



Una propuesta para el control de medicamento en personas con discapacidades motrices y/o cognitivas a través del Internet de las Cosas

A proposal for medication control in people with motor and/or cognitive disabilities through the Internet of Things

Gustavo Franco Lizárraga

Facultad de Informática Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México
gustavofrancoxd@gmail.com

Jesús Ramón Ríos Osuna

Facultad de Informática Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México
rios.osuna.47@gmail.com

José Alfonso Aguilar-Calderón

Facultad de Informática Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México
ja.aguilar@uas.edu.mx
ORCID: 0000-0003-2048-9600

Carolina Tripp-Barba

Facultad de Informática Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México
ctripp@uas.edu.mx
ORCID: 0000-0002-4811-0247

Juan José Rodríguez Malpica-García

Facultad de Informática Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México
rodriguez.malpica@uas.edu.mx

doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.12.26.005>

Recibido: Julio 20, 2024

Aceptado: Septiembre 30, 2024

Resumen: Actualmente, la evolución en la automatización ha permitido la creación de avances tecnológicos y técnicas de control de dispositivos conectados a Internet que son aplicados en diversas áreas como la industria, medicina, entre otros. En el área de la salud, la automatización cumple un rol muy importante debido a que permite mejorar de la calidad de vida de los pacientes. El *Internet of Things* (IoT) juega un papel principal dentro de la automatización al ser el método por el cual estos dispositivos inteligentes llevan a cabo las funciones que tienen en línea. En este artículo se presenta un prototipo clasificado en el Internet de las Cosas Médicas, para ayudar a los adultos mayores con dificultades motrices y/o cognitivas con recordatoria de la ingesta de medicamentos. El dispositivo expide la pastilla al paciente cuando este acerque su muñeca al aparato, esto mediante una pulsera RFID (*Radio Frequency Identification*), la cual activa el dispositivo y se registra la información en una base de

datos en un servidor. Además, mediante el *framework* para desarrollo multiplataforma Flutter, se desarrolló una aplicación móvil que permite configurar el dispositivo, que el médico pueda actualizar receta y que el familiar del paciente pueda consultar si se ha consumido el medicamento o enviar alarma en caso contrario.

Palabras clave: *IoT, Impresión 3D, Arduino, Modelado 3D, Internet de las Cosas, Flutter.*

Abstract: Currently, advancements in automation have led to the creation of technological innovations and control techniques for Internet-connected devices that are applied in various fields such as industry, medicine, and more. In the healthcare sector, automation plays a crucial role as it enhances patients' quality of life. The Internet of Things (IoT) plays a key role in automation as it enables smart devices to perform their functions online. This article presents a prototype categorized under the Internet of Medical Things, designed to assist elderly individuals with motor and/or cognitive impairments by reminding them to take their medication. The device dispenses the pill to the patient when they bring their wrist close to the apparatus, using an RFID (Radio Frequency Identification) bracelet, which activates the device and logs the information in a database on a server. Additionally, a cross-platform mobile application was developed using the Flutter framework, allowing the device to be configured, the doctor to update the prescription, and the patient's family to check whether the medication has been taken or to send an alert if it has not.

Keywords: *IoT, 3D Printing, Arduino, 3D Modeling, Internet of Things, Flutter.*

1. Introducción

Una de las grandes innovaciones que han derivado a partir de la invención del Internet es el conocido como Internet de las Cosas (*Internet of Things*, IoT, por sus siglas en inglés). El IoT puede definirse como “el proceso que permite conectar elementos físicos cotidianos a Internet: desde objetos domésticos comunes, como bombillas de luz, hasta recursos para la atención de la salud, como los dispositivos médicos” [1]. Este proceso en conjunto con las Tecnologías de Información y la Comunicación (TIC) puede aplicarse a ciudades enteras, las cuales son conocidas como Ciudades Inteligentes (*Smart Cities*).

En la rama de la salud, el IoT se aplica sobre todo para la obtención de datos de dispositivos médicos, aplicaciones móviles e incluso de chips integrados en nuestro cuerpo para ayudar a diagnosticar la salud del paciente de manera rápida y precisa. Todo esto, gracias a que los datos clínicos que se obtienen ayudan a llenar los vacíos en la memoria del paciente. Podría decirse que el objetivo general del IoT en la atención médica es no solo la identificación temprana de los problemas de salud, sino también la identificación en tiempo real de escaladas de salud peligrosas [2]. Con lo cual, podemos decir que el margen de aplicación del IoT dentro del campo médico puede ser muy extenso.

Una problemática en cuanto a la salud del ser humano y de los seres vivos en general, es que eventualmente todos envejeceremos. La vejez es una etapa en la vida de cualquier ser vivo, en el caso de los seres humanos, se considera a partir de los 65 años de edad y se puede definir como la acumulación progresiva de cambios en el tiempo que son responsables del aumento de la probabilidad de enfermar y morir [3]. En esta etapa, la medicación suele ser habitual debido al deterioro de las capacidades tanto motrices como cognitivas, esto conlleva que se susciten casos de incumplimiento a la hora de ingerir la medicación debido a la dificultad de recordar la receta que se debe de seguir. Esto puede dar paso a problemas graves, debido a que la ingesta indebida del medicamento o una mezcla incorrecta puede llegar a ser peligrosa.

Por este motivo, el objetivo de este trabajo consistió en crear una solución basada en un dispositivo que permita ayudar a los adultos mayores con dificultades motrices y/o cognitivas que presenten problemas al momento de ingerir los medicamentos que ellos necesiten, así como la hora en que se deben realizar dicha toma. Este proyecto brinda el diseño conceptual e implementación de una solución a esta problemática mediante el uso del IoT. Hoy en día existen máquinas expendedoras de píldoras, pero son poco confiables debido a que puede ocurrir fácilmente una equivocación a la hora de dispensar el medicamento adecuado. Además, suelen ser difíciles de manipular y su precio es demasiado elevado para la mayor parte de la población en edad adulta. El dispositivo califica en el concepto de Internet de las Cosas debido a que utiliza sensores de proximidad, actuadores para accionar los servomotores que dispensan el medicamento, lectores de radiofrecuencia (RFID), comunicación mediante el protocolo HTTP gracias al enlace entre los sensores y la aplicación móvil mediante la arquitectura

REST (*Representational State Transfer*) que se implementó para desarrollar las APIs (*Application Programming Interface*) correspondientes para el envío-recepción de datos de los sensores, es decir, para la conectividad a internet.

Este trabajo está estructurado de la siguiente forma: la Sección 2 presenta el estado del arte con respecto a los distintos tipos de máquinas dispensadoras de medicamentos que existen actualmente ya sean de desarrollo completamente libre como de enfoque cerrado y comercial. La Sección 3 detalla el desarrollo de la solución y los resultados de las pruebas de campo realizadas y comentarios sobre los resultados. En la Sección 4 presenta las conclusiones, así como la explicación de los aportes significativos a futuro que podrá tener la solución presentada.

2. Estado del arte

Los dispositivos dispensadores de medicamentos son algo que existe desde hace tiempo en el mercado farmacéutico, algunos son electrónicos y otros son simplemente recipientes de plástico con los días de la semana grabados en él. Existen proyectos electrónicos que son comerciales de código cerrado y proyectos personales o comunitarios de código abierto. Lamentablemente, los proyectos comerciales no suelen ser muy asequibles por su elevado costo. Además, algunos de los proyectos de código libre suelen dispensar los medicamentos solamente sin llevar un control adecuado y detallado de las ingestas por parte del paciente (usuario).

El artículo mostrado en [4], detalla el desarrollo de una alternativa formada por una aplicación móvil y un sistema dispensador. En este caso, el despacho de los medicamentos se lleva a cabo en una pequeña caja, en la cual se ingresan los medicamentos que el paciente debe de tomar a cierta hora, el dispositivo soporta hasta cuatro de estas cajas. El dispensador cuenta con un sensor PIR (*Passive InfraRed*) HC-SR501 y una cámara conectada a una placa Raspberry Pi 3, así como un Arduino UNO el cual controla una pantalla LCD, un módulo Bluetooth HC-05, cuatro LEDs, cuatro servomotores y una bocina. Su funcionamiento es mediante la detección de movimiento, usando el sensor PIR el cual activa la cámara para comenzar la detección facial del paciente dando dos resultados en caso de ser positiva. El primer resultado consiste en que, si la hora de la ingesta se encuentra dentro del rango de dispensación, la caja se empuja hacia afuera por los servomotores y el segundo resultado consiste en que si la hora de ingesta no se encuentra dentro del rango de dispensación se muestra dentro de la pantalla LCD la hora a la que se lleva a cabo la próxima ingesta. La aplicación móvil vinculada a este proyecto, permite obtener notificaciones sobre el estado de las ingestas de los pacientes, así como recibir recordatorios en caso de que el paciente tenga un teléfono inteligente con la aplicación instalada.

En el proyecto que se muestra en el trabajo presentado en [5], se llevó a cabo el diseño de un dispensador de medicinas de uso comercial, basado en la autenticación del usuario por una tarjeta con emisor RFID dada por el administrador previamente. El sistema dispensará el medicamento de acuerdo con la receta, el método de cobro se lleva a cabo por medio de puntos digitales guardados dentro de la tarjeta del usuario, los cuales solo el administrador podrá otorgar. Este dispensador trabaja enteramente bajo una placa Arduino MEGA y cuenta con una pantalla LCD, un módulo Wi-Fi así como un módulo RFID y un NodeMCU (no se especifican modelos). NodeMCU es una placa de desarrollo basada en el sensor ESP8266, cuya función es facilitar el desarrollo de dispositivos IoT. El detonante del funcionamiento del sistema es cuando el usuario ingresa su tarjeta RFID para que sea leído. Cuando se hace la lectura, se pide la contraseña para continuar con la operación que, en caso de ser correcta, mostrará una lista de medicinas basada en la prescripción que tenga el usuario, la cual se encuentre dentro de la máquina. Después, se revisará si hay existencia del medicamento en cuestión, en caso de ser positivo, se hará la deducción correspondiente del saldo en su cuenta y procederá a dispensar la medicación. En caso de que el usuario no disponga con el balance suficiente en su cuenta, se le notificará en la pantalla LCD y no se llevará a cabo la dispensación. Si el dispensador se encuentra sin existencias de medicamentos se le avisará al administrador mediante un mensaje SMS (*Short Message Service*).

La alternativa mostrada en [6], expone un dispensador automático de medicinas mediante el IoT. El proyecto se enfoca en producir un sistema confiable, asequible y que sea capaz de almacenar de dos a tres semanas de medicinas. Además, cuenta con una aplicación para controlar la cantidad y el horario en el que se debe de consumir cada pastilla. También, notifica al encargado si el usuario no ha tomado alguna píldora dentro de su horario. Este dispensador trabaja bajo un microcontrolador Arduino UNO utilizando un módulo RTC (*Real Time Clock*) DS3231, una bocina, un módulo NodeMCU, así como un servomotor y una mini bomba de agua. Se usa una instancia en *Firebase* para el funcionamiento y comunicación entre la aplicación y el dispositivo. *Firebase* es un servicio de Google, el cual provee a los usuarios de una serie de utilidades para el funcionamiento y gestión de

sistemas basados en IoT. Los más utilizados (y que se incluyen en su plan gratuito) son la autenticación de usuarios, *Cloud Firestore* (la cual es una base de datos), *Cloud Messaging* (un sistema de envío de notificaciones) y el almacenamiento en la nube. También cuenta con funciones en la nube y servicios de *Machine Learning*, pero estos están bajo un plan de pago. En cuanto a su funcionamiento, este dispensador cuenta con una aplicación móvil la cual le permite establecer el horario de la ingesta del medicamento. Una vez establecido el horario la aplicación se sincroniza con el servidor *Firebase* y se almacena en la base de datos del usuario. Posteriormente, los datos del horario y medicina se envían al Arduino por medio del NodeMCU el cual empieza a comparar la hora recibida con la hora que indica el módulo RTC. Cuando llega la hora de dispensar el medicamento, se utiliza el servomotor (que se encuentra configurado para solo dejar caer una pastilla a la vez) si la medicina es sólida.

En el trabajo presentado en [7], se diseñó e implementó una plataforma llamada Health-IoT, la cual está conformada por un botiquín de medicinas inteligente denominada como iMedBox a la cual se le introducen envases de medicina llamados iPackage los cuales cuentan con capacidades de comunicación por RFID y también por una pulsera para monitorear el estado del paciente la cual se denomina como iTag. La iMedBox es una caja medianamente grande la cual cuenta con espacios específicos para almacenar medicamentos utilizando los envases iPackage, en la parte de la tapa se encuentra una a una tableta Android, la cual muestra datos actualizados del paciente que se sincronizan con la pulsera iTag. La tableta cuenta con la aplicación de iMedBox la cual le permite monitorear en tiempo real los datos del usuario recolectados mediante la pulsera iTag entre los cuales se encuentra información sobre la frecuencia cardiaca, temperatura corporal, presión arterial, entre otras, así como revisar el esquema de medicamentos a tomar por parte del paciente. La plataforma es capaz de enviar una alerta al paciente, visualizada en la caja inteligente, indicando que la hora de la toma del medicamento ha pasado. La administración de los medicamentos se realiza por medio de una aplicación web y está enfocada para que los médicos lo administren.

La búsqueda bibliográfica arrojó un trabajo que introduce un sistema DIY (*Do It Yourself*) o casero [8]. Si bien la naturaleza casera de este proyecto lo hace ser algo simple, no deja de ser un buen ejemplo de lo que un dispensador de medicinas trabajando mediante IoT, gracias a que cuenta con conectividad Wi-Fi que permite enviar notificaciones por medio de correo electrónico. Este proyecto utiliza una placa Wemos D1 mini ESP8266 (la cual es similar a una tarjeta Arduino UNO, pero utilizando un chip ESP8226 como microcontrolador), 3 servomotores SG90, una pantalla OLED (*Organic Light-Emitting Diodes*), LEDs, una bocina botones y una placa de circuito perforada (o *perfboard*). Este dispensador funciona mediante un botón que al mantenerlo presionado activa los servomotores para dejar caer una pastilla a la vez, esta acción solo se puede hacer en un lapso de 60 segundos entre un horario que se haya fijado dentro del código de la placa. Durante ese tiempo la bocina emitirá una alarma para notificar que ya es momento de dispensar el medicamento y en el momento que detecte la pulsación del botón la alarma dejará de sonar, dispensará la medicina y se enviará un correo electrónico como notificación de la ingesta. En caso contrario solamente se enviará un correo electrónico que informará al usuario o encargado que la ingesta no ha sido llevada a cabo.

En el artículo presentado en [9], podemos ver el dispositivo denominado como Dosell, un dispensador de medicinas creado en Suecia por la empresa homónima. Este dispositivo utiliza un rollo propietario, el cual contiene un total de 1,200 bolsas de plástico pequeñas para colocar los medicamentos que se van a consumir a cierta hora, ordenados dependiendo del horario. Al ser un dispositivo que permite intercomunicarse a través del IoT, también cuenta con posibilidad de conectarse a Internet para ser operado de forma correcta. Cuenta con un adaptador de Internet que trabaja mediante una tarjeta SIM (*Subscriber Identity Module*) para evitar depender del Internet del hogar del usuario y a su vez cuenta con una batería recargable la cual permite seguir operando incluso si ocurren fallos en la corriente eléctrica local. El sistema de notificaciones y gestión trabaja mediante una aplicación disponible en dispositivos Android y iOS. Además, puede enviar alertas sobre la ingesta de medicamentos del paciente, así como enviar alertas sobre el funcionamiento del dispositivo (por ejemplo, enviar una notificación sobre el cambio de consumo energético hacia la batería en caso de corte del servicio eléctrico) y revisar el estado del consumo de la medicación.

El artículo citado en [10], habla sobre la idea de una caja de pastillas interactiva. Este proyecto pretende ser una alternativa simple para personas con problemas al recordar el tiempo en el cual deben de consumir sus medicamentos ya que cuenta con una pantalla LCD y una bocina las cuales se usan en conjunto para emitir una alarma y mostrar la información de la medicación que se debe de ingerir. El dispositivo cuenta con una tarjeta Arduino UNO acompañado de una pantalla LCD, un módulo RFID, una cámara, un RTC, un módulo Wi-Fi, una bocina y un módulo GSM (*Global System for Mobile communication*) de los cuales no se especifican modelos. El

funcionamiento consiste en introducir dentro de la caja las medicinas en sus respectivos empaques con una etiqueta RFID previamente pegada, debido a que, al momento de ingresarla medicina a la caja, el sensor RFID escaneará esa etiqueta la cual quedará registrada en una base de datos local. Luego, al momento de sacar las medicinas de la caja el sensor infrarrojo y la cámara detectarán el movimiento y se restará la cantidad que sea necesaria de ese medicamento. La configuración del horario y cantidad de medicación se realizan directamente en el código fuente que corre en la placa Arduino UNO. En cuanto a las notificaciones, estas se envían en caso de no identificar existencias de algún medicamento dentro de la caja o si se dispensa alguna medicina, las notificaciones se envían mediante mensaje SMS usando el módulo GSM y el módulo Wi-Fi.

La única alternativa comercial listada es el dispensador Dosell [9], el cual cuenta con un esquema de suscripción de 299 Coronas Suecas las cuales equivalen a alrededor de 550.00 MXN pesos mexicanos, pero cuenta con la ventaja de ser el más sencillo de utilizar e incluir una batería interna para funcionar incluso en caso de una falla eléctrica. El iMedBox [7], es una buena alternativa, debido a que cuenta con una caja inteligente en la cual es posible almacenar medicamento y una pulsera, que mide los signos vitales del paciente. Lamentablemente, al no ser un producto comercial, construirlo conlleva un gasto medianamente significativo de ingresos. El dispensador mostrado en [8] puede ser construido con materiales mínimos y ser de los ejemplos más económicos, al final prueba ser un dispositivo interesante y útil en caso de necesitar un dispensador y no contar con mucho presupuesto para adquirir uno.

El trabajo de titulación presentado en [11] describe el desarrollo de un prototipo de dispensador automático de pastillas dirigido a personas de la tercera edad. Su objetivo fue ofrecer una solución adaptada a las necesidades específicas de este grupo, integrando tecnologías como el reconocimiento facial y una interfaz de usuario intuitiva mediante una aplicación móvil, facilitando el proceso de administración de medicamentos y asegurando su cumplimiento en los horarios establecidos.

En [12], se implementó un sistema de domótica asistencial con una interfaz gráfica intuitiva, notificaciones por voz y texto, captura de imágenes en tiempo real y monitoreo de señales ambientales, fisiológicas y biométricas. Este sistema es accesible a través de una aplicación web para teleasistencia tanto local como remota, empleando tecnologías como el Internet de las Cosas y la Computación en la Nube para asegurar la interoperabilidad entre dispositivos. El control principal se realizó mediante una Raspberry Pi 4, que se comunica con tres controladores esp8266 a través de MQTT, los cuales están integrados en piezas impresas en 3D.

Con el propósito de evitar el olvido en la toma de medicamentos para enfermedades cardiovasculares, se desarrolló un dispensador inteligente basado en la tarjeta de desarrollo Node Mcu ESP32, que controla el sistema. La carcasa y el sistema mecánico fueron creados mediante impresión 3D. El dispensador emite alertas sonoras y administra los medicamentos en el horario prescrito, con capacidad para almacenar hasta 32 pastillas. Además, envía SMS al cuidador si se olvida de tomar el medicamento, y monitorea las dosis tomadas o omitidas, enviando estos datos a la nube para ser visualizados por el médico a través de una aplicación móvil [13].

En [14], se diseñó un dispositivo compacto con compartimientos para diferentes medicamentos, que utiliza un mecanismo rotatorio accionado por un servomotor para dispensar las dosis adecuadas. El dispositivo incluye alarmas visuales y sonoras, configurables mediante un teclado integrado para establecer horarios específicos, y cuenta con una pantalla LCD que muestra información adicional, como los menús de configuración, fecha y hora, mejorando la experiencia del usuario.

Finalmente, en [15] se desarrolló un dispensador automático para personas con enfermedades crónicas, que incluye una aplicación móvil y un dispositivo mecánico basado en tornillos sin fin, con cuatro compartimientos para diferentes medicamentos. Las notificaciones se envían al teléfono móvil de la persona, además de emitir una señal auditiva en el dispositivo. Un sensor de proximidad detecta cuando la pastilla se encuentra en la recámara del dispositivo y el *buzzer* permanece activo hasta que la persona recoja y tome el medicamento.

Luego de realizar un análisis de las diversas propuestas se logra identificar las siguientes similitudes:

- Uso de microcontroladores y sensores: La mayoría de los proyectos utilizan microcontroladores como Arduino (UNO o MEGA), NodeMCU o Raspberry Pi para controlar los sistemas de dispensación de medicamentos. Además, incluyen sensores como PIR, RFID, o RTC para monitorear el estado del paciente o gestionar los horarios de dispensación.
- Automatización y notificaciones: Todos los sistemas están diseñados para automatizar el proceso de dispensación de medicamentos y enviar notificaciones o alertas a los usuarios o cuidadores en caso de

omisión o para recordar la toma de los medicamentos. Algunos dispositivos utilizan SMS (GSM), otros correo electrónico o aplicaciones móviles para notificar.

- Interfaz de usuario intuitiva: La mayoría de los dispositivos, como los descritos en [4], [9], [11] y [12], incluyen pantallas LCD y/o aplicaciones móviles que facilitan la interacción del paciente con el sistema, ofreciendo menús intuitivos, recordatorios y alertas visibles y auditivas.
- Conectividad IoT: La mayoría de las propuestas integran el Internet de las Cosas (IoT), lo que permite la comunicación entre el dispositivo y una plataforma en la nube, como en los casos de [6], [9] y [13], facilitando el monitoreo remoto y la interoperabilidad de dispositivos.
- Facilidad de uso para grupos vulnerables: Muchas soluciones están diseñadas para personas mayores o con enfermedades crónicas, como en [11] y [15], enfocándose en hacer más sencillo el proceso de toma de medicamentos con interfaces adaptadas y mecanismos de asistencia automatizada.

Entre las principales ventajas se debe destacar La integración de reconocimiento facial [4], [11], al integrar una pulsera para el monitoreo de signos vitales [7] y el uso de una cámara para detectar el uso y la cantidad de medicamentos dispensados ofrece un control detallado del inventario de medicamentos [10], así como las notificaciones de diversos tipos de alarmas [15].

Los dispositivos dispensadores de medicamentos revisados tienen en común la automatización del proceso de dispensación y el uso de notificaciones para asegurar la adherencia al tratamiento. Las ventajas varían según el enfoque del proyecto: algunos priorizan la accesibilidad económica, mientras que otros ofrecen soluciones tecnológicamente avanzadas como el monitoreo de signos vitales, la conectividad IoT o el reconocimiento facial. Dependiendo de las necesidades del usuario, se pueden elegir soluciones más simples y económicas o aquellas más completas y tecnológicamente avanzadas.

La propuesta presentada en esta investigación destaca el uso de una pulsera RFID (*Radio Frequency Identification*), la cual activa el dispositivo, registrando a su vez a la información en una base de datos, para tener información sobre las tomas realizadas u olvidadas. Además, gracias a la incorporación de una aplicación móvil, se permite configurar el dispositivo, que el médico pueda actualizar receta y que el familiar del paciente consulte si se ha consumido el medicamento o enviar alarma en caso contrario. Todo esto de manera remota gracias a la incorporación del IoT.

3. Propuesta

A continuación, se presenta la propuesta de solución a la problemática descrita en la Sección I de este artículo. El objetivo de la propuesta que se presenta en este artículo consistió en diseñar y desarrollar una solución basada en IoT de bajo costo para que adultos mayores o personas con discapacidades motrices y/o cognitivas no omitan la toma diaria de sus medicamentos. El proceso metodológico realizado para tal fin se dividió en dos etapas, la primera es la conceptualización del prototipo de dispensador de pastillas. La segunda, en el diseño y desarrollo de una aplicación móvil multiplataforma para la administración del dispositivo. La descripción de cada etapa se detalla a continuación.

3.1. Dispositivo electrónico para dispensar pastillas

El dispositivo dispensador de pastillas es un circuito electrónico programable hecho con Arduino Mega, antes de realizar el prototipo se tomaron todos los módulos necesarios para darle al circuito conectividad Wi-Fi para conectarse a Internet. Además, se consideraron los módulos necesarios para conectarse con un dispositivo móvil mediante un módulo Bluetooth. Se investigaron las alternativas de mecanismos para dispensar una pastilla, al final se decidió implementar un diseño que es capaz de dispensar varias a la vez mediante un motor reductor. A continuación, se presenta un diagrama de los componentes electrónicos del dispositivo, así como un listado con cada uno de los módulos utilizados. El diagrama del prototipo se puede ver en la Figura 1.

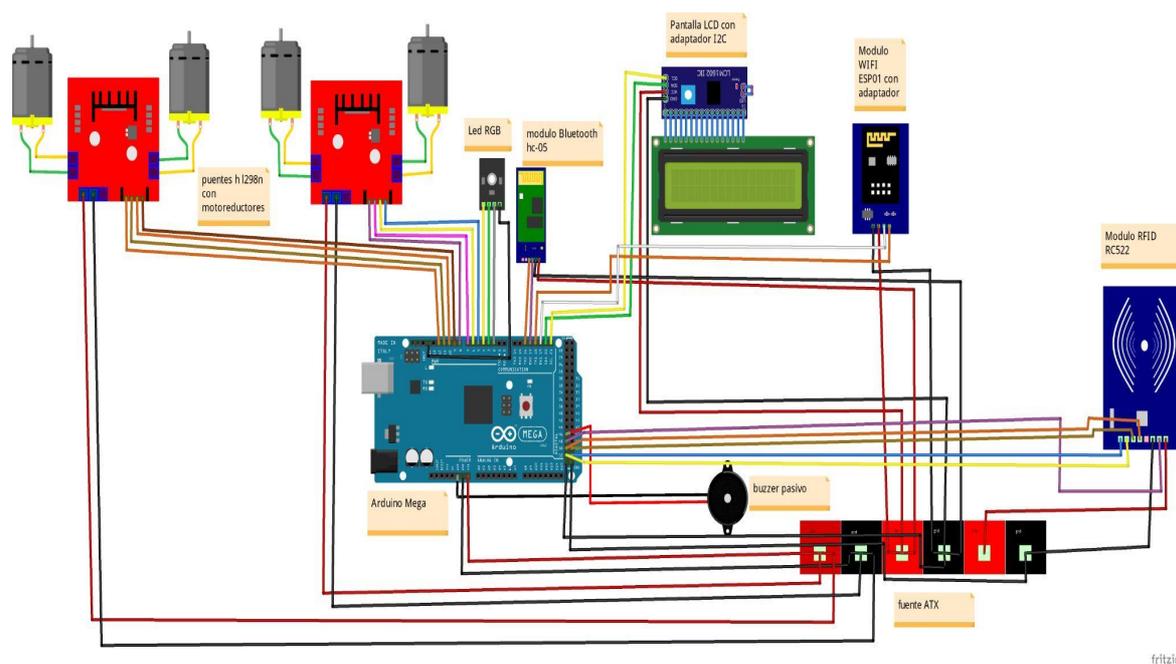


Figura 1. Diagrama electrónico del dispensador de pastillas.

Como se observa en la Figura 1, el dispensador está conformado por la placa base Arduino Mega. En la placa, se conectó un módulo WI-FI, por medio del cual se envía un SSID (*Service Set Identifier*, por sus siglas en inglés) y una contraseña para la conexión a Internet. El módulo Bluetooth se implementó en la placa para que Arduino introduzca los valores de la conexión en el módulo. Los módulos reciben diferentes tipos de voltajes para poder operar, para ello se utilizó una fuente ATX. En el diagrama, los cables que son de color rojo indican que es un cable de corriente y aquellos en color negro son cables a tierra (GND, abreviatura por sus siglas en inglés). Es importante señalar que es obligatorio que las tierras de los diferentes voltajes estén conectadas a Arduino una a una para la correcta funcionalidad de cada módulo integrado. El módulo LCD con adaptador I2C se utilizó para optimizar y reducir el número de cables. Por lo que respecta a la comunicación entre Arduino y el adaptador I2C, se realizó a través de los puertos SDA y SCL. El puerto Serial1 (puertos tx1 y rx1) fueron utilizados para la comunicación de Arduino con el módulo Wi-Fi ESP01 con su adaptador a 4 pines. El puerto Serial 2 (puertos tx2 y rx2), por su parte, son la comunicación con el módulo Bluetooth HC-05. Para los módulos puente H L298N se colocaron en pines digitales PWM para controlar la velocidad de los motores y se utilizaron todas las entradas del módulo para también controlar su dirección. El LED RGB se colocó en pines digitales PWM para poder controlar su intensidad. El módulo RFID se conectó en los pines digitales que especifica la librería del módulo. Finalmente, el *buzzer* se colocó en un pin digital porque este cuenta con funcionalidad muy limitada pues solo enciende y apaga.

3.2. Impresión 3-D de la carcasa

El siguiente paso consistió en la impresión de la carcasa. Esta se llevó a cabo mediante la impresora Creality V2 de la marca Ender con el filamento PLA color blanco de la marca HATCHBOX. El total de tiempo de impresión de los componentes de la carcasa fue de 26 horas. Se utilizó el software Creality Slicer y Tinkercad para personalizar el diseño. En la Figura 2 se observa la impresora imprimiendo una parte de la carcasa del prototipo y los componentes ya impresos en color blanco, debido al filamento HATCHBOX PLA utilizado. En total se consumió en la impresión 3-D un kilo y medio de filamento.

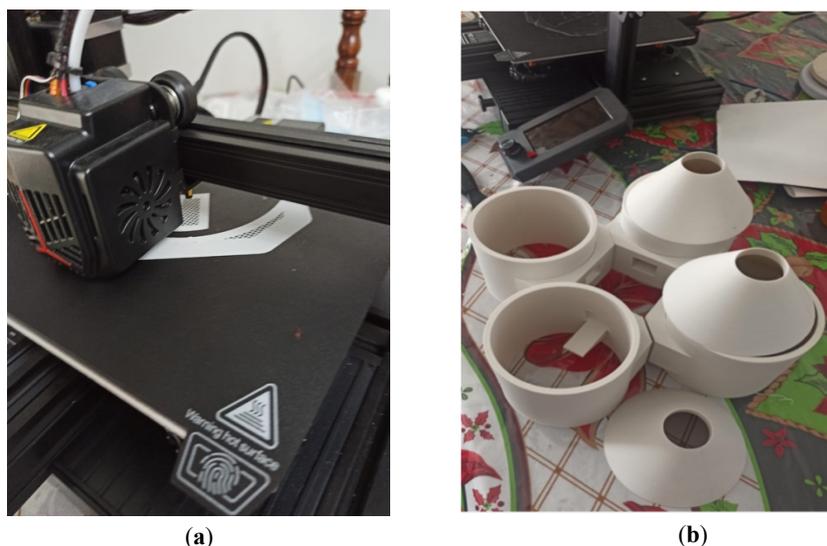


Figura 2. (a) impresora Creaity Ender V2 en funcionamiento; (b) carcasa del prototipo impreso con filamento.

El siguiente paso consistió en integrar el prototipo a la carcasa comenzando por los servomotores. Una vez asegurados de la correcta integración se procedió a configurar y enlazar el software necesario para la administración del dispositivo dispensador de pastillas.

3.3. Software para la administración del dispositivo dispensador de pastillas

En este apartado se describe el diseño y construcción del software utilizado para la administración de dispensador de pastillas para adultos mayores. Esta suite está conformada por una aplicación web y una aplicación móvil. La primera será utilizada por el médico responsable del adulto mayor. La aplicación móvil, por su parte, es para que sea utilizada por parte del familiar y responsable del adulto mayor. Ambas utilizan para el manejo de información y conectividad una API REST (*REpresentational State Transfer*) lo que permite interoperabilidad entre dispositivos de manera sencilla y eficiente para un proyecto de esta escala. Esto permitió desarrollar solamente la programación con la lógica de la funcionalidad una sola vez, separando la interfaz (*Front-End*) del usuario y con ello no volver a codificar la funcionalidad de las aplicaciones (*Back-End*) en sus respectivas plataformas. Las tecnologías que se utilizaron para la construcción de la suite son las siguientes:

- *Front-End* (Parte Visual). Para el *Front-End*, la cual corresponde a la interfaz de usuario, se utilizaron HTML (Lenguaje de marcado de hipertexto o *HyperText Markup Language* por sus siglas en inglés), CSS (Hojas de estilo en cascada o *Cascading Style Sheets*, por sus siglas en inglés) y JavaScript. Las versiones corresponden con las actualizadas a la fecha de la realización de este artículo. En las aplicaciones móviles se utilizaron tanto contenedores y paquetes llamados Material de Google, así como propios y otros licenciados cuyos créditos se encuentran dentro de las aplicaciones.
- *Back-End* (API y Comunicación entre dispositivos). Para la API se optó por seguir la arquitectura REST debido a la eficiencia y facilidad de su diseño, debido a que es una de las más demandadas en la actualidad en el mercado laboral. Para el *Back-End*, la cual es la que se encarga de la lógica de la aplicación, se utilizó el lenguaje de programación PHP (Preprocesador de hipertexto o *Hypertext Pre-Processor* por sus siglas en inglés) a razón de que aún continúa siendo un lenguaje de programación web muy utilizado en el entorno laboral.

3.3.1. Aplicación web para el médico

La solución software para la administración y supervisión del paciente por parte del médico se lleva a cabo por medio de la aplicación web. En la Figura 3, se observa la interfaz de usuario para el inicio de sesión en la aplicación web. La aplicación está dividida en dos secciones, la primera para el administrador de sistema en general y la

segunda diseñada para el uso por parte del médico el cual podrá agregar/eliminar pacientes y recetas médicas, así como consultar el historial de citas y de ingesta de medicamento (fecha y hora).

The image shows a web interface for creating a new medical prescription. At the top, a red navigation bar contains the text 'Bienvenido, Médico' and several menu items: 'Nueva Receta', 'Nueva Medicina', 'Pacientes', 'Ayuda', and 'Cerrar Sesión'. The main content area is a light gray box titled 'Nueva Receta' with the instruction 'Llena los siguientes campos'. The form consists of the following fields:

- *Paciente:** A dropdown menu with the placeholder text 'Selecciona un paciente'.
- *Medicina 1:** A dropdown menu with the placeholder text 'Selecciona una medicina'.
- *Cantidad:** A dropdown menu with three dashes '---' as a placeholder.
- *Cada:** A dropdown menu with the placeholder text 'Selecciona un tiempo'.
- Medicina 2:** A dropdown menu with the placeholder text 'Ninguna'.
- Cantidad:** A dropdown menu with three dashes '---' as a placeholder.
- Cada:** A dropdown menu with three dashes '---' as a placeholder.
- Medicina 3:** A dropdown menu with the placeholder text 'Ninguna'.
- Cantidad:** A dropdown menu with three dashes '---' as a placeholder.
- Cada:** A dropdown menu with three dashes '---' as a placeholder.
- Medicina 4:** A dropdown menu with the placeholder text 'Ninguna'.
- Cantidad:** A dropdown menu with three dashes '---' as a placeholder.
- Cada:** A dropdown menu with three dashes '---' as a placeholder.
- *Fecha de inicio:** A date input field containing '11/24/2022' and a calendar icon.
- *Fecha de terminación:** A date input field with the placeholder 'mm/dd/yyyy' and a calendar icon.

At the bottom of the form is a red button labeled 'Subir receta'.

Figura 3. Formulario para registro de una receta médica.

3.3.2. Aplicación móvil para supervisión del paciente

Para las aplicaciones de dispositivos móviles Android e iOS se utilizó el SDK (Kit de Desarrollo de Software, por sus siglas en inglés) Flutter de Google. Esto permitió prescindir de servicios de terceros para la autenticación y sincronización de datos.

La plataforma del encargado (familiar o responsable del paciente) consiste en una aplicación móvil (App) para dispositivos Android y iOS. La App permite la administración, así como llevar seguimiento de los pacientes de forma práctica y sencilla. Además, permite revisar la receta del paciente y ver cuáles han sido sus comportamientos en cuanto a la ingesta de los medicamentos, así como recibir notificaciones al momento de que se acerque la hora de dispensar alguna pastilla. Su funcionalidad se complementa con las notificaciones, las cuales son para confirmación por ingerir el medicamento y de alerta, en caso de que no se haya dispensado.

Otra función importante de la aplicación es la de configurar el dispositivo dispensador asignando las medicinas que se van a ingresar dentro de las ranuras, así como asignar las pulseras RFID de los pacientes.

En la Figura 4 se puede apreciar el menú de selección de pacientes, al seleccionar uno, se desplegará el detalle de la ingesta de medicamento del paciente seleccionado, así como sus últimas 20 ingestas.

La funcionalidad de la aplicación móvil, como se mencionó anteriormente, se desarrolló mediante una API REST, se utilizó para la conectividad del dispositivo dispensador y de las aplicaciones web y móviles con la base de datos. El lenguaje utilizado para el desarrollo de la API REST fue PHP, específicamente la versión 8, esto se debió a que es un lenguaje utilizado actualmente en el ámbito profesional y porque es de código abierto. Se determinó utilizar una base de datos relacional y como sistema manejador la aplicación MariaDB.

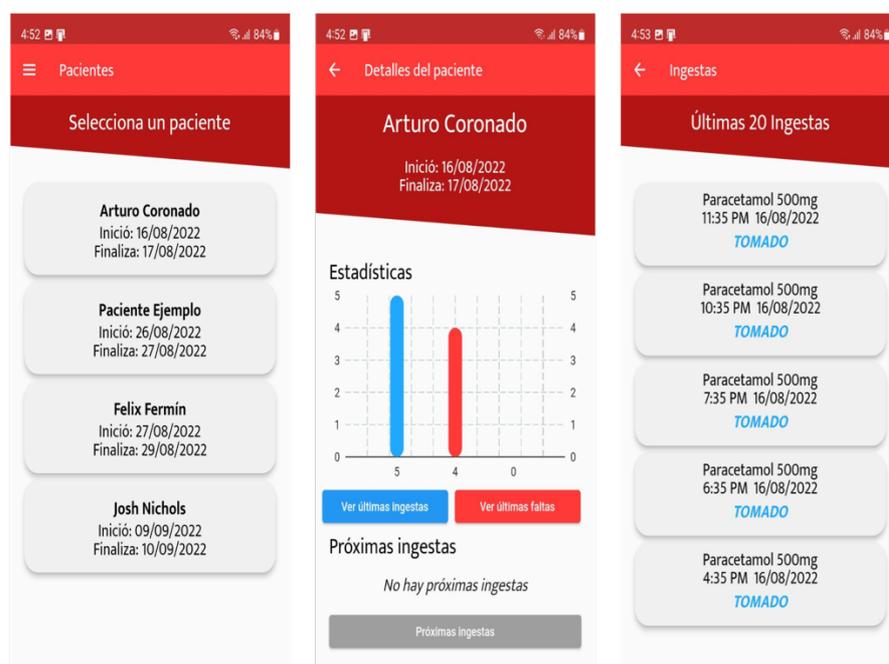


Figura 4. Interfaz de la App Pill Take.

3.4. Privacidad y Seguridad

La seguridad y privacidad del dispositivo dispensador de medicamentos y su correspondiente aplicación móvil han sido implementadas de acuerdo con los parámetros estándar de la arquitectura REST. Esto incluye la protección de datos mediante cifrado en tránsito usando el protocolo HTTPS, la autenticación de usuarios mediante tokens seguros (como JWT) y la implementación de control de acceso basado en roles para garantizar que solo usuarios autorizados puedan acceder y manipular información sensible. Además, las transacciones y comunicaciones entre la aplicación móvil y el dispensador están diseñadas bajo el principio de *statelessness*, lo que reduce la vulnerabilidad a ataques persistentes y mejora la eficiencia del sistema.

No obstante, se reconoce que las amenazas en el ámbito de la seguridad evolucionan constantemente, por lo que, como parte de los planes futuros, se prevé reforzar estas medidas con la integración de autenticación multifactor (MFA), auditoría de eventos más robusta y actualizaciones automáticas de seguridad para el firmware del dispositivo. Asimismo, se explorarán tecnologías emergentes, como el uso de *blockchain* para asegurar la integridad de los datos y garantizar la trazabilidad en todo el ciclo de dispensación de medicamentos.

3.5. Evaluación de experiencia de usuario, usabilidad y aceptación de uso de dispositivo

Uno de los aspectos centrales que debe evaluarse el proyecto presentado en este artículo es la experiencia de usuario, usabilidad de la aplicación móvil y la aceptación de uso del dispositivo con su aplicación móvil. Esto permitirá ver la viabilidad de la producción para uso comercial de la suite (dispositivo y aplicación móvil). En este sentido, los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos hasta el momento en relación con el dispositivo dispensador de medicamentos y su aplicación móvil son un trabajo en marcha. En términos cuantitativos, las pruebas preliminares han mostrado una mejora significativa en la adherencia a los tratamientos por parte de los usuarios, así como una reducción en los errores de dosificación. Sin embargo, es necesario realizar estudios más amplios y con mayor diversidad de usuarios para validar estas métricas y asegurarse de que sean consistentes en diferentes escenarios. En cuanto a los resultados cualitativos, los usuarios han reportado una experiencia positiva en la facilidad de uso del dispositivo y la aplicación, lo cual es alentador. No obstante, se están recopilando más datos para evaluar la usabilidad en entornos más complejos, como el uso por personas mayores o con discapacidades. Este proceso continuará en futuras fases del proyecto, con el objetivo de afinar tanto el diseño del hardware como la experiencia de usuario en la aplicación, asegurando un impacto positivo y sostenible en la gestión de tratamientos médicos.

En cuanto al valor de desarrollo, la Tabla 1 resume los componentes y costos de la elaboración del prototipo, donde se puede destacar un costo total de \$2941.90.

Tabla 1. Componentes y costos de elaboración del prototipo.

#	Componentes	Cantidad	Costo total
1	Case protector Arduino mega	1	\$64.00
2	Modulo Wifi esp-01	1	\$65.00
3	Pantalla LCD con adaptador I2C	1	\$171.00
4	<i>Buzzer</i> zumbador	1	\$6.40
5	Arduino mega	1	\$399.00
6	<i>Protoboard</i>	2	\$140.00
7	Módulo RFID	1	\$99.00
8	Motor reductor	4	\$156.00
9	Módulo led RGB	1	\$54.00
10	Adaptador esp8266	1	\$113.00
11	Fuente ATX	1	\$338.00
12	Adaptador fuente ATX	11	\$116.50
13	Pulse grabable	3	\$420.00
14	Módulo <i>bluetooth</i>	1	\$200.00
15	Cable	-	\$100.00
16	Filamento PLA impresión 3D	2	\$500.00
	TOTAL		\$2941.90

4. Conclusiones

El uso del IoT en la salud se ha extendido en los últimos años a causa de la importancia que está tomando el panorama digital en el mundo. Esto ha abierto las puertas para realizar cambios en varios procesos, como el permitir monitorizar de manera remota los signos vitales de un paciente o revisar el comportamiento de un paciente a la hora de llevar a cabo la ingesta de los medicamentos prescritos en su receta. El IoT permite un abanico prácticamente ilimitado de posibilidades para mejorar el sector salud, lo que implicaría salvar vidas o hacer más prósperas las que ya cuentan con problemas de salud.

En este artículo se presentó un sistema dispensador de medicamentos sólidos con forma de pastilla o píldora para adultos mayores. El dispositivo permite monitorear el comportamiento a la hora de continuar con la ingesta de sus medicamentos en tiempo y forma. Para la realización de este dispositivo se llevaron a cabo investigaciones sobre los dispositivos dispensadores de medicamentos comerciales existentes que se encuentren circulando en el mercado, así como diversos prototipos y proyectos de código abierto encontrados en diversos portales comunitarios enfocados a la construcción de sistemas basados en placas de uso libre y revistas relacionadas al tema. Toda la investigación se realizó con el propósito de forjar un concepto de lo que es un dispensador de medicamentos y con qué características básicas debería de contar para cumplir con su función principal de la manera más sencilla y austera posible, así como para reflexionar cuáles otras características debería de contar nuestro prototipo para que tenga puntos de diferenciación que le permitan tener su propia identidad, y que a su vez permita cumplir con las funciones necesarias descritas en secciones previas de este artículo.

El desarrollo del dispositivo presentado se justifica debido a que ofrece una serie de ventajas las cuales se presentan a continuación:

- La simplicidad de manejo del dispositivo.
- La sencillez a la hora de navegar a través de las aplicaciones.
- La facilidad de configurar el dispositivo a través de la aplicación.
- Su bajo costo comparado a las alternativas disponibles en el mercado.
- Permite acceder fácilmente a la información a la hora que se necesite.
- Uso de tecnologías actuales.
- Mayor accesibilidad al estar disponible la plataforma para diferentes dispositivos.

- Fácil uso por parte del adulto mayor debido a que solamente basta con acercar la pulsera con RFID al dispositivo y este expenderá su pastilla.

4.1. Trabajo futuro

Como trabajo futuro se propone revisar el funcionamiento del sistema para corregir fallos no detectados y/o mejorar las funciones. También, se implementará como donación para un adulto mayor y así validarlo en un caso de estudio fuera del ambiente académico. Además, algunas funciones que se podrían agregar o cambiar pueden ser, por ejemplo:

- La opción de personalizar las notificaciones.
- La opción de ocultar pacientes que ya hayan terminado con su receta.
- Algunas mejoras de interfaz.
- La opción de cambiar el fondo a uno oscuro.

Se concluye resaltando la necesidad de poner al alcance de la sociedad dispositivos electrónicos dentro del concepto de IoT que permiten un mejor control y cuidado de seres humanos enfermos, adultos mayores o con capacidades cognitivas disminuidas. Para lograr esto, es necesario disponer de dispositivos a un precio asequible, ya sea a través de la disminución de su costo de producción, distribución o ambos. El dispositivo presentado en artículo y su suite software para su administración tuvieron por objetivo paliar esta problemática. El producto desarrollado se encuentra protegido de Derechos de Autor y en trámite el diseño del circuito electrónico.

5. Agradecimientos

La investigación y producto presentado en este artículo se llevó a cabo gracias al Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI) de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

6. Referencias

- [1] Aguilar-Calderón, J. A., Tripp-Barba, C., Zaldívar-Colado, A., Aguilar-Calderón, P. A. (2022). Requirements Engineering for Internet of Things (IoT) Software Systems Development: A Systematic Mapping Study. *Applied Sciences*, 12 (15), 1-23. <https://doi.org/10.3390/app12157582>
- [2] RedHat. (2019). *¿Qué es el Internet de las cosas?* <https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>
- [3] Ashton, K. (2009). *That 'Internet of Things' Thing*. <https://www.rfidjournal.com/expert-views/that-internet-of-things-thing/73881/>
- [4] Zetina Lozano, M. G. (1999). Conceptualización del proceso de envejecimiento. *Papeles de población*, 5 (19), 23–41. <https://www.redalyc.org/pdf/112/11201903.pdf>
- [5] Patil, A., Darshan B.G, Ashoka, D. V., Nethravathi, B. (2020). IoT Based Medicine Dispenser International *Journal of Engineering Research and Technology*, 8 (15), 152-155. <https://doi.org/10.17577/IJERTCONV8IS15034>
- [6] Philip, J., Abraham, F. M., Giboy, K. K., Feslina, B. J., Rajan, T., (2020). Automatic Medicine Dispenser using IoT. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 9 (8), 342-349.
- [7] Pang, Z., Tian, J., Chen, Q. (2014). *Intelligent packaging and intelligent medicine box for medication management towards the Internet-of-Things*. 16th International Conference on Advanced Communication Technology, Pyeongchang, Korea (South). <https://doi.org/10.1109/icact.2014.6779193>
- [8] Singh, G. (2022). *IoT pill dispenser*. *Instructables*. <https://www.instructables.com/IoT-Pill-Dispenser/>
- [9] Tele2 IoT (2022). *IoT and health: Keeping track of your meds*. *Tele2 IoT*. <https://tele2iot.com/case/iot-and-health-keeping-track-of-your-meds/>
- [10] Harshitha, V., Sandeep, K., Swasthika Jain, T. J. (2020). An interactive pill box using IOT. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9 (3), 2436–2438. <https://doi.org/10.35940/ijeat.c5742.029320>

- [11] Colimba Pozo, G. E. (2023). *Diseño De Un Prototipo Dispensador Automático de Pastillas Para Personas de la Tercera Edad* [Tesis de Grado]. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15278>
- [12] Soto Valqui L. A., Valdez Jiménez, W. (2023). *Diseño de un prototipo domótico asistencial para adultos mayores, con sistemas embebidos para conectarse con plataformas basadas en Internet of Things (IOT)* [Tesis de Grado]. Universidad Tecnológica del Perú. Lima Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/7522>
- [13] Calderón Pérez, J., Díaz Esquén A. R. (2023). *Dispensador inteligente para mejorar el cumplimiento farmacológico en adultos mayores hipertensos* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/11475>
- [14] Cuevas-Chávez, J. I., Lúa Madrigal, O., González Ponce, C. F., Sánchez-Salazar, A. (2024). Desarrollo de un pastillero programable para facilitar el recordatorio de los horarios de ingesta de medicamentos controlados. *Revista Ingeniantes*, 3 (1), 113-120.
<https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes11no1vol3/15.pdf>
- [15] Alarcón Angulo, M. E., Checa Cabrera, M. A., Proaño Lapuerta, E. A., Alarcón Angulo, M. L. (2024). Soluciones tecnológicas innovadoras para la automatización de la administración de medicamentos en pacientes crónicos. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, (1), 1-23.
<https://doi.org/10.46377/dilemas.v12i1.4349>