficiencia, robustez y potencia de salida el enlace LoRa en términos de rendimiento es el más adecuado, dejando de lado el presupuesto ya que, este apartado favorece al sistema FSK convencional.

3.5 Ventajas y Desventajas de los dispositivos de IoMT conectados a una red LPWAN

Al trabajar con dispositivos de IoMT encargados de monitorear la salud de los pacientes y transmitir información sensible para la toma de decisiones es de suma importancia conocer las ventajas y desventajas que presentan estos dispositivos conectados a la red LPWAN.

En la Tabla 10, se pueden observar las ventajas y desventajas que presentan los dispositivos al ser integrados a una red de alto alcance y baja potencia:

Tabla 10. Ventajas y desventajas de los dispositivos de IoMT conectados a una red LPWAN

Ventajas y desventajas de los dispositivos de IoMT conectados a una red LPWAN	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Larga vida útil (10 mW hasta 25 mW) • Bajo consumo (7 a 10 años) • Amplia cobertura (10 a 25 km) • Bajo ancho de banda (hasta 255 bytes) • Conectividad segura (End to End) • Escalabilidad en soporte • Disponibilidad (consumo de datos en tiempo real en todo momento) • Velocidad de análisis de datos (980 bps - 21.9 kbps) • Respuesta inmediata • Frecuencias de trabajo (915 Mhz) ➤ Alta sensibilidad para recibir datos (-168dB) ➤ Ahorro de tiempo ➤ Utilidad en tiempo real ➤ Respuesta Inmediata 	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución • Altos costes de mantenimiento • Interferencias • Seguridad de transmisión de información.

3.6 Modelo de arquitectura

En la Figura 8, se muestra una propuesta de arquitectura de red basada en tecnología en la nube con el uso del protocolo MQTT Y el servidor en la nube de Node Red el cual es el encargado de gestionar los datos desde el bróker MQTT hacia el Bot de telegram, proporcionando una alta velocidad en el envío y recepción de mensajes.

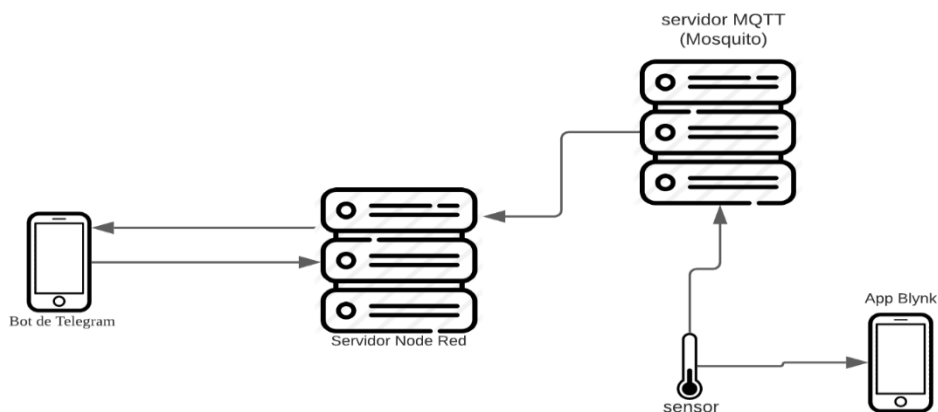


Figura 8 Modelo de arquitectura

Esta arquitectura consta de cuatro niveles en el primer nivel se ubican los dispositivos de IoMT (sensores) donde se realiza la captación o recolección de datos, en el segundo nivel, está el Bróker de MQTT o protocolo de comunicación el cual contiene los datos publicados por los dispositivos, en el tercer nivel, se encuentra el servidor de Node Red en este nivel se realiza todo lo referente a la programación o gestión de datos y finalmente el cuarto nivel se ubican los dispositivos donde se puede visualizar la información con ayuda del Bot de Telegram siendo este último nivel el que interactúa directamente con el usuario final.

3.7 Protocolo de comunicación MQTT

La función principal del protocolo MQTT es almacenar los datos publicados por los sensores y mantenerlos siempre disponibles, para ello se ha implementado la plataforma en la nube HIVE MQ, la misma que funciona como un intermediario del protocolo MQTT, permitiendo que los datos se muevan e interactúen entre dispositivos conectados a la red. Esta plataforma es esencial para conexión de dispositivos de IoT debido a que permite la agrupación en clústeres resistentes, con alta disponibilidad y menos propensos a fallos o

perdidas de datos. En la Figura 9, se visualiza la forma de conexión de los dispositivos para esta plataforma.

The image shows the HiveMQ Cloud web interface. At the top left is the HiveMQ logo (a bee in a yellow circle) and the text "HIVEMQ". To the right, it says "Escaparate del cliente de Websockets". Below this is a "Conexión" (Connection) panel with a green "connected" status indicator. The connection settings include: Hostname (broker.mqttdashboard.com), Port (8000), Client ID (clientId_BpCpKsBpv), Username (Dufar), Password (masked with dots), Keep Alive (60), SSL (unchecked), Clean Session (checked), Last Will Topic (Puebas_Estudios), Last Will QoS (1), and Last Will Retention (unchecked). There is a "Mensaje de última voluntad" text area and a "Desconectar" button. Below the connection panel are two other panels: "Publicar" (Publish) and "Suscripciones" (Subscriptions). The "Publicar" panel has fields for Topic (testtopic/1), QoS (0), and a "Conservar" checkbox, with a "Publicar" button and a "Mensaje" text area. The "Suscripciones" panel has a button that says "Agregar nueva suscripción a un tema".

Figura 9 Servidor MQTT clúster HiveMQ Cloud

En la Figura 10, se muestran los detalles de configuración como el tipo de datos y capacidad de almacenamiento. Otro punto para considerar sobre los datos que se publican en esta plataforma es que solo pueden permanecer en este sitio por tres días, convirtiéndolo en un servicio limitado, pero viable para esta investigación, debido a que los datos transmitidos se actualizan constantemente. También esta nube soporta un tamaño máximo de mensaje de 5mb de acuerdo con los estándares expuestos por la modulación LoRa.



Figura 10 Detalles de funcionamiento del servidor MQTT

3.8 Envío y recepción de mensajes.

La programación relacionada con el envío y recepción de mensajes se realizó con Node Red la cual es herramienta de desarrollo basada en nodos para programación visual, permitiendo incorporar dispositivos de hardware y software como parte de IoT. En la Figura 11, se puede ejemplificar esta herramienta luego de configurar el servidor donde se publican los datos enviados por los sensores que se encuentra en la Figura 11. Con el nodo INPUT MQTT de la herramienta de Node Red se realiza la petición de los datos a la nube HiveMQB de MQTT, para con ello realizar el ecosistema de IoMT y de esa forma poder enviar y recibir mensajes desde la aplicación de Telegram.

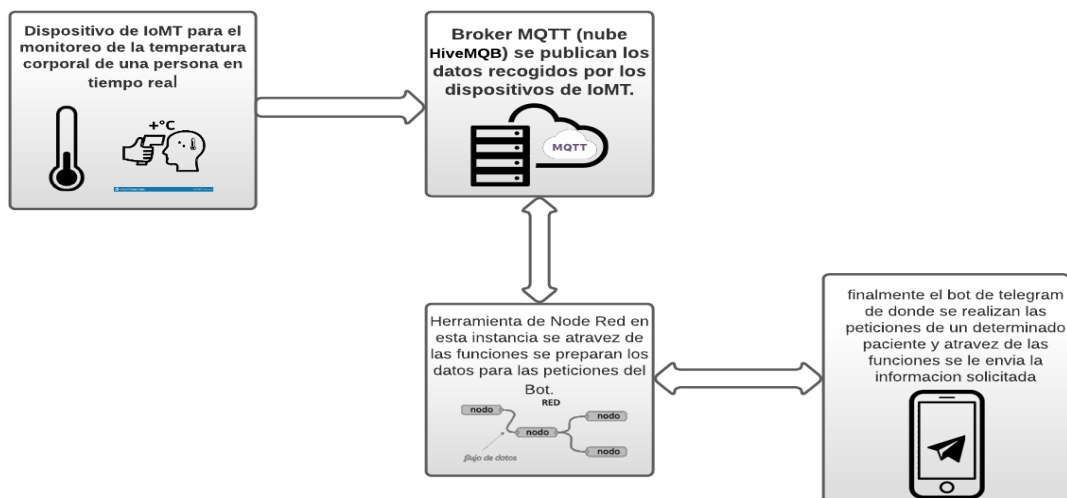


Figura 11 Diagrama de envío y recepción de mensajes

Salida del nodo MQTT

En la Figura 12, se presenta un bloque de tres nodos, siendo estos los encargados de recibir, convertir y mostrar los datos provenientes del protocolo de comunicación. El primer nodo se encontrará siempre en modo escucha (disponible para recibir información), desde el servidor de MQTT. El segundo nodo, representa la función en donde se convierte el mensaje recibido de tipo objeto a tipo texto. Y por último el nodo payload que sirve para mostrar los datos en Node Red.

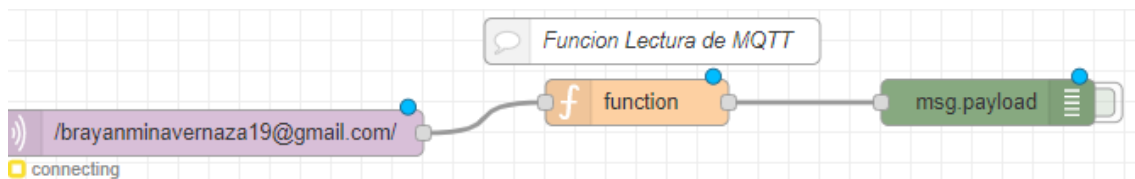


Figura 12 Bloques de datos MQTT

En la Figura 13, se muestra el nodo función el cual se utiliza para controlar la salida de los datos del nodo MQTT, en el apartado función se generó una variable de tipo Flow lo cual nos permite poder llamar dicha variable en cualquier nodo al estar encapsulado en este tipo de variable de esta manera se pudo controlar los mensajes que son de tipo objeto de JavaScript denominados msg.

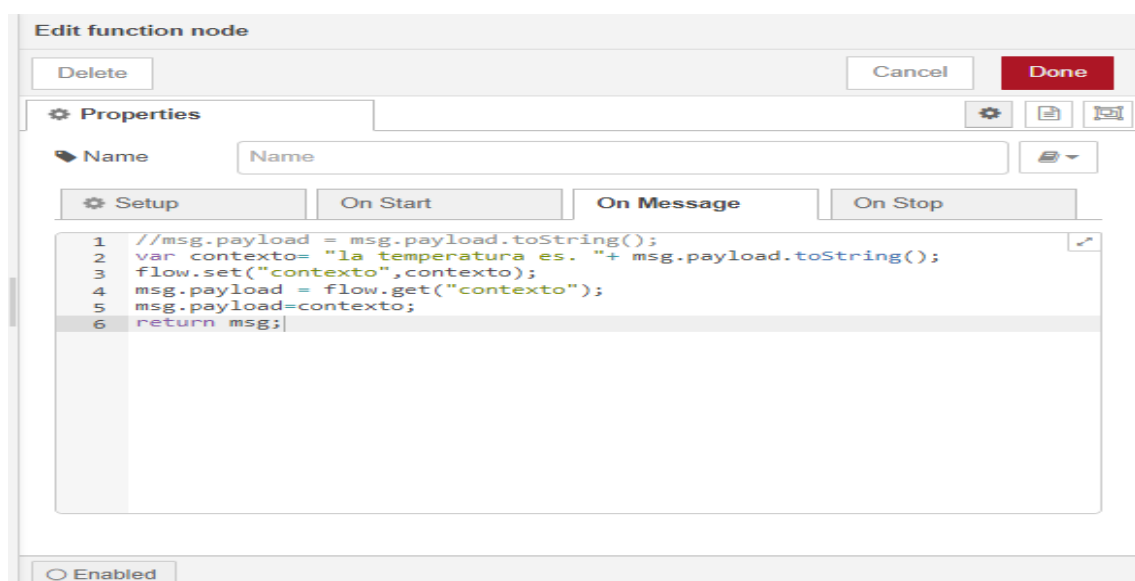


Figura 13 Salida de los datos del nodo MQTT

Telegram Bot

En este apartado en la Figura 14, se muestra la iniciación de un nuevo bot, utilizando el BotFather, y para ello se utilizó el comando /start para inicializar el bot. Luego se crea un nuevo bot, con el comando /newbot y se le asigna un nombre, el nombre puede ser cualquiera, pero debe terminar con la palabra Bot, yo he asignado “BrahimyBot”, después de crear el bot se proporciona un token que será de vital importancia para la comunicación entre telegram y Node Red. Después de estas configuraciones ya estará listo el bot y puede ser implementado a la investigación.

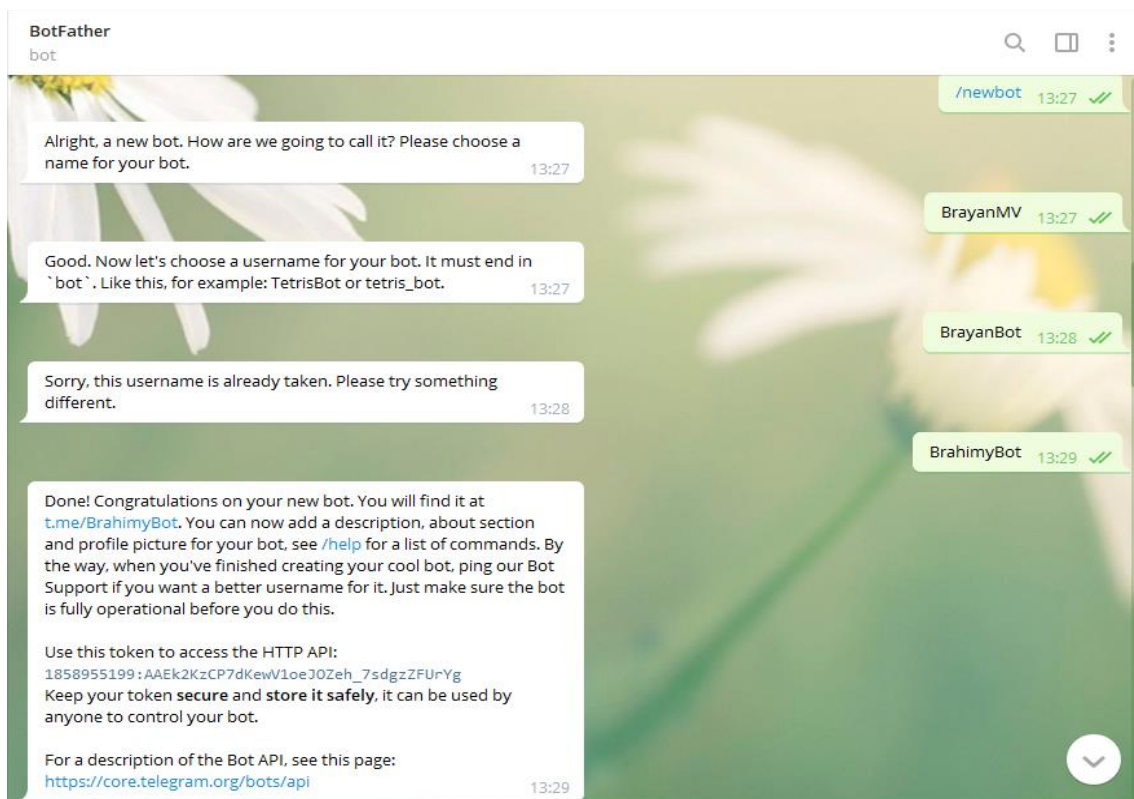


Figura 14 Telegram Bot

Mensajería de telegram

Para la comunicación entre el bot de telegram que se creó y el Node Red en la Figura 15, se muestra que cuenta con dos nodos asistentes y un nodo de función.



Figura 15 Boques de nodo para la mensajería de telegram

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra como están estructurados los mensajes y las condiciones para dar una respuesta según el grado de temperatura que el sensor detecte.

```

Edit function node
Delete Cancel Done
Properties
Name Respuesta
Setup On Start On Message On Stop
1 if (msg.payload.content == "paciente2") {
2   msg.payload.content = "la temperatura actual del paciente → " + flow.get("contexto") + " "
3   if (flow.get("contexto") > 37.5) {
4     msg.payload.content = flow.get("contexto") + " El paciente presenta fiebre "
5   } else {
6     if (flow.get("contexto") < 36.5) {
7       msg.payload.content = flow.get("contexto") + " El paciente esta propenso a desarrollar hipotermia "
8     } else {
9       msg.payload.content = flow.get("contexto") + " Normal"
10    }
11  }
12  return msg;
13 }
14 if (msg.payload.content != "paciente2") {
15   msg.payload.content = "Paciente no encontrado"
16   return msg;
17 }

```

Figura 16 Función de envío de mensajes al Bot Asistente

Envío y recepción de datos a través del bot de telegram

Para probar el envío y recepción de los datos transmitidos fue necesario consultar a un experto que pudiera validar que la información capturada por el sensor de temperatura fuera la correcta y evitar futuros problemas de implementación. Una vez tomados los datos y verificados que los datos son válidos ahora se procederá a realizar el envío y recepción de datos por parte del bot de telegram, así como de muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**



Figura 17 Envío y recepción de mensajes

Como se puede observar en la figura anterior el modelo de mensajería cuenta con tres tipos de mensajes para cualquiera de los pacientes monitoreados, para la temperatura baja, normal y alta donde según estas medidas se podrá determinar si el paciente presenta un cuadro de hipotermia si su temperatura es menor a $36\text{ }^{\circ}\text{C}$, si la temperatura oscila entre $36.00\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $37.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ se considera una temperatura normal y si los datos enviados superan los $37.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ el paciente presenta fiebre.

3.9 Integración de dispositivos *Wearable*

En la Figura 18, se muestra la plataforma utilizada para integrar los dispositivos a la red LPWAN, para ello se utilizó la plataforma de MQTT que será donde están alojados los dispositivos para posteriormente utilizando las credenciales conectar y compartir los datos con Node Red.

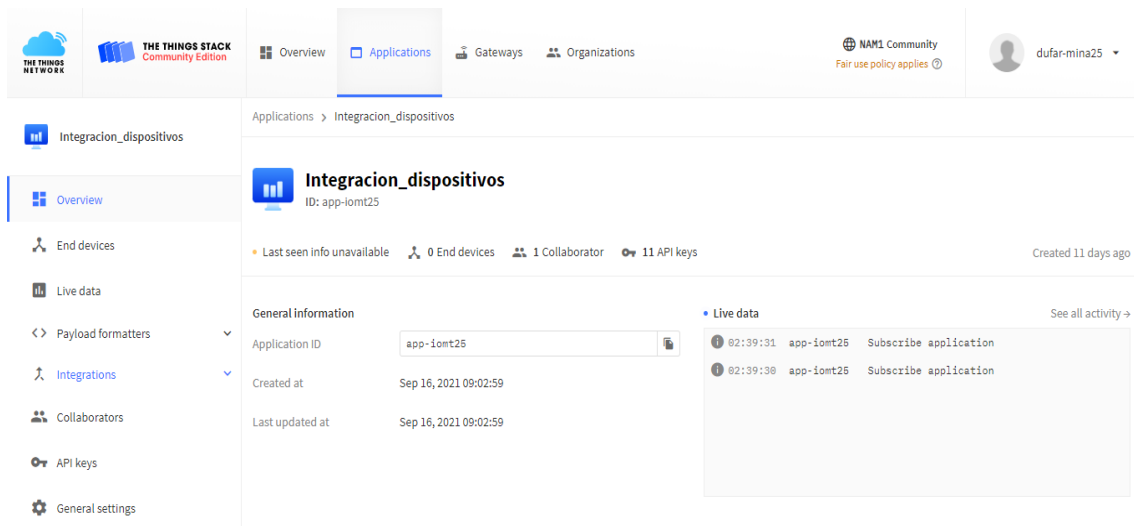


Figura 18 Plataforma IoT

3.10 Rendimiento del dispositivo de IoMT

Para medir el rendimiento del dispositivo al momento de recolectar la información de los pacientes se ha considerado necesario comparar tres aspectos fundamentales en comparación con dispositivos médicos usados habitualmente como la facilidad de uso (fácil, medio y difícil), tiempo de respuesta (segundos) y medida de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestran los datos de cada aportados por cada uno de los dispositivos.

Para la presente investigación se tomaron en cuenta algunos parámetros o aspectos de nuestro dispositivo conectado para así compararlo con otros dispositivos ya analizados y verificados por el área de salud para con ello determinar tanto la eficiencia como la veracidad de los datos.

Tabla 11. Comparando el dispositivo de IoMT

Dispositivos	Aspectos		
	Facilidad de uso	Tiempo de respuesta	Temperatura
Prototipo de estudio (sensor de temperatura MLX90614) 	Fácil, para utilizar este dispositivo basta con colocar cualquier parte del cuerpo a dos centímetros de distancia del sensor	Su tiempo de respuesta para realizar cada tarea es de 0.017362tareas/segundo	La temperatura de la paciente registrada al momento de realizar el estudio fue de 36.8 °C.
Sensor de temperatura por dilatación de fluido 	Medio, debido a que se debe colocar en la axila o el oído lo que no resulta muy cómodo para los pacientes.	Su tiempo de respuesta aproximada es de 1 a 2 minutos	La temperatura de la paciente registrada al momento de realizar el estudio fue de 36.7 °C.
Termómetro digital Pen-Type DT-01A 	Fácil, en relación con el anterior este sensor térmico es fácil de usar por sus acondicionamientos y su simplicidad para observar los datos.	Su tiempo de respuesta aproximada es de 0.3s a 1 minutos	La temperatura de la paciente registrada al momento de realizar el estudio fue de 36.8 °C.
Termómetro digital infrarrojo Kanji 	Fácil	Su tiempo de respuesta al igual que el prototipo en estudio depende mucho de la posición y la distancia que se encuentre el paciente y el sensor.	La temperatura de la paciente registrada al momento de realizar el estudio fue de 36.8 °C.

Después de haber realizado varias pruebas con distintos dispositivos propios del área de salud para medir la temperatura corporal de las personas los resultados obtenidos son satisfactorias y demuestran que el prototipo implementado para la recolección de los datos cumple de buena manera con los con los resultados esperados.

3.11 Evaluación de usabilidad de los dispositivos de IoMT integrados a la red LPWAN.

Para evaluar la fiabilidad del uso de los dispositivos de IoMT conectados a la red de manera apropiada, es necesario aplicar pruebas de usabilidad, para ello se aplicó el uso de la norma ISO 9241-11 esta normativa dice que la usabilidad contempla las métricas de efectividad, eficiencia y satisfacción con la que un producto se permite cumplir con objetivos específicos para alcanzar metas y satisfacer a los usuarios enfocados en la calidad de uso, es decir, cómo el usuario realiza tareas específicas en escenarios específicos con efectividad [42].

Según la normativa ISO 9241-11 [42], la usabilidad es “ La medida en que un producto puede ser utilizado por usuarios específicos para alcanzar objetivos específicos con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico”

Tabla 12. Métricas de evaluación

• Atributo	• Descripción	• Métrica	• Medida
Eficiencia	El atributo eficiencia se centra en la capacidad de respuestas sobre las tareas implementadas en tiempo determinado.	Tiempo de respuesta para completar las tareas asignadas	Test de usabilidad
Eficacia	El atributo de eficacia se centra en la capacidad en que las tareas implementadas son concluidas	Nivel de eficacia en porcentajes según el cumplimiento de las tareas	Tes de usabilidad
Satisfacción	El atributo de satisfacción se basa explícitamente en la opinión del usuario después de usar el instrumento	<ul style="list-style-type: none"> • Satisfacción general • Calidad de información • Utilidad del sistema 	Cuestionario

Para que un producto sea usable debe cumplir con las tareas relacionadas con la efectividad, eficiencia y satisfacción las cuales se enumeran de la siguiente manera:

- T1. Manejo de dispositivos de IoMT.
- T2. Conexión a una red de amplio alcance y bajo consumo (LPWAN).
- T3. Colocación del sensor de temperatura.
- T4. Publicación los datos en el servidor.
- T5. Solicitar los datos desde el Bot de telegram.

Efectividad

Se entiende que cualquier software debe contar con objetivos concretos, claros y alcanzables que ayuden a que los proyectos culminen de forma eficiente. Para la efectividad se usó una métrica de porcentaje de tareas complejas con éxito al primer intento y para realizar el cálculo de efectividad la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

$$\text{Efectividad} = \frac{\text{número de tareas completadas con éxito}}{\text{número de tareas realizadas}} \times 100\% \quad (1)$$

Una vez calculado el porcentaje de efectividad que tienen los dispositivos. En la Figura 19, se observan los valores de las cinco primeras pruebas las cuales arrojaron resultados satisfactorios en su mayoría fue del 85% hasta alcanzar el 100% en las pruebas tres y cuatro respectivamente, generando un porcentaje de efectividad aceptable, estas pruebas demuestran que los usuarios no presentaron dificultades al momento de completar las tareas que se proponen en este estudio.

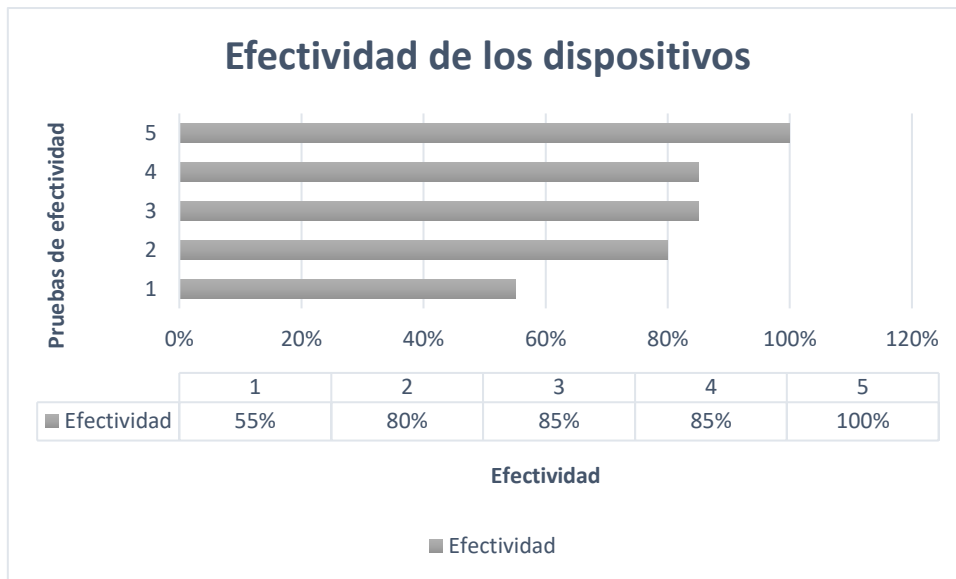


Figura 19 Efectividad de los dispositivos IoMT

Eficiencia

En esta segunda métrica se pondrá a prueba los distintos recursos empleados para cumplir los objetivos. Los indicadores de eficiencia nos brindan información como el tiempo en el que se finaliza una tarea y el tiempo para aprender. Para realizarlo se aplicó la métrica de tiempo invertido desde el primer intento con **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

$$Eficiencia = \frac{\sum_J^R = 1 \sum_J^N = 1 \frac{n_{ij}}{t_{ij}}}{NR} \quad (2)$$

Donde:

N= número total de tareas propuestas

R= número total de usuarios

n_{ij}= el resultado de la tarea i multiplicado por el usuario j; si el usuario completa la tarea con éxito n_{ij}=1, caso contrario n_{ij}=0.

t_{ij} = el tiempo por usuario j para completar la tarea i . Si dicha tarea no se concluye con éxito, entonces se mide el tiempo hasta el momento en que el usuario deja de realizar la tarea.

Una vez que los usuarios tengan claro el funcionamiento básico de los dispositivos integrados a la red para calcular la eficiencia del sistema la cual hace referencia al tiempo en promedio que es necesario para calcular cada tarea se obtuvo que la eficacia es de 0.0170362 tareas por segundo como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

$$Eficiencia = \frac{\left(\frac{3}{33}\right) + \left(\frac{3}{36}\right) + \left(\frac{4}{48}\right) + \left(\frac{4}{57}\right) + \left(\frac{5}{51}\right)}{5 * 5} = 0.0170362 \text{ tareas/s} \quad (3)$$

Satisfacción

La satisfacción del cliente ante un determinado producto se puede entender como “el nivel del estado de ánimo de una persona que resulta de comparar el rendimiento percibido de un producto o servicio con sus expectativas”.

Para obtener el grado de satisfacción en cuanto al desempeño que presentan los dispositivos conectados a la red después de realizar las tareas antes mencionadas (T1 - T5) se utilizó un cuestionario con preguntas dicotómicas de Si o No. Este cuestionario servirá para determinar el nivel de entendimiento y comodidad que presentan el uso de los dispositivos integrados. El modelo del cuestionario se muestra en el

ANEXO 2.

Una vez aplicado el cuestionario, se analizaron cada una de las respuestas entregadas por los usuarios de las que se resaltaron varios aspectos relevantes que ayudaron a determinar que el nivel de satisfacción o estado de ánimo que experimentan los usuarios al utilizar el dispositivo de IoMT conectado a la red.

Aspectos relevantes respecto a los resultados del cuestionario:

- En primer lugar, referente al manejo de estos dispositivos de IoMT es intuitivo y muy fácil de manejar para los pacientes, esto se debe gracias a que el dispositivo trabaja de forma periódica y siempre está enviando datos al servidor esto los hace idóneos para el uso de todo tipo de pacientes sin necesidad de tener conocimiento tecnológico.
- En segundo lugar, se menciona el nivel de complejidad a la hora de integrar estos dispositivos a la red, ya que esto representa un alto grado de dificultad, debido a la falta de conocimiento de cómo funciona este tipo de redes, las propiedades que deben cumplir los dispositivos para ser integrados, el manejo de protocolos que es quizás el eslabón más importante cuando se habla de los dispositivos de IoT en el campo de la salud.
- En tercer lugar, se menciona la forma correcta de colocarse frente al dispositivo, para la cual puedo acotar que al tratarse de un sensor que mide la temperatura corporal, el proceso de uso es muy sencillo ya que la temperatura puede ser medida con el simple hecho de colocar una parte del cuerpo frente al dispositivo y con eso bastara para recolectar los datos.
- En cuarto lugar, se refiere a la publicación de los datos en el servidor MQTT, donde según la opinión de los usuarios representa la parte más compleja al usar el dispositivo, debido a que se debe tener un conocimiento previo de cómo están estructurados los datos, si estos son compactibles con el servidor y cuanto duran esos datos alojados en la nube del servidor para ser utilizados, también se debe tener mucho cuidado con los datos que se pretende publicar para que al momento que se soliciten los resultados sean los esperados.
- Finalmente, se analiza el envío y recepción de información por medio del Bot Asistente de Telegram hacia el servidor de Node Red, el cual se considera fácil de implementar, debido a que no se necesita contar con conocimientos previos reverentes a programación para implementar un Bot de asistencia remota. Esto se da gracias a que el Bot asistente que responderá a los usuarios mediante un mensaje instantánea de Telegram hace la petición del id o nombre de usuario registrado en el prototipo de mensajería y subido al servidor, si el usuario ingresa mal la petición del Bot, el Bot le recordara que debe ingresar bien lo que solicita de esta manera no los usuarios no tienen problemas con las peticiones del Bot

Tomando en cuenta cada uno de estos aspectos evaluados por los usuarios queda demostrado que el nivel de satisfacción experimentado al utilizar el dispositivo es muy alto, demostrando así que integrar dispositivos de IoMT a la red LPWAN es de gran utilidad y satisfacción para los usuarios.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

Como parte de este proyecto investigativo se realizó un análisis de la literatura enfocada en la integración de dispositivos médicos en una red de amplio alcance y bajo consumo mediante la utilización de un protocolo de comunicación MQTT, con el único fin de realizar consultas médicas a través del monitoreo a pacientes desde la comodidad de sus hogares o lugar de trabajo, por otra parte, la integración y utilización de estos dispositivos ayudarán a descongestionar los centros de asistencia médica, permitiendo atender a más pacientes de una forma mucho más eficazmente.

La integración de dispositivos a una red LPWAN ha sido un tema complejo de tratar por los investigadores principalmente por los riesgos presentados en cuanto a filtración de información. Los sistemas que trabajan en el campo medico deben de contar con un sistema de seguridad fiable que garantice y resguarde la información entregada por los pacientes. A lo largo de los años se han implementado varios métodos con el objetivo de mitigar este problema, por lo que toda la información en sistemas relacionados en salud ahora cuenta con más seguridad [25], [26].

En el 2019 K. Hofer y Schmitz [33] presentan un estudio en el cual se realiza una profunda revisión literaria donde se llegó a distinguir cuatro campos fundamentales para la integración de dispositivos de IoT en una red que se debe conocer: (i) comprobaciones funcionales tanto de los dispositivos de emisor como de receptor, (ii) comprobaciones de las propiedades de seguridad, (iii) esquemas mejorados y comprobados con propiedades de seguridad y (iv) uso de protocolos de comunicación para gestionar el uso de dispositivos y manejo de información.

Tomando como base el estudio anteriormente mencionado, para el desarrollo de este proyecto se ha propuesto un modelo de arquitectura que permita la conexión de los dispositivos de una forma segura con ayuda de la modulación LoRa y el uso del protocolo de MQTT, importante para poder lograr los objetivos del proyecto, además de poder enviar y recibir peticiones de los usuarios que usen el sistema de Internet de las cosas médicas. Al hacer una comparativa con el trabajo citado la principal diferencia es su método de Avispa que en comparación con el utilizado en este estudio tiene un tiempo de respuesta más eficiente, al contrario, en este trabajo hemos enfocado más esfuerzos en la seguridad tomando en cuenta la sensibilidad de los datos tratados hacemos doble filtro de datos lo cual nos permite corregir errores de forma más eficiente.

Al utilizar la modulación LoRa con sus propiedades que permiten que los dispositivos puedan realizar sus funciones por tiempo más prolongado. En el 2020 S.R. Jino Ramson [6] este estudio presenta una visión más amplia de la utilización, veneficios y grandes avances en el campo de la salud gracias a la intervención de los dispositivos médicos, también se presentan como estos dispositivos han cambiado la forma de asistencia sanitaria monitoreando a los pacientes de una forma remota. Para la implementación de este estudio se implementó el protocolo avanzado de colas de mensajes (AMQP), este protocolo es muy potente al momento de gestionar datos temporales ideal para sistemas de alertas cuando se provoca por ejemplo un cambio de temperatura o un aumento o disminución del ritmo cardiaco en el paciente.

En comparación al estudio anterior en esta investigación se utilizó el protocolo MQTT, ya que entrega los mensajes con un tiempo de retraso menor que el protocolo AMQP, otro de los aspectos a destacar es el hecho que para este estudio los dispositivos utilizan una red de baja potencia y alto alcance lo cual permite ser eficientes al llevar tratamientos largos y estar siempre disponibles para enviar y recibir datos. Hasta ahora los estudios analizados utilizan tecnologías de comunicación de corto alcance al momento de transferir información. En cambio, nuestra propuesta aprovecha la tecnología LoRa para comunicarse con los objetos inteligentes disponibles en el entorno doméstico.

Finalmente, para determinar la usabilidad del prototipo de estudio se aplicaron las métricas de la ISO 9241 sobre tres de los aspectos más relevantes en esta investigación como efectividad, eficiencia y satisfacción por parte de los pacientes, además al realizar los cálculos de las métricas se puede comprobar que los cálculos arrojaron datos muy similares a estudios relacionados con este proyecto lo que ayudó a justificar la evaluación de las métricas en la usabilidad, calidad y rendimiento, arrojando de esta manera cálculos muy acertado alcanzando un promedio de efectividad mayor de 81% en 4 de los 5 usuarios a los q se le aplicaron las pruebas las pruebas, alcanzando porcentajes de efectividad en las últimas pruebas que rondaban un 100% de efectividad en las pruebas, eficiencia del prototipo fue de (0.0170362 tareas/ s) y su satisfacción aceptable una vez analizados el test manejado en una escala de (SI o NO) aplicado a cada usuario o paciente que realizo las pruebas sobre la usabilidad de los dispositivos de IoMT. Dejando como resultado que los dispositivos integrados a redes de alto alcance y bajo consumo son fáciles, seguros y brindan respuestas en un buen tiempo lo que genera satisfacción a los usuarios que interactúan con ellos

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En la actualidad es importante recalcar el notable crecimiento que han tenido las tecnologías orientadas al campo de la salud. Estas nuevas tecnologías como la utilización de los dispositivos de IoMT están aportando grandes soluciones tanto para los pacientes como para los centros de asistencia sanitaria, por lo que antes de iniciar con el desarrollo de este proyecto fue importante realizar un análisis de investigaciones previas sobre diferentes aspectos como: integración, seguridad y fiabilidad que ofrecen los dispositivos de IoMT al momento de ser integrados a una red de alto alcance y bajo consumo.

Para el desarrollo de este proyecto se analizaron las propiedades con las que cuentan los dispositivos de IoMT al estar conectados a una red LPWAN, por lo que fue necesario comprender como se estructura la modulación LoRa, ya que estas propiedades que adquieren los dispositivos son propios de esta modulación, el alto alcance, bajo consumo, ancho de banda escalable, alta robustez, disponibilidad y su resistencia a trayectos múltiples hacen que estos dispositivos se estén proyectando como uno de los avances más prometedores en el campo de la asistencia sanitaria.

Al conectar un dispositivo de IoMT a una red LPWAN con el objetivo de realizar un monitoreo a pacientes en tiempo real se obtienen ventajas y desventajas permitiendo que los dispositivos adquieran características únicas como: mejorar su capacidad de transmisión de datos a largas distancias, permanecer siempre activo para recibir y enviar información. Otras de los aspectos relevantes que se visualizan en las ventajas presentadas es el consumo energético, el cual permite que los dispositivos duren grandes periodos de tiempo sin necesidad de realizar cambios de baterías. También se debe enfatizar en las limitaciones que presentan estos dispositivos siendo el mas relevante los niveles de seguridad que al tratarse de dispositivos médicos es algo fundamental en lo que todos debemos profundizar de mejor manera.

Se realizó un modelo de arquitectura el cual se puede visualizar en la Figura 8, donde se detalla el proceso de cómo se produce la integración y comunicación de los dispositivos de IoMT, este modelo de arquitectura que se propone conta de cuatro niveles en el primer nivel están los sensores (para este proyecto se utilizó el sensor de temperatura) en el segundo nivel tenemos el protocolo MQTT donde están publicados los datos, el tercer

nivel el servidor Node Red en este nivel se realiza la conexión entre dispositivos y finalmente, en el cuarto nivel se encuentra el Bot que sería el usuario final el cual consulta los datos capturados por los dispositivos del primer nivel. Gracias al desarrollo de este modelo de arquitectura fue posible integrar dispositivos de IoMT a una red LPWAN con el objetivo de implementar un sistema de asistencia remota utilizando Telegram que ayudaría a descongestionar el sistema de salud de la ciudad de Esmeraldas, permitiendo que los pacientes con síntomas leves puedan recibir asistencia desde la comodidad de sus hogares sin la necesidad de dirigirse a un centro de salud. Utilizando mensajes del Bot de Telegram el médico encargado solicita los datos que están publicados en el protocolo de MQTT donde con ayuda del servidor de Node Red podrá estar informado en todo momento sobre el estado del paciente en tiempo real.

Finalmente, se evaluó la facilidad que brinda el sistema para usuarios mediante pruebas de usabilidad utilizando la ISO 9241 donde se evaluó las tres características principales de la usabilidad, se obtuvo un resultado en tres de las cinco pruebas realizadas de un 81% y alcanzando el 100% en su última tarea realizada por el usuario, la segunda característica que se midió fue la eficiencia donde se evaluó el tiempo que invierte el usuario para realizar una tarea que es de (0.0170362 tareas/s), después de grandes resultados en las dos características anteriores se concluye que el nivel de satisfacción que presentan los usuarios al utilizar los dispositivos conectados a la red se puede considerar alta. Por tanto, se puede concluir que el modelo implementado funciona, además el sistema puede ser adaptado para la implementación de nuevos dispositivos de IoMT que puedan analizar no solo temperatura, también del ritmo cardiaco, nivel de azúcar, entre otros

5.2 RECOMENDACIONES

Es importante señalar que la presente investigación a través de las diferentes pruebas realizadas obtuvo resultados muy buenos por tanto esta investigación podría ser utilizada como base de investigación para posibles trabajos los cuales puedan complementar lo presentado y se pueda ayudar a mejorar el sistema de salud de nuestra provincia.

Promover la utilización de estas tecnologías en los centros de salud de la provincia de Esmeraldas, para brindar una atención más rápida y eficiente a los pacientes. Esto ayudaría a que el sistema de salud en tiempos de pandemia no colapse, además de poder salvaguardar la salud del de los pacientes.

Informarse muy bien antes de implementar estas nuevas tecnologías, donde el sistema de seguridad es un pilar fundamental para el desarrollo optimo y donde el menor por mas insignificante que pueda parecer puede ocasionar problemas irreversibles para la salud de las personas.

Para integrar dispositivos de IoMT en una red LPWAN se deben conocer las propiedades tanto de los dispositivos como de la red, ya que el buen manejo de estas propiedades o características garantizan el éxito del proyecto que se esté implementando. Por otro lado, antes de poner estos sistemas en producción se debería contar con la aprobación de expertos en las áreas involucradas esto servirá para validar el funcionamiento del sistema con otro que ya esté en producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Job, V. Naresh, and K. Chandrasekaran, “A modified secure version of the Telegram protocol (MTPProto),” *2015 IEEE Int. Conf. Electron. Comput. Commun. Technol. CONECCT 2015*, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/CONECCT.2015.7383884.
- [2] G. Gardašević, K. Katzis, D. Bajić, and L. Berbakov, “Emerging wireless sensor networks and internet of things technologies—foundations of smart healthcare,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 13, pp. 1–30, 2020, doi: 10.3390/s20133619.
- [3] J. Huarcaya-Victoria, “Consideraciones sobre la salud mental en la pandemia de COVID-19,” *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica*, vol. 37, no. 2, pp. 327–334, 2020, doi: 10.17843/rpmesp.2020.370.5419.
- [4] F. Hosea, “Emerging Horizons of Clinical Engineering in Disaster Preparedness and Management,” *Glob. Clin. Eng. J.*, vol. 3, no. 1, pp. 10–26, 2020, doi: 10.31354/globalce.v3i1.98.
- [5] D. Pérez and R. Risc, “Implementación de Lora y Lorawan como escenario futuro de la industrias 4.0 en el sector agroindustrial peruano,” *Campus*, vol. 25, no. 29, pp. 133–147, 2019, doi: 10.24265/campus.2020.v25n29.10.
- [6] S. Vishnu, S. R. Jino Ramson, and R. Jegan, “Internet of Medical Things (IoMT)- An overview,” *ICDCS 2020 - 2020 5th Int. Conf. Devices, Circuits Syst.*, pp. 101–104, 2020, doi: 10.1109/ICDCS48716.2020.243558.
- [7] D. Koutras, G. Stergiopoulos, T. Dasaklis, P. Kotzanikolaou, D. Glynos, and C. Douligeris, “Security in iomt communications: A survey,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 17, pp. 1–49, 2020, doi: 10.3390/s20174828.
- [8] L. Fedele, M. Concetti, and G. Mercuri, *Methodologies and techniques for advanced maintenance*. 2011.
- [9] M. Gámez López, *Desarrollo de un sistema biomédico para monitoreo local y remoto de signos vitales de pacientes, utilizando tecnología de Internet de las Cosas IoT*, vol. 2. 2020.
- [10] R. A. G. Salazar, “Sistema de telemedicina con monitoreo de signos vitales basado en Iot en un ambiente Smart TV,” 2021, [Online]. Available:

<http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/32315>.

- [11] T. Han, L. Zhang, S. Pirbhulal, W. Wu, and V. H. C. de Albuquerque, “A novel cluster head selection technique for edge-computing based IoMT systems,” *Comput. Networks*, vol. 158, pp. 114–122, 2019, doi: 10.1016/j.comnet.2019.04.021.
- [12] D. Kwon, M. R. Hodkiewicz, J. Fan, T. Shibutani, and M. G. Pecht, “IoT-Based Prognostics and Systems Health Management for Industrial Applications,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 3659–3670, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2587754.
- [13] D. D. Sanchez-Gallegos *et al.*, “On the Continuous Processing of Health Data in Edge-Fog-Cloud Computing by Using Micro/Nanoservice Composition,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 120255–120281, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3006037.
- [14] G. Xu, “IoT-Assisted ECG Monitoring Framework with Secure Data Transmission for Health Care Applications,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 74586–74594, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2988059.
- [15] C. K. Wu *et al.*, “An IoT Tree Health Indexing Method Using Heterogeneous Neural Network,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 66176–66184, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2918060.
- [16] J. Peng, K. Cai, and X. Jin, “High concurrency massive data collection algorithm for IoMT applications,” *Comput. Commun.*, vol. 157, no. April, pp. 402–409, 2020, doi: 10.1016/j.comcom.2020.04.045.
- [17] F. Wu, T. Wu, and M. R. Yuce, “An internet-of-things (IoT) network system for connected safety and health monitoring applications,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 1, 2019, doi: 10.3390/s19010021.
- [18] A. Liñán Colina, A. Vives, A. Bagula, M. Zennaro, and E. Pietrosemoli, “Internet of Things IN 5 DAYS,” p. 227, 2016.
- [19] J. Nieva and C. Martínez, “¿Cómo referenciar este artículo?,” *Rev. Científica Univ. y Soc.*, vol. 8, p. 150, 2016.
- [20] P. E. Mqtt, O. P. C. Ua, D. Silva, L. I. Carvalho, and J. Soares, “applied sciences A Performance Analysis of Internet of Things Networking,” 2021.

- [21] A. Daniel, “Low-Cost , Lightweight IoT Platform with Custom LPWAN LoRa Integration,” 2019.
- [22] M. Kumar and S. Chand, “A Secure and Efficient Cloud-Centric Internet-of-Medical-Things-Enabled Smart Healthcare System with Public Verifiability,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 10, pp. 10650–10659, 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.3006523.
- [23] F. Moreno Cerdà, “Demostrador arquitectura publish / subscribe con MQTT,” p. 55, 2018.
- [24] M. Ruiz García and Miguel, “Sistema de transmisión de imágenes sobre plataforma de bajo consumo y largo alcance,” 2016, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10902/9861>.
- [25] K. Hofer-Schmitz and B. Stojanović, “Towards formal verification of IoT protocols: A Review,” *Comput. Networks*, vol. 174, no. March, 2020, doi: 10.1016/j.comnet.2020.107233.
- [26] D. B. Machado and C. A. Calderón, “Propuesta de arquitectura para Internet de las Cosas Network Management View project,” no. November 2016, 2016, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/320353907>.
- [27] M. Bartholet and C. berall, “Multi-protocol bridge generation for M2M communication using MQTT,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1634, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1634/1/012115.
- [28] Nur-A-Alam, M. Ahsan, M. A. Based, J. Haider, and E. M. G. Rodrigues, “Smart monitoring and controlling of appliances using lora based iot system,” *Designs*, vol. 5, no. 1, 2021, doi: 10.3390/designs5010017.
- [29] E. Tanya and P. Mancilla, “Universidad De Guayaquil Tutor :,” *Univ. Guayaquil*, p. 83, 2019.
- [30] U. Técnica and D. E. L. Norte, “Universidad técnica del norte,” 2021.
- [31] A. Aguirre Juárez, D. Reguilón Rodríguez, A. Román Urdiales, A. Aguirre Juárez, D. Reguilón Rodríguez, and A. Román Urdiales, “Telegram Bot: News Bot,” 2017.
- [32] Consejo Nacional de Planificación, “Plan Nacional del Buen vivir 2017-2021,”

- Educ. Res.*, vol. 1, p. 150, 2017, [Online]. Available: <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/07/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2017-2021.pdf>.
- [33] H. Gao, S. Zhang, Y. Su, and M. Diao, “Energy Harvesting and Information Transmission Mode Design for Cooperative EH-Enabled IoT Applications in beyond 5G Networks,” *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/6136298.
- [34] I. S. Farahat, A. S. Tolba, M. Elhoseny, and W. Eladrosy, “A secure real-time internet of medical smart things (IOMST),” *Comput. Electr. Eng.*, vol. 72, pp. 455–467, 2018, doi: 10.1016/j.compeleceng.2018.10.009.
- [35] T. Han, M. Zeng, L. Zhang, and A. K. Sangaiah, “A Channel-Aware Duty Cycle Optimization for Node-to-Node Communications in the Internet of Medical Things,” *Int. J. Parallel Program.*, vol. 48, no. 2, pp. 264–279, 2020, doi: 10.1007/s10766-018-0587-5.
- [36] Ley Orgánica de Salud, “Ley organica de salud del Ecuador,” *Plataforma Prof. Investig. Jurídica*, vol. Registro O, p. 13, 2006, [Online]. Available: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY-ORGÁNICA-DE-SALUD4.pdf>.
- [37] Asamblea Nacional, “Ley Orgánica De Telecomunicaciones, 2015,” *Regist. Of. Órgano N° 439 del Gob. del Ecuador*, vol. Tercer Sup, pp. 1–40, 2015, [Online]. Available: <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Ley-Organica-de-Telecomunicaciones.pdf>.
- [38] Ley Orgánica De Educación Intercultural, “Función Ejecutiva Presidencia De La República Ley Orgánica De Educación Intercultural,” *Función Ejecutiva Pres. La República Ley Orgánica Educ. Intercult.*, no. 34, pp. 1–102, 2011, [Online]. Available: https://oig.cepal.org/sites/default/files/2011_leyeducacionintercultural_ecu.pdf.
- [39] P. I. R. O. N. 320 Ecuador, “Registro Oficial No 320 Ley de Propiedad Intelectual,” *Editor. Nac.*, no. 320, p. 92, 2015, [Online]. Available: https://www.correosdelecuador.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/05/LEY_DE_PROPIEDAD_INTELECTUAL.p

df.

- [40] Asamblea Nacional del Ecuador, “Código Orgánico De La Economía Social De Los Conocimientos, Creatividad E Innovación,” *Regist. Of.*, vol. IV, p. 113, 2016, [Online]. Available: <http://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec075es.pdf>.
- [41] M. de Educación, “Ley Organica De Educacion Intercultural,” *Boletín Of. del Estado*, pp. 1–71, 2020, [Online]. Available: <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/LOEI.pdf>.
- [42] G. M. Martínez De La Teja, “Usabilidad Y Accesibilidad En Web,” *Darwin*, vol. 1, pp. 1–5, 2011, [Online]. Available: <http://www.semac.org.mx/archivos/6-11.pdf>.
- [43] N. A. Nik Ahmad and N. S. Hasni, “ISO 9241-11 and SUS Measurement for Usability Assessment of Dropshipping Sales Management Application,” *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 70–74, 2021, doi: 10.1145/3457784.3457794.
- [44] V. Vijayagopal and K. Prabu, “A trust and energy-based efficient routing scheme using Kuder-Richardson reliability coefficient for manets,” *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 9, no. 4, pp. 890–894, 2020.

ANEXOS

ANEXO 1 Instrumento para la viabilidad (Kuder Richardson)

Para empezar el trabajo fue necesario realizar una encuesta para determinar el nivel de viabilidad de la investigación y con esto determinar si el desarrollo de este trabajo era viable o no.

A continuación, se muestra el modelo de instrumento presentado a los usuarios:

I. DATOS GENERALES

1.-Edad: _____(años)

2.-Sexo: Femenino () Masculino ()

3.- Educación continua:

Grado ()

Maestría ()

Doctorado ()

Otro: _____

4.- Ocupación: _____

II. DATOS SOBRE CONCEPTOS GENERALES

A continuación, se presenta una serie de preguntas dicotómicas de carácter general, para recolectar información válida sobre el uso de los dispositivos de IoMT (Internet de las Cosas Medicas) y el impacto que han provocado estos en la sociedad. Por favor, responde honestamente.

Cualquier duda que tengas, puedes enviarla a brayanminavernaza19@gmail.com

De antemano muchas gracias por su colaboración.

1) Verdadero o Falso: La implementación de dispositivos de IoMT en el sector de la salud ayudara a descongestionar los hospitales en la provincia de Esmeraldas.

Verdadero

Falso

2) Responda SI o NO según considere:

Considera usted que los dispositivos de IoT que manejamos diariamente cuentan con un equipamiento de calidad.

SI

NO

3) Responda SI o NO según considere:

Considera usted que la implementación de relojes inteligentes que midan el ritmo cardiaco de las personas en tiempo real representa un gran aporte para la medicina.

- SI
 NO

4) Responda SI o NO según considere:

¿Es considera usted que implementar un sistema de asistencia remota utilizando dispositivos de IoMT sería factible?

- SI
 NO

1) Responda SI o NO según considere:

En General ¿Posee Conexión a Internet por wifi o datos móviles en todo momento?

- SI
 NO

7) Responda SI o NO según considere:

En general ¿Considera usted que los dispositivos de IoMT cuentan con los niveles de seguridad adecuado para captar y transferir datos tomados directamente desde el cuerpo humano?

- SI
 NO

8) Responda SI o NO según considere:

En general ¿Es complejo realizar Petición de los datos desde el Bot Asistente de Telegram?

- SI
 NO

9) Responda SI o NO según considere:

Cree usted que la medición rápida por parte de los sensores colocados en el cuerpo ayuda a controlar la salud de las personas.

- SI
- NO

10) Responda SI o NO según considere:

¿Estaría de acuerdo con la implementen de dispositivos vestibles para monitoreo de la salud en los Hospitales de la Ciudad de Esmeraldas?

- SI
- NO

11) Responda SI o NO según considere:

¿Considera que los dispositivos para el monitoreo de la salud son una necesidad urgente en los Hospitales de Esmeraldas?

- SI
- NO

12) Responda SI o NO según considere:

¿Ha utilizado un dispositivo móvil para el monitoreo de salud?

- SI
- NO

13) Responda SI o NO según considere:

¿Cree usted que los centros de salud de nuestra provincia están preparados para para la implementación de los dispositivos de IoMT?

- SI
- NO

ANEXO 2 Modelo de encuesta de satisfacción

Formato de cuestionario para medir la satisfacción de los usuarios al usar los dispositivos conectados a la red.

I. DATOS GENERALES

1.-Edad: _____(años)

2.-Sexo: Femenino () Masculino ()

3.- Educación continua:

Grado ()

Maestría ()

Doctorado ()

Otro:_____

4.- Ocupación: _____

II. DATOS SOBRE CONCEPTOS GENERALES

A continuación, se presenta una serie de preguntas dicotómicas para medir la satisfacción de los usuarios.

Cualquier duda que tengas, puedes enviarla a brayanminavernaza19@gmail.com

De antemano muchas gracias por su colaboración.

2) En general ¿Se considera complejo el manejo de los distintos dispositivos de IoMT Si o No?

SI

NO

2) En general ¿Se considera complejo la conexión de un dispositivo de IoMT en una red LPWAN Si o No?

SI

NO

3) En general ¿Es complejo colocarse en la forma correcta frente al sensor para poder detectar su temperatura corporal Si o No?

- SI
- NO

4) En general ¿Considera usted complejo realizar la publicación de los datos en el servidor MQTT Si o No?




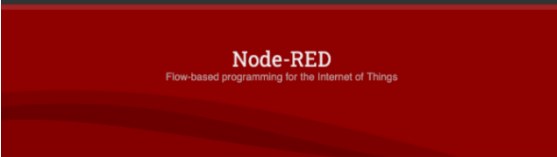
- SI
- NO

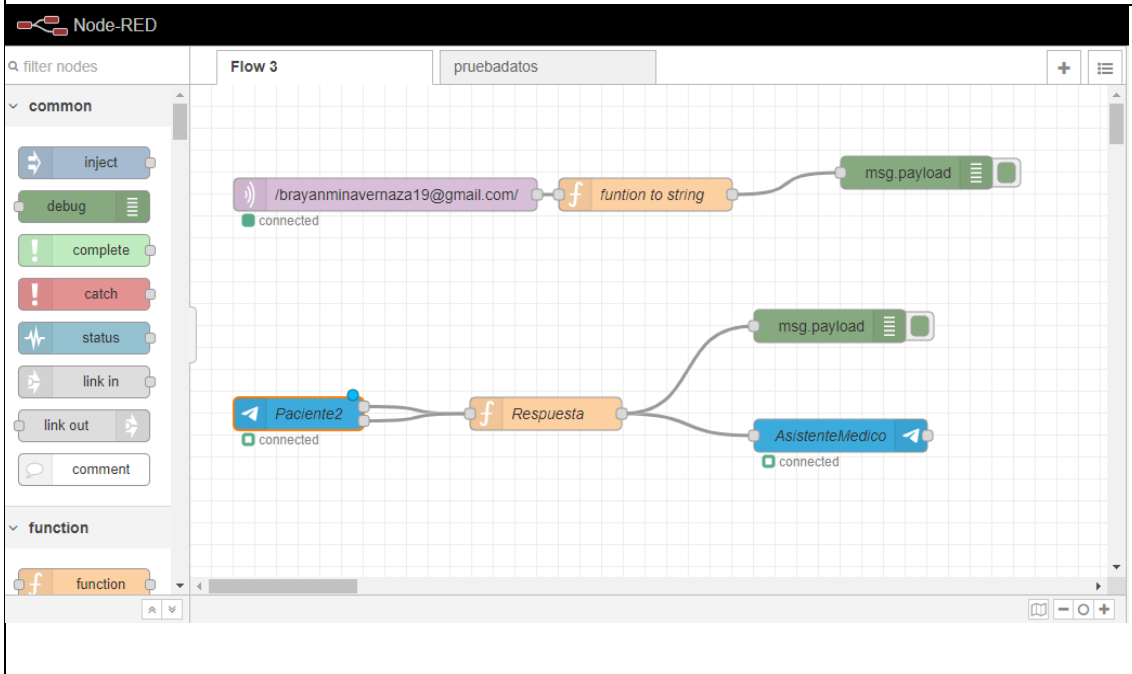
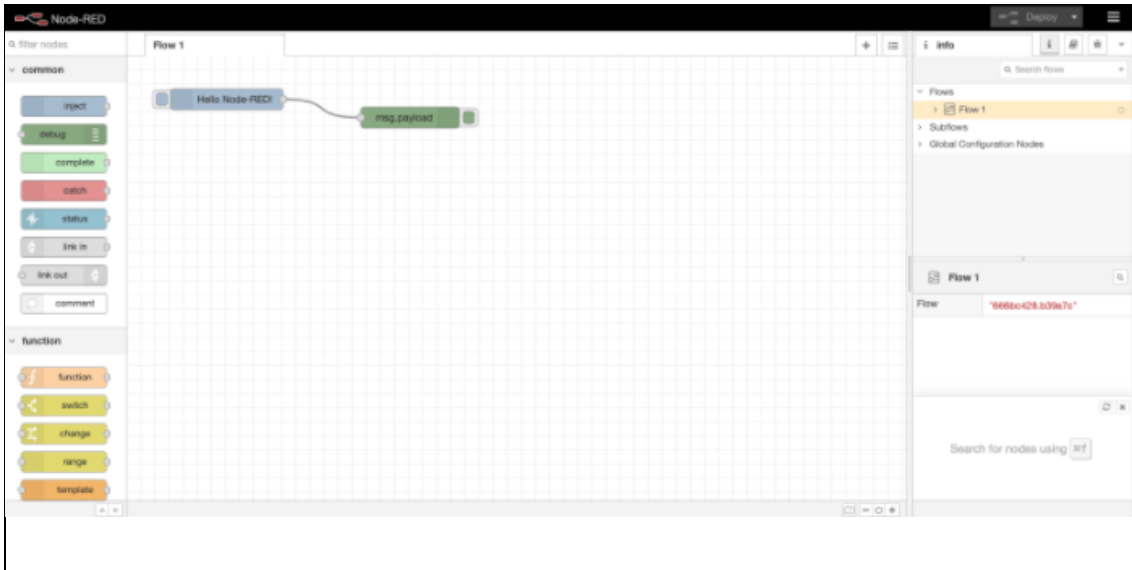
5) En general ¿Considera usted que es complejo realizar peticiones desde un Bot Asistente de Telegram hacia el servidor de Node Red Si o No?

- SI
- NO

ANEXO 3 Servidor de Node Red

En el siguiente apartado se observa la instalación del servidor de Node Red, adjunto el enlace de instalación: <https://developer.ibm.com/es/tutorials/desarrollo-de-una-aplicación-web-usando-node-red/>.

<h3>Welcome to your new Node-RED instance on IBM Cloud</h3> <p>We know you're eager to start wiring up your flows, but first there are a couple of tasks you should do:</p> <ul style="list-style-type: none">• Secure your Node-RED editor• Learn how to install additional nodes  <p>Previous Next</p>	<h3>Secure your Node-RED editor</h3> <p><input type="radio"/> Secure your editor so only authorised users can access it</p> <p><input checked="" type="radio"/> Not recommended: Allow anyone to access the editor and make changes</p> <p>Your editor will not be secured. Anyone with the URL will be able to access your flows, data and bound services.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Tick this box to confirm you want your editor to be insecure</p>  <p>Previous Next</p>
<h3>Learn how to install additional nodes</h3> <p>Node-RED provides a huge catalog of extra nodes you can install into the editor.</p> <p>Many of these nodes can be installed directly from the editor's palette manager feature. However that can cause issues due to the limited memory of the default Node-RED starter application.</p> <p>The recommended approach is to edit your application's package.json file to include the additional node modules and then redeploy the application. This can be done using the Continuous Delivery feature on the application's IBM Cloud dashboard.</p> <p>For more information, follow this tutorial on IBM Developer.</p>  <p>Previous Next</p>	<h3>Node-RED on IBM Cloud</h3>  <p>Node-RED is a programming tool for wiring together hardware devices, APIs and online services in new and interesting ways.</p> <p>This instance is running as an IBM Cloud application, giving it access to the wide range of services available on the platform.</p> <p>More information about Node-RED, including documentation, can be found at nodered.org.</p> <p>Go to your Node-RED flow editor</p> <p>Learn how to customise Node-RED</p> <h3>Customising your instance of Node-RED</h3> <p>This instance of Node-RED is enough to get you started creating flows.</p> <p>You may want to customise it for your needs, for example replacing this introduction page with your own, adding http authentication to the flow editor or adding new nodes to the palette.</p>



ANEXO 4 Servidor MQTT

Servidor MQTT.

Adjunto el link de instalación del servidor HIVEMQ de MQTT:
<https://www.hivemq.com/docs/hivemq/4.6/user-guide/install-in-cloud.html>

The image shows two screenshots from the AWS IAM console. The top screenshot is the HiveMQ sign-in page, which includes the HiveMQ logo, a user login form with fields for 'User' (containing 'admin') and 'Password', and a 'Login' button. To the right, there is an 'aws' logo and a 'Sign in' section with two radio button options: 'Root user' (selected) and 'IAM user'. Below these options is a field for 'Root user email address' containing 'username@example.com' and a blue 'Next' button.

The bottom screenshot shows the details of a security group named 'sg-095097f617770486d - YourSecurityGroupName'. The breadcrumb path is 'EC2 > Security Groups > sg-095097f617770486d - YourSecurityGroupName'. The 'Details' section shows the following information:

Property	Value
Security group name	YourSecurityGroupName
Security group ID	sg-095097f617770486d
Description	Description that helps you identify the security group.
VPC ID	[Link]
Owner	[Link]
Inbound rules count	5 Permission entries
Outbound rules count	1 Permission entry

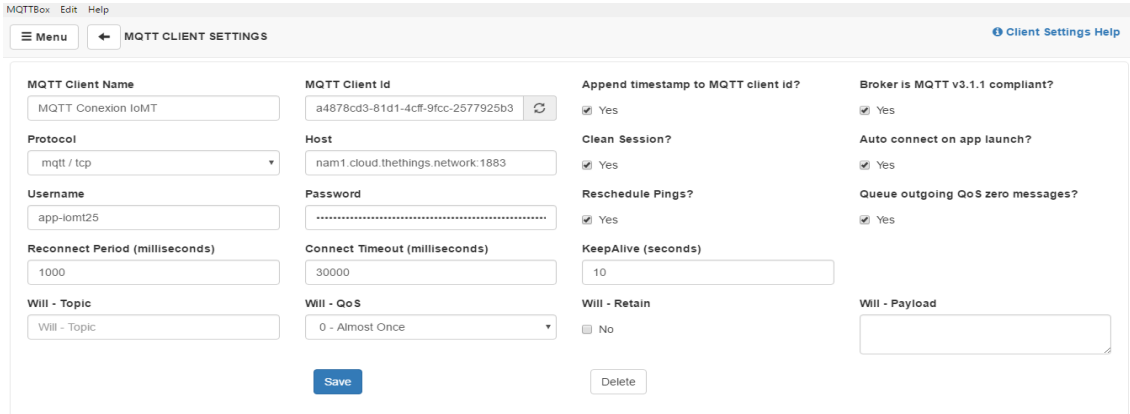
Below the details, there are tabs for 'Inbound rules', 'Outbound rules', and 'Tags'. The 'Inbound rules' tab is active, showing a table with 5 rules:

Type	Protocol	Port range	Source	Description - optional
All TCP	TCP	0 - 65535	sg-095097f617770486d / YourSecurityGroupName	ID of security group you just created
Custom TCP	TCP	8000	0.0.0.0/0	-
SSH	TCP	22		Enter your office IP address
Custom TCP	TCP	8885	0.0.0.0/0	-
Custom TCP	TCP	1885	0.0.0.0/0	-

ANEXO 5

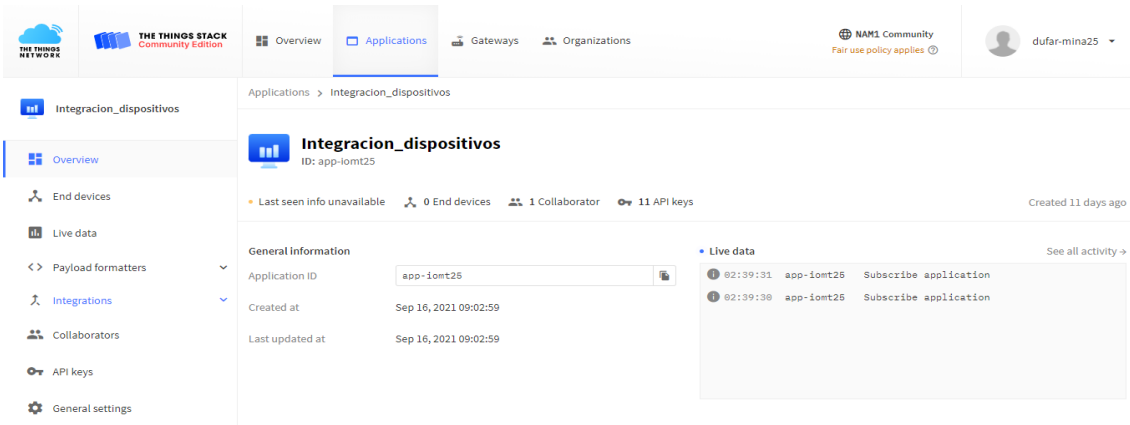
Ilustración de los dispositivos conectados a la red LPWAN:

Configuración del servidor de forma local.



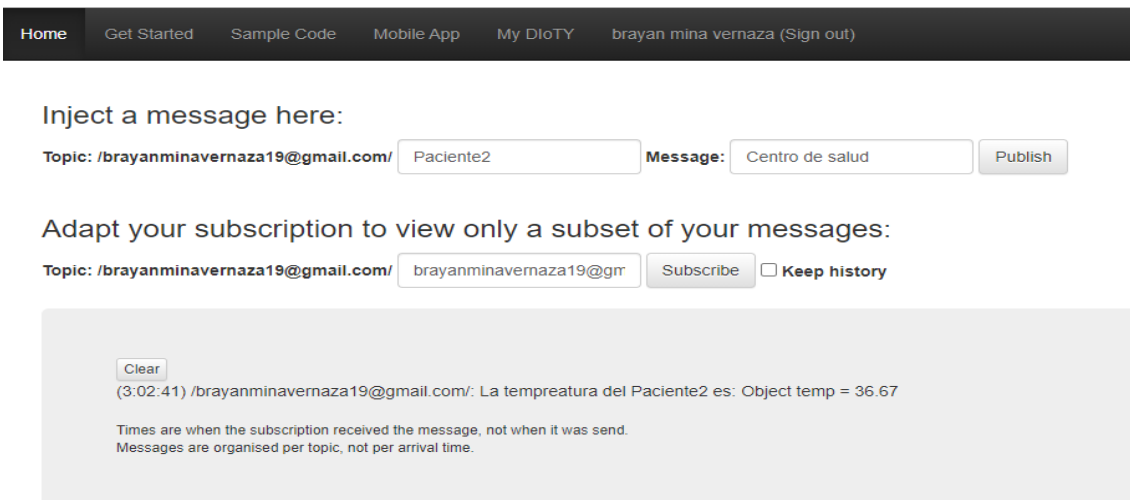
The screenshot shows the MQTT Client Settings interface. It includes fields for MQTT Client Name (MQTT Conexion IoT), MQTT Client Id (a4878cd3-81d1-4cff-9fcc-2577925b3), Protocol (mqtt / tcp), Host (nam1.cloud.thethings.network:1883), Username (app-iot25), Password, Reconnect Period (1000), Connect Timeout (30000), Will - Topic (Will - Topic), Will - QoS (0 - Almost Once), Will - Retain (No), and Will - Payload. There are also checkboxes for Append timestamp to MQTT client id, Clean Session?, Reschedule Pings?, KeepAlive (seconds) (10), Broker is MQTT v3.1.1 compliant?, Auto connect on app launch?, and Queue outgoing QoS zero messages?. Buttons for Save and Delete are at the bottom.

Servidor *the things network*, almacena los dispositivos conectados a la red.



The screenshot shows the The Things Network Applications page. The main content area displays the application 'Integracion_dispositivos' with ID 'app-iot25'. It shows 'Last seen info unavailable', '0 End devices', '1 Collaborator', and '11 API keys'. The 'General Information' section includes 'Application ID', 'Created at', and 'Last updated at'. The 'Live data' section shows two messages: '02:39:31 app-iot25 Subscribe application' and '02:39:38 app-iot25 Subscribe application'.

Servidor *Dioty* muestra los datos transmitidos por los dispositivos.



The screenshot shows the Dioty interface. It has a navigation bar with 'Home', 'Get Started', 'Sample Code', 'Mobile App', 'My Dioty', and 'brayan mina vernaza (Sign out)'. The main content area has a section 'Inject a message here:' with a 'Topic' field containing '/brayanminavernaza19@gmail.com/', a 'Message' field containing 'Paciente2', and a 'Publish' button. Below this is a section 'Adapt your subscription to view only a subset of your messages:' with a 'Topic' field containing '/brayanminavernaza19@gmail.com/', a 'Subscribe' button, and a 'Keep history' checkbox. At the bottom, there is a 'Clear' button and a message: '(3:02:41) /brayanminavernaza19@gmail.com/: La tpreatura del Paciente2 es: Object temp = 36.67'. A note below the message states: 'Times are when the subscription received the message, not when it was send. Messages are organised per topic, not per arrival time.'