



En este libro encontrará una serie de conceptos y elementos en los primeros capítulos que le permitirán entender los fundamentos sobre los cuales se elaboró el proyecto. Entenderá entonces cómo la preocupación por garantizar la seguridad del paciente y el creciente uso del Internet de las Cosas, se conjugan a fin de desarrollar una solución que apoye la gestión del riesgo de ocurrencia de eventos adversos. Luego ya se irá desglosando la forma en la que cada elemento tecnológico y conceptual se mezclan a fin de ofrecer una serie de resultados.



Eugenia Arrieta Rodríguez
Luis Fernando Murillo Fernandez
Anyel Maria Bertel de La Hoz
Sindy Paola Jimenez Alvarez
Andrés Felipe Escobar Olier
Kelly Jimenez Barrionuevo
Gustavo Adolfo Castañez Orta



Sistema Integral de Atención al Paciente Basado en IoT

Sistema Integral de **Atención al Paciente** *Basado en IoT*



Sistema Integral de Atención al Paciente Basado en IoT

© *Eugenia Arrieta Rodríguez, Luis Fernando Murillo Fernandez, Anyel Maria Bertel de La Hoz, Sindy Paola Jimenez Alvarez, Andrés Felipe Escobar Olier Kellys Jimenez Barrionuevo, Gustavo Adolfo Castañez Orta*

Libro Resultado de Investigación
ISBN 978-958-53631-6-8

Sistema Integral de
Atención al Paciente
Basado en IOT

*Autores: Eugenia Arrieta Rodríguez
Luis Fernando Murillo Fernandez
Anyel Maria Bertel de La Hoz
Sindy Paola Jimenez Alvarez
Andrés Felipe Escobar Olier
Kellys Jimenez Barrionuevo
Gustavo Adolfo Castañez Orta*

*Editor Literario: Eugenia Arrieta Rodríguez
Gustavo Adolfo Castañez Orta*



Impreso por Estrategias y Calidad
Colombia | Atlántico | Barranquilla



Sistema Integral de Atención al Paciente Basado en IoT: Ediciones Universidad del Sinú
Elías Bechara Zainúm, Seccional Cartagena - 2022.

90 pg.; tablas; 17 X 24 cm
ISBN 978-958-53631-6-8
Incluye referencia bibliográfica

Capitulo I. Seguridad del paciente en Colombia. Capitulo II. IoT en la Gestión de Seguridad al Paciente. Capitulo III. Diseño y construcción del prototipo de hardware. Capitulo IV. Plataforma tecnológica como apoyo a la atención de pacientes hospitalizados.
--- Autorres. I. Anyel María Bertel de la Hoz, Sindy Paola Jimenez Alvarez. II. Andrés Felipe Escobar Olier, Kellys Jimenez Barrionuevo, Gustavo Adolfo Castañez Orta. III. Luis Fernando Murillo, Eugenia Arrieta Rodríguez, Gustavo Castañez Orta. IV. Luis Fernando Murillo, Eugenia Arrieta Rodríguez, Gustavo Castañez Orta.

621.39 - 2022 Sistema de Clasificación Decimal Dewey 22ª. edición

Cartagena de Indias D. T. Y C, 2022

Impreso en Barranquilla, Colombia. Depósito legal según el Decreto 460 de 1995. El Fondo Editorial Ediciones Estrategia y Calidad Editorial SAS se adhiere a la filosofía del acceso abierto y permite libremente la consulta, descarga, reproducción o enlace para uso de sus contenidos, bajo una licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

© Cartagena de Indias D. T. Y C, 2022
Barranquilla - Colombia

Producción Editorial
Estrategias y calidad Editorial
Calle 80B No. 41D-83
contacto@estrategiasycalidadeditorial.com
www.estrategiasycalidadeditorial.com

2022
Barranquilla

Hecho en Colombia

CONTENIDO

Prologo.....	9
Capítulo I: “Seguridad del paciente en Colombia”	11
1.1 Introducción	11
1.2 ¿Qué es la seguridad del paciente?	12
1.3 Importancia del control de eventos adversos en un hospital.....	13
1.4 Normatividad Colombiana entorno a la seguridad del paciente.....	15
1.5 Mecanismos actuales para la gestión de la seguridad del paciente	19
1.6 Conclusiones.....	20
Bibliografía	
Capítulo II: “IoT en la Gestión de Seguridad al Paciente”	27
2.1 Introducción	27
2.2 IoT en la salud.....	29
2.3 IoT y seguridad del paciente	30
2.4 Sistema de gestión para la seguridad del paciente	31
2.5 Ventajas de aplicar IoT en el proyecto.....	32
2.6 Funcionamiento de dispositivos	32
2.7 Aplicación web de SIAP e IoT.....	37
2.8 Aplicación móvil de SIAP e IoT.....	39
2.9 Sinergia entre hardware y Software	41
2.10 Conclusiones.....	42
Bibliografía	

Capítulo III: “Diseño y construcción del prototipo de hardware”	45
3.1 Introducción	45
3.2 Diseño del módulo electrónico	47
3.2.1 Arquitectura de hardware.....	47
3.2.2 Requerimientos de hardware	47
3.2.3 LoRa	48
3.3 Componentes Hardware.....	50
3.4 Desarrollo del sistema	57
3.4.1 MQTT	57
3.4.2 Broker MQTT.....	58
Bibliografía	

Capítulo IV: “Plataforma tecnológica como apoyo a la atención de pacientes hospitalizados”	65
4.1 Introducción	65
4.2 Antecedentes	66
4.3 Metodología ágil para el desarrollo de software	69
4.4 Planificación del proceso de diseño y desarrollo.....	72
4.5 Proceso de elicitación de requisitos del software y hardware	74
4.5.1 Entendimiento del negocio.....	74
4.5.2 Funciones del producto	76
4.5.3 Actores	78
4.5.4 Restricciones	79
4.6 Arquitectura de software.....	79
4.6.1 Arquitectura Hexagonal.....	80
4.6.2 Diagrama de componentes.....	83
4.7 Aplicación web	85
4.8 Conclusiones	89
Bibliografía	

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios en primera instancia por permitirnos continuar en este mundo terrenal y poner un granito de arena para que en el departamento de Bolívar se sigan gestionando y apoyando proyectos tecnológicos que lleven al desarrollo del país y a todo el equipo de trabajo que hizo posible que este proyecto se ejecutara y se mostrará como lo que hoy es, un producto innovador.

A mi esposa Ligia y mis dos hijos Santiago y Soffia por darme los espacios para dedicarle el tiempo a este proyecto, que fue en sus inicios concebido y diseñado en compañía de ellos. Son mi inspiración de vida.

A la universidad del SINU y su grupo de investigación por apoyarnos en todo el proceso del levantamiento de información y publicación del libro y artículos científicos.

A mi Hermano Juan Carlos Castañez Orta por aportar ideas innovadoras al proyecto que con el favor de Dios harán crecer la compañía a mediano plazo.

A todo el equipo de desarrolladores y personal de Helpmedica por dedicarle muchas horas de trabajo al proyecto . Gracias a :

Personal de Helpmedica: Erquies Javier Canoles Martínez, Eider Silva Pava, Duván Estrada, Juan Carlos Rocha Rodríguez, Tomas Herrera Menéndez, Kellys Jiménez Barionuevo, Frank Silva Caparoso, Andres Escobar Olier, Yiseth Ruiz Quintero, Andrea Pájaro Orozco.

Desarrolladores: Jader Mecino Perea, Bryan de Jesús Blanco Villero, Jesús David Salcedo Acosta, Juan Guillermo Leal Parra, Leyniker Raúl Rivera Villanueva, Julio Alberto de Hoyos Martínez.

Gustavo Adolfo Castañez Orta
Gerente de Helpmedica

PROLOGO

Representa una gran satisfacción presentar este libro ante el público, producto del esfuerzo realizado durante dos años por un equipo multidisciplinar en el que se muestra con detalles la puesta en marcha de un proyecto de desarrollo tecnológico aplicado al campo de la salud.

Desde el título se puede intuir el contenido del libro. Nuestro propósito con su realización es hacer divulgación de conocimiento y formar parte del ecosistema en formación en Colombia de desarrollo, ciencia y tecnología. El lector encontrará entonces, una serie de conceptos y elementos en los primeros capítulos que le permitirán entender los fundamentos sobre los cuales se elaboró el proyecto. Entenderá entonces cómo la preocupación por garantizar la seguridad del paciente y el creciente uso del Internet de las Cosas, se conjugan a fin de desarrollar una solución que apoye la gestión del riesgo de ocurrencia de eventos adversos. Luego ya se irá desglosando la forma en la que cada elemento tecnológico y conceptual se mezclan a fin de ofrecer una serie de resultados.

Aunque el libro contiene una gran cantidad de términos técnicos, así que tratamos usar un lenguaje sencillo al explicar la terminología, teniendo en cuenta que el público interesado en su lectora no corresponde únicamente a conocedores en desarrollos tecnológicos, sino que tratándose precisamente de mostrar resultados de un proyecto aplicado a la seguridad del paciente, seguramente despierta el interés del personal sanitario y administradores de hospitales, deseosos de conocer los avances e implicaciones que la tecnología tratada aquí representa para la práctica médica.

Nos sentimos en la necesidad de agradecer el apoyo brindado por Minciencias durante estos dos años y destacar la importancia que representan las convocatorias de desarrollo tecnológico sobre la puesta en marcha de este tipo de proyectos, a través de los cuales se logra la sinergia entre gobierno, academia y empresa, lo que brinda un horizonte de crecimiento futuro.

Estamos convencidos que este libro puede ser de gran contribución, por su pertinencia y fácil comprensión. Los temas abordados sin duda serán de gran insumo para la comunidad médica hospitalaria, académica, empresarial y estatal, fue esa nuestra motivación principal y esperamos con humildad sea valorado de manera positiva nuestro aporte.

Los autores



“Seguridad del paciente en Colombia”

Anyel María Bertel de la Hoz - Sindy Paola Jimenez Alvarez

1.1 INTRODUCCIÓN

La seguridad del paciente (SP) se ha convertido en un tema de interés en el sector salud, de ahí que entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Ministerio de la Salud y Protección Social, se han dado a la tarea de estandarizar en las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS) lineamientos que garanticen mayor seguridad y menos errores en la atención de pacientes. Por lo anterior la SP debe actuar en torno a la prevención y la reducción y/o ausencia del riesgo o daño de la vida.

A lo largo de la historia, la SP se ha visto dividida en tres eras de la infalibilidad, en donde se evidencia la evolución del ejercicio profesional del personal de la salud, particularmente de la medicina. La primera es denominada “era de la infalibilidad absoluta”, la cual se caracteriza por una imagen incuestionable del médico que es capaz de curar todo lo posible de curar, es una persona que no comete errores porque la equivocación no es considerada para este profesional y el paciente no juzga su actuar.

La segunda es conocida como “era de la infalibilidad relativa”, inicia con la guerra de Crimea entre los años 1853 y 1856, aproximadamente. Quien marca esta era es la

enfermera Florence Nightingale, quien en un análisis crítico y documentado expresa que los pacientes pueden ser infectados por quienes están para mitigar los daños causados, en aquel momento, por las heridas. Por lo que el daño ocasionado por el personal de salud podría ser mayor que el daño ocasionado por el enemigo durante la guerra, dejando la inquietud que sí se pueden cometer errores durante la atención del paciente sin ser intencional y que estos se pueden prevenir.

Para los primeros años del siglo XXI, comienza “la era de la infalibilidad expuesta” con la publicación *Errar es de humano* del Instituto de Medicina de Estados Unidos, la cual reconoce que los errores son mucho más frecuentes de lo que se pueden pensar y que pueden causar en el paciente daños irreversibles o incluso la muerte, pudiéndose evitar. En este capítulo, los autores destacaron las diversas definiciones del concepto de seguridad del paciente, importancia del control de eventos adversos en un hospital, reglamentación colombiana y mecanismos actuales para la gestión de seguridad del paciente.

1.2 ¿QUÉ ES LA SEGURIDAD DEL PACIENTE?

La Organización Mundial de la Salud (OMS), refiere que el horizonte mundial de la atención sanitaria está cambiando, en un contexto en el que los sistemas de salud deben trabajar en circunstancias cada vez más complejas. Si bien los nuevos modelos de tratamiento, tecnologías y atención pueden ofrecer amplias posibilidades terapéuticas, también pueden generar nuevas amenazas para la seguridad de la atención. Por consiguiente, la seguridad del paciente es un principio fundamental de la atención sanitaria, y actualmente se reconoce como un desafío amplio y creciente para la salud pública mundial, que genera preocupación universal tanto en países desarrollados como en los subdesarrollados.

La seguridad del paciente es un componente esencial de la calidad asistencial, donde se trata de evitar lesiones al paciente causadas por la asistencia recibida, La OMS la define como la reducción del riesgo de daños innecesarios relacionados con la atención sanitaria hasta un mínimo aceptable, el cual se refiere a las nociones colectivas de los conocimientos del momento, los recursos disponibles y el contexto en el que se prestaba la atención, ponderadas frente al riesgo de no dispensar tratamiento o de dispensar otro.

En Colombia, de acuerdo con los lineamientos para la implementación de la política de seguridad del paciente en la república de Colombia, este término se define como el conjunto de elementos estructurales, procesos, instrumentos y metodologías basadas en evidencias científicamente probadas que propenden por minimizar el riesgo de

sufrir un evento adverso en el proceso de atención de salud o de mitigar sus consecuencias.

Durante el año 2004, en Colombia se introdujo como una exigencia “de puerta de entrada” para las instituciones que aspiran obtener la acreditación nacional y a partir del año 2016 se hizo obligatorio para todas las instituciones del país la vigilancia y gestión de eventos adversos, exigiendo a las instituciones el reporte semestral al Sistema de Información para la Calidad de un indicador que monitoriza en qué medida la institución detecta eventos adversos y en qué medida los gestiona.

En el año 2007 se publicaron dos herramientas para orientar e impulsar la operación de lo ordenado en la norma:

a. El documento “Lineamientos para la implementación de la política de Seguridad del Paciente”, en el cual se planteaba el modelo conceptual. Este modelo se basa en el modelo del queso suizo y definiciones terminológicas, resultado de revisión de la literatura internacional, y en el estado actual de la terminología internacional en seguridad del paciente de la Organización Mundial de la Salud.

b. El libro “Herramientas para promover la estrategia de seguridad del paciente en el Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad de la Atención en Salud”, con la descripción de un modelo de reporte intrainstitucional, extrainstitucional y de una metodología de análisis del evento adverso el “Protocolo de Londres”.

En el año 2008, se creó el Centro de Seguridad del Paciente en el Observatorio de Calidad de la Atención en Salud. La implementación del proceso de reporte de eventos adversos en las instituciones de Colombia ha sido gradual y sistemática y enmarcada en el contexto de una política de calidad y una estrategia de seguridad del paciente. El sistema de reporte de eventos adversos en Colombia se ha demostrado como altamente útil para la promoción de los programas y procesos de seguridad del paciente y para la gestión de estos al interior de las instituciones en el contexto de la Política de Seguridad del Paciente del Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad de la Atención en Salud.

1.3 IMPORTANCIA DEL CONTROL DE EVENTOS ADVERSOS EN UN HOSPITAL

Un evento adverso (EA) puede entenderse como el resultado de una atención en salud que de manera no intencional produjo daño y aunque pueda poseer diferentes etiologías, siempre será relacionado con la falla del profesional de salud y no con

la condición de salud del paciente; se pueden clasificar en prevenibles y no prevenibles. Siendo los EA prevenibles como el resultado no deseado, no intencional, que se había evitado mediante el cumplimiento de los estándares del cuidado asistencial disponibles en un momento determinado, mientras que un EA no prevenible hace referencia a un resultado no deseado, no intencional, que se presenta a pesar del cumplimiento de los estándares del cuidado asistencial.

Ahora bien, en ambos casos se genera daño o lesión en el paciente, por ello, se debe realizar la gestión o minimización de los riesgos que se encuentra expuesto un paciente al ingresar a una institución de salud. Siendo la gestión de los riesgos del paciente un área que busca solucionar los problemas que se presentan e incluso encontrar las causas que lo originan. Se estima que la mayoría de los eventos adversos presentados en la atención en salud son prevenibles con la identificación e intervención de los riesgos asociados a su ocurrencia.

A partir de la publicación de "Error es humano", se le dio vida al movimiento mundial por la seguridad de los pacientes. En respuesta a este fenómeno mundial, en el año 2004 la OMS creó la antigua Alianza Mundial por la Seguridad de los pacientes, hoy conocida como Programa de Seguridad del paciente de la OMS y requiero a los países miembros a desarrollar estrategias enfocadas a la prevención de eventos adversos. Desde ese movimiento se han realizado esfuerzos para mejorar la seguridad durante la atención y varias publicaciones internacionales reflejaron esta problemática y plantean diversas soluciones.

Para Latinoamérica, el primer estudio que mostró fallas en la atención de los pacientes fue el estudio IBEAS Prevalencia de efectos adversos en hospitales de Latinoamérica, realizado en México, Costa Rica, Colombia, Perú y Argentina, mostrando que, en estos 5 países, en promedio 1 de cada 10 pacientes hospitalizados sufre al menos un daño o lesión durante su atención.

Para Colombia, mostró una prevalencia de eventos adversos del 13.1%, el 27.3% de los eventos adversos se presentaron en menores de 15 años y el 27.7% se presentaron durante la realización de procedimientos.

De igual modo el estudio de prevalencia de eventos adversos en la atención ambulatoria AMBEAS, evidencia fallas en la atención del paciente, reflejando que en 4 países de Latinoamérica a los pacientes como informantes de eventos adversos graves.

Sin embargo, a pesar de las diferentes publicaciones y las diversas soluciones planteadas, se puede decir que aun cada año, decenas de millones de pacientes en

todo el mundo sufren de daño o mueren como resultado de un acto inseguro del personal de salud. Siendo los eventos adversos la mayor fuente de morbilidad y mortalidad global.

1.4 NORMATIVIDAD COLOMBIANA ENTORNO A LA SEGURIDAD DEL PACIENTE

Para hablar de la normatividad vigente en Colombia sobre la seguridad del paciente, se hace necesario iniciar con el decreto 2309 de 2002, que derogó al 2174 de 1996, a través del cual se reglamenta el Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad en Salud (SOGCS), considera específicamente a la seguridad del acto médico asistencial como una de las cinco características de calidad y define a los eventos adversos como el indicador fundamental para medir la seguridad.

En el ámbito jurídico colombiano, el Ministerio de Protección Social (MPS) expidió en junio del 2008, la Política de Seguridad del Paciente, siendo esta transversal a los cuatro componentes del SOGCS, Habilitación, PAMEC, Acreditación, Sistema de Información para la calidad. Para el cumplimiento de esta política de seguridad del paciente, se desarrollan paquetes instruccionales de buenas prácticas de seguridad del paciente, actualizados y ajustados a la mejor evidencia disponible en el año 2018 con el objetivo de cubrir las brechas que han impedido la ejecución efectiva de dichas prácticas al interior de las instituciones de salud.

A continuación, en la siguiente tabla se recopila las normativas en Colombia sobre Seguridad del paciente.

TABLA 1. NORMATIVAS EN COLOMBIA SOBRE SEGURIDAD DEL PACIENTE.

Norma	Contenido
Ley 1122 de 2007	Realiza ajustes al Sistema General de Seguridad Social en Salud, teniendo como prioridad el mejoramiento en la prestación de los servicios a los usuarios. Con este fin se hacen reformas en los aspectos de dirección, universalización, financiación, equilibrio entre los actores del sistema, racionalización, y mejoramiento en la prestación de servicios de salud, fortalecimiento en los programas de salud pública y de las funciones de, inspección, vigilancia y control y la organización y funcionamiento de redes para la prestación de servicios de salud.
Resolución 1446 de 2006	Esta resolución define por primera vez el Sistema de Información para la Calidad, establece los indicadores de monitoria del Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad de la Atención en Salud e instaura las condiciones y procedimientos para disponer de la información
Resolución 0256 de 2016	El objeto de la resolución es dictar disposiciones relacionadas con el Sistema de Información para la Calidad, como componente del Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad de la Atención de Salud - SOGCS del SGSSS y establecer los indicadores para el monitoreo de la calidad en salud, estructurados bajo el presupuesto de su interrelación entre sí y el enfoque al mejoramiento de la calidad en salud que impacte en el usuario como finalidad primordial de los diferentes componentes de dicho Sistema.

<p>Sistema Integral de información de la protección social (SISPRO)</p>	<p>Es una herramienta que permite obtener, procesar y consolidar la información necesaria para la toma de decisiones que apoyen la elaboración de políticas, el monitoreo regulatorio y la gestión de servicios en cada uno de los niveles y en los procesos esenciales del sector: aseguramiento, financiamiento, oferta, demanda y uso de servicios. Suministra información para toda la ciudadanía. Como sistema, el SISPRO incluye el conjunto de instituciones y normas que rigen el comportamiento del sector en términos de deberes y derechos de los agentes, organismos de dirección y administración del sistema, diseño de los procesos tecnológicos básicos, estandarización y normalización del registro, almacenamiento, flujo, transferencia y disposición de la información dentro del contexto del Sistema. Su diseño se basa en una Bodega de Datos en la cual se concentra la información necesaria para la construcción de indicadores y reportes. Los datos provienen de fuentes de información internas y externas al Ministerio. En el SISPRO se consolida y dispone la información a través de los siguientes componentes: RUAF, RIPS, PILA, SIHO, SGD, SISMED, entre otros.</p>
<p>Artículo 245 de la Ley 100 de 1993</p>	<p>INVIMA, es la entidad del Gobierno que, dentro de sus funciones, debe impulsar y dirigir en todo el país las funciones públicas de control de calidad, vigilancia sanitaria de los productos de su competencia.</p>
<p>Decreto 3770 de 2004</p>	<p>Por el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios y la vigilancia sanitaria de los reactivos de diagnóstico in vitro para exámenes de especímenes de origen humano</p>
<p>Resolución 132 de 2006</p>	<p>Por el cual se adopta el manual de condiciones de almacenamiento y acondicionamiento para reactivos diagnósticos in vitro.</p>

Decreto 2078 de 2012	“Por el cual se establece la estructura del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos -INVIMA y se determinan las funciones de sus dependencias”. El INVIMA tiene como objetivo actuar como institución de referencia nacional en materia sanitaria y ejecutar las políticas formuladas por el Ministerio de Salud y Protección Social en materia de vigilancia sanitaria y de control de calidad de los medicamentos, productos biológicos, alimentos, bebidas, cosméticos, dispositivos y elementos médico-quirúrgicos, odontológicos, productos naturales homeopáticos y los generados por biotecnología, reactivos de diagnóstico y otros que puedan tener impacto en la salud individual y colectiva.
Resolución 2013038979 de 26 noviembre de 2013	“Por la cual se implementa el Programa Nacional de Reactivovigilancia”
Resolución 2003 de 2014	“Por la cual se definen los procedimientos y condiciones que deben cumplir los Prestadores de Servicios de Salud para habilitar los servicios y se dictan otras Disposiciones”
Resolución número 1229 de 2013	El INVIMA específicamente para dar cumplimiento a la responsabilidad de liderar el Programa Nacional de Reactivovigilancia tal como lo determina el Decreto 3770 de 2004.
Artículo 04 numeral 14 del Decreto 1290 de 1994 Decreto 211 de 2004 Decreto 3039 de 2007	Se establece la necesidad de impulsar y dirigir en todo el país las funciones públicas de control de calidad, vigilancia sanitaria y de vigilancia epidemiológica de resultados y efectos adversos de los productos de su competencia.
Resolución 4816 de 2008	El INVIMA reglamenta la vigilancia sanitaria dado el impacto de los productos considerados como dispositivos médicos en Colombia.

Fuente: Elaboración propia

1.5 MECANISMOS ACTUALES PARA LA GESTIÓN DE LA SEGURIDAD DEL PACIENTE

La seguridad del paciente, como se ha mencionado a lo largo de este capítulo es un componente esencial de la calidad asistencial, donde se trata de evitar lesiones al paciente causadas por la asistencia recibida. Es por ello, que existen diversas estrategias para tratar de garantizar la seguridad del paciente y evitar eventos adversos que pueden llevar a causar daños irreversibles en el usuario que ingresa a una institución de salud.

Dentro de estos mecanismos de prevención, se toma como referente las herramientas para promover la estrategia de la seguridad del paciente en el sistema obligatorio de garantía de calidad de la atención y los paquetes instruccionales guía técnica "buenas prácticas para la seguridad del paciente en la atención en salud"; los cuales de acuerdo al Ministerio de Salud y protección cada paquete busca propiciar un espacio de reflexión, actualización y conocer en la seguridad del paciente, por medio de un modelo de aprendizaje basado en problemas (ABP), trazando casos ocurridos en el desempeño laboral diario con su respectivo análisis y estrategias para mejorar la problemática enfrentada.

Dentro de estas guías de buenas prácticas de seguridad del paciente se comprende 23 paquetes instruccionales:

1. La seguridad del paciente y la atención segura
2. Evaluar la frecuencia con la cual ocurren los eventos adversos y monitorizar aspectos claves relacionados con la seguridad del paciente
3. Modelo pedagógico.
4. Detectar, prevenir y reducir el riesgo de infecciones asociadas con la atención.
5. Mejorar la seguridad en la utilización de medicamentos.
6. Procesos para la prevención y reducción de la frecuencia de caídas.
7. Mejorar la seguridad en los procesos quirúrgicos.
8. Prevenir úlceras por presión.
9. Asegurar la correcta identificación del paciente en los procesos asistenciales.
10. Garantizar la correcta identificación del paciente y las muestras de laboratorio.
11. Reducir el riesgo de la atención en pacientes cardiovasculares.
12. Prevenir complicaciones asociadas a la disponibilidad y manejo de sangre y componentes y a la transfusión sanguínea.

13. Reducir el riesgo de la atención del paciente crítico.
14. Reducir el riesgo de la atención de pacientes con enfermedad mental.
15. Prevención de la malnutrición o desnutrición.
16. Garantizar la atención segura del binomio madre – hijo.
17. Gestionar y desarrollar la adecuada comunicación entre las personas que atienden y cuidan a los pacientes.
18. Prevenir el cansancio del personal de salud.
19. Garantizar la funcionalidad de los procedimientos de consentimiento informado.
20. Ilustrar al paciente en el autocuidado de su seguridad.
21. Seguridad de la atención de urgencias en población pediátrica.
22. Evaluación de pruebas diagnósticas antes del alta hospitalaria.
23. Sistema de reporte de seguridad en la Unidad de Cuidado Intensivo

1.6 CONCLUSIONES

A pesar de que hoy somos más conscientes del daño, los pacientes siguen experimentando incidentes y/o eventos adversos, mayormente evitables durante la atención en salud en cualquier nivel. Lograr una verdadera seguridad del paciente puede ser un proceso largo que requiere del compromiso de formación de todos los actores, es decir generar una verdadera cultura de seguridad en salud. Las nuevas tecnologías de información para la notificación de estos eventos, podrían disminuir la probabilidad de aparición de nuevos riesgos y daños. También se necesita de una cultura no punitiva con ejecución de medidas de mejora que involucren a los trabajadores de la salud, a los pacientes, familia, instituciones gubernamentales, instituciones prestadoras de salud, investigadores, solo así lograremos un cambio de cultura real y cumplir con el principio “Primum Non Nocere” en el futuro.



BIBLIOGRAFÍA

- Colombia. Ministerio de la Protección Social. Dirección General de Calidad de Servicios. (NaN). La seguridad Clínica en Colombia. Un reto para afrontar entre todos. El Ministerio, Recuperado de : https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/CA/AVANCES_DE_LA_SEGURIDAD_DE_PACIENTES_EN_COLOMBIA_2014.pdf
- Seguridad del Paciente y la Atención Segura. Paquetes Instruccionales: Guía Técnica "Buenas Prácticas Para la Seguridad del Paciente En la Atención En Salud". Versión 2.0. Bogotá. 2010.
- Guía Buenas Prácticas Seguridad del Paciente. www.acreditacionensalud.org.co
- Cristián Rocco, Alejandro Garrido. Seguridad del paciente y cultura de seguridad, Revista Médica Clínica Las Condes, Volumen 28, Número 5, 2017, Páginas 785-795, ISSN 0716-8640, <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2017.08.006>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864017301268>)
- Protocolo de Londres. sitio web: http://www.essalud.gob.pe/defensoria/guia_protocolo_laboratorio/protocolo_londres.pdf.
- <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/patient-safety>.
- (2008). Lineamientos para la implementación de la política de seguridad del paciente. Seguridad del paciente; Calidad de la atención en salud; Seguridad del paciente; 52 p. Recuperado de : https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/CA/LINEAMIENTOS_IMPLEMENTACION_POLITICA_SEGURIDAD_DEL_PACIENTE.pdf
- Seguridad del paciente - Medidas mundiales en materia de seguridad del paciente. Informe del Director General. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2019 (https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA72/A72_26-en.pdf, consultado el 23 de julio de 2019).
- Roa G. Maritza y otros, Ministerio de Protección Social, la Unidad Sectorial de Normalización en Salud. Guía Técnica "Buenas Practicas Para la Seguridad del Paciente En la Atención En Salud". Versión 1.0. Bogotá, 4 de marzo de 2010

- Convenio Interadministrativo N °. 628 De 2011. Universidad Nacional De Colombia - INVIMA. Actualización Del Programa De Tecnovigilancia En Colombia E Implementación De Los Componentes Señalización Y Gestión En Tecnovigilancia. Informe Final - Versión Final / diciembre 20 Del 2011
- Ministerio De Salud Y Protección Social, Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, INVIMA. ABC de Reactivo vigilancia. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá. 2014
- Ministerio de Salud y Protección Social. Política de Atención Integral en Salud: “Un sistema de salud al servicio de la gente”. Bogotá D.C., enero de 2016.
- Ministerio de Salud y Protección Social, Coordinación Grupo de Planeación de la Salud Pública y la Dirección de Epidemiología y Demografía. Análisis de Situación de Salud. Colombia, diciembre de 2020.
- Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución 2003 de 2014
- Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución 3001 de 2019.
- Ministerio de Salud de Colombia. Resolución 04445 de 1996.
- Ministerio de la Protección Social. Resolución 2679 de 2007. Diario Oficial No. 46.715 de 9 de agosto de 2007.
- http://www.avancejuridico.com/actualidad/documentosoficiales/2007/46715/r_mps_2679_2007.htm
- Ministerio de Protección Social y OPS. Aplicativo Para El Registro, Análisis Y Gestión De Eventos Adversos. Versión 2,0. Bogotá. Diciembre 2011
- Ministerio de Protección Social y OPS. Guía De Instalación Para La Política De Seguridad Del Paciente De Colombia - Aplicativo Para El Registro Y Gestión De Eventos Adversos. 2011
- Ministerio de Protección. Guía Técnica “Buenas Prácticas Para la Seguridad del Paciente En la Atención En Salud”: Gestionar y desarrollar la adecuada comunicación entre las personas que atienden y cuidan a los pacientes. Versión 2.0. Bogotá. 2010.
- Ministerio de Protección. Guía Técnica “Buenas Prácticas Para la Seguridad del Paciente En la Atención En Salud”: Mejorar la seguridad en la utilización de medicamentos Versión 2.0. Bogotá. 2010.
- Ministerio de Protección. Guía Técnica “Buenas Prácticas Para la Seguridad del Paciente En la Atención En Salud”: Prevención de la malnutrición o Desnutrición. versión 2.0. Bogotá. 2010.

- Ministerio de Protección. Guía Técnica "Buenas Prácticas Para la Seguridad del Paciente En la Atención En Salud": Procesos para la prevención y reducción de la frecuencia de caídas. Versión 2.0. Bogotá. 2010.
- Consenso: seguridad del paciente y las metas internacionales / La seguridad del paciente y los objetivos internacionales: Documento de consenso Panattieri, Néstor D; Dackiewicz, Nora; Arpi, Lucrecia; Godio, Cristina; Andión, Elena; Negrette, Claudia; Sabio Paz, Verónica; Nieto, Ricardo; Jorro, Facundo
- Ministerio De Salud Y Protección Social, Dirección De Prestación De Servicios Y Atención Primaria. Lista de chequeo para las buenas prácticas de seguridad de pacientes obligatorias en el sistema único de habilitación. Agosto de 2016.
- Colombia. Ministerio de Salud y Protección Social. Oficina de Calidad. (2014). Evaluación de la frecuencia de eventos adversos y monitoreo de aspectos claves relacionados con la seguridad del paciente. Seguridad del paciente; Calidad de la Atención en Salud; Seguridad del paciente; 94 p. Recuperado de : <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/CA/Monitorear-aspectos-claves-seguridad-paciente.pdf>
- Colombia. Ministerio de Salud y Protección Social. Oficina de Calidad. (2014). Asegurar la correcta identificación del paciente en los procesos asistenciales. Seguridad del paciente; Calidad de la Atención en Salud; Seguridad del paciente;. 78 p. Recuperado de : <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/CA/asegurar-identificacion-paciente-procesos-asistenciales.pdf>
- Gómez Ramírez OJ, Soto Gámez A, Arenas Gutiérrez A, Garzón Salamanca J, González Vega A, Mateus Galeano Érika. Una mirada actual de la cultura de seguridad del paciente. Av. enferm. [Internet]. 1 de julio de 2011 [citado 4 de diciembre de 2021];29(2):363-74. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/avenferm/article/view/35831>
- Rodríguez Espinel, J Análisis de la política pública colombiana de seguridad del paciente y sus implicaciones para enfermería. [Internet]. 2012 [citado: 2021, diciembre] Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá Facultad de Enfermería.
- Rodríguez, Andrea. Indicadores en seguridad del paciente en Colombia. 2018. <http://dx.doi.org/10.15332/tg.esp.2019.00035>
- Slawomirski L, Auraaen A, Klazinga N. The Economics of Patient Safety in Primary and Ambulatory Care: Flying blind. Paris: OECD; 2018 (<http://www.oecd.org/health/health-systems/The-Economics-of-Patient-Safety-in-Primary-and-Ambulatory-Care-April2018.pdf>, consultado el 23 de julio de 2019).

- Ordóñez Molina, Jaime Eduardo y el Ministerio de la Protección Social. Promoción De La Cultura De Seguridad Del Paciente. Paquetes Instruccionales: Guía Técnica "Buenas Prácticas Para la Seguridad del Paciente En la Atención En Salud". Ministerio de Protección Social. Bogotá. 2010
- Rocco, C. y Garrido, A. (2017). Seguridad del paciente y cultura de seguridad. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28 (5), 785-795
- Agencia Nacional de Seguridad del Paciente (NPSA). Seven Steps to Patient Safety / La Seguridad Del Paciente En Siete Pasos. Traducción al español: Miguel Recio Segoviano y el Ministerio De Sanidad Y Consumo Secretaría General Técnica Centro De Publicaciones. España. Noviembre de 2005
- Martínez Reyes, Cielo Rebeca, Agudelo Durango, Jennifer, Areiza Correa, Sandra Milena, & Giraldo Palacio, Diana Marcela. (2017). Seguridad del paciente y su percepción en los profesionales de la salud. *Civilizar Ciencias Sociales y Humanas*, 17 (33), 277-291
- Reason J. Human error: models and management. *BMJ*. 2000;320 (7237):768-70. (Consultado el 2/7/2011.)
- Moya Sáenz, Olga Lucia. La Seguridad Del Paciente En Atención Primaria En Salud ¿Una Actividad Que Podría Quedar En El Olvido? (2017). *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, vol. 17, núm. 34, 2018. Pontificia Universidad Javeriana. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.rgps17-34.spap>.
- Aranaz JM, Albar C. Estudio IBEAS prevalencia de efectos adversos en hospitales de Latinoamérica, 2009. Madrid, España: Ministerio de Sanidad y Política Social; 2009
- Ramos Domínguez BN. Calidad de la atención de salud. Error médico y seguridad del paciente. *Rev Cub Salud Publica*. 2005; 31 (3): 239-44
- Bond WF, Rey AE. Modelado para el proceso de decisión para implementar una intervención educativa: un ejemplo de un curso de inserción de catéter venoso central. *J Patient Saf*. 2011; 7 (2): 85-91
- García Casanova, Ysrael, Nader Díaz, Sandra y Marulanda Pérez, Andrea. (2014). La seguridad del paciente como paradigma de la excelencia del cuidado en los servicios de salud. *Revista Cubana de Enfermería*, 30 (1), 62-64. <http://scielo.sld.cu/scielo.php>
- Estudio APEAS: estudio sobre la seguridad de los pacientes en Atención Primaria de Salud. Madrid: Ministerio de Sanidad y Consumo, 2008
- Taxonomía de la seguridad del paciente. Política de seguridad del paciente; clasificación internacional de seguridad del paciente ICSP. cliente@icontec.org

- El Marco Conceptual de la Clasificación Internacional para la Seguridad del Paciente. Versión 1.1, enero de 2009. escrito de la OMS. <http://www.who.int/about/copyright/es/index.html>
- Amézquita, José Noé Rizo. Taxonomía de incidentes y eventos adversos: instrumento de apoyo a la Clasificación Internacional de Seguridad del Paciente: Una propuesta del Centro Colaborador de la OMS en materia de Calidad y Seguridad del Paciente. OPS. OMS, CONAMED. Boletín mayo-junio 2017
- Convenio Interadministrativo N °. 628 De 2011. Universidad Nacional De Colombia - INVIMA. Actualización Del Programa De Tecnovigilancia En Colombia E Implementación De Los Componentes Señalización Y Gestión En Tecnovigilancia. Informe Final - Versión Final / diciembre 20 Del 2011
- Ministerio De Salud Y Protección Social, Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, INVIMA. ABC de Reactivovigilancia. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá. 2014
- Goodman JC, Villarreal P, Jones B. The social cost of adverse medical events, and what we can do about it. *Health Aff (Millwood)*. 2011 Apr;30(4):590-5. doi: 10.1377/hlthaff.2010.1256. PMID: 21471477.
- Hoonhout LH, de Bruijne MC, Wagner C, Zegers M, Waaijman R, Spreeuwenberg P, Asscheman H, van der Wal G, van Tulder MW. Direct medical costs of adverse events in Dutch hospitals. *BMC Health Serv Res*. 2009 Feb 9;9:27. doi: 10.1186/1472-6963-9-27. PMID: 19203365; PMCID: PMC2645386.
- Saura Llamas, José; Lázaro Gómez, María José y Jurado Balbuena. Sesiones Clínicas en APS: Seguridad del paciente en las consultas de Atención Primaria. semFYC. Barcelona, 2012. https://www.semfy.com/wpcontent/uploads/2017/02/Cuaderno_asistente_seguridad.pdf
- Guy David, Candace L. Gunnarsson, Heidi C. Waters, Ruslan Horblyuk, Harold S. Kaplan, Medición económica de errores médicos utilizando una base de datos de reclamos hospitalarios, Valor en salud, Volumen 16, Número 2, 2013, Páginas 305-310, ISSN 1098-3015, <https://doi.org/10.1016/j.jval.2012.11.010>
- Palacio Lapuente; Fernando. La seguridad del paciente: un problema importante y actual. *AMF* 2011;7(9):496-503
- Aranaz-Andrés JM, Aibar-Remón C, Vitaller-Burillo J, Requena-Puche J, Terol-García E, Kelley E, et al. Impact and preventability of adverse events in Spanish public hospitals: results of the Spanish National Study of Adverse Events (ENEAS). *Int J Qual Health Care*. 2009;21(6):408-14
- Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución 2779 del 3 de agosto de 2007. *Rev. Med. Clin. Condes* – 09-08-2017; pág. 28(5) 785-795.



CAPÍTULO II

“IoT en la Gestión de Seguridad al Paciente”

*Andrés Felipe Escobar Olier - Kelly Jimenez Barrionuevo
Gustavo Adolfo Castañez Orta*

2.1 INTRODUCCIÓN

La seguridad del paciente se ha constituido en un tema preponderante para los sistemas de salud y constituye un principio fundamental en la garantía de la calidad en la atención hospitalaria. De ahí que desde la OMS se imparten una serie de lineamientos que luego son acogidos por los estados miembros con el fin de minimizar y controlar los eventos adversos que en ocasiones derivan en la pérdida de vidas humanas.

Como se vio en el primer capítulo diferentes estudios han mostrado el impacto de los eventos adversos en los procesos de atención de salud. En Colombia los procesos que más eventos adversos generan de acuerdo con los informes del Ministerio de Salud son el hospitalario y atención de urgencias. Se ha identificado que la complejidad del proceso de atención constituye un factor importante para la generación de eventos adversos, en ese sentido los conocimientos, la preparación y la carga de trabajo del personal inciden en el resultado de la atención brindada al paciente.

Indica la Organización Panamericana de la Salud OPS que la incorporación de sistemas de la información y evaluación sobre el funcionamiento de los servicios de salud y de un registro de los eventos adversos, permite mejorar la calidad de la atención y la seguridad del paciente” (OPS, 2013). Esto conlleva a pensar en sistemas robustos, donde la información sea segura, oportuna y sistematizada. Entonces, una manera de garantizar todo ello sin que implique una sobrecarga de tareas sobre el personal y costes elevados a los hospitales, sería la implementación de IoT en los procesos tendientes a gestionar el riesgo de la ocurrencia de eventos adversos y en últimas, a garantizar el cumplimiento del programa de seguridad del paciente.

De esta manera, tenemos que IoT no es otra cosa que una red de interconexión de dispositivos físicos a internet de forma inteligente, con comunicación inalámbrica y donde se procesan una gran cantidad de datos de forma ininterrumpida, facilitando una variedad de tareas y operaciones en casi todos los ámbitos de las actividades humanas. Ahora bien, el creciente uso de dispositivos inteligentes basados en esta tecnología y aplicados a los procesos de atención en salud, ha permitido acuñar el término Internet of Medicine Things (IoMT) para referirse a sus aplicaciones en el campo de la salud.

Por tal razón, en este capítulo se abordará la aplicación de esta tecnología en el sector salud y particularmente en la seguridad del paciente, teniendo en cuenta que esta industria en el sector salud viene creciendo de forma acelerada, en gran parte por la aparición del COVID-19, lo que favoreció su crecimiento y la generación de sistemas de información inteligentes que fueron de vital importancia en la toma de decisiones durante la crisis. Además, con el IoMT también se aceleró la implementación de tecnologías como la inteligencia artificial, el blockchain, y la realidad virtual y aumentada. Es decir, toda una explosión tecnológica que, si bien estaba presente desde antes de la crisis sanitaria, sus avances se veían interrumpidos por las barreras de aceptabilidad y costos de desarrollo.

Esto lleva a pensar que existe un ambiente favorable para el desarrollo de soluciones basadas en este tipo de tecnologías y que su aceptabilidad por parte de los diferentes actores que intervienen en el proceso de atención sea satisfactoria, por lo menos eso indican los diferentes estudios consultados y que forman parte de la bibliografía de este trabajo. De ahí se desprende en hora buena, un tipo de desarrollo basado en IoT como herramienta en la gestión del riesgo hospitalario y se explicará la forma en se implementó en la solución propuesta desde los diferentes dispositivos que componen el sistema.

2.2 IOT EN LA SALUD

El Internet de las Cosas IoT es en la actualidad uno de los avances tecnológicos con mayor alcance, trayendo consigo un futuro esperanzador, son cada vez más amplios los campos de uso de esta tecnología y el impacto que genera en las actividades cotidianas. De esta forma se encuentran aplicaciones basadas en IoT para el hogar, la banca, la agricultura, manufactura y por supuesto la salud.

La aplicación IoT en salud conjuga una serie de componentes desde su arquitectura que derivan en soluciones de fácil manejo, almacenamiento de datos en nube y su procesamiento y aplicabilidad a través incluso de otras tecnologías como la inteligencia artificial IA. Se compone básicamente de sistemas de recepción que recopilan datos, comunicación y almacenamiento de estos y por último su aplicación que, combinado con otras tecnologías, análisis de datos y realidad aumentada, se generan mejores prácticas médicas (Kelly, 2020).

Esta red de objetos físicos interconectados entre sí a través de internet contiene una amplia gama de dispositivos entre ellos, sensores y actuadores combinados con tecnologías de la información y telecomunicaciones (TIC) y computación en la nube, cuyo fin es integrar el mundo virtual con el mundo real (Sadhu, Yanambaka, Abdelgawad, & Yelamarthi, 2022), lo que en salud implica dispositivos médicos y sistemas inteligentes diseñados con el objetivo de brindar diagnósticos más acertados, procedimientos más seguros y capaz de adecuarse a las necesidades de cada paciente.

Por otro lado, los análisis de mercado recientes indican que la industria global IoMT crecerá en US\$254.233.6 millones a 2026, aunque la principal barrera en el mercado de acuerdo con los análisis, siguen siendo los costos asociados a los dispositivos médicos de IoT y el mantenimiento del hardware y software. Lo que se espera es que los dispositivos portátiles inteligentes dominen el mercado futuro. En lo que concierne a las compañías con mayor participación en el mercado se encuentran GE Healthcare, Philips y Medtronic entre las tres principales (All The Research An Avira Group Company, s.f.)

Dentro de los desarrollos basados en IoT para el cuidado de la salud, se encuentran: La telemedicina, Dispositivos médicos inteligentes, salud en el hogar, pastilleros inteligentes, emergencia inteligente, entre otros (Danel Ruas, 2020). También se pueden encontrar desarrollos basados en IoT como soporte a la gestión de activos en hospitales, dispositivos para monitoreo de temperatura y humedad ambiente, manejo de historias clínicas y de telemetría.

Todo lo anterior evidencia el gran impacto que IoMT genera y generará en un futuro para el sector salud, quizá una de las ventajas más importantes que ofrece esta tecnología radica en la información que puede generar sobre la toma de decisiones, ya que el volumen de datos que se generan puede ser a mayor velocidad y de forma inteligente, mostrando la información requerida, puntual y en ocasiones en tiempo real.

2.3 IOT Y SEGURIDAD DEL PACIENTE

La aplicación de Internet of Medical Things (IoMT) al programa de seguridad al paciente surge como una herramienta que puede brindar grandes aportes en los procesos de calidad en la atención en salud, especialmente en aquellos tendientes a gestionar los riesgos a los que se ven expuestos los pacientes durante procesos de hospitalización.

Si bien es cierto IoMT ha estado aplicado más hacia dar soluciones a problemas de diagnóstico, tratamiento y a derribar barreras en la atención con la aplicación de telemedicina y telemonitorización, se evidencia un auge de soluciones basadas en el enfoque de prevención de riesgos. Dentro de los riesgos más comunes en los procesos de atención hospitalaria, se encuentran: las caídas, la administración de medicamentos, el control de infecciones, el suministro de dietas, los relacionados con la tecnología biomédica, entre otros.

Realizando una búsqueda en la web se pueden encontrar alternativas de solución basadas en IoMT para el control de varios de estos riesgos. De esta forma existen, por ejemplo, dispositivos de monitorización en tiempo real de variables como temperatura y humedad en áreas como el servicio farmacéutico a fin de llevar el control y trazabilidad de la cadena de frío y el almacenamiento de medicamentos, obteniendo como resultado información segura, confiable y en tiempo real que deriva en una mejora significativa en los procesos de administración de medicamentos.

Autores como Tahera Yezmin, Michael W. Carter y Aviv S. Gladman, realizaron un estudio en el que evaluaron el impacto de IoT en una unidad hospitalaria con el fin de proporcionar evidencia empírica sobre los efectos de la aplicación de la tecnología en la seguridad de los pacientes, más específicamente en relación con el control del riesgo de caídas de pacientes y la higiene de manos por parte del personal asistencial. La tecnología utilizada consistió en “camas inteligentes” que consta de una serie de sensores que envían información sobre abandono de cama o tiempo de cambio de posición del paciente entre otros, generando alarmas al personal asistencial. Por otro lado, se midió la efectividad de un sistema inteligente para la higiene de manos, la cual

funciona a través de RFID, generando alertas al personal si olvida lavarse las manos.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio se observan algunos cambios positivos en las variables de tasas de caídas e higiene de manos, pues la tasa de caída de cama disminuyó de 21 a 15% y las tasas de cumplimiento en higiene de manos pasaron del 45 al 68% (Yezmin, Carter, & Gladman, 2022).

Otras tecnologías para controlar el riesgo de caídas de cama y que también se basan en la aplicación de IoT, consisten en la instalación de cámaras de video usadas como medio de vigilancia de pacientes que a través del reconocimiento de patrones y la detección de movimientos, se integran a un sistema de alertas y notificaciones sobre el riesgo de caídas. En fin, existen en el mercado una creciente cantidad de dispositivos médicos y desarrollos pensados en garantizar la seguridad del paciente durante todo el proceso de atención, incluso los procesos administrativos que representan un riesgo implícito para él.

Desde la aparición de la COVID-19 la implementación de IoT en el sector se ha visto acelerada, lo que supone grandes desafíos en temas de seguridad y manejo de la información, esto supondría una barrera de aceptación a la tecnología; sin embargo, desde la industria IoT, los estados y sistemas de salud, se han venido creando una serie de alternativas de solución con el fin de garantizar la seguridad de los datos que se mueven en la red. Estas alternativas van desde la creación de marcos regulatorios, pasando por la aplicación de protocolos en la gestión de los riesgos de seguridad, hasta la creación de infraestructuras seguras, lo que conlleva a blindar IoT. Por ejemplo, estableciendo una seguridad multinivel.

Si bien existen desafíos que se deben abordar en la implementación de IoT, también es cierto que su implementación ofrece oportunidades de mejora no sólo en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, sino que impacta de manera positiva la calidad en el servicio y la garantía de la seguridad en los procesos de atención al paciente. Evidenciando estas ventajas es que se vincula IoT en el desarrollo del sistema objeto de este trabajo.

2.4 SISTEMA DE GESTIÓN PARA LA SEGURIDAD DEL PACIENTE

El Sistema Integrado de Atención al Paciente "SIAP" nace del proyecto denominado "Plataforma Tecnológica Como Apoyo A La Atención De Pacientes En Hospitalización De La Ciudad De Cartagena, Bajo El Marco Del Programa De Seguridad Al Paciente" es una solución de hardware y software cuyo propósito principal es el fortalecimiento

y automatización de seguimiento, monitoreo y control de los eventos adversos que ocurren en el área de hospitalización y que son prevenibles, logrando con ello aumentar la seguridad del paciente durante el proceso de atención. Este producto se deriva de la financiación de un proyecto CTel favorecido a través de la convocatoria para el apoyo de proyectos de desarrollo y validación pre-comercial de MINCIENCIAS en el año 2019, con el objetivo de apoyar proyectos que contribuyan a alcanzar las metas de la agenda 2030-Objetivos de Desarrollo Sostenible, mediante el desarrollo y validación pre-comercial y comercial de nuevas tecnologías basadas en la incorporación de conocimiento científico y tecnológico desarrollado en Colombia.

El proyecto corresponde a una iniciativa de Helpmedica S.A.S., en alianza con la Universidad del Sinú, a través de sus grupos de investigación DEARTICA, GIBACUS y Cuidado de la vida y la salud.

La plataforma tecnológica como apoyo a la atención de pacientes hospitalizados, es un sistema compuesto por un software, el cual integra una aplicación que ayuda a gestionar y disminuir los riesgos de ocurrencia de eventos adversos. El sistema lleva integrados dispositivos de conexión inalámbrica que permiten la interacción con pacientes. El componente de hardware incluye una Tablet con confirmación de cierre de procesos con código QR, dispositivos para llamado de pacientes, central de monitoreo en pc, estaciones de monitoreo de temperatura y humedad y sensor de detección de incendios.

2.5 VENTAJAS DE APLICAR IOT EN EL PROYECTO

El internet de las cosas (IoT) aplicado en SIAP permite que cada información emitida por un dispositivo de hardware perteneciente a este, tanto llamado de enfermería como sensores, pueda ser asociado, visualizado y/o configurado remotamente desde cualquier dispositivo mediante una aplicación web. Además, desde una aplicación móvil puede obtenerse información relacionada con el paciente y pueden realizarse solicitudes. En general, SIAP ayuda a agilizar diversos procesos al mantener la información generada tanto por sus usuarios al interactuar con las aplicaciones como por los dispositivos, de forma centralizada, ordenada y fácilmente accesible.

2.6 FUNCIONAMIENTO DE DISPOSITIVOS

Los dispositivos pertenecientes a SIAP utilizan los protocolos de comunicación LoRa, WIFI o ambos, ya sea para comunicarse entre sí o enviar información directamente al servidor MQTT (broker) con el fin de que pueda ser visualizada desde las aplicaciones web y móviles. Los dispositivos a los que se hace referencia son los siguientes:



Figura 1: gateway central y botón multifuncional.

Fuente: Helpmedica.

- Gateway central: es el encargado de recibir todos los mensajes provenientes de los dispositivos del llamado de enfermería y de los sensores que transmiten sus mediciones por el protocolo LoRa. Estos son enviados luego al broker MQTT mediante el protocolo WIFI. Además, se encarga de recibir configuraciones enviadas desde las aplicaciones web y móvil para enviarlas a los sensores que usan la comunicación LoRa (ver figura 1).

- Botón multifuncional: dispositivo del llamado de enfermería ubicado en la habitación del paciente, y que posee cuatro botones de uso exclusivo de las enfermeras (código azul, código rojo, de alta y cancelar) y de uno conectado por un cable que es presionado por el paciente o su acompañante cuando se necesita de la atención de las enfermeras. La información es transmitida por LoRa hacia el Gateway central (ver figura 1).



Figura 2: Botón de baño y Luz de pasillo.

Fuente: Helpmedica.

- Botón de baño: Se ubica en el baño y es presionado cuando el paciente necesita ayuda por parte de las enfermeras. Al igual que el botón multifuncional, la información la transmite por LoRa hacia el Gateway central (ver figura 2).

- Luz de pasillo: Su función es encender un color de luz asociado al código que sea enviado ya sea desde el botón multifuncional o el botón de baño y repetir el mensaje recibido al Gateway central (ver figura 2).

- Sensor de temperatura y humedad: Es un dispositivo encargado de medir el confort térmico en las habitaciones de los pacientes al medir la temperatura y la humedad de estas. Las mediciones que realiza son enviadas al Gateway central mediante el protocolo LoRa y sus configuraciones también las recibe por ese protocolo (ver figura 3).

- Sensor de temperatura: Se encarga de medir la temperatura interna de cualquier nevera cuyo contenido tenga gran importancia y que requiera ser monitoreado. Por ejemplo, vacunas, medicamentos, leche materna, entre otros. Al igual que el sensor de temperatura y humedad, envía y recibe información mediante el protocolo LoRa (ver figura 3).



Figura 3: Sensor de temperatura y humedad y sensor de temperatura.

Fuente: Helpmedica.

- Sensor de humo: Es un sensor de humo comercial adaptado para enviar por el protocolo LoRa alertas de humo y de incendio hacia el Gateway central. No posee ningún parámetro que configurar, solo envía información (ver figura 4).

- Sensor de frecuencia de vibración: Se ubica en alguna zona de la estructura física del hospital con el objetivo de medir las vibraciones y la inclinación de la edificación, emite alertas sobre posibles riesgos en esta. Sus mediciones son enviadas directamente al broker MQTT mediante comunicación WIFI y su configuración también la recibe por este medio.

- Sensor de vibración: Este sensor indica si existen o no vibraciones en la cama del paciente, lo cual permite identificar si el paciente está teniendo algún problema, por ejemplo, convulsiones. Usa comunicación LoRa que envía y recibe información hacia y desde el Gateway central (ver figura 4).

- Oxímetro: Consta de un brazalete que ubicado en el brazo del paciente de manera tal que se puede medir la saturación de oxígeno y el ritmo cardiaco al pulsar el botón que posee. La medición la envía al broker MQTT por medio de comunicación WIFI.



Figura 4: Sensor de humo y sensor de vibración.

Fuente: Fuente: Helpmedica.



Figura 5: Sensor de movimiento y sensor de SPO2.

Fuente: Fuente: Helpmedica.

Los dispositivos que usan WIFI reciben una trama donde se configuran las credenciales de la red a la que serán conectados y el lugar donde serán ubicados. En cuanto a los sensores, independientemente del protocolo de comunicación que usen y si lo admite, puede ser configurado el nombre con que se muestran en las aplicaciones web y móvil, la frecuencia con que mandan los datos y los niveles máximos y mínimos de cada variable que miden. De esta forma se pueden generar notificaciones de alertas y la calibración de sus mediciones.

2.7 APLICACIÓN WEB DE SIAP E IOT

A fin de que el enfoque de los dispositivos vaya más allá del envío de datos a un servidor en el que ser almacenados y que tengan un rol más activo en el mejoramiento de la calidad de la atención y de la seguridad del paciente mediante el uso de IoT, estos deben ser asociados dentro de la aplicación web a diferentes ubicaciones clave de un hospital o centro médico, que tengan influencia directa o indirecta con los procesos de atención al paciente y que puedan ser visualizados en la misma.

Teniendo en cuenta lo anterior, el módulo de gestión de la aplicación web de SIAP, al que se accede mediante la URL <https://siap.helpmedica.com>, posee un módulo de "Gestión de Empresa" donde son ubicados los servicios activos de la entidad (ver figura 6).

SERVICIO	AREA	SUBAREA	DISPOSITIVOS ASOCIADOS	ACCIONES
SEDE PRUEBA UNI (Secundaria) + Registrar Servicio				
Servicio prueba uni	0	0	0	+ -
Helpmedica (Secundaria) + Registrar Servicio				
Edificio Inteligente	3	8	10	+ -

Figura 6: servicios activos en el módulo de gestión.

Fuente: <https://siap.helpmedica.com>.

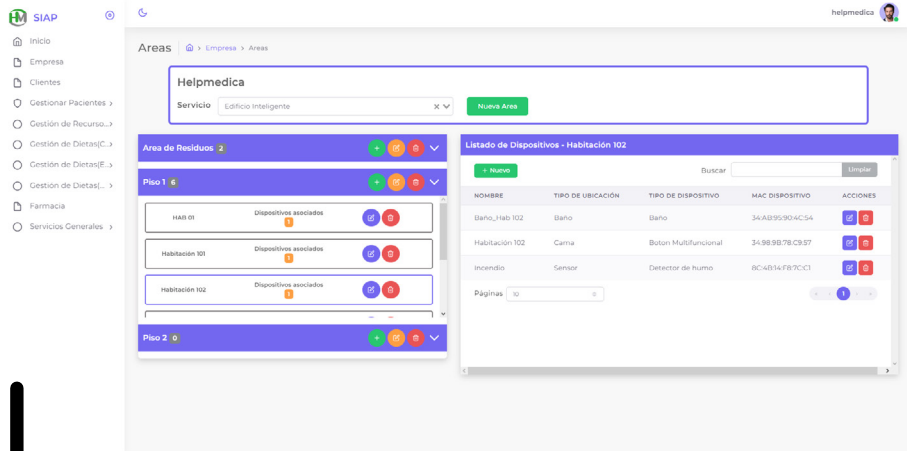


Figura 7: áreas y subáreas en el módulo de gestión.

Fuente: <https://siap.helpmedica.com>.

Una vez se accede al servicio, pueden ser visualizadas todas las áreas disponibles y dentro de cada una, se ubican subáreas que corresponden a las habitaciones que posee y es donde será asociado cada dispositivo, ya sea del llamado de enfermería o de los sensores (ver figura 7).

Una vez asociados, la información arrojada por los dispositivos podrá ser observada desde el módulo de visualización en tiempo real, además, podrán ser configurados los parámetros mencionados de los dispositivos que lo permitan. Este módulo puede ser accedido desde la URL <https://central-monitoreo.helpmedica.com> (ver figura 8).



Figura 8: llamado de enfermería y sensores en el módulo de visualización.

Fuente: <https://siap.helpmedica.com>.

2.8 APLICACIÓN MÓVIL DE SIAP E IOT

Esta posee varias secciones relacionadas con la estancia del paciente en el hospital, cuenta con una versión digital del botón multifuncional (ver figura 9) con 4 botones (código azul, código rojo, de alta y cancelar) y es instalada en tablets que son entregadas al hospital, por lo que debe ser ubicado en la cabecera de la cama de cada paciente. Esto con el objetivo de tener centralizados los procesos de atención correspondiente a cada paciente en un único dispositivo. De manera que se puede ahorrar tiempo en los procesos y costos al no depender de otro dispositivo físico adicional.

Si se requiere cambiar de habitación y que se visualice otro paciente, se puede ingresar en el menú de configuraciones de la aplicación (ver figura 10) donde aparece un botón que conduce a la sección correspondiente. Además, si no se desea observar el botón multifuncional virtual, puede ser ocultado desde el mismo menú. Cabe resaltar que este es un gran factor diferenciador a nivel nacional debido a que el rastreo tecnológico llevado a cabo arrojó que dispositivos con funcionalidades similares han sido desarrollados por empresas de otros países.

Ahora bien, si se requiere cambiar de habitación y visualizar los datos de otro paciente, se debe seleccionar la empresa, el servicio y el área deseada, después aparecerán todas las habitaciones disponibles y se deberá seleccionar aquella en la que se encuentre el paciente deseado (ver figura 11).

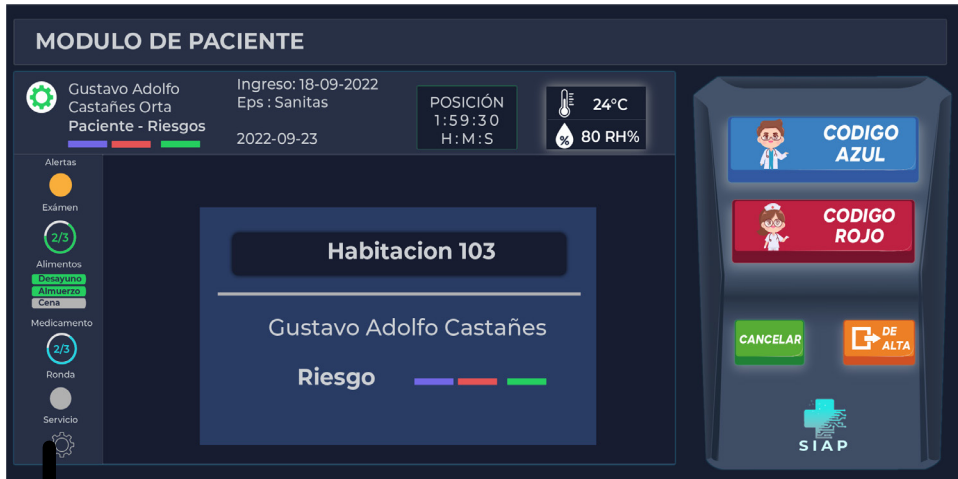


Figura 9: aplicación móvil con botón multifuncional.

Fuente: <https://siap.helpmedica.com>.



Figura 10: menú de configuración de aplicación móvil.

Fuente: <https://siap.helpmedica.com>.



Figura 11: sección para cambio de habitación.

Fuente: <https://siap.helpmedica.com>.

De esta forma, se asocia una habitación con la sesión abierta en la aplicación móvil, y dependiendo si existe o no un paciente en esa habitación, al momento de presionar cualquiera de las opciones del botón multifuncional virtual se verá reflejado o no el llamado correspondiente.

2.9 SINERGIA ENTRE HARDWARE Y SOFTWARE

Desde una visión más global de los componentes abordados anteriormente, la información arrojada por los dispositivos hardware pertenecientes al llamado de enfermería y a los sensores, al igual que la aplicación móvil con la versión virtual del botón multifuncional, pueden ser monitoreados desde el módulo de visualización de SIAP solo si primero son asignados a las ubicaciones físicas pertenecientes a los servicios que posee la entidad a través del módulo de gestión de SIAP. La interacción evidenciada entre los componentes presentados del sistema SIAP corresponde a la definición de IoT dado que hay un intercambio de datos entre estos mediante el uso de varios protocolos de comunicación empleados en IoT.

2.10 CONCLUSIONES

Desde una perspectiva de salud IoT ofrece una gran oportunidad de crecimiento y mejora en la atención, su facilidad de uso y fácil comprensión a los usuarios ofrece ventajas en cuanto a su aceptación y aplicabilidad. De hecho, ya hay una gama de dispositivos médicos y otras soluciones basadas en IoT con resultados exitosos desde el diagnóstico, tratamiento y mejora de algunos procesos administrativos y de la prestación del servicio.

También se avizora un crecimiento positivo en la participación del mercado para IoMT con miras a los próximos 3 o 4 años, lo que indica que surgirán oportunidades de negocio y desarrollo de nuevos proyectos haciendo de que este sector sea aún más dinámico.

Desde el punto de vista de la seguridad del paciente, las tecnologías basadas en IoT brindan la posibilidad de gestionar mejor los riesgos derivados de la atención, dado que la capacidad de procesamiento de datos, la inteligencia de estos sistemas y la entrega de información en tiempo real crea entornos más seguros para los pacientes.

Por otro lado, se ha identificado que una de las barreras más importantes en la aplicación de IoMT sigue siendo la seguridad de la información y en el entorno local los costos que aún implica el desarrollo de estas soluciones en los países en vías de desarrollo. De todas formas, la aparición del COVID-19 incidió en la aceptabilidad del uso de estas tecnologías en ambientes sanitarios, dadas las circunstancias propias de la crisis y debido a sus buenos resultados se presenta un escenario favorable en torno a nuevos desarrollos. En todo caso, tanto los gobiernos con sus instituciones, comunidad médico- científica y desarrolladores deben trabajar articuladamente para que la aceptabilidad por parte de los usuarios finales sea mayor que los miedos que genera la aplicación de nuevas tecnologías en salud.



BIBLIOGRAFÍA

- All The Research An Avira Group Company. (n.d.). *All The Research*. Retrieved Octubre 1, 2022, from <https://www.alltheresearch.com/report/166/internet-of-medical-things-market>
- Baquero Soto, A. B., Ballesteros Coral, D. S., Aya Parra, P. A., Perdomo Charry, Ó. J., Muñoz Bernal, H. A., Quiroga Torres, D. A., & Sarmiento Rojas, J. (2019, Septiembre 10-13). *Encuentro Internacional de Educación e Ingeniería ACOFI*. doi:10.26507/ponencia.172
- Danel Ruas, O. (2020, Octubre). *ResearchGate*. doi:10.13140/RG.2.2.23348.27520
- Echeverri Ramírez, L. B., & Gómez Ceballo, D. A. (2019). Contribución de las herramientas tecnológicas en la seguridad del paciente y la prevención de caídas. *INNOS*, 1-15. Retrieved Septiembre 30, 2022, from [https://www.innos.co/publicacion/Contribución de las herramientas tecnológicas en la seguridad del paciente y la prevención de caídas..pdf](https://www.innos.co/publicacion/Contribucion-de-las-herramientas-tecnologicas-en-la-seguridad-del-paciente-y-la-prevencion-de-caidas..pdf)
- Hui, T. K., Donyai, P., McCrindle, R., & Sherratt, R. S. (2020, Mayo| 29). Enabling Medicine Reuse Using a Digital Time Temperature Humidity Sensor in an Internet of Pharmaceutical Things Concept. *MDPI*, 2-24. doi:10.3390/s20113080
- Javaid, M., & Khan, I. H. (2021, Enero 30). Internet of Things (IoT) enabled healthcare helps to take the challenges of COVID-19 Pandemic. *ELSEVIER*, 209-214. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2021.01.015>
- Kelly, J. T. (2020). The Internet of Things: Impact and Implications for Health Care Delivery. *JOURNAL OF MEDICAL INTERNET RESEARCH*, 22, 1-11. doi:10.2196/20135
- Nie, X. (2022, Marzo 31). Construction and Application of Comprehensive Nursing Information Service Platform Based on Internet of Things Technology. *Hindawi*, 1-8. doi:7178531
- OPS. (2013, abril 26). *OPS*. Retrieved Agosto 8, 2018, from https://www.paho.org/arg/index.php?option=com_content&view=article&id=1152:seguridad-paciente-importancia-generar-informacion-sobre-atencionsalud&Itemid=225
- Ou, T., Cai, X., Wang, M., Guo, F., & Wu, B. (2021, Noviembre 9). A Novel Method of Clinical Nursing under the Medical Internet of Things Technology. *Hindawi*, 1-10. doi:2234457

- Sadhu, P., Yanambaka, V., Abdelgawad, A., & Yelamarthi, K. (2022, Julio 24). Prospect of Internet of Medical Things: A Review on Security Requirements and Solutions. *MDPI*, 22-31. doi:10.3390/s22155517
- Sadoughi, F., Behmanesh, A., & Sayfour, N. (2020, Febrero 7). Internet of things in medicine: A systematic mapping study. *ELSEVIER*, 1-20. doi:https://doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103383
- Xiao, Q., Wu, B., Wu, W., & Wang, R. (2022, Junio 28). Adoption and Safety Evaluation of Comfortable Nursing by Mobile Internet of Things in Pediatric Outpatient Sedation. *Hindawi*, 2022, 1-9. doi:3257101
- Xiao, Q., Wu, B., Wu, W., & Wang, R. (2022, Junio 28). Adoption and Safety Evaluation of Comfortable Nursing by Mobile Internet of Things in Pediatric Outpatient Sedation. *Hindawi*, 1-9. doi:3257101
- Yezmin, T., Carter, M. W., & Gladman, A. S. (2022). Internet of things in healthcare for patient safety: an empirical study. *BCM Health Services Research*, 1-14. doi:10.1186/s12913-022-07620-3



CAPÍTULO III

“Diseño y construcción del prototipo de hardware”

*Luis Fernando Murillo - Eugenia Arrieta Rodríguez
Gustavo Castañez Orta*

3.1 INTRODUCCIÓN

El sistema tecnológico de gestión integral de seguridad del paciente tiene dos grandes componentes una parte de hardware compuesta por los dispositivos requeridos en el sistema y un software que recibe y procesa los datos del sistema. Para el diseño y construcción de este tipo de dispositivos se parte de los requerimientos obtenidos desde los procesos estructurados, los requerimientos propios del cliente y otros requerimientos funcionales definidos por los diseñadores y un grupo de potenciales clientes del sistema.

El proyecto ha dado como resultado un sistema intuitivo y seguro para la gestión de algunos de los riesgos preponderantes de eventos adversos en la atención al paciente usando de sistema base un llamado de enfermería. Este sistema basado en IoT y aplicaciones de software cuenta con una interfaz que satisface los requerimientos de usuarios y clientes. Debido a que se incluyó un minucioso estudio de procesos se logró incorporar funcionalidades tales como gestión de dietas, la asignación y seguimiento de exámenes médicos, reporte de fallas de equipos e infraestructura desde la propia

aplicación ubicada en la habitación, el seguimiento del confort térmico del paciente, el monitoreo de incendios y el seguimiento de pacientes con riesgo de caídas, entre otros. Esto lo convierte en una herramienta potente de ayuda en la gestión del programa de seguridad del paciente en áreas de hospitalización.

El proyecto, desde el punto de vista del hardware, ha desarrollado una serie de prototipos de los dispositivos IoT, utilizando como dispositivo base un SoC ESP32, que es un dispositivo sumamente robusto, con amplio uso en el mercado y que ha demostrado ser una elección muy adecuada, debido a su amplia disponibilidad, bajo costo, robustez y alto soporte. Adicionalmente al unificar el diseño de los PCB (Printed Circuit Board) en un único diseño multifuncional, que permite ser implementado y configurado para ser utilizado por los diferentes módulos que hacen parte del sistema, lo cual disminuye costos de producción, tiempos de reparación y reemplazo. Así mismo acelera la etapa de diseño, prototipado y pruebas, acelerar el desarrollo y pruebas iniciales del sistema.

El sistema tiene la capacidad adicional de detectar variables de confort, detectar caídas del paciente y riesgos en el entorno (tales como presencia de humo) a partir de dispositivos IoT (Internet of Things) permite desarrollar un potente sistema, que va más allá de la gestión de llamadas. Su capacidad de operar en local y en la nube en simultáneo, en una arquitectura híbrida de Cloud and Edge Computing, genera una amplia capacidad de ser utilizado en sitios con disponibilidad de conexión a internet y así mismo en sitios con baja conectividad o la capacidad de operar ante fallos de la conexión a la nube, y sincronizarse automáticamente al lograr establecer la conexión.

La arquitectura software está basada en Ports and adapters (Hexagonal), que permite tener capas independientes para cada parte del desarrollo, desde los dispositivos de hardware, las comunicaciones y las diferentes capas de las aplicaciones, permitiendo desarrollos independientes, pero interconectados, que facilitan la mantenibilidad, pruebas y actualizaciones del sistema.

También se han incorporado a los prototipos, el diseño y construcción de carcasas personalizadas para cada módulo, incluyendo consideraciones de robustez, facilidad de limpieza, acceso adecuado para revisión y mantenimiento. Para ello se construyeron unidades impresas en plásticos, utilizando tecnologías de impresión aditiva, que, debido al número inicialmente requerido, brindan un adecuado equilibrio entre costos unitarios y facilidad de fabricación.

3.2 DISEÑO DEL MÓDULO ELECTRÓNICO

El producto permite realizar seguimiento y control en los procesos de seguridad del paciente en las Instituciones Prestadoras de Servicio en Salud (IPS) con el fin apoyar, desde una herramienta software y dispositivos electrónicos la operación y gestión en torno a los eventos adversos y llamado de enfermería. Esto incluye el diseño, construcción, pruebas, validación e implementación de una aplicación web, móvil, y los dispositivos electrónicos conectados para conformar el Sistema Integral para la Atención de Pacientes.

3.2.1 Arquitectura de hardware

El sistema está desarrollado a partir de una red de dispositivos con conectividad conformando una red con dispositivos inteligentes que permite conectarse al software del sistema que se ejecuta en una Pc y en un servidor remoto, mediante un Gateway para poder interconectar la red LoRa con la que trabaja el sistema y la red Ethernet para conectar a la nube y los servicios de software ejecutados en el servidor remoto.

3.2.2 Requerimientos de hardware

El diseño de las tarjetas electrónicas fue realizado a partir de requerimientos de hardware de la Plataforma Tecnológica para la Atención de Pacientes de Hospitalización. Esta plataforma está compuesta de una Central de Monitoreo, un Panel de Control de Paciente, una Luz de Pasillo, un dispositivo de Monitoreo del Confort Térmico en las habitaciones, un módulo para el Monitoreo de Incendios y otro para el Monitoreo a través de patrones de movimiento. Todos estos componentes, con excepción del módulo de Monitoreo a través de patrones de movimiento, fueron diseñados utilizando un microcontrolador (MCU) ESP32, el cual posee características avanzadas de administración de energía, conectividad WIFI y Bluetooth, entre otros, además, estos módulos tienen transceptor LORA (Long Range Modulation) trabajando a una frecuencia de 915 MHz, para la comunicación entre ellos.

La Central de Monitoreo opera como un Gateway LORA, donde se reciben todos los datos que provienen de los distintos módulos de sensores y transductores de monitoreo ubicados en cada habitación, mediante una comunicación bidireccional o full-dúplex. Cada módulo tiene un elemento visual que indica el estado de transmisión de los datos, implementado a partir de un LED RGB y cuentan con un puerto USB para la comunicación/configuración con el PC.

El Panel de Control de Paciente, está construido a partir de una tableta digital y un lector RFID, que están acoplados por medio de un módulo ESP32 que envía los datos a través de una conexión USB.

También, se tiene un botón de paciente inalámbrico que empareja con la luz de pasillo correspondiente a la habitación del paciente y la Central de Monitoreo, además, se tiene un botón de baño, similar en funcionalidad al de paciente, con una opción adicional de cancelar el llamado.

Para lograr economías de escala y la interoperabilidad de las diferentes tarjetas electrónicas (PCB) no se utilizan diseños específicos para los PCB de cada módulo de los componentes de la Plataforma Tecnológica para la Atención de Pacientes de Hospitalización, se obtiene un diseño base igual para todos, incluyendo todas las funcionalidades, y dependiendo del dispositivo al cual se destinará, le son colocados los elementos electrónicos necesarios para cumplir con su objetivo, ya sea medición de temperatura y humedad, enviar una señal de ayuda del paciente a la Central de Monitoreo, entre otros.

Un dispositivo IoT consiste en un objeto al que se le ha dotado de conexión a Internet y cierta inteligencia software, sobre el que se pueden medir parámetros físicos o actuar remotamente y que por tanto permite generar un ecosistema de servicios alrededor del mismo. Este ecosistema está destinado a generar valor transformando la experiencia del cliente.

3.2.3 LoRa

LoRa funciona en las bandas de frecuencia de radio no comercial para usos industriales, científicas y médicas, denominadas como ISM, las cuales son bandas que han sido reservadas originalmente para ser utilizadas en dispositivos de uso industrial, científico y médico, en diversos países del mundo, pero que en la actualidad también son ampliamente empleadas como bandas abiertas con fines de comunicaciones, en aplicaciones denominadas no-ISM. Debido a esto, en estas bandas se encuentra mucho ruido electromagnético, producto de la diversidad de equipos que operan en ella, por lo cual los equipos que operan en estas bandas deben tener alta inmunidad a la interferencia. Este tipo de empleo en comunicaciones requiere que dichos protocolos y equipos de comunicación tengan cierta tolerancia a errores y para ello se utilizan mecanismos de protección contra interferencias, tales como las técnicas de ensanchado de espectro.

LoRa es una tecnología que utiliza CSS (Chirp Spread Spectrum), que es un método de modulación por dispersión de frecuencia. Estos pulsos de chirp hacen que aumente o disminuya la frecuencia de LoRa continuamente en el tiempo y la transmisión de datos se realiza por la secuencia de estos pulsos de chirp.

LoRa emplea comúnmente tres bandas de frecuencia: 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz, de frecuencia base. Estas frecuencias de las bandas ISM permiten mayor alcance que las frecuencias de 2.4GHz y 5GHz empleadas por ejemplo para las comunicaciones wifi y bluetooth, con mejor penetración ante obstáculos de línea de vista y mayores distancias de conexión.

La asignación de cada una de las frecuencias viene definida de acuerdo con las regiones asignadas por la International Telecommunications Union – ITU, para la región 1 que corresponde esencialmente a Europa, África y algunos otros países, se utiliza la frecuencia de 868 MHz, la región 2 que corresponde a América, se utiliza la frecuencia de 915 MHz y la región 3 que corresponde a gran parte de Asia comúnmente utiliza la frecuencia de 433 MHz. En Colombia es común el uso de versiones de LoRa en 433MHz y 915 MHz.

Las frecuencias de 868 MHz y 915 MHz comúnmente utilizan el mismo hardware y en algunos casos solo es necesario un ajuste de configuración y/o programación de los dispositivos para ser aplicados en la otra banda de frecuencias. La banda de 433 MHz presenta mejor alcance que las bandas superiores de 868 MHz y 915 MHz, pero como es utilizada por muchos dispositivos como controles remotos por RF, y otros dispositivos similares, puede presentar más problemas de interferencia y pérdida de datos que las bandas superiores.

Las Low-Power Wide-Area Network (LPWAN) o Low-Power Wide Area (LPWA) o Low-Power Network (LPN) son redes de área amplia empleadas en telecomunicaciones inalámbricas que permiten comunicaciones de largo alcance a una velocidad de bits baja entre los nodos conectados. Estas redes utilizan baja potencia, transmiten a baja velocidad de bits y en distancias relativamente largas, con lo cual su uso está destinado fundamentalmente a ser empleadas entre otros para envío de datos de sensores y otras aplicaciones similares con una tasa de datos que puede variar entre 0,3 kbit/s a 50 kbit/s por canal (Kumbhar, 2017).

LoRa es uno de los estándares disponibles para LPWAN, que utiliza modulación de radio de espectro expandido (CSS), mientras LoRaWAN es un protocolo de capa de control de acceso a medios para gestionar la comunicación entre las pasarelas LPWAN y los dispositivos de nodo final, que es mantenido por LoRa Alliance. Existen algunos otros estándares LPWAN como Ultra Narrow Band (UNB) utilizada por Sigfox (Adi, Kitagawa, 2020) (Cama-Pinto et al, 2021) La figura 1 muestra una comparación entre los anchos de banda y rangos de alcance para algunos de los más utilizados..

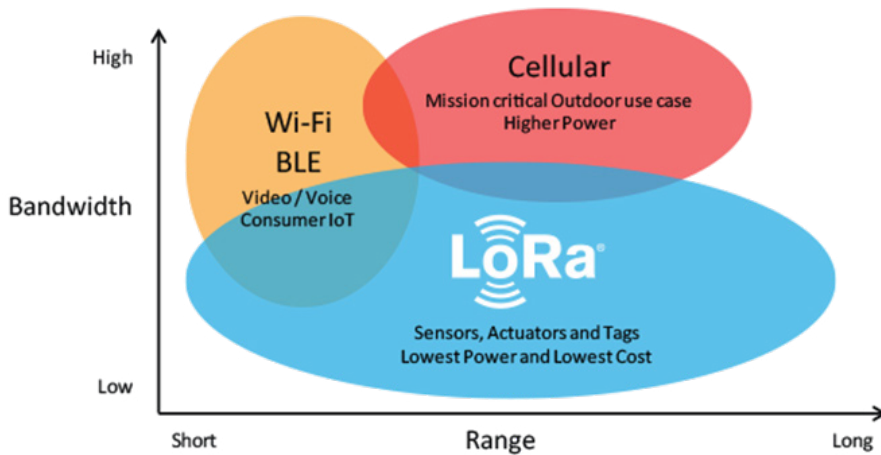


Figura 1. Comparación de LoRa, WiFi, BLE y Celular.

Fuente: Semtech

La potencia de transmisión radiada es limitada y para tener un rango de radio mayor que los tipos de modulación convencionales, y lograr FSK (Frecuencia de modulación por desplazamiento), La sensibilidad del receptor LoRa se ha mejorado significativamente con lo cual aún puede recibir y decodificar con éxito una señal LoRa útil hasta 20 dB por debajo del nivel de ruido, lo que resulta en una sensibilidad del receptor de un máximo de -149 dBm. En comparación con la máxima sensibilidad FSK de aproximadamente -125 dBm a -130 dBm, con lo cual LoRa ofrece una mejora significativa (Bobkov et al, 2020).

3.3 COMPONENTES HARDWARE

Los componentes de las tarjetas de circuito impreso (PCB) del Sistema Integrado de Atención al paciente (SIAP), son descritos a continuación:

ESP32 WROOM-32: Es un módulo de comunicación Wi-Fi/Bluetooth basado en ESP32, un microcontrolador de dos núcleos fabricado por la empresa Espressif. ESP32 es la denominación de una familia de chips SoC de bajo costo y consumo de energía, con tecnología Wi-Fi y Bluetooth de modo dual integrada. la figura 2 muestra un módulo de ese tipo. El ESP32 emplea un microprocesador Tensilica Xtensa LX6 en sus variantes de simple y doble núcleo e incluye interruptores de antena, balun de radiofrecuencia,



Figura 2. Módulo ESP32 Wroom-32.

Fuente: Espressif

amplificador de potencia, amplificador receptor de bajo ruido, filtros, y módulos de administración de energía. Se seleccionó el ESP32 como CPU de los módulos, debido a su reducido costo, amplia disponibilidad, uso de comunicaciones integradas y el amplio uso de 30 pines, con los cuales se pueden usar diferentes periféricos con protocolos como I2C, SPI, entre otros, y además que cuenta con una opción para programar remotamente, lo que facilita actualizar el firmware de los módulos cuando ya estén en uso.

El ESP-WROOM-32 (ESP-32S) es un módulo microprocesador con WiFi y Bluetooth que utiliza el popular chip de ESPRESSIF ESP32. Este módulo ESP-WROOM-32 es un SoM (System on Module) fabricado por Espressif que integra en un módulo el SoC ESP32, la memoria FLASH, el cristal oscilador y la antena WiFi en el PCB, además incluye una cubierta metálica que actúa como blindaje ante interferencias externas, vista en la figura 2. figura 2. (Espressif, 2022).

El chip ESP32 integra un procesador de doble núcleo con 448 KByte de ROM, 520 KBytes de SRAM, 16 KByte SRAM en RTC, 802.11 b/g/n/e/l Wi-Fi, Bluetooth v4.2 BR / EDR & BLE, relojes y Temporizadores, abundantes interfaces periféricas y mecanismo de seguridad. Este módulo sin su cubierta metálica de blindaje se muestra en la figura 3. (Espressif, 2022).

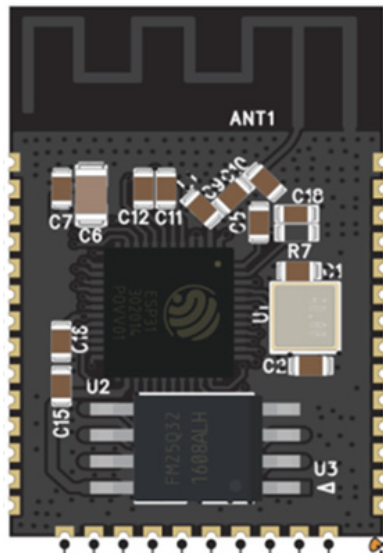


Figura 3. Distribución interna del Módulo ESP32 Wroom-32, sin la cubierta de blindaje.

Fuente: Espressif

El ESP-32-wroom-32 posee múltiples pines para salidas GPIO (General Purpose Input Output) que a su vez comparten funcionalidades con otras entradas y salidas especiales disponibles, tal como se muestra en la ilustración 4.

Su función en el Sistema Integrado de Atención al Paciente es detectar la pulsación de los botones incorporados en las tarjetas nombradas como multifuncional, central, baño y luz de pasillo; y además ejecutar acciones de sincronización entre tarjetas, envío de mensajes entre tarjetas por diferentes protocolos de comunicación, medición de variables, entre otros.

Otro aspecto importante del ESP32, es su capacidad de entrar en modo Deep sleep o sueño profundo, donde su consumo de corriente es reducido a unos cuantos microamperios, y logra despertar mediante la aplicación de una señal de voltaje en alguno de los pines compatible con esta función, lo que se conoce como interrupción por hardware, debido a esto, las tarjetas deben tener en cuenta el uso de estos pines. En este caso, la señal de voltaje que despierte al esp32 debe provenir del transceptor LORA, porque cuando este reciba un mensaje de otra tarjeta, el esp32 se debe encargar de interpretar el mensaje y ejecutar la acción correspondiente. En la figura 5 podemos ver el diagrama de bloques funcionales del ESP32.

ESP32-wroom-32 PINOUT



Figura 4. Pinout del ESP32 Wroom-32.

Fuente: www.mischianti.org.

Espressif ESP32 Wi-Fi & Bluetooth Microcontroller – Function Block Diagram

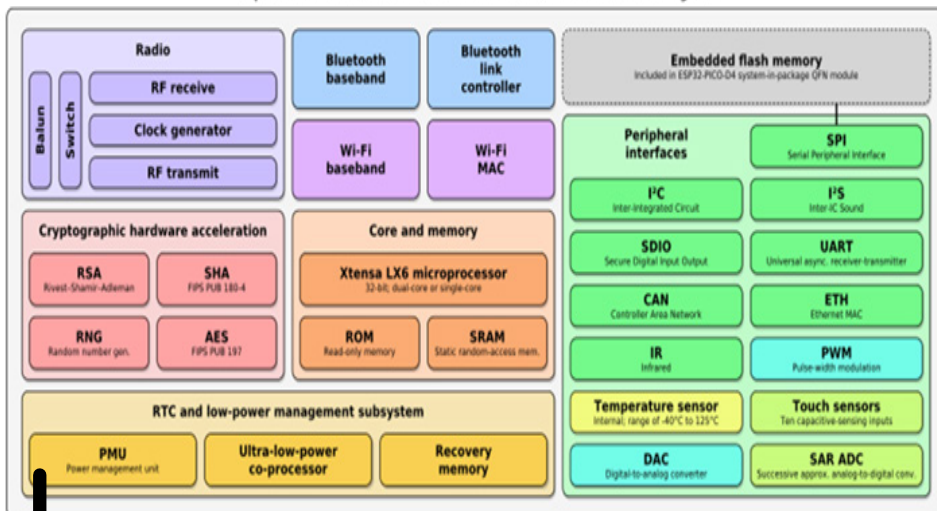


Figura 5. Módulo ESP32 Wroom-32.

Fuente: Espressif



Figura 6. Regulador LM1117e

Fuente: Texas Instruments

Módulo transceptor LoRa: es un módulo de comunicación creado por la empresa Semtech que usa la modulación LoRa, que significa Long-Range debido a los enlaces de datos de gran distancia que permite conseguir, además de requerir poca potencia para ello. Su función en el Sistema Integrado de Atención al Paciente es permitir la comunicación entre las tarjetas presentes en cada habitación de un paciente y entre algunas de estas con una tarjeta que actúa como nodo central.

LM1117: es un regulador de tensión positiva voltaje lineal de baja caída con tres terminales y tensión de salida regulada fija de amplio uso en electrónica. Este regulador permite proporcionar regulación a tarjetas locales, eliminando problemas de distribución asociadas a un solo punto regulación central. Aunque el LM1117 se ha diseñado principalmente como regulador de voltaje fijo, también se pueden utilizar con componentes externos para obtener voltajes y corrientes ajustables. La figura 6 muestra un dispositivo LM117 de uso común.

Este componente está incorporado en cada tarjeta para regular un voltaje de entrada a 3.3 VDC, con una regulación bajo carga de 0.4% máximo, lo que permite una caída de tensión de unos pocos milivoltios a carga completa. Adicionalmente su alta eficiencia, lo hace recomendable para ser utilizado con circuitos alimentados a baterías, como el caso de los dispositivos del Sistema Integrado de Atención al Paciente.

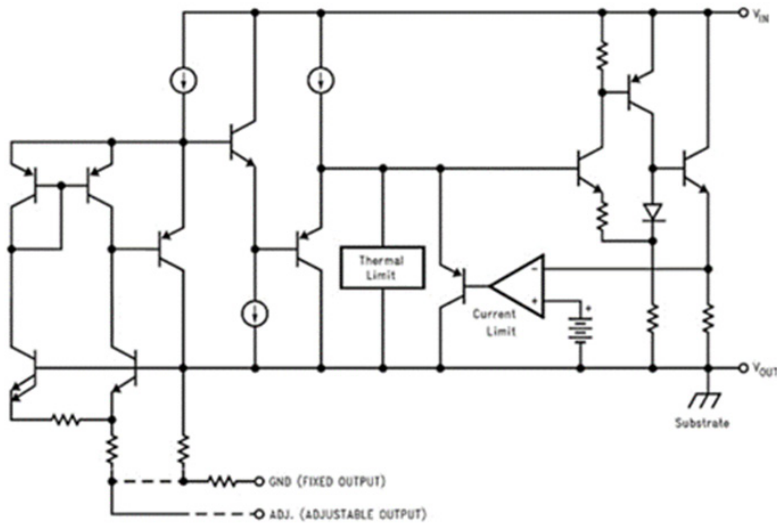


Figura 7. Diagrama de bloques del Regulador LM1117

Fuente: Texas Instruments

HDC1080: Sensor con comunicación I2C adecuada para la arquitectura del proyecto, con buena exactitud para temperatura de ambiente (± 0.2 a 0.4°C) y media exactitud ($\pm 2\%$) en HR, pero que está en los valores disponibles en muchos sensores de costo medio bajo y adecuado para la aplicación que se quiere trabajar.

Tiene una buena resolución (11bits/14bits) que puede ser seleccionable para disminuir el tiempo de respuesta (puede ser hasta casi el doble) y el consumo de energía. Para esta aplicación con 11 bits puede ser suficiente. Tiene modo de bajo consumo, pero su corriente en este modo es relativamente alta, del orden de 100 a 200nA, Tamaño mediano en este tipo de sensores (3x3mm), puede funcionar en sistemas de 3.3V y de 5VDC. Posee un calefactor para ayudar con los problemas de condensación en punto de rocío. Es ampliamente utilizado en electrónica de consumo en dispositivos para aplicaciones similares a la que se está trabajando. Es de un muy buen y reconocido fabricante (Texas Instruments - TI). El rango de HR va hasta al 100% pero no opera con condensación, porque puede producir contaminación de la ventana de medición. La figura 8 muestra un sensor HDC1080 de Texas Instruments.



Figura 8. Sensor HDC1080

Fuente: Texas Instruments

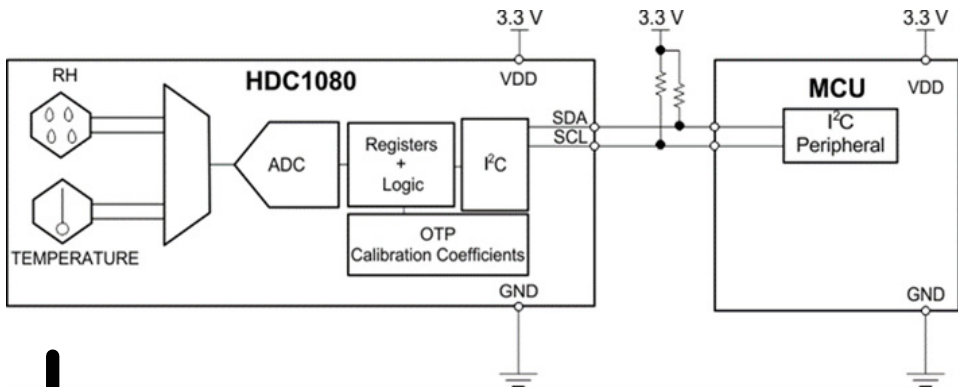


Figura 9. Diagrama de bloques del Sensor HDC1080.

Fuente: Texas Instruments

El calentador ayuda a eliminar la condensación, pero si la ventana tiene polvo, este efecto de líquido y luego evaporación puede crear depósitos de contaminación. No está claro si llegar a este punto afecta permanentemente al sensor, en las pruebas realizadas no se evidencia afectación por esto. La histéresis (diferencia cuando está en la curva de subida y la de bajada), es baja, del orden del 1%, la figura 9 muestra un diagrama de bloques del Sensor HDC1080.



Figura 10. IOT Stack

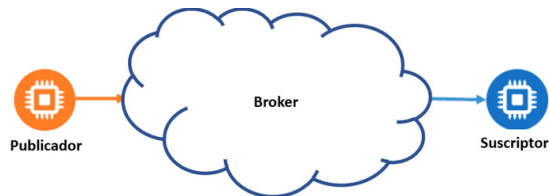


Figura 11. Base del protocolo MQTT

3.4 DESARROLLO DEL SISTEMA

Los dispositivos IOT ESP-32, son configurados y programados utilizando el lenguaje de programación embedded C, por el equipo de desarrollo electrónico, en estos se definen los datos que van a ser enviados y el tiempo de cada envío de datos, así como la conexión por donde se estarán emitiendo o publicando los datos y la calidad del servicio MQTT. Igualmente se establece un punto de acceso para configurar la ruta del tópico donde se publicarán los datos, desde la aplicación móvil La figura 10 muestra un IoT Stack general.

3.4.1 MQTT

MQTT corresponde a Message Queing Telemetry Transport aunque actualmente también se le llama MQ Telemetry Transport, se trata de un protocolo de comunicación para sistemas máquina a máquina M2M (machine-to-machine) de tipo cola de mensajes, que corresponde a una forma de comunicación asíncrona de servicio a servicio utilizada en arquitecturas de microservicios y de arquitecturas proveedor-suscriptor La figura 11 muestra una descripción base de uso del protocolo MQTT.

Está basado en la pila TCP/IP como base para la comunicación. En el caso de MQTT cada conexión se mantiene abierta y se “reutiliza” en cada comunicación. Es una diferencia, por ejemplo, a una petición HTTP 1.0 donde cada transmisión se realiza a través de conexión. MQTT fue creado por el Dr. Andy Stanford-Clark de IBM y Arlen Nipper de Arcom (ahora Eurotech) en 1999 como un mecanismo para conectar dispositivos empleados en la industria petrolera. Aunque inicialmente era un formato propietario, en 2010 fue liberado y pasó a ser un estándar en 2014 según la OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards).

3.4.2 Broker MQTT

Los dispositivos electrónicos envían datos al servidor Broker MQTT a través de WebSocket, y este a su vez envía las respuestas que se deban enviar a los dispositivos.

MQTT proporciona un método ligero para llevar a cabo la mensajería utilizando un modelo de publicación/suscripción. Esto lo hace adecuado para la “Internet de las cosas” o IOT de mensajería como con sensores de baja potencia o dispositivos móviles como teléfonos, ordenadores embebidos o microcontroladores como el ESP-32.

El Broker es el servidor que acepta mensajes publicados por clientes y los difunde entre los clientes suscritos. El protocolo MQTT funciona sobre TCP/IP o sobre otros protocolos de red con soporte bidireccional y sin pérdidas de datos. Para filtrar los mensajes que son enviados a cada cliente los mensajes se disponen en tópicos organizados jerárquicamente. Un cliente puede publicar un mensaje en un determinado tópico. Otros clientes pueden suscribirse a este tópico, y el Broker le hará llegar los mensajes suscritos. La figura 12 muestra las conexiones en MQTT tal como se utilizan en el proyecto.

Los dispositivos ESP-32 son configurados para suscribirse a un tópico y publicar datos sobre este, los datos llegan al Broker MQTT de manera permanente y los usuarios se pueden suscribir a los tópicos para ver la información que se está publicando.

Los datos que son emitidos por el Broker MQTT son indexados en Elasticsearch, y este envía los datos a través de la API a la Base de datos MySQL Server. Durante una operación de indexación, convierte datos sin formato, como archivos de registro o archivos de mensajes, en documentos internos y los almacena en una estructura de datos básica similar a un objeto JSON. Cada documento resultante es un conjunto simple de claves y valores correlativos: las claves son cadenas y los valores son uno de los numerosos tipos de datos: cadenas, números, fechas o listas.

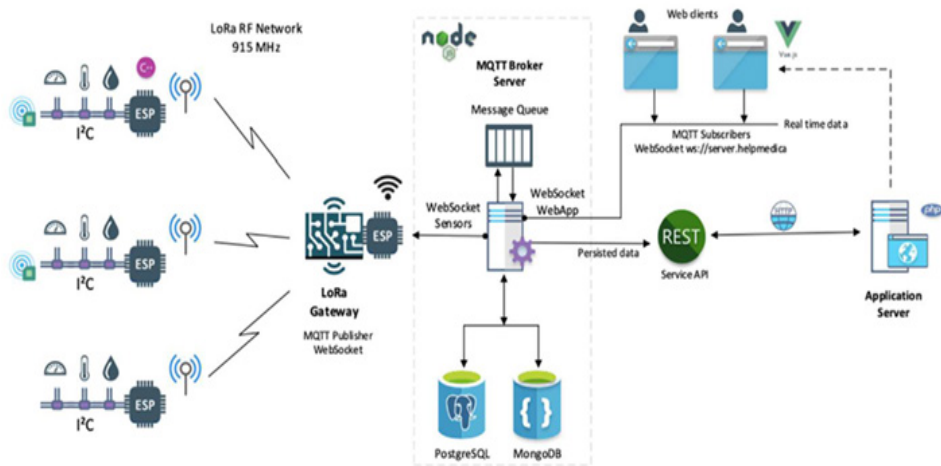


Figura 12. Conexión MQTT

Los dispositivos ESP-32 son configurados para suscribirse a un tópico y publicar datos sobre este, los datos llegan al Broker MQTT de manera permanente y los usuarios se pueden suscribir a los tópicos para ver la información que se está publicando.

Los datos que son emitidos por el Broker MQTT son indexados en Elasticsearch, y este envía los datos a través de la API a la Base de datos MySQL Server. Durante una operación de indexación, convierte datos sin formato, como archivos de registro o archivos de mensajes, en documentos internos y los almacena en una estructura de datos básica similar a un objeto JSON. Cada documento resultante es un conjunto simple de claves y valores correlativos: las claves son cadenas y los valores son uno de los numerosos tipos de datos: cadenas, números, fechas o listas.

Kibana es un framework visual que permite visualizar los datos almacenados en Elasticsearch y navegar a través de la Stack de Slatic. Se utiliza para buscar, ver y visualizar datos indexados en Elasticsearch y analizar los datos a través de la creación de gráficos de barras, gráficos circulares, tablas, histogramas y mapas. Una vista de dashboard combina estos elementos visuales para luego compartirlos a través del navegador y brindar vistas analíticas en tiempo real de grandes volúmenes de datos para dar soporte a casos de uso como logging y analíticas de log, métricas de infraestructura y monitoreo de contenedores, monitoreo de rendimiento de aplicaciones

(APM), análisis y visualización de datos geoespaciales, analítica de Seguridad, analítica de Negocios.

Con Kibana se visualizará la información que llega del Broker MQTT y que ha sido indexada en Elasticsearch, Kibana habilita el análisis visual de los datos de un índice de Elasticsearch o varios índices. Los índices se crean cuando Logstash (un ingestador a gran escala) o Beats (una recopilación de agentes de datos de propósito único) ingesta datos no estructurados de archivos de log y otras fuentes, y los convierte a un formato estructurado para las funcionalidades de búsqueda y almacenamiento de Elasticsearch. La figura 13 muestra la arquitectura de la información y de arquitectura del sistema.

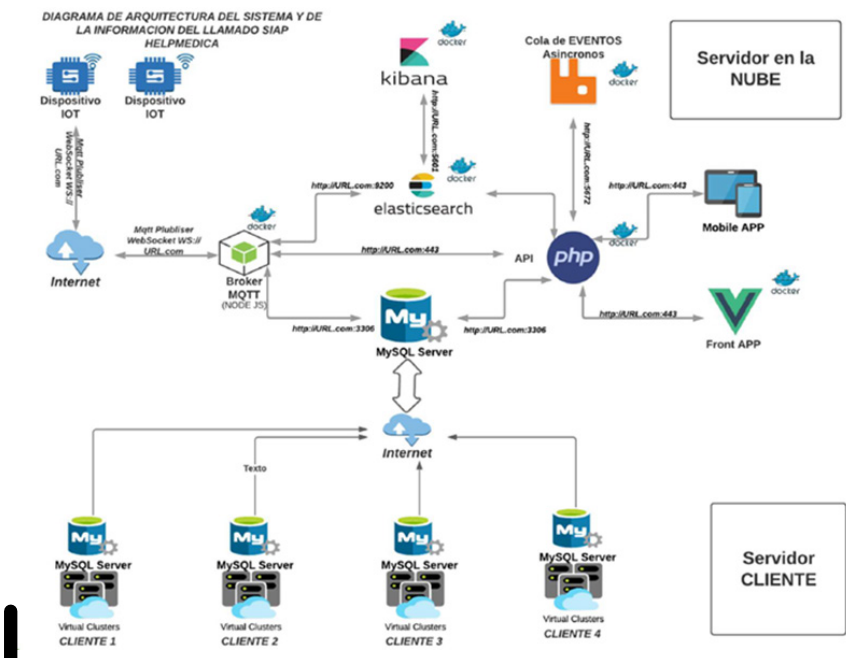


Figura 13. Arquitectura de la información y de arquitectura del sistema

Una vez soldados el ESP32 con sus resistencias de 10 KΩ en el pin EN y el GPIO 0, se usó el pin GPIO 27 como pin de interrupción que, al quedar inactivo, pone al esp32 en el estado de sueño profundo (Deep sleep) con un consumo mínimo de corriente. El consumo en inicio del ESP32 medido es de 38 mA aproximadamente cuando se encontraba activo y 10.8 uA en el modo Deep sleep durante las pruebas realizadas. Para el diseño de la placa se utilizó una metodología iterativa en espiral, donde se modifica y



Figura 14. Instalación del sistema SIAP.

corrige el diseño y se elabora un nuevo prototipo. Se diseñaron y construyeron prototipos de las placas en algunos casos de más de diez versiones, y en cada una de ellas se realizaron pruebas. A partir de los resultados de estas pruebas se van corrigiendo y modificando los diseños, se construye un nuevo prototipo y se prueba nuevamente, hasta obtener la versión definitiva de cada placa de circuito impreso requerida.

Cada habitación de los pacientes tiene una unidad de llamada de enfermería inalámbrica, como se muestra en las imágenes 4 y 7 de la Figura 14, una unidad de llamado de enfermería en el baño de la habitación, como se muestra en la imagen 6 de la Figura 14. Así mismo, en la imagen 1 de la Figura 14, se observa el monitor donde se muestran las solicitudes y su estado, este monitor se encuentra ubicado en la central de enfermería del piso. La imagen 3 de la figura 14 muestra la luz de aviso ubicada en el pasillo a la entrada de la habitación, y la imagen 2 de esta misma figura muestra el dispositivo sensor de temperatura y humedad relativa de la habitación, para determinar el confort térmico, y la imagen de la figura 14 muestra la cabecera de la cama del paciente con los equipos instalados.



BIBLIOGRAFÍA

- Halder, S., Das, A. *IoT on e-health: Application and security challenges* (2019). *International Journal of Information Science and Computing*, 6(2), 45-52.
- Aref, M. H., El-Shinnawi, A. A., Sharawi, A. A. (2018). *Wireless Nurse Call System in Medical Institutions*. *American Journal of Biomedical Research*, 6(2), 40-45.
- Kleve, G.R. *How Safe is Our Nurse Call System?* (2017) *Procedia Engineering*, 179, pp. 34-40. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.093
- Company G. E., *System and method for protocol adherence*, uS20180174682A1 (May 1 2018). URL <https://patents.google.com/patent/US20180174682A1/>
- Aiphone Co. L., *Nurse call system*, uS20200258619A1 (May 2 2020). URL <https://patents.google.com/patent/US20200258619A1>
- lpc 2221 para diseño de pcb como usarla y actualización. URL <https://www.aldestatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/norma-ipc-2221b-para-diseno-de-pcb-actualizacion/>
- Kumbhar, A. *Overview of ISM Bands and Software-Defined Radio Experimentation* (2017) *Wireless Personal Communications*, 97 (3), pp. 3743-3756. DOI: 10.1007/s11277-017-4696-z
- Bobkov, I., Rolich, A., Denisova, M., Voskov, L. *Study of LoRa Performance at 433 MHz and 868 MHz Bands Inside a Multistory Building* (2020) *Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2020 - Proceedings*, art. no. 9067427. DOI: 10.1109/MWENT47943.2020.9067427
- Adi, P.D.P., Kitagawa, A. *A performance of radio frequency and signal strength of LoRa with BME280 sensor* (2020) *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 18 (2), pp. 649-660. DOI: 10.12928/telkomnika.v18i2.14843
- Cama-Pinto, D., Damas, M., Holgado-Terriza, J.A., Gómez-Mula, F., Calderin-Curtidor, A.C., Martínez-Lao, J., Cama-Pinto, A. *5g mobile phone network introduction in Colombia* (2021) *Electronics (Switzerland)*, 10 (8), art. no. 922. DOI: 10.3390/electronics10080922

- Barrios-Ulloa, A., Cama-Pinto, D., Mardini-Bovea, J., Díaz-Martínez, J., Cama-Pinto, A. Projections of iot applications in colombia using 5g wireless networks (2021) *Sensors*, 21 (21), art. no. 7167. DOI: 10.3390/s21217167
- Arrubla-Hoyos, W., Ojeda-Beltrán, A., Solano-Barliza, A., Rambauth-Ibarra, G., Barrios-Ulloa, A., Cama-Pinto, D., Arrabal-Campos, F.M., Martínez-Lao, J.A., Cama-Pinto, A., Manzano-Agugliaro, F. Precision Agriculture and Sensor Systems Applications in Colombia through 5G Networks (2022). *Sensors*, 22, 7295. <https://doi.org/10.3390/s22197295>
- Atif, Muhammad, et al. "Wi-ESP—a tool for CSI-based device-free Wi-Fi sensing (DFWS)." *Journal of Computational Design and Engineering* 7.5 (2020): 644-656.
- Ahsan, Mominul, et al. "Smart monitoring and controlling of appliances using LoRa based IoT system." *Designs* 5.1 (2021): 17



CAPÍTULO IV

“Plataforma tecnológica como apoyo a la atención de pacientes hospitalizados”

*Eugenia Arrieta Rodríguez - Luis Fernando Murillo
Gustavo Adolfo Castañez Orta*

4.1 INTRODUCCIÓN

El producto de software se utilizará para realizar seguimiento y control en los procesos de seguridad del paciente en las Instituciones Prestadoras de Servicio en Salud (IPS) con el fin apoyar, desde una herramienta software y dispositivos electrónicos la operación y gestión en torno a los eventos adversos y llamado de enfermería. Esto incluye el diseño, construcción, pruebas, validación e implementación de una aplicación web, móvil, y dispositivos electrónicos conectados para conformar el Sistema Integral para la Atención de Pacientes.

En este capítulo se describe el proceso de desarrollo de software aplicado en la construcción de la plataforma para la gestión de la seguridad del paciente. Iniciando con la comprensión de las necesidades e intereses de algunos hospitales en la ciudad de Cartagena. A su vez, se articula con lo establecido en la normatividad Colombiana alrededor de la seguridad del paciente y eventos adversos en el proceso de atención clínica hospitalaria.

De igual forma, se selecciona una metodología ágil para el desarrollo de software, la cual permite hacer entregas de valor quincenalmente, basado en los requerimientos de los interesados listados inicialmente en un backlog o 'pila'. Como resultado de este proceso de comprensión se elabora el documento de especificación de requerimientos en el cual se establece con claridad cada una de las funcionalidades y módulos con los que debe contar la plataforma.

Por otra parte, se describen las arquitecturas de alto nivel que se usaron e integraron para facilitar el proceso de desarrollo de software y resolver algunos retos relacionados con la funcionalidad.

Para el proceso de codificación se incorpora el modelo arquitectónico MVC (Modelo Vista Controlador) y bajo los principios SOLID y buenas prácticas de codificación se construyen las funcionalidades que dan respuesta a los requerimientos funcionales.

Finalmente, se describe el proceso de pruebas aplicados e integración de la plataforma web con la aplicación móvil, los sensores y dispositivos, como un sólo sistema o solución.

4.2 ANTECEDENTES

El desarrollo tecnológico ha sido de gran ayuda en el sector de la salud, especialmente en el cuidado de los pacientes. Muchas herramientas tecnológicas se han convertido en un elemento indispensable para propiciar mayor competitividad y transformación de la prestación de los servicios en salud. El uso de tecnología en las instituciones prestadoras de la salud beneficia en gran medida a toda la población, especialmente a la más vulnerable.

Las entidades gubernamentales cada vez promueven más el uso de herramientas que permitan minimizar el error humano que pueda generar eventos adversos que pongan en riesgo la vida del paciente. Y muchas instituciones y profesionales han tomado este camino de la innovación en sus procesos mediante estas estrategias, pero la gran mayoría aún no se decide a invertir en este tipo de soluciones por razones como los costos y la sobredimensión del alcance de estas tecnologías. Es necesario que las empresas conozcan claramente las necesidades de su negocio y el análisis de los costos que esto implica. Por lo anterior, la revisión de la literatura y la vigilancia tecnológica se constituyen como una herramienta útil para la toma de decisiones y conocer tecnologías, tendencias y experiencias de éxito desarrolladas para el sector salud. A continuación se describen algunas patentes de sistemas que integran lot y monitoreo hospitalario.

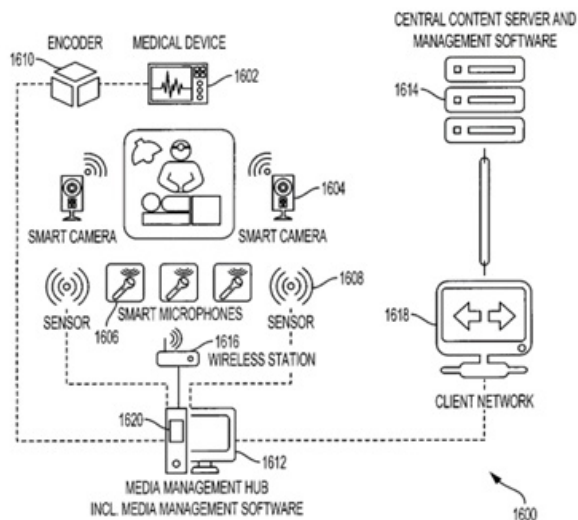


Figura 1. Esquema del sistema de dispositivo de caja negra para sala de operaciones.

Esta patente titulada “OPERATING ROOM BLACK-BOX DEVICE, SYSTEM, METHOD AND COMPUTER READABLE MEDIUM” con número 044920 de 2016 (WO/2016/044920) de la compañía SURGICAL SAFETY TECHNOLOGIES INC. de Canadá (GRANTCHAROV, n.d.). Se refiere a un registrador y codificador multicanal para recopilar, integrar, sincronizar y registrar datos médicos o quirúrgicos recibidos como flujos de datos independientes en vivo o en tiempo real desde diversos dispositivos de hardware. Tales como interfaces de control, cámaras, sensores, dispositivos de audio y hardware de monitoreo de pacientes. Otros sistemas de ejemplo pueden incluir una plataforma basada en la nube que se incorporen al codificador (Ver figura 1).

Por otro lado, (Unterberger et al., n.d.) presenta una patente con número 20200012396 de 2020 (US20200012396) de la compañía ASCOM AB de Suecia, se refiere a un dispositivo para un sistema de llamada a la enfermera, en el que el dispositivo comprende: una funcionalidad básica de llamada a la enfermera; y un visor integrado adaptado para proporcionar acceso al menos a un sistema externo al sistema de llamada a la enfermera para proporcionar al dispositivo una funcionalidad adicional. La funcionalidad central de llamada a la enfermera puede incluir, entre otras cosas, la creación de alertas y eventos, visualización de alertas, creación y gestión de flujos de trabajo, establecimiento de comunicación de audio con otro dispositivo y megafonía,

tal como se realiza mediante varios componentes, incluidos software y/o hardware del dispositivo. (Ver figura 2).

Otra patente relevante es (OMI et al., n.d.) con número 20170135889 de 2017 (US20170135889) de la compañía NEC Platforms, Ltd. de Japón, se refiere a los sistemas de llamadas a enfermeras donde es posible la comunicación entre una pluralidad de unidades esclavas y una pluralidad de terminales de extensión, se han conectado entre sí un controlador de llamadas a enfermeras que atiende a las unidades esclavas y una centralita privada que atiende a los terminales móviles mediante un adaptador de llamadas a enfermeras. Se proporciona una unidad de interfaz que está conectada a un controlador de llamadas de enfermería a través de una pluralidad de interfaces básicas de una Red Digital de Servicios Integrados, conectada a una centralita privada a través de una interfaz de velocidad primaria, y realiza conversión de interfaz entre ellas (ver figura 3).

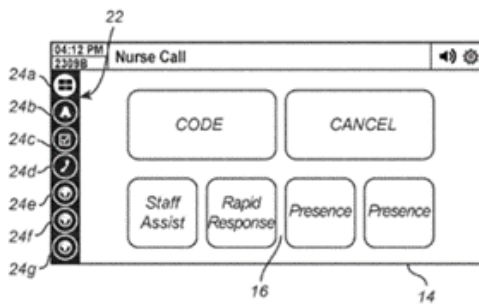


Fig. 4a

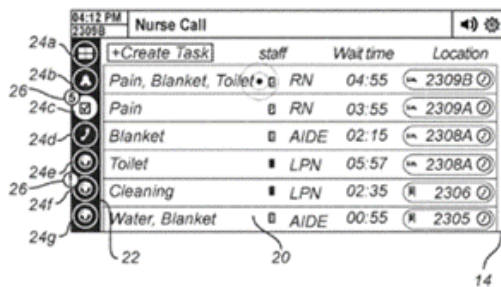


Figura 2. Dispositivo para sistema de llamado de enfermería.

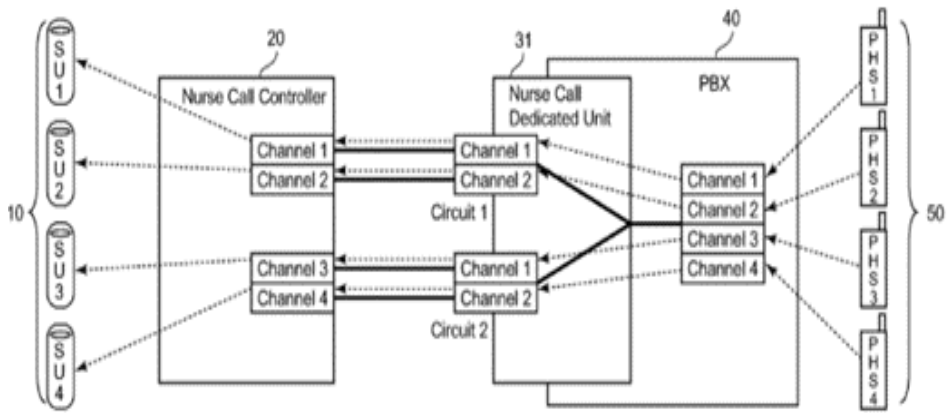


Figura 3. Esquema del sistema de llamada a enfermera, unidad de interfaz y conexión de llamada a enfermera.

4.3 METODOLOGÍA ÁGIL PARA EL DESARROLLO DE SOFTWARE

El modelo de ciclo de vida adoptado en el desarrollo de la plataforma web fue incremental ya que se construyó de manera particular cada módulo, lo cual permite realizar entregas al interesado de forma progresiva. Consiste en segmentar el trabajo en pequeñas etapas cíclicas o iteraciones.

Algunas de las ventajas son de usar esta metodología son:

- Ofrece menos riesgos, ya que se va construyendo por módulos y no una totalidad del sistema.
- El desarrollo independiente de las funcionalidades, hace más fácil relevar los requerimientos del usuario.
- Si se detecta un error grave, sólo se desecha la última iteración y se puede iniciar el desarrollo sin disponer de los requerimientos de todas las funcionalidades, lo cual facilita la labor del desarrollo.

Adicionalmente, las metodologías ágiles emplean retroalimentación en lugar de planificación, como principal mecanismo de control. La retroalimentación se canaliza por medio de pruebas periódicas y frecuentes versiones del software. De hecho, se trata de metodologías aplicables a numerosos tipos de actividades humanas, y no solamente al desarrollo de software.

Teniendo en cuenta este planteamiento se selecciona una técnica de las metodologías ágiles denominada SCRUM. Por lo cual, la gestión del proyecto se realiza mediante reuniones cíclicas que a la manera tradicional son conocidas como iteraciones, pero en esta metodología se denominan “sprints”.

SCRUM se basa en la adopción de roles por parte de quienes intervienen en el proceso de desarrollo (tanto de la parte cliente como del equipo que construye el proyecto). Cada actor interviene según las pautas del rol que se le ha asignado. Los procesos se realizan empleando artefactos y los hitos de desarrollo se denominan eventos.

(Carmen Lasa Gómez et al., 2017) SCRUM se divide básicamente en dos grandes etapas: la preparación *también llamado spring 0* y las iteraciones denominadas *Sprints* estas se consolidan como entregas o *Release* (ver figura 4).

El Spring 0 tiene como objetivo principal la definición de la financiación, el personal, las herramientas, medios, viabilidad y el alcance del proyecto. Otro objetivo de esta etapa es definir el contenido del trabajo mediante la primera versión el *Product Backlog* que contiene la lista de las funcionalidades macro del proyecto.

La segunda etapa consiste en la definición de los *Sprints* que consiste en reuniones de seguimiento y verificación del cumplimiento de los compromisos entre el equipo de trabajo y el interesado. El alcance del trabajo de cada *Spring* se determina entre el *Product Owner* teniendo como referencia la priorización de las tareas del *Product Backlog*. Durante el spring se desarrollan tres etapas que consisten en:

- *Spring Planning*: consiste en la revisión preliminar del *Backlog* por parte del *Product Owner* y su objetivo es la priorizar las historias de usuario de acuerdo a la complejidad y el estimación del esfuerzo.
- *Daily Metting*: la dinámica de trabajo de scrum implica que cada miembro del equipo selecciona la siguiente tarea a desarrollar en acuerdo con los demás para no repertir asignaciones. Se plantea como una serie de reuniones con frecuencia diaria o con otra frecuencia en caso de requerirse, es una reunión breve donde

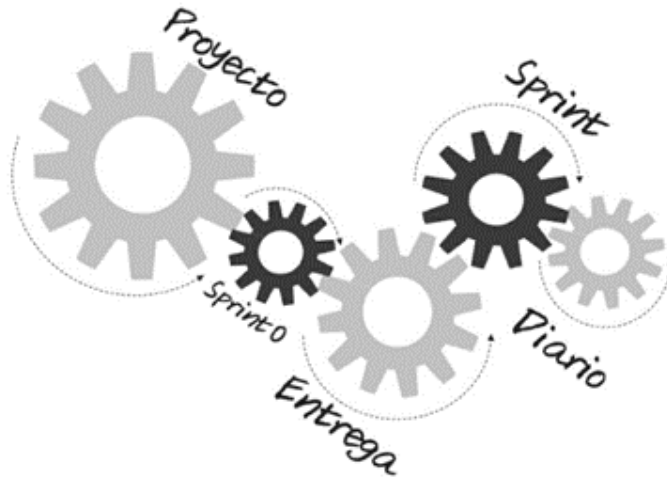


Figura 4. Ciclo del proceso Scrum.

Review: revisión del resultado del sprint y la forma de lograrlo, participan los interesados o *Stakeholders*, el equipo *Scrum*, se enfoca repasar el resultado obtenido (desarrollo, diseño, documentos, etc.) y los criterios de aceptación, teniendo en cuenta cada una de las historias de usuarios del *Backlog*. Al final se indica si se cumplió el objetivo y se marcan las historias de usuario completadas y en caso de que no se acepten, se determinan los elementos pendientes que se tratarán en el próximo *Sprint*.

La aplicación de una metodología en la realidad no es una tarea sencilla, sobre todo porque las necesidades del proyecto y las condiciones de cada proyecto no siempre son ideales, por tanto en este proyecto se adopta la metodología SCRUM, y se lleva a cabo bajo los principios de esta misma, pero con algunas variantes. En este trabajo dadas las características de los recursos humanos implicados, que imposibilitan un plan de reuniones tan estricto como el modelado original requiere.

A continuación se presentan los roles del equipo de trabajo del desarrollo de la plataforma conforme a los roles establecidos por la metodología SCRUM:

- **Product owner** o dueño del producto, persona que conoce a fondo el flujo del proceso a automatizar. Las reuniones con el *product owner* se realizan de manera constante para aclarar dudas, confirmar el flujo y encontrar solución

a posibles escenarios no detectados previamente. A su vez el *product owner* cuenta con la colaboración de personal asistencial lo cuáles participan activamente dentro del proceso de gestión del paciente con el fin de corroborar datos, evidenciar algún *gap*, y refinar el proceso.

- **Scrum máster:** Debido a que el proyecto adaptó el marco de trabajo acorde a sus necesidades, no fue necesario incorporar un rol que se ocupara un 100% en esta labor. De hecho, este es uno de los roles que tiende a desaparecer dentro del marco de trabajo adaptado por el proyecto. Por lo que no fue imprescindible contar con una persona a tiempo completo para ello. Actividades de control y seguimiento fueron realizadas por participantes del proyecto para velar por el alcance, el presupuesto y los tiempos.
- **Team:** El equipo de desarrollo está compuesto por personal técnico que posee el conocimiento y la experiencia para poner en marcha de desarrollo de software web, mobile y la integración con el hardware:

Roles:

- »» Arquitecto
- »» Desarrolladores backend
- »» Desarrolladores frontend
- »» Desarrollador mobile
- »» Analista de pruebas
- »» Diseñador gráfico

4.4 PLANIFICACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y DESARROLLO

Dado que este trabajo presenta el desarrollo de una plataforma integrada que consta de un componente de hardware y de software, se plantea el diseño y el desarrollo de los mismos como flujos por separados, pero que al final se integran formando una solución.

A continuación, en la figura 5 se presenta el diagrama de flujo del proceso, en el cual, el arquitecto tiene un papel fundamental como es la definición de las tecnologías, servicios, metodología, APIS y la arquitectura misma.



Figura 5. Proceso de diseño y desarrollo de software.

Por su parte, el proceso de diseño y desarrollo del hardware incluye tanto diseño de las carcasas, materiales a usar, construcción de la arquitectura, selección de dispositivos y desarrollo de circuitos electrónicos. A continuación se muestra el diagrama (ver figura 6).

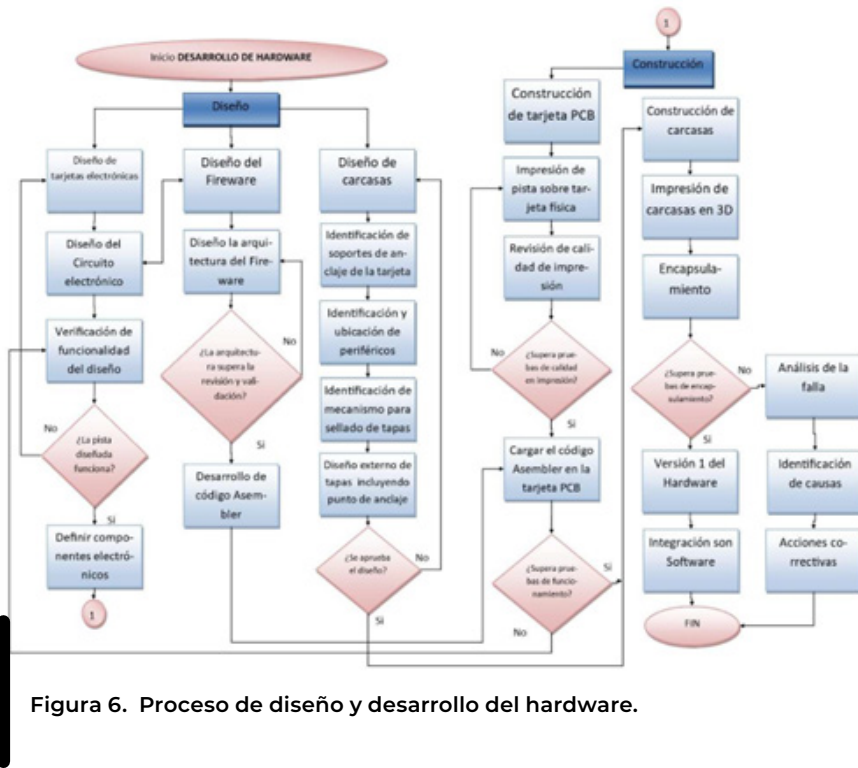


Figura 6. Proceso de diseño y desarrollo del hardware.

4.5 PROCESO DE ELICITACIÓN DE REQUISITOS DEL SOFTWARE Y HARDWARE

Este proceso tiene como objetivo conocer el contexto de la problemática a abordar, conocer las necesidades del cliente o interesado, definir el alcance y limitaciones del producto esperado, requisitos funcionales y no funcionales. Para el proceso de elicitación de requisitos se contó con la participación de hospitales de primer y segundo nivel de atención en Bolívar.

4.5.1 Entendimiento del negocio

El producto desarrollado en este proyecto busca ser un complemento al programa de seguridad del paciente implementado en los hospitales actualmente, haciendo uso de una plataforma que integre la sistematización del proceso de vigilancia, identificación y prevención del riesgo; dispositivos electrónicos y de hardware; y una arquitectura en la nube. Con lo cual se espera mejorar dicho proceso y ofrecer al paciente

un ambiente hospitalario con mayor seguridad y menor riesgo. Al igual que el mejoramiento de los indicadores hospitalarios de las instituciones, asociados a la seguridad del paciente.

En este proyecto se contó con unas especificaciones iniciales expresadas por el *stakeholder*, las cuales se mencionan a continuación como funcionalidades generales del sistema y que integran aspectos tanto del hardware como del software.

- *Módulo de llamado de enfermería* que integra equipos de hardware, alarmas o notificaciones para el personal de enfermería y administrativo, recepción de los datos emitidos por los dispositivos para medición de temperatura, humedad y demás. Debe contar con trazabilidad del confort térmico experimentado por el paciente.
- *Módulo de reporte y gestión de falla de equipos* o infraestructura, de equipos biomédicos y daños en infraestructura del lugar, donde se encuentre instalado.
- *Módulo de indicadores de los eventos adversos* que se definan por las entidades. Se requiere la trazabilidad de los daños reportados Vs. ejecutados, junto con reportes, gráficos, diagramas.
- *Módulo de gestión de dietas* alimentarias al paciente de acuerdo a la condición de salud y recomendaciones médicas. Debe contar con manejo de códigos QR que contiene información del control de alimentación establecido a los pacientes inscritos en la habitación.
- *Interfaz del paciente* que le permita interactuar con el personal asistencial (debe funcionar en dispositivos móviles).
- *Módulo para verificación de disponibilidad de camas*, lo cual indica que debe hacer interfaz con los sistemas de información hospitalarios de la institución.
- *Módulo de alertas* para el personal de la salud, que indique por ejemplo si se ha detectado de manera prolongada una temperatura inadecuada, detección de incendio a todas las terminales conectadas a la red, alertas del evento por caídas.
- *Módulo administrativo* para cada una de las entidades donde configurar los datos de la entidad, credenciales de acceso y la creación de los usuarios que van a usar la aplicación.
- El sistema debe integrar tecnologías como internet de las cosas (IoT) y computación en la nube.

- La plataforma se debe construir teniendo en cuenta el proceso de atención intrahospitalario, es decir, que esta etapa no contempla el uso de la plataforma para servicios extramurales, aun así el diseño debe permitir la escalabilidad del producto.
- Se plantea que debe ser accesible desde cualquier computador con acceso a internet
- Debe tener una ventana de autenticación en la que las entidades entrarán con su usuario y contraseña.
- Tanto el diseño como el desarrollo de la aplicación debe responder a los requerimientos definidos en este proceso.
- La aplicación será modular para facilitar la implementación en los clientes potenciales, de acuerdo los recursos físicos y recursos humanos con el que se cuente.

En resumen, el producto de software se utilizará para realizar seguimiento y control en los procesos de seguridad del paciente en las Instituciones Prestadoras de Servicio en Salud (IPS) con el fin apoyar, desde una herramienta software y dispositivos electrónicos la operación y gestión en torno a los eventos adversos y llamado de enfermería. Esto incluye el diseño, construcción, pruebas, validación e implementación de una aplicación web, móvil, y dispositivos electrónicos conectados para conformar el Sistema Integral para la Atención de Pacientes.

45.2 Funciones del producto

Para determinar el alcance del proyecto se definieron las funciones delimitadas por módulos o componentes.

Central de Monitoreo:

- Llamado de enfermería.
- Monitoreo confort térmico
- Alarmas o notificaciones relacionadas a los módulos,
- Dispositivo fijo por cama para facilitar el llamado a enfermería
- Reporte de fallas de equipos o infraestructura
- Sistema de Gestión de Dietas.

Panel de control para el paciente:

- Dispositivo (Tablet). Interfaz para facilitar la interacción con personal asistencial.
- Alertas y notificaciones del llamado: código azul, código rojo, dar de alta a un paciente
- Verificación disponibilidad de camas
- Código QR que contiene información del control de alimentación establecido a los pacientes inscritos en la habitación
- Reportes por daños de equipos biomédicos
- Reportes por daños en infraestructura del lugar, donde se encuentre instalado
- Notificaciones de los datos de temperatura y humedad de la habitación
- Lector RFID para seguimiento de la atención prestada por el personal asistencial y los médicos especialistas.
- Notificación de eventos del sitio donde haya instalado (ej: baños)

Instalación de luz de pasillo:

Carcasa resistente y mejor intensidad de luz para mayor visibilidad al momento de un llamado del paciente.

Monitoreo del Confort Térmico en las habitaciones:

- Integración con el software, en tiempo real de la temperatura y humedad relativa de la habitación
- Trazabilidad del confort térmico experimentado por el paciente
- Generación de alertas sobre variaciones en la temperatura ideal
- Alertas si se ha detectado de manera prolongada una temperatura inadecuada.

Monitoreo de Incendios:

- Detección de incendios a través del monitoreo de la temperatura ambiente de la habitación
- Implementación de un sistema de detección de humo
- Alertas y notificaciones de detección de incendio a todas las terminales conectadas a la red.
- Implementación de un protocolo de evacuación adecuado para la institución.

Sistema de reporte de fallas de equipos o infraestructura:

- Reporte de fallas de equipos o infraestructura del área o habitación
- Notificación al personal de mantenimiento o responsable de infraestructura.
- Trazabilidad de los daños reportados Vs. ejecutados.

Sistema de Gestión de Dietas:

- Verificar y controlar suministro de dietas según indicaciones del personal médico
- Reporte de dieta del paciente
- Empresa contratista con acceso a las dietas de pacientes
- Control de entregas con código QR para la verificación.
- Generación de alertas en anomalías de la entrega (tiempos, tipos de dieta, no entrega por ausencia del paciente).

Gestión de indicadores:

- Generación de indicadores de eventos adversos
- Reportes, gráficos, diagramas.

Integración con software de historia clínica:

- Plataforma abierta para ser integrada con software de historias clínicas existentes.

En respuesta a la metodología SCRUM para el desarrollo de software se usó la plataforma JIRA como soporte al proceso de organización, planeación, asignación, seguimiento y descripción de las historias de usuario o requerimientos del usuario.

4.5.3 Actores

En este proceso intervienen los siguientes actores:

Entidad: Entidad o instituto prestador de salud que brinde atención al paciente, este configura sus datos y en su sesión es donde se crean los usuarios que pertenecen a esta, la entidad podrá ver las atenciones que se le prestan a un paciente desde cualquier otra entidad suscrita al software. La entidad podrá modificar los datos de los médicos y cambiar contraseña (administración de usuarios).

Enfermería: que puede ser la enfermera jefe o auxiliares de enfermería, encargados de la vigilancia y atención del paciente

Admisionistas: quienes se encargan del proceso de admisión, asignación de camas y egreso administrativo del paciente.

Paciente: es la gestante que solicita la atención.

Líder del programa de seguridad paciente: es quien vigila y garantiza el cumplimiento de los lineamientos del programa de seguridad del paciente. Gestiona los eventos, analiza los indicadores y propone mejoras en el proceso.

Médicos: quienes evalúan la condición clínica del paciente y definen la conducta o plan de tratamiento.

4.5.4 Restricciones

Las Interfaces a otras aplicaciones: debe permitir exportar la información de las historias clínicas de un paciente a software de historias clínicas de otras entidades

- **Fiabilidad:** la información del sistema debe tener un alto grado de fiabilidad debido a que es información sensible asociada a la condición clínica del paciente.
- **La seguridad y consideraciones de seguridad:** acceso y condiciones, limitaciones de acceso al software. Debe soportar compatibilidad por lo menos con los navegadores IE 11 y Chrome (versión 87 en adelante).
- **No deben ingresar a la aplicación usuarios sin credenciales,** es decir que debe garantizarse la autenticación. Y debe garantizar que cada usuario sólo podrá acceder a los privilegios asignados a su nivel de usuario.
- **Los dispositivos deben poder integrarse a la red inalámbrica propia del sistema,** debe garantizarse que todos los dispositivos pueden conectarse sin problema y no generar conflictos de identificación entre ellos.
- **Los dispositivos del sistema no podrán ser controlados por dispositivos externos a los autorizados en la red del sistema.**

4.6 ARQUITECTURA DE SOFTWARE

El diseño arquitectónico en un contexto de ciencias computacionales, hace referencia a la relación entre elementos estructurales de mayor relevancia, estilos arquitectónicos, patrones de diseño que son la guía para el diseño y desarrollo del software, con el objetivo de garantizar aspectos de calidad y cumplimiento de los requerimientos del producto (Shaw & Garlan, 1986).

Mediante la arquitectura se pueden definir las tecnologías e integraciones según las necesidades del proyecto, garantizando la escalabilidad tanto a nivel de funcionalidades como de cambios de tecnología, de igual forma la arquitectura debe garantizar que la solución de software no se encuentre fuertemente acoplada.

4.6.1 Arquitectura Hexagonal

Como respuesta a esta necesidad se plantean las arquitecturas como microservicios, al utilizar este enfoque de arquitectura de microservicios tiene un impacto significativo entre la aplicación y la base de datos; ya que en lugar de contar con una base de datos compartida para múltiples servicios, se puede manejar por esquemas, donde cada servicio tiene su propio esquema de datos, facilitando ajustarse al modelo más conveniente conforme a la necesidad del servicio, de esta manera se consigue un bajo acoplamiento (González, 2018).

Atendiendo estos conceptos y luego de realizar un análisis, para la construcción de la plataforma SIAP se plantea una solución bajo una Arquitectura Hexagonal como se muestra en la figura 6. Este estilo arquitectónico promueve la modularidad o separación de la aplicación, al igual que la encapsulación de la lógica por capas, en la que cada capa cuenta con su propia responsabilidad, lo cual permite el aislamiento a mayor nivel, testabilidad y control sobre el código de negocio específico. Como cada capa tiene su grupo de responsabilidades, se facilita también la separabilidad entre la lógica y la funcionalidad.

En la figura 7 se muestra la arquitectura hexagonal, que es un tipo de arquitectura que se estructura en tres capas o niveles de profundidad. A continuación se describe cada una de ellas::

- **Dominio:** La capa de dominio es el núcleo de la aplicación, es responsable de mantener la consistencia del estado de los objetos del Dominio, es un modelo conceptual o representación de conceptos significativos para el contexto (Usuario, Producto, Carrito, etc.) y reglas de negocio que han de ser modelados en el software, y que vienen determinadas exclusivamente por los servicios de dominio. La capa de Dominio y su lógica de negocio definen el comportamiento y las restricciones de la aplicación en cuanto a la forma en que se van a comunicar las demás capas con esta.
- **Aplicación:** La capa de aplicación es donde viven los casos de uso de la aplicación (registrar usuario, publicar producto, añadir producto al carrito, etc.). Este se considera el punto de entrada a la lógica de negocio.

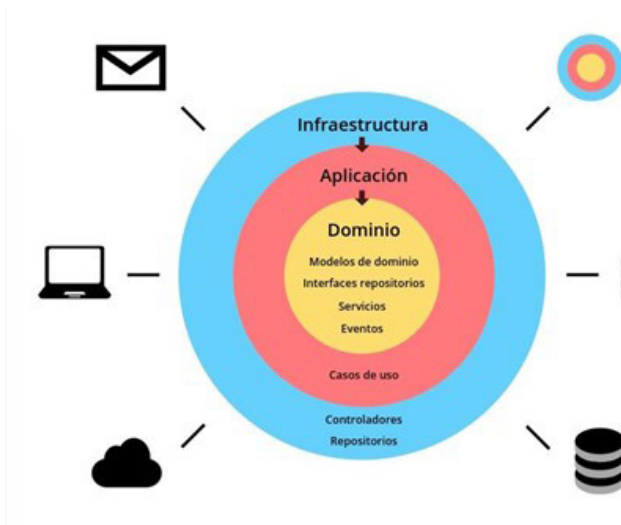


Figura 7. Diagrama de Arquitectura Hexagonal. Tomada de (Fidao, 2022).

- Infraestructura: Código que cambia en función de las decisiones externas. En esta capa vivirán las implementaciones de las interfaces que se definan a nivel de dominio. Esta capa sirve para transformar la comunicación entre actores externos (*vendors*) y la lógica de la aplicación, de forma que ambas quedan independientes. Es decir, se tendrá apoyo en el DIP (Principio de Inversión de Dependencias) de SOLID para poder desacoplar las dependencias externas.

La capa más externa es la de infraestructura, seguida de la capa de aplicación y la más profunda en la que se encuentra en core de la arquitectura, es la capa de dominio. Una forma de representarla es con círculos concéntricos uno dentro de otro, donde la regla que debe cumplirse es que la comunicación de las capas es de afuera hacia adentro, sólo se pueden comunicar con elementos que se encuentren en la misma capa o en la capa siguiente más interna, y no se pueden comunicar con una externa.

Es decir, que los elementos de la capa de infraestructura solo se pueden comunicar con otros elementos en su mismo nivel y con la capa de aplicación, a su vez, los elementos de la capa de aplicación solo se pueden comunicar con otros elementos en su mismo nivel y con la capa de dominio y los elementos de la capa de dominio sólo pueden comunicarse entre sí. La comunicación entre capas se realiza mediante interfaces o puertos, por esta arquitectura es también llamada arquitectura de puerto - adaptador.

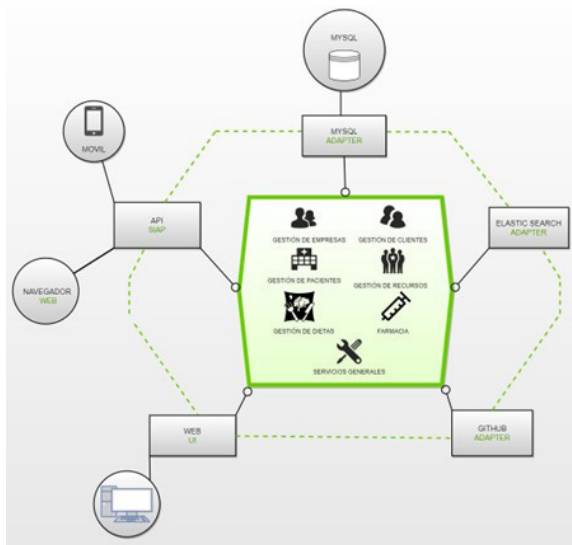


Figura 8. Diagrama de Arquitectura hexagonal del proyecto SIAP.

Al realizar el análisis de las necesidades del proyecto se plantea una solución modular bajo una arquitectura hexagonal, como se puede apreciar en la figura 8 (contreras, 2018). En el núcleo de la aplicación se encuentra la lógica de negocio, la cual está implementada por diferentes módulos. Alrededor del núcleo se encuentran los adaptadores que se encargan de comunicarse con el exterior (por ejemplo componentes de accesos a base de datos, componentes de manejo de mensajes, web, entre otros)

En este proyecto la arquitectura Hexagonal fue implementada en PHP con framework Laravel. La cual puede evidenciarse en la figura 9 en la que se muestra una carpeta src que es el core de la aplicación, dentro de esta se encuentran los diferentes módulos y a su vez dentro de cada módulo se encuentran los dominios o entidades, por ejemplo en la carpeta "Areas" se muestra claramente las tres capas de la arquitectura Hexagonal Infraestructure, Application y Domain. Los controladores y el repositorio, Eloquent que es ORM que mapea la estructura de una base de datos relacional, que para este proyecto es MySQL, en la capa de infraestructura y se usó para simplificar el acceso a los datos de las entidades; los casos de uso en la capa de aplicación; y el modelo de dominio Áreas, sus value objects y la interfaz con el repositorio en la capa de dominio.

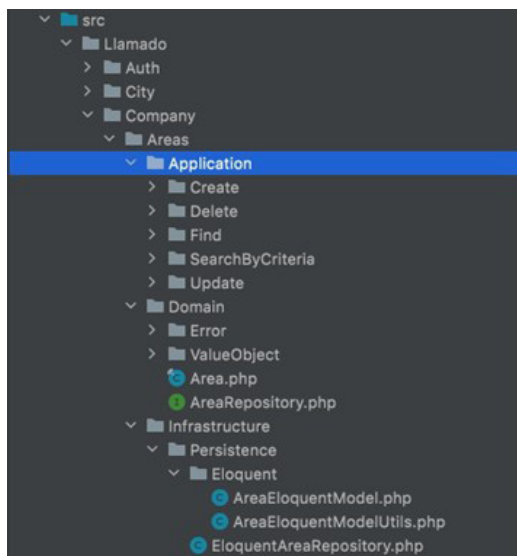


Figura 9. Capas de la arquitectura Hexagonal en el proyecto en Laravel.

4.6.2 Diagrama de componentes

Este diagrama de componentes detalla los elementos de comunicación y la integración de estos. Iniciando con los dispositivos IoT que se encargan de medir parámetros del entorno, como son la temperatura, humedad o dispositivos que emiten información como por ejemplo el llamado de enfermería. Estos dispositivos se conectan a un broker MQTT que funciona como servidor y proporciona un método para llevar a cabo la mensajería con los dispositivos, utilizando un modelo de publicación/suscripción, por tanto, este acepta mensajes publicados por clientes y los difunde entre los clientes suscritos. para ello usan el protocolo de comunicación MQTT que funciona sobre TCP/IP o sobre otros protocolos de red con soporte bidireccional y sin pérdidas de datos.

Los datos que son emitidos por el Broker MQTT son indexados en Elasticsearch, el cual permite realizar búsqueda y análisis para todo tipo de datos, incluyendo texto, datos numéricos, geo-espacial, datos estructurados y no estructurados. Durante una operación de indexación, se convierten datos sin formato, como archivos de registro o archivos de mensajes, en documentos internos y los almacena en una estructura de datos básica similar a un objeto JSON.

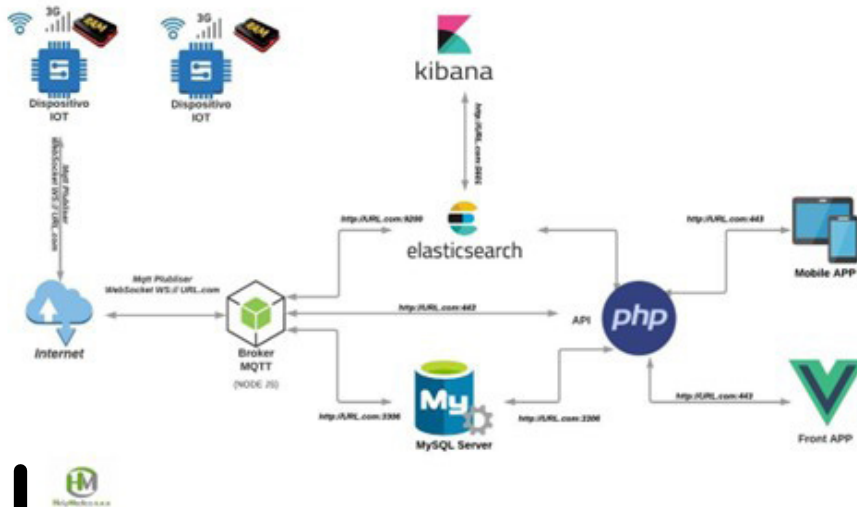


Figura 10. Diagrama de Arquitectura hexagonal del proyecto SIAP.

Con Kibana se visualiza la información que llega del Broker MQTT y que ha sido indexada en Elasticsearch, Kibana habilita el análisis visual de los datos de un índice de Elasticsearch o varios índices. La interfaz de Kibana permite a los usuarios buscar datos en índices de Elasticsearch y luego visualizar los resultados a través de opciones de gráficos estándar. Por otro lado, Elasticsearch consume la API para enviar información a la base de datos cada vez es requerido, o para consultar los datos almacenados en esta, esta API está desarrollada en el framework de PHP Laravel.

Estos datos son enviados a través de la API a la Base de datos MySQL Server, que es un sistema de gestión y administración de bases de datos relacionales, con capacidad de ejecutar múltiples tareas al mismo tiempo. Todas las consultas a la base de datos se realizan a través de la API, en esta se almacena toda la información que es enviada desde Elasticsearch y que es utilizada posteriormente para hacer consultas o generar informes.

Finalmente, Vue es el framework usado para construir interfaces web de usuario, este está diseñado desde cero para ser utilizado incrementalmente. logrando una aplicación web con capacidad de administrar todos los servicios, tales como creación de usuarios, creación de hospitales, agregar dispositivos IOT, generación de reportes, visualizar datos históricos de los dispositivos.

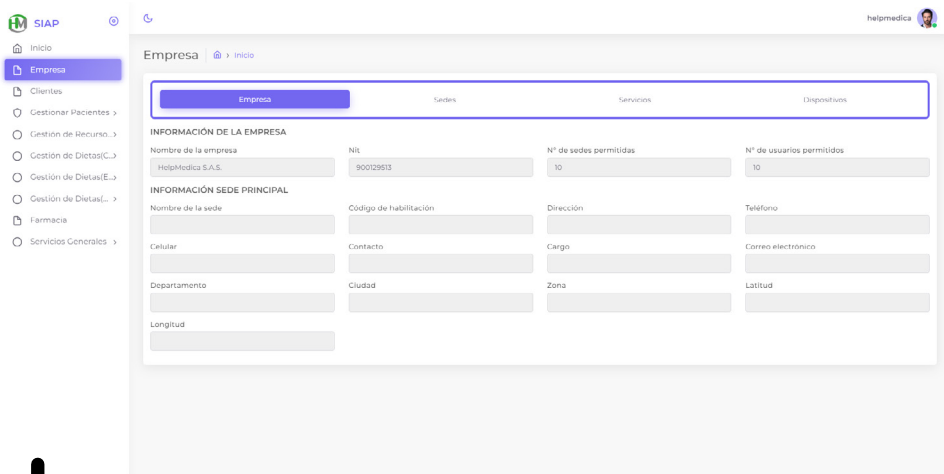


Figura 11. Módulo Gestión Empresa.

4.7 APLICACIÓN WEB

La plataforma SIAP fue construida en lenguaje de programación PHP, con framework Laravel y contiene un conjunto de módulos que integran el seguimiento de la seguridad del paciente en el proceso de atención intrahospitalaria. Dichas funcionalidades responden a las necesidades planteadas por los interesados mediante las historias de usuario.

A continuación se detallan los módulos y las principales funcionalidades de estos.

- Módulo “Gestión de Empresa”: permite crear una empresa y diligenciar los datos generales, en esta se registran las sedes con las que cuenta el cliente, los servicios funcionales y áreas del hospital (ver Figura 11).
- Módulo “gestión de pacientes”: este módulo contiene la configuración correspondiente al paciente mismo, creación de los riesgos asociados al paciente, maestro de especialidades, maestro de exámenes o laboratorios, medicamentos. En el menú pacientes se pueden visualizar gráficos con información relevante del programa de seguridad al paciente (ver figura 12), como el porcentaje de ocupación de camas, estadísticas de dietas y la información de pacientes registrados.

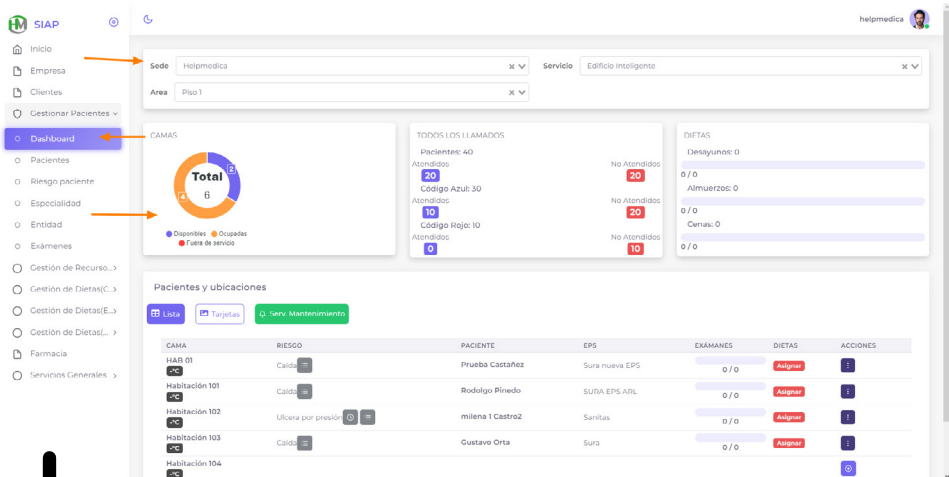


Figura 12. Módulo Gestión Pacientes - Indicadores generales.

También se pueden realizar acciones desde el menú pacientes, como por ejemplo, dar de alta, trasladar al paciente y registro de fallas en la atención. Adicionalmente, permite realizar traslados de habitación, registrar fallas en la atención relacionadas con dietas, medicamentos y exámenes (ver figura 13).

- Módulo de “Gestión de Asistencia”: permite gestionar la información relacionada con el personal asistencial: En el menú de empleados, se visualiza el listado de empleados, los cargos, horarios, consulta de turnos, asignación de código RFID. Se lleva un control de asistencia del personal mediante gráficos estadísticos. También, se incorporan las solicitudes de cambios de turno.
- Módulo de “gestión de Dietas”: este módulo tiene como objetivo controlar la seguridad de la dieta alimentaria que debe suministrarse al paciente, conforme su patología. Cuenta con tres perfiles, el perfil de la cocina (ver figura 14), donde se puede visualizar el número de pedidos recibidos, enviados y entregados (desayunos, meriendas, almuerzo, etc).

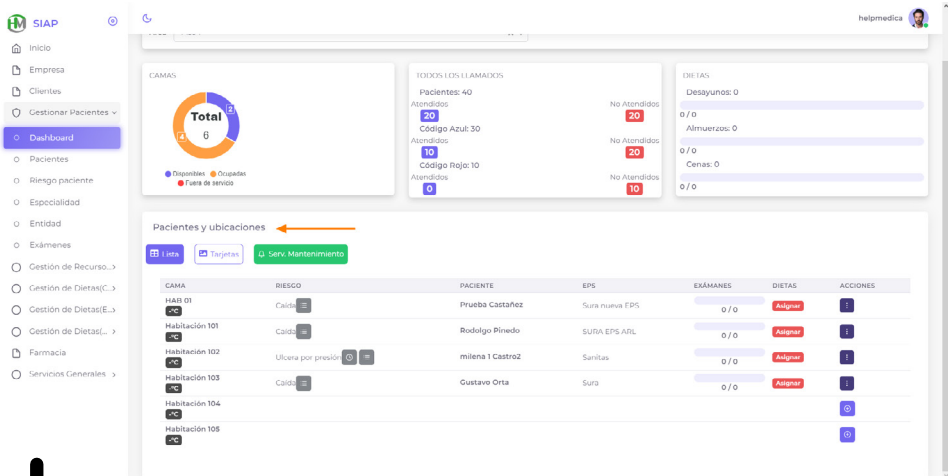


Figura 13. Módulo Gestión Pacientes indicadores - Estado de atenciones.

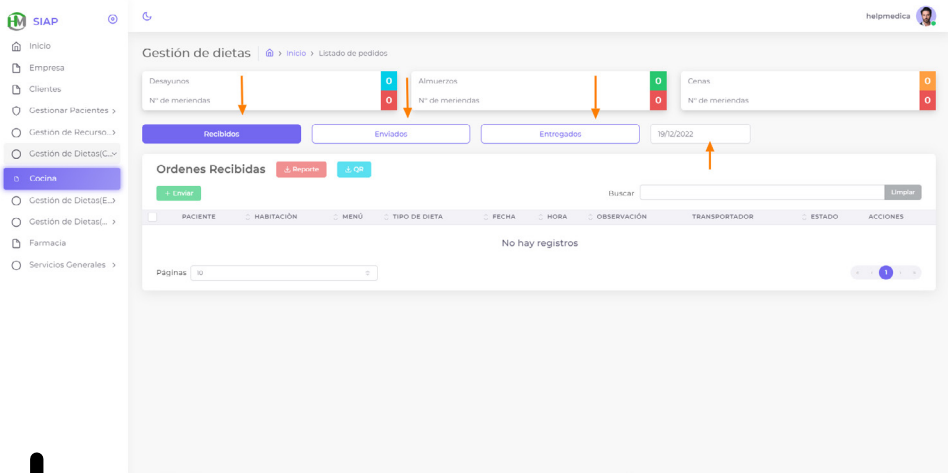


Figura 14. Módulo Gestión de Dietas - Perfil Cocina.

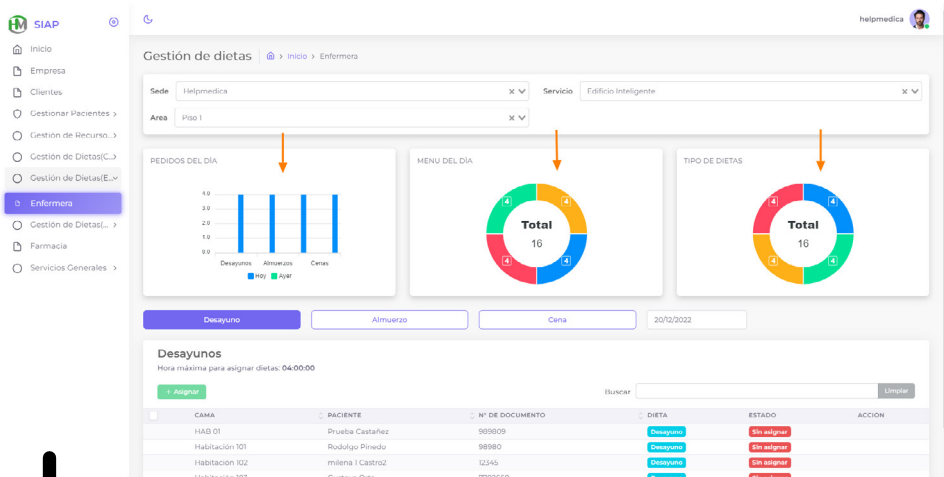


Figura 15. Módulo Gestión de Dietas - Perfil Enfermería.

La gestión de dietas con perfil de enfermería cuenta con gráficos para visualización de los pedidos del día, el menú y los tipos de dietas (ver figura 15).

Finalmente en el perfil de nutricionista se puede visualizar los pedidos del día, el número de las tres comidas (desayuno, almuerzo y cena) que se encuentran pendientes y entregadas (Ver figura 16).

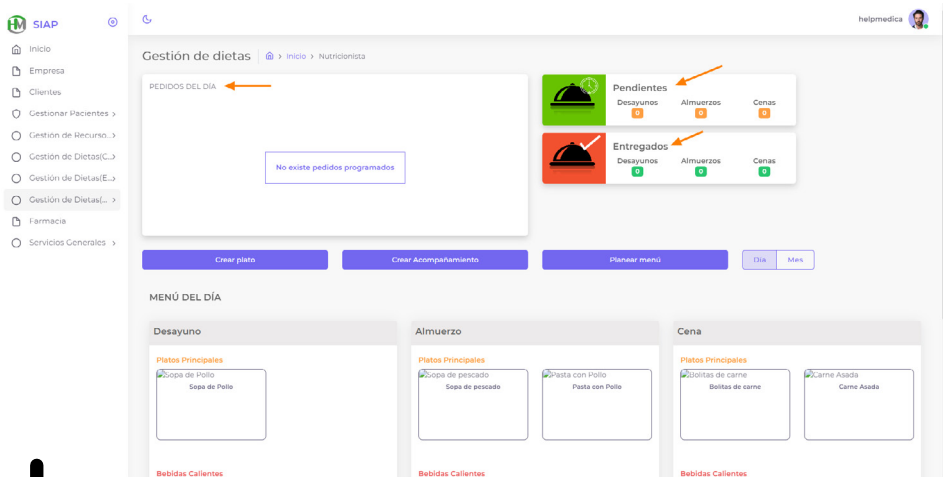


Figura 16. Módulo Gestión Pacientes indicadores - Estado de atenciones.

4.8 CONCLUSIONES

Se construyó una plataforma integrada de hardware y software, la cual fue desarrollada implementando la metodología SCRUM tanto en el proceso de desarrollo de software como el de hardware, además, se usó Jira como herramienta para la administración del proceso de desarrollo. Para el back-end se usó el lenguaje PHP con el framework laravel, para el front-end se usó Vue.js, con una base de datos MySQL. Se obtuvo como resultado una aplicación web que contiene una parte administrativa y una central de monitoreo. La plataforma integra la gestión de dietas para disminuir la ocurrencia de eventos adversos, permitiendo llevar el proceso desde la selección del tipo de dieta autorizada por el médico, hasta la entrega al paciente, pasando antes por la enfermera, nutricionista y cocina. La App móvil ubicada en una tablet en la cabecera del paciente permite a las enfermeras cerrar los procesos que se asignan al paciente como es la gestión de dietas, asignación de exámenes, solicitud de servicio a la habitación y la petición de llamados a través del botón virtual.

A nivel de hardware se construyó una PBC, donde se integran cada uno de los dispositivos que hacen parte del sistema. Posteriormente se diseñó la carcasa donde se encapsularon cada uno de los dispositivos. Los datos emitidos por los dispositivos y sensores es de forma inalámbrica, mediante una red LoRa, los datos se envían a

un gateway central que se conecta a internet y al broker MQTT, en donde se reciben las peticiones. La información emitida por los dispositivos puede visualizarse en un dashboard que está escuchando el tópico donde está suscrito el gateway central que recibe los llamados de los dispositivos. Por otra parte, para la programación de los 97 microcontroladores se usó el lenguaje de programación C++ mediante el framework visual studio code.

El sistema está diseñado para funcionar en un ambiente intrahospitalario, donde cada habitación de los pacientes tiene una unidad de llamada de enfermería inalámbrica, una unidad de llamado de enfermería en el baño de la habitación. Así mismo el sistema tiene un módulo de sensor de Comfort, una unidad de visualización implementada en una tableta sobre la cabecera de la cama del paciente y la unidad de visualización en la parte exterior de la puerta de la habitación.

Al presionar el botón correspondiente en la unidad de llamado en la cama del paciente o en el baño de la habitación, se activa la señal de alarma en la estación de enfermería a través de la unidad Gateway. Las lecturas en tiempo real se cargan de forma segura en el aplicativo en un servidor en la nube. Estas pueden ser visualizadas en la aplicación del computador ubicado en la estación de enfermería de cada piso y en las tabletas móviles que utilizan las enfermeras, mediante una app móvil instalada en estos dispositivos.



BIBLIOGRAFÍA

- Carmen Lasa Gómez, Alonso Álvarez García, & De, R. (2017). Métodos ágiles : Scrum, Kanban y Lean. Anaya Multimedia. <https://bibliotecavirtual.unisinu.edu.co:2844/es/lc/unisinu/titulos/122933>
- Contreras, D. A. B. (2018). Arquitectura de Microservicios. *Tecnología Investigación y Academia*, 6(1), 36–46. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/view/9687>
- Fidao, C. (n.d.). *Hexagonal Architecture*. Retrieved July 6, 2022, from <https://fideloper.com/hexagonal-architecture>
- González, I. (2018). Market Cart App: aplicación móvil para la gestión de compra de víveres en línea. *TIA*, 6(1), pp. 36-46
- GRANTCHAROV, T. P. (n.d.). Operating room black-box device, system, method and computer readable medium. Retrieved April 28, 2022, from <https://patents.google.com/patent/WO2016044920A1/en?q=+WO2016044920+OPERATING+ROOM+BLACK-BOX+DEVICE%2c+SYSTEM%2c+METHOD+AND+COMPUTER+READABLE+MEDIUM>
- OMI, T., Maruyama, S., NOGAMI, K., ASHIDA, R., UTSUKI, K., & Murakami, N. (n.d.). Nurse call system, interface unit, and nurse call connection method. Retrieved April 28, 2022, from <https://patents.google.com/patent/US20170135889A1/en?q=Patente+US20170135889+-+NURSE+CALL+SYSTEM%2c+INTERFACE+UNIT%2c+AND+NURSE+CALL+CONNECTION+METHOD>
- Shaw, M., & Garlan, D. (1996). *Software architecture: perspectives on an emerging discipline*. Prentice-Hall, Inc..
- Unterberger, G., Ryzin, P. V., Foth, D., Cappelletti, C., Chmielewski, R., & Mehta, S. (n.d.). Device For A Nurse Call System. Retrieved April 28, 2022, from <https://patents.google.com/patent/US20200012396A1/en?q=Patente+US20200012396+-+DEVICE+FOR+A+NURSE+CALL+SYSTEM>

