

Artículo de Investigación

Desarrollo de un monitor de parámetros ambientales para entornos hospitalarios críticos

Development of an environmental parameter monitor for critical hospital environments

Leopoldo Hernández Guevara¹: Universidad Don Bosco, El Salvador C.A.

leopoldo.hernandez@udb.edu.sv

Carmen Celia Morales Samayoa: Universidad Don Bosco, El Salvador C.A.

carmen.morales@udb.edu.sv

Fecha de Recepción: 11/06/2024

Fecha de Aceptación: 04/09/2024

Fecha de Publicación: 29/01/2025

Cómo citar el artículo:

Hernández-Guevara, L. y Morales-Samayoa, C. (2025). Desarrollo de un monitor de parámetros ambientales para entornos hospitalarios críticos [Development of an Environmental Parameter Monitor for critical hospital environments]. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-14. <https://doi.org/10.31637/epsir-2025-1381>

Resumen:

Introducción: La calidad de los servicios de salud ha mejorado al considerar factores como la eficacia tecnológica y la calidad del entorno de atención. Esto ha generado la necesidad de evaluar la calidad ambiental en espacios clínicos críticos. **Metodología:** El artículo propone un sistema de medición y monitoreo en tiempo real de parámetros ambientales clave, como la humedad relativa, temperatura, ruido ambiental y dióxido de carbono, utilizando tecnologías IoT y sensores comerciales con transmisión inalámbrica de datos. **Resultados:** El sistema permitirá evaluar y mejorar las condiciones ambientales en tiempo real, actuando cuando los parámetros superen los límites establecidos. **Discusión:** El monitoreo ambiental no solo cumple con las normativas, sino que también mejora la seguridad y comodidad en entornos clínicos. La comparación de mediciones con estándares permite intervenir rápidamente, garantizando un entorno óptimo para pacientes y personal. **Conclusiones:** El monitoreo continuo de componentes ambientales en entornos clínicos críticos es esencial para mejorar la calidad del servicio de salud, asegurando seguridad y comodidad para todos los ocupantes.

Palabras clave: Monitoreo; parámetros; ambiente; temperatura; humedad relativa HR; CO₂; tecnología IoT (Internet of Things); ruido ambiental; infecciones; alerta; infraestructura.

¹ Autor Correspondiente: Leopoldo Hernández Guevara. Universidad Don Bosco (El Salvador).

Abstract:

Introduction: The quality of healthcare services has improved by considering factors such as technological efficiency and the quality of the care environment. This has generated the need to evaluate environmental quality in critical clinical spaces. **Methodology:** The article proposes a system for real-time measurement and monitoring of key environmental parameters, such as relative humidity, temperature, environmental noise and carbon dioxide, using IoT technologies and commercial sensors with wireless data transmission. **Results:** The system will make it possible to evaluate and improve environmental conditions in real time, acting when parameters exceed established limits. **Discussion:** Environmental monitoring not only complies with regulations, but also improves safety and comfort in clinical environments. Comparison of measurements with standards allows for rapid intervention, ensuring an optimal environment for patients and staff. **Conclusions:** Continuous monitoring of environmental components in critical clinical environments is essential to improve the quality of healthcare service, ensuring safety and comfort for all occupants.

Keywords: Monitoring; parameters; atmosphere; temperature; RH; CO₂; IoT technology (Internet of Things); environmental noise; infections; alert; Infrastructure.

1. Introducción

El cambio climático es una realidad que no se puede negar y que está afectando a la especie humana, en ocasiones representa ventajas para algunas regiones, pero la mayoría de las veces es causante de problemas sociales mayores tales como fuertes sequías o grandes inundaciones. Este fenómeno además provoca cambios en los elementos que necesitamos los seres vivos para nuestra subsistencia que son parte del entorno del planeta; tal es el caso del aire, el agua, la tierra, entre otros. Además, la contaminación del aire y el agua por la actividad humana y los desastres naturales agudiza el problema, ya que la presencia de elementos nocivos para la salud es una triste realidad en muchas zonas de nuestro planeta. Por estas razones, las comunidades en los diferentes países se ven obligadas a buscar una manera de mejorar la calidad de aire que respiramos y el agua para consumo humano. Cada vez existen más y mejores tecnologías que purifican estos elementos de forma masiva; pero a costos económicos elevados y en ambientes bien delimitados; aunque también se están investigando mejores soluciones, más accesibles para regiones enteras y para toda la tierra en general.

A nivel clínico hospitalario, el diseño del control ambiental es obligatorio para la mayoría de áreas de las clínicas y los hospitales, especialmente donde hay pacientes en estado grave; esto se debe a que los pacientes que solicitan los servicios de salud, tales como diagnósticos y tratamientos para diferentes dolencias, presentan un estado de salud quebrantado, con una condición más frágil que una persona sana, y por tanto, más susceptibles a empeorar su situación sanitaria al estar expuestos a condiciones ambientales adversas.

El presente trabajo pretende contribuir a mantener y promover el hecho de que existan las condiciones ambientales óptimas dentro de un área hospitalaria específica como lo es la Unidad de Cuidados Intensivos, ya que en este recinto están los pacientes con patologías y dolencias de graves a muy graves, y por lo general presentan un estado de inconciencia; lo que los vuelve especialmente susceptibles a cualquier anomalía que les pueda afectar, entre varias, la mala calidad del aire en el ambiente del mismo local. En El Salvador aún no se cuenta con las leyes y normativas que incluyan como requisito obligatorio el control y monitorización de los parámetros ambientales en entornos hospitalarios, así como aún no existe una normativa general de diseño de hospitales y ambientes clínicos.

Con base a todo lo mencionado anteriormente, como ciudadanos conscientes de esta falencia a nivel local en nuestros recintos de salud, y como profesionales comprometidos con la calidad de la salud que se ofrece en el país dada nuestra condición de ingenieros biomédicos, se tomó la decisión de investigar y desarrollar un dispositivo que sea capaz de medir parámetros ambientales fundamentales como lo son la temperatura, humedad relativa, ruido y dióxido de carbono; al mismo tiempo el dispositivo deberá ser capaz de alertar mediante señales visuales cuando los límites de estas mediciones rebasaren lo permitido por los estándares, que para este fin serán aquellos que dicten las normativas internacionales. Además, el dispositivo posee la capacidad de transmitir de manera inalámbrica los datos obtenidos para poder visualizar sus valores en tiempo real y almacenarlos en una base de datos. El dispositivo será construido con partes, sensores y elementos que estén al alcance de adquisición en nuestro país, a costos inferiores que implicaría la adquisición de equipos similares importados. Esto último está alineado al intento de contribuir al desarrollo de otro importante rubro que aún no se realiza en El Salvador, como lo es el diseño de tecnología relacionada al ámbito de la salud, que sea de invención y construcción nacionales, buscando solucionar problemas puntuales propios de la realidad local.

2. Metodología

La Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) dentro de un centro hospitalario, es uno de los servicios en los que se encuentran los pacientes que presentan cuadros patológicos o de recuperación más críticos que en el resto del hospital, a excepción de las salas de cirugía. Por lo general estos pacientes son los que van a ser intervenidos quirúrgicamente o ya lo han sido, y que permanecen por lo general inconscientes a la espera de una recuperación o para ser observados y monitorizados mientras evoluciona su cuadro clínico. El tiempo que los pacientes permanecen en la UCI varía de pocas horas a varios días, por lo que, al igual que la sala de operaciones, es un área que amerita un control climático especial para disminuir los riesgos de infecciones por contaminación. Por esto las condiciones de control ambiental en este servicio deben ser prioritarias. Por ejemplo, se conoce que el calor excesivo promueve el crecimiento de las bacterias gram-negativas en la UCI (Schwab, 2014).

Para abordar el diseño del dispositivo de medición y alerta de parámetros ambientales en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) dentro de un Hospital, se investigó en primera instancia cuales son aquellas cuantificaciones fundamentales recomendadas por los estándares internacionales para estar bajo un diseño, control y supervisión permanente para asegurar el bienestar y pronta recuperación de los pacientes, que en esta área sufren de patologías o trastornos de salud muy graves. Según el estudio del Ministerio de Sanidad y Política Social del gobierno de España, que emite el documento: “Estándar y Recomendaciones: Unidad de Cuidados Intensivos”, se debe poner especial atención a los parámetros que se exponen en los siguientes párrafos.

2.1. *Parámetros ambientales críticos a monitorizar y sus límites*

La climatización de la UCI es un tema muy extenso, el número de variables y detalles de diseño climático en esta área hospitalaria conlleva un gran número de detalles. Solamente en lo referente al clima, existe la necesidad de controlar los recambios de aire que proporciona un sistema de aire acondicionado, adicionando el control de parámetros tales como la temperatura, la humedad relativa, la iluminación, el ruido ambiental, entre otros. Los investigadores del presente trabajo tomaron la decisión de monitorizar algunos de ellos, de tal manera que fueran de impacto en lo que respecta al bienestar del paciente encamado en la UCI y a la vez susceptibles de ser objeto de un diseño tecnológico al alcance de los medios disponibles. Investigando en la literatura médica, se encontró que la temperatura y la

humedad relativa son críticos para evitar el crecimiento bacteriano o de virus, disminuyendo así el riesgo de infecciones. El ruido ambiental es fundamental en la recuperación del paciente debido a su susceptibilidad alterada y por último el control del dióxido de carbono (CO₂) es necesario ya que este compuesto que es un residuo natural de la respiración humana tiende a acumularse en locales cerrados y aumenta en la proporción del número de personas que están dentro de un recinto cerrado, obstaculizando la respiración adecuada y pudiendo provocar una hipoxia (falta de oxígeno) si no se encuentra en los niveles permitidos. A continuación, se exponen las recomendaciones de límites para estos parámetros, recomendados por normativas internacionales.

2.1.1. Ruido ambiental

La recomendación del estándar del gobierno de España menciona textualmente lo siguiente respecto al ruido ambiental de la UCI: “Un aspecto esencial de la unidad es el control ambiental que en relación con el nivel de ruido se debe limitar a 45 dB durante el día, 40 dB durante la tarde y 20 dB durante la noche” (Ministerio de Sanidad y Política Social del gobierno de España, Estándares y recomendaciones: Unidad de Cuidados Intensivos, 2010, p.65). Por otra parte, la SEDAR (Sociedad Española de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor) recomienda que el ruido en la UCI debe ser inferior a 45 dB por la mañana, inferior a 45 dB por la tarde y por la noche inferior a 20 dB (Barturen *et al*, 2019).

2.1.2. Temperatura y humedad relativa ambiental

La recomendación del estándar del gobierno de España menciona textualmente lo siguiente respecto a la temperatura y humedad relativa de la UCI: “La temperatura (entre 21 y 24 °C). La humedad relativa del aire se debe situar entre el 45 y el 55%.” (Ministerio de Sanidad y Política Social del gobierno de España, Estándares y recomendaciones: Unidad de Cuidados Intensivos, 2010, p.81). La Organización Panamericana de la Salud (OPS), a raíz del embate sufrido por el mundo entero por la pandemia de COVID-19, emitió las siguientes recomendaciones para el control ambiental de los establecimientos hospitalarios: “Mantener la humedad relativa entre 40-60%. Mantener la temperatura entre 70°F-75°F (21°C-24°C)” (OPS, 2020). El instituto americano de arquitectos recomienda para las salas de Hemodiálisis (que tienen pacientes similares a los de la UCI), una temperatura de 72° a 78°F (22° a 26°C) con una humedad relativa de 30 a 60 por ciento.

2.1.3. Dióxido de carbono ambiental

Debido a que las exhalaciones respiratorias de los pacientes son portadoras de microgotas de saliva, y esta a su vez, ser potenciales portadores de microorganismos tales como virus y bacterias (como por ejemplo el coronavirus) puede utilizarse la medida del CO₂ ambiental como una medida de los virus en un ambiente dado. Es por esto por lo que otra lección aprendida de la pandemia de COVID-19 es que se debe controlar las partículas de CO₂ ambiental para evitar las infecciones cruzadas dentro de la UCI, especialmente como una medida preventiva en el combate a dicha enfermedad. A esto se suma que los aparatos eléctricos también aportan una cuota de CO₂ al ambiente de los espacios interiores. La recomendación de la guía de buena práctica del Ministerio de Trabajo y asuntos Sociales de España NTP549 nos sugiere que a 600 ppm los individuos más sensibles ya manifiestan quejas y molestias, y que en la práctica se acepta que no debe superarse una concentración de 1.000 ppm de dióxido de carbono con el fin de evitar problemas de olor y molestias. Esto es para espacios cerrados en general. (Guía NTP549 Ministerio de Trabajo de España).

Tabla 1.

Resumen de límites de valores establecidos por las normativas investigadas para los parámetros ambientales a monitorizar en la Unidad de Cuidados Intensivos

Parámetro	Límite Inferior	Límite Superior
Ruido ambiental	N/A	45 dB en el día 20 dB en la noche
Temperatura ambiental	21°C	24°C
Humedad ambiental	40%	60%
Dióxido de Carbono ambiental	N/A	1.000 ppm

Fuente: Elaboración propia (2024).

2.2. Diseño y Construcción del Monitor de Parámetros ambientales para UCI

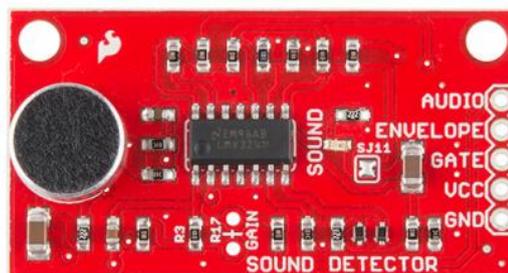
Una vez definidos los parámetros a monitorizar y sus límites, se procede a diseñar y construir el monitor de parámetros que tendrá como objetivo proporcionar los datos en tiempo real y transmitirlos vía inalámbrica, de tal manera que se puedan tener lecturas de temperatura, humedad relativa, ruido y dióxido de carbono ambientales y además contar con un sencillo sistema de alarma visual que le indique al personal médico dentro de la UCI o cualquier persona con un dispositivo móvil y señal Wifi, si uno o varios parámetros están fuera de los límites establecidos, y tomar las acciones necesarias para corregir esta situación, que podría ser potencialmente peligrosa para la vida de los pacientes.

2.2.1. Medición de Ruido Ambiental.

Para el parámetro de ruido se utilizó el módulo SEN-12642, el cual es un detector de sonido fabricado por Sparkfun. Este está compuesto por una placa, la cual tiene un micrófono integrado y algunos circuitos de procesamiento de señales, incluyendo amplificadores, los cuales son necesarios para obtener el voltaje de salida amplificado, que sea proporcional a la intensidad en el ambiente y que pueda ser utilizado por un sistema embebido. Este sensor proporciona 3 salidas, una salida de audio, indicación binaria de la presencia de sonido HIGH cuando detecta un sonido, y LOW cuando existe ausencia de sonido, así como una representación analógica de la amplitud.

Figura 1.

Módulo SEN-12642



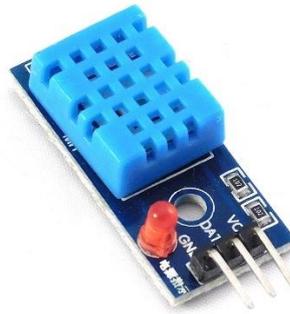
Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/12642>

2.2.2. Medición de Temperatura y Humedad Relativa ambiental

Para medir la temperatura y la humedad relativa en el ambiente se utilizó el sensor modular DHT11, el cual nos permite tener una medición de la humedad relativa con una resolución de 1% de humedad relativa a una temperatura de funcionamiento de entre 0 y 50°C. Por otro lado, el sensor de temperatura tiene una resolución de 1°C y su rango de medida va desde los 0 a 50°C (List of Unclassified Manufacturers, 2024). Este módulo es de fácil conexión, solamente cuenta con tres pines como se muestra en la Figura 1, dos pines de alimentación, 5V y tierra, y el pin de salida de la señal, el cual va conectado al microcontrolador.

Figura 2.

Módulo DHT11



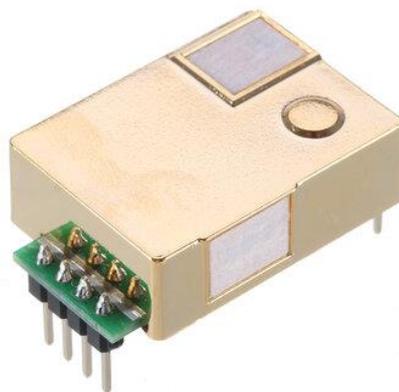
Fuente: <https://nettigo.eu/products/dht11-sensor-module>

2.2.3. Medición Dióxido de Carbono ambiental

El módulo MHZ-19b es un sensor infrarrojo de CO₂ que permite detectarlo en el aire, su rango de detección va desde los 0 a 5000ppm y tiene una precisión de 5%, su voltaje de alimentación es de 5V, su temperatura óptima de funcionamiento va desde los 0° hasta los 50°C, y sus dimensiones al ser pequeñas lo hacen ideal para aplicaciones en las cuales se tenga un espacio limitado (Unit Electronics, 2024).

Figura 3.

Módulo MH-Z19b



Fuente: <https://nafcom.es/sensorica/mh-z19b-modulo-sensor-de-co2-por-infrarojos/gmx-niv519-con10030.html>

2.2.4. Sistema Embebido y de transmisión Inalámbrica IoT

Como sistema embebido para la lectura electrónica proveniente de los sensores, se utilizó el módulo Xiao ESP-32-C3 super mini de seeed studio. Este módulo cuenta con 14 pines como se muestra la Figura 4, entre los cuales se tienen entradas analógicas, entradas y salidas digitales, salidas de voltaje, y pin de tierra. Este cuenta con una antena para Wifi, un chip que soporta la carga y descarga de una batería de litio y un tamaño compacto de 20 x 17,5mm, el cual resulta conveniente para aplicaciones donde se cuente con espacios reducidos (Seeed Studio, 2024). Este integrado es el microcontrolador del monitor de parámetros ambientales, a este llegan la información captada por los tres módulos sensores, DHT11, MH-Z19b, y el Sparkfun sound detector. Se escogió por su versatilidad, pequeño tamaño y su capacidad de transmisión de datos vía Wifi, lo cual se aprovecha para enviar y recibir los datos, y a su vez activar alarmas visuales que alerten del rebase de los límites. Este embebido posee la opción de trabajar con un voltaje de alimentación de una fuente de 3.3V o 5V, o una batería recargable.

Figura 4.

a) Imagen real y b) Descripción de pines del procesador embebido Xiao-ESP32-C3 mini



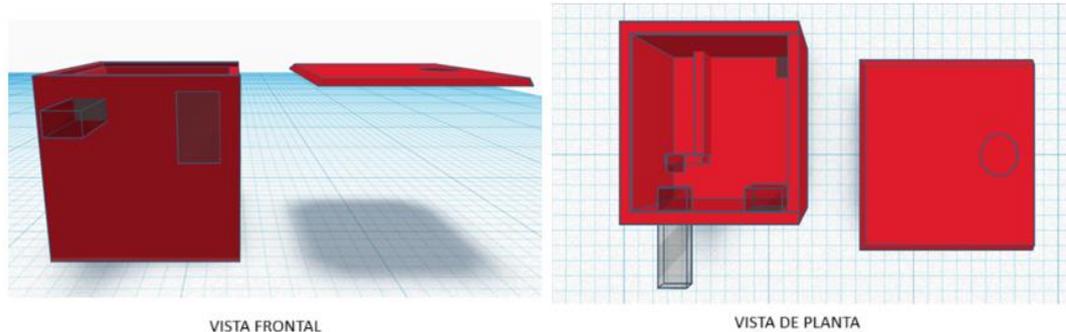
Fuente: <https://techiesms.com/product/seeed-studio-xiao-esp32c3/>

2.2.5. Desarrollo de chasis

Se está en el proceso de diseñar un chasis que permita colocar el monitor dentro de la Unidad de Cuidados Intensivos, para ello se realiza un modelo diseñado en software de ingeniería CAD 3D, para luego poder realizar la impresión 3D del mismo. Se toman como base las dimensiones de los componentes utilizados para el desarrollo del monitor ambiental y teniendo como objetivo la obtención de un chasis hermético y funcional. En cuanto al diseño, se realizó por medio de la herramienta virtual TinkerCAD ya que esta facilita la creación de modelos tridimensionales de manera gratuita y sencilla. El chasis posee una forma rectangular con una altura de 9 cm, un ancho de 9,63 cm y un largo de 10,43 cm, con el fin de dar espacio a todos los componentes y conservar un tamaño compacto. En la cara frontal posee dos aberturas con las dimensiones adecuadas para colocar tanto el sensor de CO₂, el sensor DHT11 y el sensor de ruido.

Figura 5.

Vista Frontal y de Planta del diseño 3D



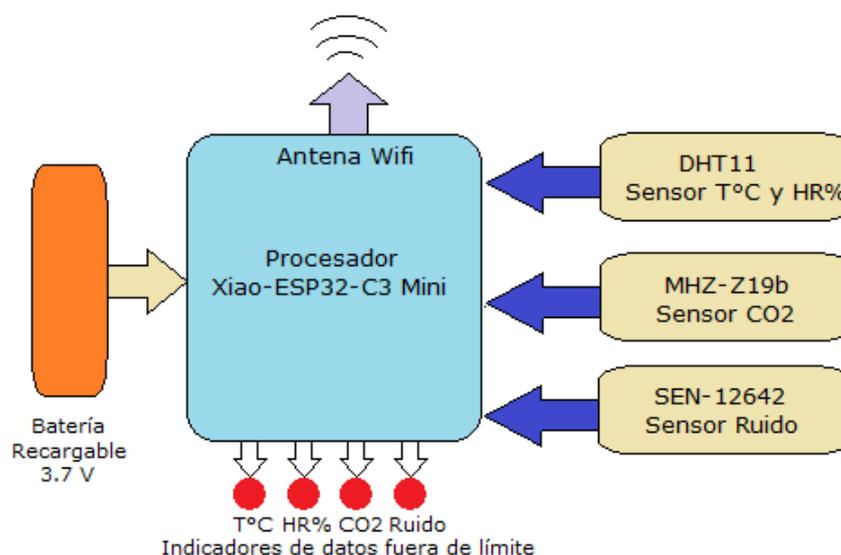
Fuente: Elaboración propia (2024).

3. Resultados

Los resultados obtenidos fue finalmente el desarrollo de un dispositivo que es capaz de medir los parámetros ambientales de ruido, temperatura, humedad relativa y dióxido de carbono en tiempo real y con transmisión de datos vía inalámbrica a un tablero de lectura alojado en una página web y a la vez almacenar los datos medidos. También se implementó un sistema de alarma de rebase de límites muy simple, a través de diodos led. A continuación, se presenta un diagrama de bloques del módulo implementado.

Figura 6.

Diagrama de bloques del módulo implementado



Fuente: Elaboración propia (2024).

Su funcionamiento es a través de un código alojado en el procesador embebido XIAO-ESP32-C3 Mini, el cual se describe a continuación: El sensor de dióxido de carbono MH-Z19b se conecta al puerto físico digital del embebido (pines D6 y D7). El sensor de temperatura y humedad relativa DHT11 se conecta a un puerto digital para la recepción de datos y el sensor

de sonido se conecta desde el pin ENVELOPE a un puerto analógico para obtener la señal de sonido. Se colocan en el código las librerías de Arduino para cada sensor, se asignan variables a cada parámetro y se colocan las líneas de lectura para cada dato. También se colocan en el código las condicionales de los límites de cada señal de datos para encender un diodo LED color rojo en caso la señal rebasa los límites indicados en la Tabla 1. También se coloca en el código los protocolos de comunicación para que los datos leídos sean transmitidos y almacenados a través de la señal inalámbrica Wifi y puedan ser leídos en una tabla de datos (*dashboard*) diseñada para este fin, y colocada en una página WEB.

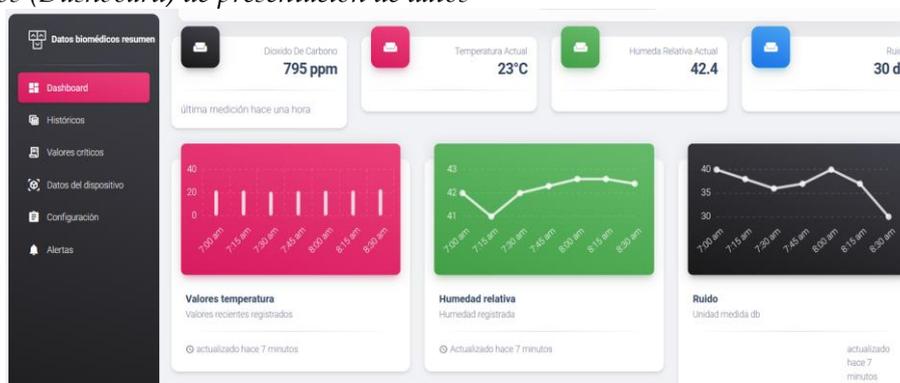
El protocolo de comunicación consiste en el almacenamiento de los datos tomados por los dispositivos de hardware, puesto que permiten la generación de un histórico de los datos que han ocurrido, ver tendencias y analizar dichas tendencias para tomar decisiones posteriores. Lo primero que se debe analizar es el tipo de dispositivo para determinar las librerías que deben incluirse para su conexión Wifi, también se debe determinar la dirección MAC del dispositivo, esto se realiza con el objetivo de que, aunque haya más elementos dentro de la red y su dirección IP cambie (IP dinámica), siempre se pueda identificar el dispositivo con el que la aplicación debe conectarse.

Los rangos de valores permitidos para los datos esperados: temperatura, humedad relativa, ruido y dióxido de carbono (CO₂) fueron considerados para los indicadores de la aplicación para señalar qué valores se consideran normales y cuáles pueden catalogarse como valores de alerta. El tipo de dato en los campos también fue considerado para la elaboración de la base de datos. Lo vital del proceso de almacenamiento y muestra es comprender el tipo de dato que se espera y así mostrarlo correctamente en el tablero de datos (*dashboard*) de forma que su lectura sea de fácil comprensión por quienes deben dar seguimiento a los datos.

La aplicación ha sido desarrollada en lenguaje PHP que trabaja sobre plataforma web y el gestor de base de datos seleccionado es MySQL debido a su compatibilidad con el lenguaje de programación seleccionado y además por su facilidad de uso (Welling L, Thomson L., 2017). Para su interfaz se ha empleado JavaScript y *bootstrap* que mejora mucho la experiencia del usuario. El servidor empleado es Apache y para las pruebas iniciales se trabajó con un equipo como servidor local para la red interna. La interfaz del sistema captura los datos que son enviados desde el dispositivo, en realidad los datos son almacenados en la base de datos y desde ahí se toman para actualizar la interfaz del sistema que actualmente trabaja o refresca cada 5 segundos o dependiendo de la continuidad necesaria para este tipo de datos en concreto.

Figura 7.

Tabla de datos (*Dashboard*) de presentación de datos



Fuente: Elaboración propia (2024).

Aunque los fabricantes de cada uno de los componentes utilizados aseguran la exactitud y la fiabilidad de la lectura de los datos, se necesita realizar una comparación con equipos medidores de parámetros que posean calibración, de tal manera que se pueda realizar una validación de las lecturas y poder así ofrecer un alto grado de confiabilidad a la hora de la obtención de los datos. Se muestran los equipos utilizados para este fin. Para la validación de los datos de dióxido de carbono (CO₂), temperatura y humedad relativa se utilizó el medidor de parámetros marca EXTECH, modelo CO250, el cual es un medidor portátil de calidad de para aire en interiores. Para la validación de los datos de intensidad sonora en decibeles (ruido ambiental) se utilizó el medidor multiparámetros marca EXTECH, modelo EN300, el cual es un medidor portátil que es capaz de medir 5 parámetros ambientales: iluminación, ruido ambiental, humedad relativa, temperatura y velocidad del aire. Para cada parámetro el error entre la lectura de los medidores de fábrica y los valores del módulo objeto de la presente investigación arrojaron un error menor al 2%. A continuación, se muestra imagen de los equipos descritos con lecturas activas.

Figura 8.

a) Equipo EXTECH CO250 medidor de CO₂, temperatura y humedad relativa y b) Equipo EXTECH EN300 medidor intensidad sonora en decibeles y otros parámetros



Fuente: Elaboración propia (2024).

4. Discusión

Un punto importante que se pudo corroborar con la presente investigación es la poca atención que se le brinda al aspecto ambiental en los ambientes hospitalarios salvadoreños, salvo en el momento en que se diseña y construye la infraestructura, utilizando normativas de variado origen para ensamblar las edificaciones en salud. A partir de este momento, no se constató un proceso de seguimiento, supervisión o monitoreo de los parámetros ambientales al interior de los recintos; situación que sin saberlo puede estar contribuyendo a que la salud de los pacientes y personal médico esté siendo afectada de alguna manera por parámetros ambientales fuera de rango. Estamos convencidos que el dispositivo que se está planteando diseñar y construir en el presente trabajo contribuirá, al menos en el aspecto ambiental, llevará a un mejor control y manejo de los equipos que proporcionan ambiente controlado e invitará a tomar las medidas necesarias para optimizar su desempeño. Así también se espera contribuir en un futuro cercano en la elaboración de normativas y estándares nacionales que rijan todo lo concerniente al diseño de los ambientes clínicos hospitalarios, a su diseño, control y monitorización. De esta forma se podrá incluir esta información en la formulación de los estándares de diseño de hospitales y clínicas que alguna vez tendrá que afrontar la sociedad salvadoreña.

También se han identificado algunos retos que implican llevar a cabo proyectos de desarrollo tecnológico como el presente. Se verifica que no en todos los ambientes de salud clínico-hospitalarios se posee señal de internet o Wifi. Será importante el encontrar un ambiente hospitalario donde se instale se cuente con una señal de internet inalámbrica lo suficientemente potente para poder realizar las lecturas sin mayores contratiempos. De lo contrario, la solución podría ser la modificación del diseño adicionando módulos de memorias SSD externas para guardar los datos y realizar sus lecturas posteriormente. Otro reto importante que se presenta durante el desarrollo de este tipo de investigaciones es el hecho de que aun en El Salvador no existen tiendas especializadas en este tipo de tecnologías, por lo que es necesario importar las piezas más avanzadas como lo son los sensores de dióxido de carbono, el sensor de sonido y el circuito embebido programable. Esto representa muchas veces un retraso considerable en los planes de ejecución de la investigación. También abona a este punto el que aun los simuladores de circuitos electrónicos aun los más actualizados no poseen entre sus componentes este tipo de tecnología, lo que también vuelve complicado el proceso de diseño a través de simulaciones y proyecciones de planos electrónicos.

5. Conclusiones

Hoy día estamos ante una realidad en la que la tecnología ha incursionado en todos los ámbitos de la vida y de la sociedad. Para el área de diseño de dispositivos electrónicos y biomédicos, la gama de opciones disponibles es muy elevada, tanto en el tipo de sensores a utilizar como el de circuitos embebidos para su procesamiento, presentación y registro. Sumado a esto, la tecnología IoT ha venido a facilitar y ofrecer una cantidad de opciones para la transmisión, almacenamiento, procesamiento en la nube, y últimamente las aplicaciones de Inteligencia Artificial que facilitan el análisis y utilización de bases de datos de otras investigaciones a nivel mundial. Los ingenieros estamos en la obligación de actualizarnos tecnológicamente lo que nos llevará a mejorar nuestros diseños y sistemas de tal manera que, al final, buscan el beneficio de nuestras comunidades y sociedad en general.

El hecho de poder monitorizar los parámetros de manera permanente y en tiempo real proporciona datos importantes en horas difíciles de monitorear manualmente, como los son las madrugadas o los días festivos. Este punto es importante de resaltar ya que la reducción de la intervención humana en este tipo de mediciones mejora la exactitud de estas y proporciona datos inmediatos y en tiempo real gracias a la tecnología IoT. Además, esto

servirá para en un futuro tomar decisiones de diseño de climatización de ambientes hospitalarios, mejoras o ajustes a los sistemas ya montados de aire acondicionado, y en el diseño de infraestructura que asegure que los límites dictados por los estándares no sean sobrepasados.

El propósito de la construcción de este dispositivo para colaborar al mejoramiento de las condiciones ambientales hospitalarias se puede hacer extensivos al resto de ambientes hospitalarios tanto donde haya pacientes como aquellos donde no los hay, ya que en cualquier circunstancia y funciones es necesaria la monitorización y el control de parámetros ambientales, para la seguridad y la comodidad de pacientes, usuarios y trabajadores; sin mencionar la contribución al buen funcionamiento de las tecnologías médicas. Por ejemplo, en el área de cocinas donde se utilizan gases inflamables, o también extender la medición a gases médicos como óxido nitroso o gases anestésicos. Se puede también mejorar el sistema de transmisión de datos con el diseño de centrales de información y enlazando el sistema con la red hospitalaria de datos. Las posibilidades de mejorar, ampliar y expandir esta idea son muy amplias.

El diseño escogido está alineado con las nuevas tecnologías de Inteligencia Artificial, ya que el hecho de utilizar un dispositivo IoT que recoja datos de parámetros ambientales y estos sean almacenados en una base de datos de carácter abierto; facilitando su acceso en la nube, permitirá a investigadores de cualquier parte del mundo utilizarlos y con mucha probabilidad incluirlos para lograr mejores diseños de una multiplicidad de dispositivos que contribuirán al diseño de ambientes tanto domésticos como especiales para el trabajo y la salud, en cualquier país del mundo. Por el momento está en proceso la parte de la recolección formal y la divulgación de esta próxima fase del dispositivo y la investigación del presente documento.

6. Referencias

- Barquín, M. (2013). *Dirección de Hospitales: Sistemas de Atención Médica*. McGraw-Hill.
- Barturen, F., Paz-Martín, D., Monedero, P., Cardona-Pereto, J., Fernández-Quero, L., Valía, J.C., Peyro, R. y Sanchez, C. (2019). Estructura de las unidades de cuidados intensivos de anestesia: recomendaciones de la Sección de Cuidados Intensivos de la Sociedad Española de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor (SEDAR). *Revista Española de Anestesiología y Reanimación*, 66, 506-520. <https://doi.org/10.1016/j.redar.2019.06.004>
- Berenguer, J. y Bernal, F. (2000). *NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España.
- Chakraborty, C. y Rodrigues, J. (2022). *Smart Health Technologies for the COVID-19 Pandemic - Internet of Medical Things Perspectives*. Institution of Engineering and Technology (IET).
- Di Paolo, M. E. (2013). *Data Acquisition Systems: From Fundamentals to Applied Design*. Springer.
- Espressif Systems. (2024). *Hoja de Datos del Procesador Embebido Programable XIAO-ESP32-C3 Mini*. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3-mini-1_datasheet_en.pdf
- Mouser Electronics. (2019). *Hoja de Datos del Sensor DHT11 para Medición de Temperatura y Humedad Relativa Ambientales*. <https://bit.ly/3S7kB6s>

- O'Connell, N. y Humphreys, H. (2000). Diseño de la unidad de cuidados intensivos y factores ambientales en la adquisición de infecciones. *The Journal of Hospital Infection*, 55, 255-262. <https://doi.org/10.1053/jhin.2000.0768>
- Organización Panamericana de la Salud. (2020). *Recomendaciones para calefacción, ventilación y aire acondicionado en establecimientos de salud*. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/52220>
- Rashid, M. (2014). Two decades (1993-2012) of adult intensive care unit design: A comparative study of the physical design features of the best practice examples. *Critical Care Nursing Quarterly*.
- Sánchez, I., de la Torre, A. y Somoza, J. (2010). *Unidades de cuidados intensivos: Estándares y recomendaciones*. Ministerio de Sanidad de España.
- Schwab, F., Gastmeier, P. y Meyer, E. (2014). The warmer the weather, the more gram-negative bacteria - impact of temperature on clinical isolates in intensive care units. *PLoS One*, 9, 91-105. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0091105>
- Sparkfun Electronics. (2024). *Hoja de Datos del Sensor de Sonido (Ruido Ambiental) SEN-126412*. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/sound-detector-hookup-guide>
- Teledyne Flir. (2024). *Especificaciones Técnicas medidor de parámetros ambientales 5 en 1 modelo EN300*. <https://www.flir.com.mx/products/en300/?vertical=condition%20monitoring&segment=solutions>
- Teledyne Flir. (2024). *Especificaciones Técnicas medidor de parámetros ambientales CO2, Temperatura y Humedad Relativa ambientales modelo CO250*. <https://www.flir.com.mx/products/co250/?vertical=condition%20monitoring&segment=solutions>
- The American Institute of Architects (2006). *Guidelines for Design and Construction of Hospital and Health Care Facilities*. AIA.
- Welling, L. y Thomson, L. (2016). *The definitive guide to building database-driven Web applications with PHP and MySQL*. Addison-Wesley Professional.
- Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. (2019). *Hoja de Datos del Sensor MH-Z19b para Medición de CO2 ambiental*. <https://www.winsen-sensor.com/d/files/MH-Z19B.pdf>

CONTRIBUCIONES DE AUTORES/AS, FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Contribuciones de los/as autores/as:

Conceptualización: Hernández Guevara, Leopoldo; **Software:** Morales Samayoa, Carmen Celia **Validación:** Hernández Guevara, Leopoldo **Análisis formal:** Hernández Guevara, Leopoldo; **Curación de datos:** Hernández Guevara, Leopoldo; **Redacción-Preparación del borrador original:** Hernández Guevara, Leopoldo **Redacción-Revisión y Edición:** Hernández

Guevara, Leopoldo y Morales Samayoa, Carmen Celia **Visualización:** Hernández Guevara, Leopoldo y Morales Samayoa **Supervisión:** Hernández Guevara, Leopoldo y Morales Samayoa **Administración de proyectos:** Hernández Guevara, Leopoldo y Morales Samayoa **Todos los/as autores/as han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito:** Hernández Guevara, Leopoldo y Morales Samayoa.

Financiación: Esta investigación recibió la financiación de la Universidad Don Bosco, El Salvador C.A.

Agradecimientos: El presente trabajo nace del esfuerzo de la Universidad Don Bosco y su personal docente y administrativo en contribuir mediante la investigación al bienestar de la sociedad salvadoreña.

Conflicto de intereses: No existe conflicto de intereses.

AUTORES:

Leopoldo Hernández Guevara:

Docente Tiempo Completo, Escuela de Biomédica, Universidad Don Bosco.

Graduado como Ingeniero Biomédico en el año 1993, con maestría en Manufactura Integrada por Computadora y diplomado en Aseguramiento de la Calidad en la producción. Experiencia laboral de más de 15 años como asesor y consultor de tecnologías - equipamiento biomédico en el Instituto Salvadoreño del Seguro Social, Ministerio de Salud Pública de El Salvador, Agencia Alemana de Cooperación Técnica. Con más de 15 años de experiencia como docente e investigador académico en la Universidad Don Bosco de El Salvador, impartiendo cátedras y laboratorios de asignaturas como Bioinstrumentación, Procesamiento de Señales e Imágenes Médicas, Administración de Tecnologías Médicas, entre otras. Participación en congresos nacionales e internacionales, con participación en ponencias, tales como CONIA, CONCAPAN, y CUICID en el año 2023.

leopoldo.hernandez@dudb.edu.sv

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-4545-4447>

Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58147269300>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Leopoldo-Hernandez-3>

Carmen Celia Morales Samayoa:

Ingeniero en Ciencias de la Computación, Maestra en Arquitectura de Software, actualmente docente en la Escuela de Computación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Don Bosco. Experiencia en análisis y diseño de sistemas en el sector gubernamental de El Salvador. Investigadora en proyectos asociados a Realidad Aumentada en la Universidad de Queen's en Ontario Canadá y en proyecto de investigación de Realidad Aumentada y rehabilitación de la marcha en pacientes con amputaciones en extremidades inferiores.

carmen.morales@udb.edu.sv

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-4726-595X>