

Self-sustaining Medical Suitcase with Photovoltaic Energy for Primary Health Care in Difficult Areas Access in the Department of Sucre

Alex David Morales Acosta¹, Sergio Antonio Sánchez Hernández² y Henrique Javier Romero Cardenaz¹

¹Corporacion Universitaria Antonio José de Sucre - Corposucre, Colombia, alex_morales@corposucre.edu.co, henrique_romero@corposucre.edu.co

²Corporacion Universitaria Antonio José de Sucre - Corposucre, Colombia, sergio_sanchez@corposucre.edu.co

Abstract- There are currently many regions at international level that have difficulty accessing basic health and hygiene services, due to their location in geographically dispersed areas, where the main access problems are attributed to places at risk of flooding, mountainous territories, remote rural areas and areas of Low energy resources Therefore, the objective of this research is to illustrate the design of a prototype of a medical suitcase using renewable photovoltaic energy and supported by an information system to provide basic primary health care services to communities in the department of Sucre in Colombia. The research is of descriptive scope and technological development and is framed in three phases: in the initial phase the survey and analysis of the requirements of users, physical, technical, electrical, electronic and bibliographic for the construction of the prototype was carried out, in the second phase, the prototype design was executed by block diagram and, in the final phase, functionality tests were applied to the prototype. As a final result, a plastic suitcase with self-sustaining degree of protection IP 67 with integrated photovoltaic energy with different digital and conventional medical devices was obtained, on the other hand a web platform that allows the registration and control of the information of the different patients taken care of, it is concluded that the prototype is functional allowing to manage the information of the patients, in addition to supporting with clean energy the loads of the different digital devices that make up the suitcase.

Keywords- prototype, solar energy, medical instrumentation, primary health, telemedicine.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.167>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Maleta Médica Portátil Autosustentable con Energía Fotovoltaica para Atención Primaria de Salud en Zonas de Difícil Acceso en el Departamento de Sucre

Alex David Morales Acosta¹, Sergio Antonio Sánchez Hernández² y Henrique Javier Romero Cardenaz¹

¹Corporación Universitaria Antonio José de Sucre - Corposucre, Colombia, alex_morales@corposucre.edu.co, henrique_romero@corposucre.edu.co

²Corporación Universitaria Antonio José de Sucre - Corposucre, Colombia, sergio_sanchez@corposucre.edu.co

Resumen— En la actualidad existen muchas regiones a nivel internacional que presentan dificultad para tener acceso a servicios básicos de salud e higiene, debido a su ubicación en zonas geográficamente dispersas, donde los principales problemas de acceso se adjudican a lugares con riesgo por inundaciones, territorios montañosos, zonas rurales remotas y zonas de escaso recursos energéticos. Por esta razón, el objetivo de la presente investigación, es desarrollar un prototipo de una maleta médica portátil utilizando energía fotovoltaica y apoyada por un sistema de información para brindar servicios básicos de atención primaria en salud a comunidades del departamento de Sucre en Colombia. La investigación es de alcance descriptivo y de desarrollo tecnológico y está enmarcado en tres fases: en la fase inicial se realizó el levantamiento y análisis de los requerimientos de usuarios, físicos, técnicos, eléctricos, electrónicos y bibliográficos para la construcción del prototipo, en la segunda fase se ejecutó el diseño del prototipo mediante diagrama de bloques y, en la fase final, se aplicaron pruebas funcionales al prototipo. Como resultado final se obtuvo una maleta plástica con grado de protección IP 67 autosustentable con energía fotovoltaica integrada con diferentes dispositivos médicos tanto digitales como convencionales, además una plataforma web que permite el registro y control de la información de los diferentes pacientes atendidos, se concluye que el prototipo es funcional permitiendo gestionar la información de los pacientes, además de sustentar con energía limpia las cargas de los diferentes dispositivos digitales que compone la maleta.

Palabras Claves— prototipo, energía solar, instrumentación médica, salud primaria, telemedicina

Abstract— Now a day many regions internationally struggle to Access basic health and hygiene services due to their scattered geographic location where the principal problems of access are attributed to risks of foods, mountainous terrain remote rural and low energy access zones. For this motive the objective of the present investigation is to develop a prototype of a portable medical bag making use of photovoltaic energy and information service to provide basic health services to the communities of the department of Sucre in Colombia. The present investigation has a descriptive and technological development and it's divided in three phases: in the initial phase the information related to the users, physicist, technical, electrical, electronic and bibliographic requirements for the construction of the prototype were carried out. In the second phase, the desing of the prototype was carried out using a block diagram and the final phase functional tests were applied to the prototype. As a final result, a plastic suitcase with a self-sustaining IP 67 degree of protection was obtained with photovoltaic energy integrated with different medical devices, both digital and conventional in addition to a web platform that allows the registration and control of the information of the different patients

treated. It is concluded that the prototype is functional, allowing the management of patient information, in addition to supporting the loads of the different digital devices that make up the suitcase with clean energy.

Keywords— Prototype, solar energy, medical instrumentation, primary health, telemedicine.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en días existe una gran problemática de salud pública a nivel mundial, muchas zonas aledañas al casco urbano de las ciudades del mundo no tienen cobertura de atención médica debido a múltiples factores, dentro de los cuales destacamos grandes distancias geográficas, presencia de actores armados, pocas unidades médicas a falta de recursos e infraestructura, falta de suministro eléctrico, vías complejas de acceso, desconocimiento de estos lugares, entre otros factores [1]. A pesar de las diferentes estrategias que muchos países vienen realizando para mitigar esta gran problemática, siguen falleciendo muchas personas por no tener una atención temprana por personal experto del área de la salud. Es una prioridad de los dirigentes de los países velar por el derecho a la salud de sus habitantes, garantizando que las personas que viven en zonas rurales y remotas tengan acceso a atención sanitaria oportuna.

Observando las cifras internacionales de salud humanitaria, podemos identificar aun la gran mortalidad sanitaria en niños y adultos por las condiciones precarias de salud o bien sea por la falta de desarrollo sanitario en diferentes regiones del mundo. A pesar de los avances tan notables, según los Objetivos de Desarrollo Sostenible del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, todos los años mueren más de 6 millones de niños antes de cumplir cinco años y 16.000 menores fallecen a diario debido a enfermedades prevenibles, como el sarampión y la tuberculosis [2].

Igualmente en Colombia existen grandes retos para los campos de desarrollo rural, es decir, que dentro de los sistemas de salud, economía y estabilidad laboral debe surgir un crecimiento sostenible capaz de reparar las faltas que existen dentro de los mismos. Muestra de lo anterior, en cuestiones de salud, en el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, el Gobierno pretende reducir las brechas poblacionales y territoriales en la provisión de servicios de calidad en salud,

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.167>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

por lo que el desarrollo rural integral requiere además estrategias para facilitar la comunicación entre las personas, acceder a la información sobre servicios como la salud, (...) a través de tecnologías de información y de políticas para promover el acceso, el uso y su incorporación en la vida diaria de las personas [3].

En el departamento de Sucre según el plan de desarrollo departamental 2016-2019, presenta un desbalance social notable, específicamente en el servicio de salud de las zonas urbanas y rurales. El departamento realiza la prestación de los servicios de salud a través de la red pública y privada. Las cuales prestan servicios de baja, mediana y alta complejidad en los diferentes municipios del departamento; esta situación obliga a que estos sean epicentro de referencia para el resto de municipios aledaños, en este sentido, los servicios de salud en las zonas de difícil acceso son precarios y en el peor de los casos no hay centros de salud, lo cual denota una gran problemática en las comunidades que se encuentran en estas zonas [4].

La secretaria de salud y seguridad social de Sucre en la actualidad presenta debilidades para la ejecución de acciones que integran el plan de salud pública de intervenciones colectivas a cargo de esta entidad, debido a que no cuenta con el recurso humano, técnico y logístico para la implementación de acciones de promoción en salud, prevención de enfermedades y acciones prioritarias en salud pública; acciones que permitan promover la salud y la calidad de vida en la población. Lo que permitiría integrar y coordinar acciones en torno a la protección social en salud, especialmente a personas en condiciones de pobreza y vulnerabilidad, esta situación en la actualidad afecta aproximadamente a 282.868 habitantes de la zona urbana y rural del departamento de Sucre, si esta situación continua generaría un deterioro de la calidad de vida y salud de la población [3].

Por otra parte el documento del Acuerdo Final de Paz del año 2016 en su primer punto trata acerca de la Reforma Rural Integral, que en su numeral 1.3.2.1, referente a la salud, se cita que la construcción y el mejoramiento de la infraestructura sobre la base de un diagnóstico amplio y participativo que permita atender al mayor número de personas en cada región, la dotación de equipos, incluyendo la adopción de nuevas tecnologías para mejorar la atención (ej. Telesalud y Telemedicina), y la disponibilidad y permanencia de personal calificado [5].

Ahora bien, considerando lo anterior, y las necesidades que el departamento de Sucre atiende, se espera desarrollar una propuesta sostenible en el tiempo que apunten al desarrollo del sistema de salud con sustento en ciencia, tecnología e innovación, mediante el diseño de una unidad médica (maleta) que garantice el aislamiento y la seguridad de los instrumentos médicos, sustentándose en energía solar y apoyada con una plataforma web para la gestión de la información.

A. Energía Solar

En el interior del Sol se generan gran cantidad de reacciones nucleares de fusión, donde átomos de hidrogeno chocan entre sí, con altas velocidades permitiendo fusionarse y genera átomos de helio liberando masivas cantidades de energía que se propagan por el universo como radiación hasta llegar a la tierra. Esta energía es la fuente primaria de luz y calor en el planeta y es considerada como una fuente de energía renovable porque el Sol es virtualmente inagotable, además, este tipo de energía es integrable al paisaje urbano y es útil en zonas rurales de difícil acceso [6].

Hoy en día por medio de paneles solares podemos transformar la energía del Sol en electricidad, para ello es importante el nivel de radiación solar donde se implementan estos dispositivos, a continuación se especifica los factores que inciden de forma directa en el nivel de radiación:

1) *Latitud*: a mayor distancia de la línea ecuatorial menor radiación solar.

2) *Altura sobre el nivel del mar*: a mayor altura, mayor radiación.

3) *Orografía*: Se refiere a las elevaciones que puedan existir en una zona en particular. Por ejemplo, los valles profundos tienen menor radiación solar.

4) *Nubosidad*: En cuanto mayor es la nubosidad, menor radiación solar.

5) *Movimiento de traslación del planeta*: la traslación traza una línea imaginaria llamada plano de la eclíptica, la traslación es la responsable de la existencia de las estaciones en la tierra a lo largo del año. Los polos de la tierra, por ejemplo, reciben menos radiación.

En lo referente a Colombia se argumenta que es un país privilegiado por su posición geográfica, presentando uno de los niveles de radiación solar más altos en el mundo, dándole una gran ventaja en el uso de energía solar.

La UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) que pertenece al Ministerio de Minas y energía de Colombia y el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) crearon en el 2005 un Atlas de radiación en Colombia que recopila la información básica de referencia para el aprovechamiento de la energía solar como una opción para el uso sostenible de los recursos energéticos colombianos, estableciendo el valor promedio diario de radiación por regiones [7].

En resumen, según el Atlas de radiación solar, los sectores en Colombia que tienen mayor disponibilidad de energía solar se muestran en la Fig. 1 En este mapa se observa que la región norte, oriental y nororiental de Colombia, poseen la mayor incidencia de este recurso natural libre.

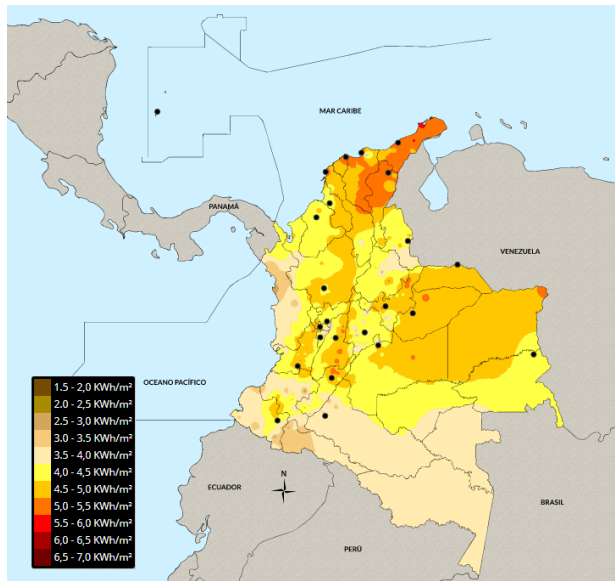


Fig. 1 Mapa de radiación solar en Colombia [8]

B. Atención primaria en Salud (APS)

La Atención Primaria en Salud es una estrategia que busca, mediante tecnologías y métodos sociales, clínicos y científicos, proveer asistencia esencial, continua e integral a las personas, familias y comunidades en condiciones de cercanía como “primer elemento de asistencia sanitaria” que se garantiza por ser de alta calidad, costo efectiva y prestación de servicios multidisciplinarios [9].

La atención primaria tiene un alcance mayor que el componente asistencial de los servicios curativos tal como lo plantea la OMS en su informe de 2008, e involucra la territorialización, el fortalecimiento de la participación social efectiva que empodera a la población en la toma de decisiones, la gestión intersectorial y la integralidad de los servicios individuales y colectivos con un enfoque de salud familiar y comunitaria [10].

En Colombia, según la Ley 1438 de 2011, la APS se considera como:

La estrategia de coordinación intersectorial que permite la atención integral e integrada, desde la salud pública, la promoción de la salud, la prevención de la enfermedad, el diagnóstico, el tratamiento, la rehabilitación del paciente en todos los niveles de complejidad a fin de garantizar un mayor nivel de bienestar en los usuarios, sin perjuicio de las competencias legales de cada uno de los actores del Sistema de Salud. Hace uso de métodos, tecnologías y prácticas científicamente fundamentadas y socialmente aceptadas que contribuyen a la equidad, solidaridad y costo efectividad de los servicios de salud. Constituida por tres componentes integrados e interdependientes: los servicios de salud, la acción intersectorial/transectorial por la salud y la participación social, comunitaria y ciudadana [11].

C. Telemedicina

Es la prevención de servicios de salud a distancia donde se realizan; prevenciones, diagnósticos, tratamiento, rehabilitaciones, por los profesionales de la salud que utilizan tecnologías de la comunicación y la información, que les permite intercambiar datos con el propósito de facilitar el acceso y la oportunidad en la presentación de servicios a la población que presenta limitaciones de ofertas, de acceso a los servicios o de ambos en su área geográfica [12].

Según [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24] y [25], los elementos para un sistema de telemedicina deben ser los siguientes: a) un medio de comunicación, b) software que permitan la gestión y control de la información, c) dispositivos de cómputos para el procesamiento de los datos captados, emitidos y recepcionados, d) dispositivos biomédicos para la generación de diagnósticos y tratamientos médicos, e) personal del área de la salud cualificado en el manejo de herramientas TIC, f) consentimiento informado por parte del paciente para la autorización del manejo de su información y g) protocolos de seguridad informática para proteger la integridad de los datos de los pacientes.

En lo que respecta a la metodología para el desarrollo de un sistema de telemedicina estos mismos autores argumentan que se deben realizar los siguientes pasos: a) identificar los requerimientos del usuario (flujo de información que se desea que el sistema tenga) para las consultas que el personal de salud requiere, b) identificar los requerimientos técnicos (tecnologías, plataformas, entre otros) del sistemas de información, c) diseñar la arquitectura del sistema teniendo en cuenta los requerimientos técnicos y de usuario, d) desarrollar los módulos del sistema de telemedicina, esto implica la codificación e instalación de las diferentes tecnologías a utilizar, e) realizar capacitación al personal de salud en el uso del sistema, f) accesibilidad al sistema, manejo de diferentes niveles de usuarios para el registro y control de la información en el sistema y g) protocolos de seguridad para garantizar la integridad de los datos del sistema.

D. Metodología de desarrollo ágiles

Hoy día existen múltiples metodologías que permiten gestionar las diferentes etapas del ciclo de vida de un software, en la tabla I veremos las metodologías consideradas para el desarrollo de la plataforma del prototipo.

TABLA I
DEFINICIÓN DE METODOLOGÍA ÁGILES

	Consultadas		
	XP	Scrum	Diseño Sprint

Característica	Hace hincapié en el vínculo que existe entre el grupo de trabajo y el cliente del proyecto.	Acepta cualquier tipo de proyecto. Su labor es establecer medidas para el arreglo y realización del mismo.	Busca abordar los problemas estratégicos mediante el uso de prototipos rápidos, interdisciplinarios y las pruebas de los usuarios.
Objetivo	Garantizar la eficacia y complacencia del cliente.	Controlar y planificar proyectos con un gran volumen de cambios de última hora	Dar respuesta a preguntas claves en cualquier proceso de lanzamiento de producto.
Ventajas	Interacción constante con el cliente Programación organizada en fases Grupos de trabajos pequeños. Técnica programación en pareja.	Permite encontrar errores en la realización de las tareas y aplicar acciones concretas. Para ello, el grupo de desarrollo trabaja en orden con una lista de funciones establecidas de antemano.	Ayuda a ahorrar tiempo en proceso de diseño, desarrollo del producto, plan de validación de la idea de negocio
Desventajas	No se recomienda a proyectos de largo plazo.	Al momento de estar realizando tantos entregables se puede llegar a tener estrés.	El corto período de los Sprint puede dar a la gerencia una idea falsa de la línea de tiempo de un proyecto de innovación.

III. MARCO METODOLÓGICO

Para la realización de la presente investigación, se determinaron los procedimientos que se deben seguir para dar respuesta a la pregunta problema, entendiéndose como metodología o diseño metodológico a “la descripción de cómo se va a realizar la investigación” [26].

A. Tipo de investigación

Inicialmente la investigación es de tipo descriptivo, según Sampieri este tipo de investigación, buscan especificar las propiedades, características y los perfiles de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis [27]. En la investigación se realizó un análisis del estado del arte para conocer los últimos hallazgos de telemedicina y determinar los requerimientos técnicos mínimos que debe tener el prototipo a desarrollar.

En una segunda etapa el proyecto se clasifica como Desarrollo Tecnológico, según COLCIENCIAS, es la “aplicación de los resultados de la investigación, o de cualquier otro tipo de conocimiento científico, para la fabricación de nuevos materiales, productos, para el diseño de nuevos procesos, sistemas de producción o prestación servicios, así como la mejora tecnológica sustancial de materiales, productos, procesos o sistemas preexistente” [28]. El presente proyecto tuvo como finalidad el desarrollo de un

prototipo hardware (maleta médica) que integra un prototipo software (sistema de información web), para apoyar los procesos de atención primaria en salud en el departamento de Sucre en Colombia.

B. Procedimiento

El desarrollo del proyecto se enmarco en tres fases, las cuales se describen a continuación:

En la primera fase se firmó una alianza con la entidad Cruz Roja Seccional Sucre sede Sincelejo, seguidamente se realizó el levantamiento de requerimientos de usuario, físicos, técnicos, electrónicos y bibliográficos para la estructuración del prototipo de la maleta médica y del sistema de información web. Para ello se aplicaron entrevistas no estructuradas al directivo y a los profesionales de salud de la Cruz Roja, los cuales manifestaron las necesidades de agilizar el proceso de gestión de la información que registran a los pacientes en cada consulta o brigada, además expresaron los dispositivos médicos necesarios para prestar servicios de prevención en salud primaria. Por otra parte, mediante la matriz bibliográfica y matriz analítica de contenido se hizo la organización y análisis documental de telemedicina de documentos indexados de los últimos años para conocer los elementos y componentes necesarios para realizar telemedicina y sus ventajas y desventajas. Igualmente, se realizó un estudio para identificar los implementos electrónicos requeridos para componer un sistema de energía autosustentable con tecnología fotovoltaica y se indago sobre la radiación solar en el departamento de Sucre con el objeto de analizar el área de operación del proyecto. Además se elaboró un Sprint Backlog donde se especifica cada funcionalidad que tiene el software, asimismo se analizan los datos obtenidos de la investigación documental para determinar las tecnologías acordes para lograr el alcance del proyecto. Por otra parte se realizaron pruebas de desempeño energético a los dispositivos eléctricos y electrónicos que conforman el sistema de alimentación de los dispositivos médicos digitales y electrónicos, y finalmente se analizaron los materiales del revestimiento de la maleta médica.

En la segunda fase se procedió a realizar el modelado de la base de datos y diseño de las interfaces de usuario, además, para esta etapa de consolidación del prototipo, se realizó el diseño o estructuración final de la maleta médica, articulando y ajustando cada tecnología que sustente energéticamente los equipos médicos, como el panel solar y el circuito de regulación y distribución de energía, con puertos de alimentación directos para los dispositivos médicos digitales que aloje dentro de ella. Para este diseño, se esquematizo el prototipo mediante diagramas de bloques; además de pruebas de simulaciones de funcionamiento y la descripción funcional de cada dispositivo que conforme la maleta médica.

Finalmente en la tercera etapa se realizaron pruebas funcionales para verificar la eficiencia de la herramienta

hardware y software, en relación a la gestión de la información, seguridad de la misma, al consumo de los dispositivos médicos, el tiempo de autonomía de las baterías y el proceso de carga de éstas, utilizando la energía solar.

VI. RESULTADOS

En el presente apartado se describe el avance teórico y práctico del proyecto, que representa los resultados obtenidos y puntos alcanzados en relación a los objetivos establecidos que condujeron al proceso de diseño, simulación y estudios pertinentes para el diseño de una maleta médica con tecnología fotovoltaica.

A. Fase I: Identificación de los requerimientos de usuario, físicos, técnicos, eléctricos, electrónicos y bibliográficos para la construcción de un prototipo de maleta médica

En la primera fase se coordinó reuniones con el director ejecutivo de la Cruz Roja Seccional Sucre y personal de salud, donde estos manifestaron los diferentes requisitos que debía cumplir el prototipo, los cuales se enlistan en las tablas II y III:

TABLA II
REQUERIMIENTO DE USUARIO

Requerimientos		
	Sistema de Información	Dispositivo Médicos
1	Que tenga diferentes niveles de usuario, para tener control en el manejo de la información.	Un glucómetro digital
2	Que cuente con consentimiento informado para el tratamiento de la información de los pacientes.	Un tensiómetro digital y pulsioxímetro digital
3	Que cuente con campos necesarios para registrar información general de los pacientes y personal médico.	Un fonendoscopio o estetoscopio
4	Que cuente con campos necesarios para registrar información de los exámenes físicos de los pacientes.	Un otoscopio
5	Que cuente con campos necesarios para registrar los diferentes tipos de enfermedades, con los que se puedan encontrar en las brigadas.	Un termómetro digital
6	Que cuente con el apoyo de gráficas y datos estadísticos para la toma de decisiones por parte de los administrativos de la Cruz Roja.	Una balanza digital
7	Que tenga la capacidad de funcionar de manera online u offline, permitiendo la sincronización o actualización de bases de datos.	Un kit quirúrgico

Entre los requerimientos de la Cruz Roja se detecta la necesidad de contar con un dispositivo de comunicación sincrónica y/o asincrónica para gestionar la información de los pacientes y dispositivos electrónicos para el sistema de auto sustentación energética de la maleta, los dispositivos necesarios se ilustran en la siguiente tabla.

TABLA III
REQUERIMIENTOS ELECTRONICO, ELECTRICO Y FISICO

	Requerimientos	
	Eléctricos y electrónicos	Físicos
1	Tablet	Resistencia
2	Panel solar	Impermeabilidad
3	Controlador de voltaje	Portabilidad
4	Inversor de voltaje DC-AC	Capacidad volumétrica
5	Banco de baterías	Protección interna

B. Fase II: Diseño de la arquitectura del prototipo web y el circuito eléctrico.

Inicialmente se realizó el modelo de la base de datos del sistema de información teniendo en cuenta las siguientes entidades: *a) País*, la entidad país permite identificar el lugar donde se realizarían jornadas, esta entidad cuenta con los siguientes atributos: identificadores de la zona, nombre de los países, la descripción de los países y la fecha del registro del país, *b) Historia*, la entidad historia permite mostrar y guardar historiales de cada persona que es atendida por personal de salud de la Cruz Roja Seccional Sucre Sede Sincelejo. Los atributos que caracterizan esta entidad son: identificados de la historia, medico, auxiliares, identificador de persona, zona, departamento, ciudad, enfermedades, causa de la enfermedad, número de la historia, fecha, *c) Enfermedad*, la entidad enfermedad cuenta con los atributos identificador de enfermedades, código de la causa de la enfermedad, nombre de la causa de la enfermedad, esto permite saber el origen y tipo de enfermedad que se le encontró al paciente, *d) Auxiliar*, la entidad auxiliar permite registrar y visualizar información del auxiliares tales como, los diplomas de cada auxiliar, número de su tarjeta, *e) Médico*, de la entidad medico se puede obtener atributos tales como profesiones y especializaciones, visualización de diploma, tarjeta profesional, tipo de medico con el fin de permite diferenciar el médico que atendió al paciente, *f) Departamento*, la entidad departamento permite mostrar los municipios donde se han realizado intervenciones y jornadas que son elaboradas por Cruz Roja Seccional Sucre Sede Sincelejo. Además, se definieron los siguientes atributos; nombre del departamento, identificador de departamento, descripción del departamento. Estos nos permiten tener la información más relevante de la entidad, *g) Examen físico*, de la entidad examen físico se puede obtener los atributos, identificador de la historia clínica, tensión arterial, temperatura, la frecuencia cardiaca, peso, talla, frecuencia, y embarazo obteniendo así un control del estado de paciente. Esta entidad examen físico, *h) Usuario*, la entidad usuario

permite identificar el tipo de persona (auxiliar, médico y paciente) al igual que los atributos como identificador de usuario, nombre de usuario, clave de usuario, tipo de usuario, foto, i) *Ciudades*, de la entidad ciudad se identifica el lugar donde se han realizado intervenciones y jornadas que son elaboradas por la Cruz Roja Seccional Sucre Sede Sincelejo. Además, le definen los siguientes atributos, como identificador de ciudades, nombre de las ciudades y descripción de las ciudades, j) *Escolaridades*, la entidad escolaridad está encargada almacenar la información como (bachiller, profesional, doctorada). De todas las personas que tengan vinculación con el prototipo de telemedicina, k) *Profesionales*, la entidad profesional cuenta con atributos como; identificados del profesional, nombre del profesional y descripción del profesional. Esta identidad permite representar información de las personas que estarán a cargo del manejo de actividad correspondientes al manejo del prototipo web de telemedicina, l) *Enfermedades*, la entidad enfermedades permite la causa de la enfermedad por la relación existente entre la tabla de enfermedades y la tabla causa enfermedad. Esta última mencionada contiene atributos como identificador de la enfermedad, código de la enfermedad y nombre de la enfermedad y m) *Bitácora*, la entidad de la bitácora cuenta con la relación entre la entidad historia y se le denominan los siguientes atributos como; id, identificador de historia, motivo de la consulta, fecha creada. Ayudando así a la visualización de las historias clínicas que tiene cada paciente atendido los modos de la consulta y las fecha. En la Fig. 2, se puede apreciar el modelo entidad relación de la base de datos.

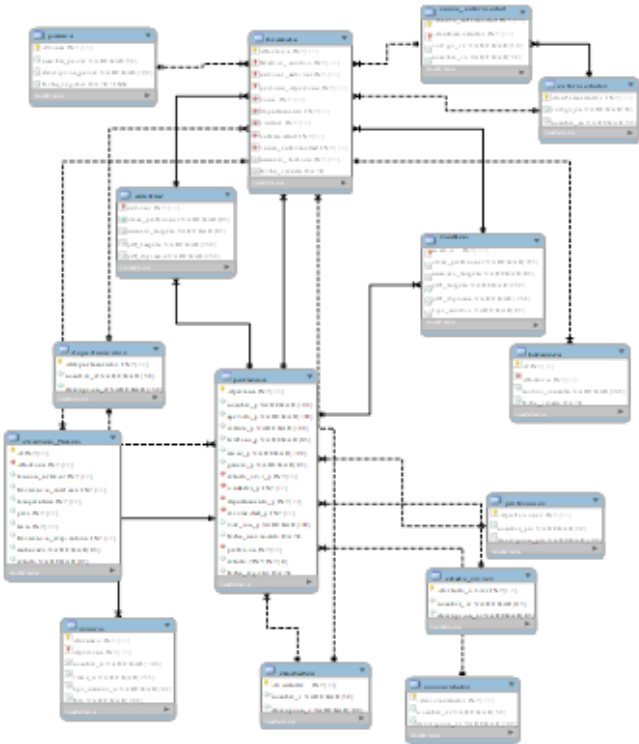


Fig. 2 Modelo de la base de datos.

Una vez terminado el modelado de la base de datos se procede a realizar las diferentes vistas que hacen parte de la interfaz de usuario (ver Fig. 3 y 4).

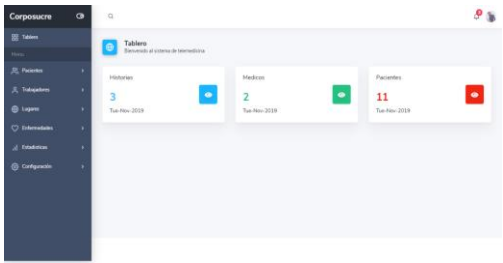


Fig. 3 Vista general del sistema

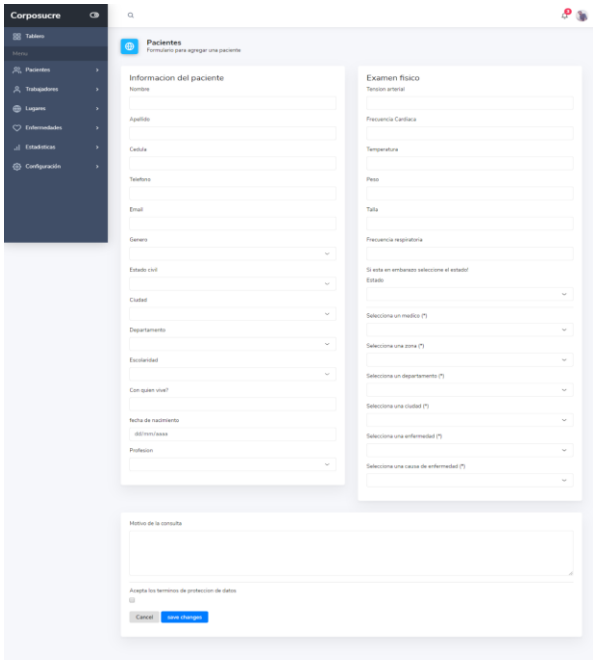


Fig. 4 Vista registro de pacientes

En lo referente al diseño del esquema eléctrico y electrónico del sistema de la maleta, se procedió a la simulación y trazo gráfico del sistema eléctrico que se muestra en el diagrama de la Fig. 5.

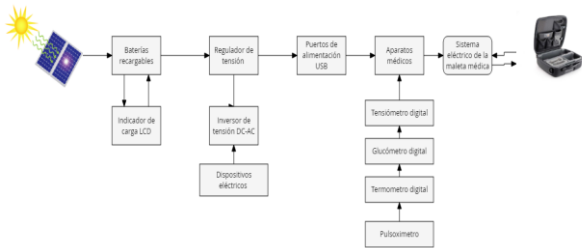


Fig. 5 Diagrama de bloques del sistema eléctrico.

En el diagrama de bloques de la figura 5 se puede observar que la configuración del sistema eléctrico y de alimentación de los dispositivos médicos y/o electrónicos, va de la siguiente forma:

Panel solar → Regulador de carga → Banco de baterías → Inversor → Cargas

Las cargas que se mencionan representan los dispositivos o aparatos médicos y electrónicos que requieren ser recargados o energizados directamente del circuito de alimentación, a sea de los puertos DC o de la salida AC del inversor.

En lo que respecta al esquema de conexiones eléctricas del sistema lo conforman el modulo fotovoltaico, la etapa de regulación de tensión, el banco de baterías, la etapa de inversión de corriente y las cargas (ver Fig. 6).

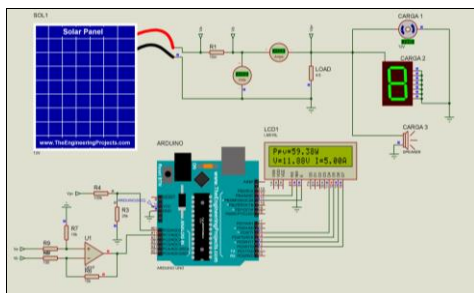


Fig. 6 Esquema eléctrico

Las baterías de almacenamiento constan de un banco de celdas conectadas en paralelo-serie (ver Fig. 7). Son las encargadas de almacenar el voltaje que proviene del panel solar y que ha sido posteriormente regulado para finalmente ser almacenado. De esta manera, el banco de baterías está conformado por 4 celdas en paralelo de 2200 mA y 3.7 V, y estas a la vez están conectadas en serie acumulando un voltaje nominal de 14.8 V con una capacidad de 8800 mA (8.8 A).



Fig. 7 Banco de baterías

Al determinar el espacio necesario y los requisitos identificados por el personal de la entidad Cruz Roja, se recurrió a adquirir una maleta fabricada que fuese resistente, cómoda para transportar, que brindara protección a los materiales que alojara en su interior y herméticamente protegido contra humedad. Por lo que se selecciono la Maleta Estuche Rígido Con Espuma Seahorse Pelican 920, que tienen las siguientes características: Maleta plástica con grado de

protección IP 67, sistema automático de purga de presión, agujeros para candados y cierres de bloqueo. En lo correspondiente con las dimensiones, medidas externas: Largo: 61 cm, ancho: 41 cm, alto: 26 cm y medidas internas: largo: 57 cm, ancho: 35 cm y alto: 22 cm (ver Fig. 8).



Fig. 8. Prototipo de maleta portátil.

En la maleta se realizaron modificaciones para adaptar los dispositivos electrónicos y darle consistencia a la esponja que recubre los dispositivos médicos (ver Fig. 9).



Fig. 9. Ensamble del prototipo de maleta portátil.

C. Fase III: Pruebas de validación del prototipo de web y el sistema electrónico y electrónico.

Prueba de validación prototipo web

Se realizaron pruebas exitosas funcionales a la plataforma web, ejecutando operaciones del CRUD (es el acrónimo de "Crear, Leer, Actualizar y Borrar") con la información solicitada en cada una de las interfaces de usuario, además se realizaron pruebas del trabajo con la plataforma de forma online y offline, con el fin de validar esta función de sincronización entre la base de datos local y la base de datos alojada en el servidor web (ver Fig. 10).

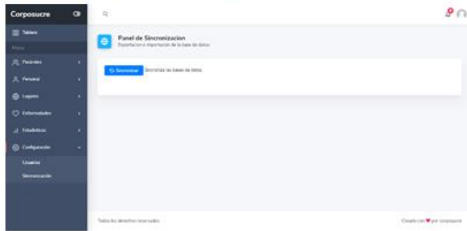
Tabla de los pacientes alojada en la base de datos Local

id	nombre_p	apellido_p	cedula_p	telefono_p	email_p	genero_p	estado_civil	ciudades	departamento	escolaridad
3	alex	gonzales	4356787	300547566	alex@gmail.com	Masculino	2	3	2	1
4	marcela	luna	2345678	3456789	marce@gmail.com	Femenino	3	2	3	2
5	jana	peret	1122345678	3456789	jua@gmail.com	Femenino	3	2	4	2

Base de dato alojada en el Servidor Web

id	nombre_p	apellido_p	cedula_p	telefono_p	email_p	genero_p	estado_civil	ciudades	departamento	escolaridad
1	rafer	vergara	2345678	3002345	rafer@gmail.com	Masculino	1	1	1	2
2	mauricio	raines	2345678	300456789	mau@gmail.com	Masculino	1	1	3	2

Interfaz grafica para Sincronizar los datos



Base de dato alojada en el Servidor Web

id	nombre_p	apellido_p	cedula_p	telefono_p	email_p	genero_p	estado_civil	ciudades	departamento	escolaridad
1	rafer	vergara	2345678	3002345	rafer@gmail.com	Masculino	1	1	1	2
2	mauricio	raines	2345678	300456789	mau@gmail.com	Masculino	1	1	3	2
3	alex	gonzales	4356787	300547566	alex@gmail.com	Masculino	2	3	2	1
4	marcela	luna	2345678	3456789	marce@gmail.com	Femenino	3	2	3	2
5	jana	peret	1122345678	3456789	jua@gmail.com	Femenino	3	2	4	2

Fig. 10. Prueba de sincronización (offline – online)

Referente a las pruebas obtenidas de las estadísticas se hace uso de la librería chart.js para mostrar de forma gráfica la información obtenida de la base de datos, se argumenta que las gráficas son pertinentes para la toma de decisiones del usuario administrador, en estas pruebas podemos observar que se representa con exactitud los datos contenidos en las tablas de la Bases de Datos, con información generada al azar (ver Fig. 11).



Fig. 11 Estadísticas de enfermedades.

Por otra parte para el manejo de errores y seguridad a los datos que se registran en el sistema de información se optó por trabajar con el patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador o MVC en el front-end, el cual consiste que la vista interactúe con el controlador y este a su vez con el modelo, garantizando que no se hagan consultas directamente a la base de datos, lo que permitir la validación de errores y facilita que el software sea escalable para futuras actualizaciones (ver Fig. 12).

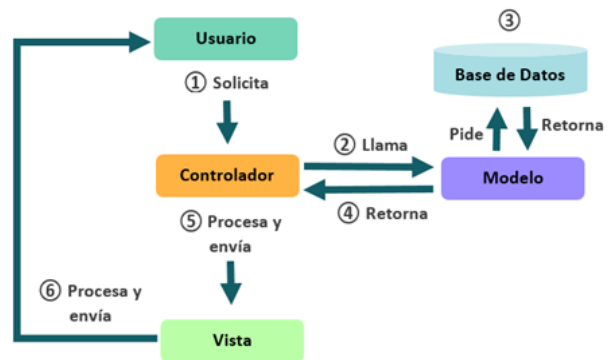


Fig. 12 Modelo-Vista-Controlador [29]

En el back-end a modo de seguridad se utiliza Ajax que permite hacer peticiones directas al servidor, donde la autenticación del sitio web y certificado SSL admiten que los datos tengan cifrado al momento de enviar la información (ver Fig. 13).

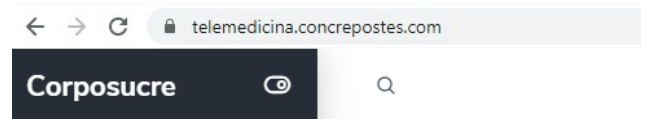


Fig. 13 Alojamiento del prototipo de telemedicina en el servidor web.

Prueba de validación prototipo eléctrico y electrónico.

En esta sección se plantea la validación y pruebas del circuito eléctrico y electrónico, las cuales fueron realizadas en un área abierta residencial y el campus universitario de la sede C de CORPOSUCRE, ubicado en la ciudad de Sincelejo.

En la evaluación los resultados obtenidos en un día nublado, se logra apreciar que mediante pruebas con el voltímetro, el sistema dado en el orden mencionado: panel solar, regulador, acumuladores o baterías e inversor, permite que se obtengan los resultados de un voltaje de 30.5 V con una corriente fluctuante entre 180 y 270 mA. De igual forma, el inversor arroja una tensión relativa de entre 85 y 87 VAC (suficiente para encender un televisor LED, un ordenador portátil o el monitor de presión sanguínea, entre otros dispositivos electrónicos), la cual es transformada del banco de baterías que tiene un estado de 13.8 VDC.

Para determinar la durabilidad de carga y descarga de las baterías, así como los parámetros eléctricos de la señal de salida del inversor, se hizo un registro de los siguientes parámetros: a) Temperatura del módulo expuesto al Sol, tomada con un termómetro infrarrojo, b) la hora del día, c) el voltaje del banco de baterías que arroja el regulador, d) el voltaje a la salida del inversor medido con el voltímetro y e) la frecuencia y el voltaje pico-pico tomados del osciloscopio. Las muestras se tomaron cada 15 minutos en un día parcialmente nublado. Los resultados se muestran en la tabla IV y la Fig. 14 indica el contexto en el cual se realizaron las pruebas.

TABLA IV
MUESTRAS DEL RENDIMIENTO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA
FOTOVOLTAICO

Hora	Datos a tener en cuenta				
	Temperatura del módulo (°C)	Voltaje acumuladores (VDC)	Voltaje en el inversor (VAC)	Voltaje pico-pico en el inversor (Vpp)	Frecuencia (Hz)
12:00 pm	53	13.8	83.5	97.2	125
12:15 pm	51.5	13.8	84.0	97.2	120
12:30 pm	49.3	13.5	84.6	97.2	119
12:45 pm	53.6	13.5	84.9	97.2	127
13:00 pm	56.9	13.6	85.4	97.2	130
13:15 pm	56.9	13.6	85.9	97.2	127
13:30 pm	57.1	13.6	86.2	97.2	128
13:45 pm	49.2	13.4	87.0	97.2	126
14:00 pm	44.7	13.3	87.4	97.2	125.5



Fig.14 Escenario de las pruebas de campo.

En relación a los resultados observados en la tabla IV, se logra inferir que en relación al voltaje AC medido a la salida del inversor, se acerca los valores comúnmente utilizados para los electrodomésticos.

En el caso del Vpp que muestra el osciloscopio es constante, como se aprecia en la tabla IV, mientras que los valores de frecuencia fluctúan por entre los 119 a 130 Hz. Este resultado se debe a las características del inversor de onda seno modificada, el cual busca invertir la señal de la onda de corriente continua que proviene del regulador a una señal de corriente alterna o sinusoidal, puesto que la señal que entra al inversor es una onda tipo cuadrada (ver Fig. 15), de ahí que el inversor tome el nombre de onda seno modificada. Esto nos indica que se pueden alimentar equipos eléctricos como televisores, equipos de sonido y otros aparatos de baja y media potencia.

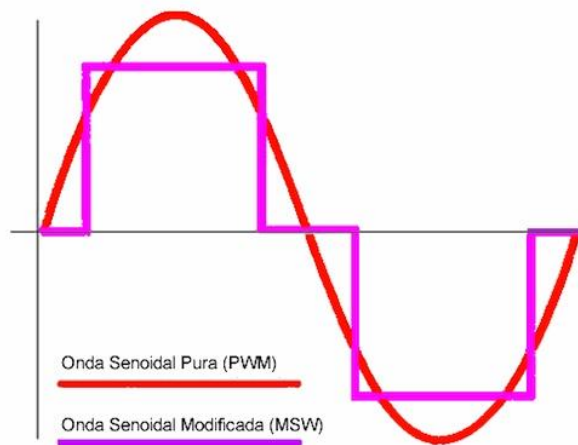


Fig.15 Diferencia entre una onda sinusoidal pura y onda sinusoidal modificada.

Finalmente, en la realización de pruebas con los dispositivos, se logró la utilización de los mismos cuando eran energizados del sistema fotovoltaico. En cuanto al estado de las baterías en uso, estas tuvieron una pequeña variación de descarga, como se aprecia en la Fig. 16.

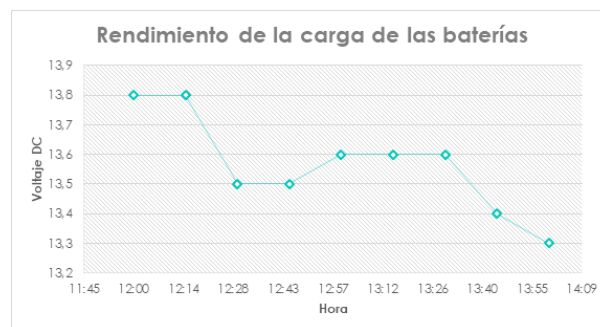


Fig. 16 Rendimiento de la carga de las baterías.

Los dispositivos que se utilizaron para las pruebas fueron un teléfono celular, Tablet y el monitor tensiómetro.

V. CONCLUSIONES

Se concluye en lo referente al estudio de los documentos indexados investigados que actualmente la telemedicina es una solución latente para mitigar la problemática de falta de atención en salud a poblaciones de difícil acceso, por lo que el desarrollo de nuevos dispositivos permiten acercar a estas poblaciones los servicios de salud previniendo muertes por enfermedades prevenibles. En relación a las pruebas funcionales realizada al prototipo propuesto se concluye que cumple con los requisitos mínimos planteados por la Cruz Roja Seccional Sucre, en lo referente a dispositivos médicos y gestión de la información, además la unidad portátil desarrollada es integral y funcional con las tecnologías seleccionadas, permitiendo poder realizar exámenes físicos mediante dispositivos que pueden energizarse por medio de

energía limpia y los resultados de estos exámenes puede ser registrados y analizados por el sistema de información propuestos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Cruz Roja Seccional Sucre por el apoyo de información en el área de salud. Al Centro de investigación y a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Corporación Antonio José de Sucre, principalmente al grupo de investigación GINTEING por el apoyo científico y económico para dar inicio al proyecto titulado Diseño de una maleta médica portátil autosustentable con energía fotovoltaica para atención primaria de salud en zonas de difícil acceso en el departamento de Sucre, del cual se deriva este artículo.

REFERENCIAS

- [1] PNUD, «Objetivo 3: Salud y bienestar.» Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo, [En línea]. Available: <https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/sustainable-development-goals/goal-3-good-health-and-well-being.html>. [Último acceso: 28 febrero 2020].
- [2] OMS, «Banco Mundial y OMS: la mitad del mundo carece de acceso a servicios de salud esenciales y los gastos en salud abocan aún hoy a la pobreza extrema a 100 millones de personas.» Organización Mundial de la Salud, 13 diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/detail/13-12-2017-world-bank-and-who-half-the-world-lacks-access-to-essential-health-services-100-million-still-pushed-into-extreme-poverty-because-of-health-expenses>. [Último acceso: 28 febrero 2020].
- [3] Metropolitana, «Energía Renovable.» Metropolitana, [En línea]. Available: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/Paginas/consumo-sostenible/Energias-Renovables.aspx>. [Último acceso: 28 febrero 2020].
- [4] IDEAM, «Atlas de Radiación de Colombia.» Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion>. [Último acceso: 20 enero 2020].
- [5] IDEAM, «Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia.» IDEAM, [En línea]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>. [Último acceso: 25 enero 2020].
- [6] Ministerio de Salud y Protección Social, Política de Atención Integral en Salud, Bogotá: Gobierno de Colombia, 2016.
- [7] World Health Organization, Atencão primária à saúde: mais necessária que nunca., 2008.
- [8] Ministerio de Salud y Protección Social, «Atención Primaria en Salud.» Ministerio de Salud y Protección Social, [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/salud/Paginas/Atencion-primaria-en-salud.aspx>. [Último acceso: 25 enero 2020].
- [9] República de Colombia, Ley 1419 del 2010, Bogotá: Gobierno de Colombia, 2010.
- [10] R. M. Durón, N. Salavarría, H. Hesse, A. Summer y K. Holden, «Perspectivas de la telemedicina como una alternativa para la atención en salud en Honduras.» Innovare, vol. 5, pp. 49-55, 2016.
- [11] I. Kuzmar, Cómo crear un servicio de telemedicina. Revisión sistemática y análisis para su implementación, Barranquilla: Editorial Mejoras, 2016.
- [12] G. Fernández, W. Culque, F. Viscaino y S. Machuca, «Plataforma tecnológica para tele diagnóstico geriátrico en la universidad unidades de Ambato-Ecuador.» Científica Multidisciplinaria, pp. 61-72, 2018.
- [13] F. Pomares y F. Fernández, «Sistema de Telemedicina UdC: Un nuevo paradigma en la atención médica colombiana para el sur de Bolívar.» pp. 1-11, 2017.
- [14] L. Linares, L. Linares y A. Herrera, «Telemedicina, impacto y perspectivas para la sociedad actual.» Revista Universidad Médica Pinareña, pp. 289-303, 2018.
- [15] C. Collazos y K. Torres, La eficiencia de la telemedicina en la mejora de los servicios de emergencia., Lima: UNIVERSIDAD PRIVADA NORBERT WIENER, 2018.
- [16] M. Moreno, Sistema de diagnóstico remoto para centros de salud rurales del Ecuador, 2017: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, Quito.
- [17] S. Contreras, Diseño y evaluación de un sistema multimodal utilizando redes WSN y GPRS para telemedicina que permita transmitir y monitorear medidas fisiológicas en tiempo real., Chimborazo: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018.
- [18] V. Álvarez, C. Laverde y J. Montoya, Descripción de la aplicación o desarrollo de la telemedicina en IPS de Medellín año 2015, Medellín: UNIVERSIDAD CES, 2015.
- [19] M. Elorzal, N. Moscoso y F. LagoI, «Delimitación conceptual de la atención primaria salud.» Revista Cubana de Salud Pública, vol. 43, pp. 1-17, 2017.
- [20] W. Jiménez y J. Acuña, «Avances en telesalud y telemedicina: estrategia para acercar los servicios de salud a los usuarios.» Acta Odontológica Colombiana, vol. 5, pp. 101-115, 2015.
- [21] G. Guedes de Sá Leitão, T. Santana, M. Lopes, M. Rodrigues y C. Barboza, «Acciones educativas en salud de la comunicación humana: aportaciones de telesalud en atención primaria.» Revista CEFAC, pp. 182-190, 2018.
- [22] F. Aguirre Boza y B. Achondo, «Atención primaria de salud en Chile: enfermería de práctica avanzada contribuye al acceso universal de salud.» Revista Medica Chilena, pp. 1319-1321, 2016.
- [23] E. B. Pineda, E. Alvarado y F. Canales, Metodología de la investigación: manual para el desarrollo de personal en salud (Segunda ed.), Washington, D.C.: Organización Mundial de la Salud - OMS, 1994.
- [24] H. SAMPIERI, METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN. Obtenido de METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN, 1991.
- [25] COLCIENCIAS, Tipología de proyectos calificados como de carácter, Bogotá: Colciencias, 2019.
- [26] R. Gomez, «Modelo Vista Controlador.» 2015. [En línea]. Available: <http://rodrigogr.com/blog/modelo-vista-controlador/>. [Último acceso: 28 febrero 2020].
- [27] Gobierno de Colombia, Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, Bogotá: Gobierno de Colombia, 2014.
- [28] Gobernación de Sucre, Plan de desarrollo departamental Sucre 2016-2019, Sincelejo: Gobernación de Sucre, 2016.
- [29] Gobierno Nacional, Acuerdo Final de Paz, Cartagena: Gobierno Nacional, 2016.