# Health Monitoring in Smart Homes Utilizing Internet of Things (Monitoreo de salud en hogares inteligentes que utilizan Internet de las cosas)

**Abstracto:**

En los últimos años, el concepto de Internet de las cosas (IoT) ha evolucionado para conectar dispositivos comerciales junto con el campo médico para facilitar un rango de accesibilidad sin precedentes. El desarrollo de dispositivos médicos conectados a Internet de las cosas ha sido elogiado por el potencial de aliviar la tensión en el sistema de salud moderno al brindar a los usuarios la oportunidad de residir en el hogar durante el tratamiento o la recuperación. Con el IoT cada vez más frecuente y disponible a nivel comercial, existe espacio para la integración en entornos emergentes e inteligentes, como los hogares inteligentes. Cuando se utiliza junto con la atención médica convencional, el IoT ofrece una amplia gama de opciones de tratamiento a medida. Este artículo estudia investigaciones recientes de vanguardia en el campo de IoT para el monitoreo de la salud y hogares inteligentes, examina varios casos de uso potenciales de combinar la tecnología y propone la integración con un banco de pruebas de hogares inteligentes existente para su posterior estudio. También se discuten los desafíos de la adopción y la investigación futura sobre el tema.

**Publicado en:**[Conferencia internacional IEEE / ACM 2019 sobre salud conectada: aplicaciones, sistemas y tecnologías de ingeniería (CHASE)](https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8905987/proceeding)

**Fecha de la conferencia:** 25-27 de septiembre de 2019

**Fecha añadida a IEEE *Xplore* :** 25 de noviembre de 2019

**Información del ISBN:**

**Número de** registro de **INSPEC:** 19174455

**DOI:**[10.1109 / CHASE48038.2019.00020](https://doi.org/10.1109/CHASE48038.2019.00020)

**Editorial:**IEEE

**Lugar de la conferencia:** Arlington, VA, EE. UU., EE. UU.

**SECCIÓN I.**

## **Introducción**

La atención médica es una parte enorme de la vida moderna, y a medida que la tecnología se desarrolla, también lo hacen las oportunidades de atención. La tensión en el sistema de salud actual causada por el envejecimiento de la población y las afecciones crónicas correlacionadas ha sido bien documentada y explorada, con el consenso de que la demanda rigurosa del sistema tiene efectos negativos tanto en los pacientes como en los proveedores [1] , [2] . La integración del Internet médico de las cosas (IoT) con las prácticas tradicionales tiene el potencial de aliviar parte del estrés que se ejerce sobre los proveedores de atención médica al cambiar el monitoreo no crítico y la recopilación de datos a un sistema capaz de registrar y analizar datos de pacientes en busca de anomalías que puedan indicar profesionales Se necesita intervención.

La investigación sobre el IoT en la atención médica se ha centrado considerablemente en el seguimiento de pacientes con afecciones crónicas específicas que tienen un fuerte impacto en la calidad de vida a medida que los pacientes envejecen, como aquellos con enfermedad de Parkinson y diabetes [3] , [4] . Estas dolencias particulares se convierten en una parte permanente de la vida de una persona y requieren atención constante. Por ejemplo, la enfermedad de Parkinson no tiene cura, pero es posible controlar los síntomas y controlar la condición del paciente a medida que la enfermedad progresa. En el caso de pacientes con diabetes, el uso de dispositivos implantados para el monitoreo continuo de glucosa se ha convertido en algo común y es muy recomendable porque estos dispositivos pueden proporcionar información en tiempo real sobre la concentración de glucosa en sangre [4] . Los monitores de glucosa implantados también pueden recopilar datos durante varios días para observar tendencias que pueden ser aparentes con el tiempo. Sin embargo, existe una cantidad de sensores no invasivos que son livianos, inalámbricos y que los pacientes pueden usar para ayudar a controlar los ritmos cardíacos anormales, bajo nivel de oxígeno en la sangre, movimientos irregulares que pueden indicar lesiones por caída y otros síntomas. Muchos de estos dispositivos, y otros productos electrónicos de consumo, están diseñados para emparejarse de forma inalámbrica con la tecnología del usuario, como tabletas y teléfonos, para registrar datos que luego pueden analizarse en un servidor en la nube. Este documento considera cómo los dispositivos de detección médica se han implementado previamente para proponer una nueva forma de usarlos en un entorno doméstico inteligente para la atención del usuario.

Para capitalizar la versatilidad de los sensores médicos inalámbricos, hay un número creciente de estudios que buscan crear redes con aplicación a una variedad más amplia de condiciones [3] - [4] [5] [6] . Estos estudios emplean sensores en una red inalámbrica de área corporal (WBAN) para monitorear la salud del paciente. En algunos casos donde los dispositivos pueden comunicarse a través de Bluetooth, los datos se envían al teléfono inteligente de un usuario [7] para su procesamiento y almacenamiento. El sistema considerado en este documento examina una WBAN en el contexto de una casa inteligente donde el procesamiento del teléfono inteligente se sustituye por un servidor capaz de almacenar, procesar y actuar en el entorno en función de los datos del usuario.

Para explorar más a fondo la idea de usar dispositivos médicos de IoT en el contexto de un hogar inteligente para el tratamiento y la recuperación de pacientes, este artículo analiza la simulación de varios casos comúnmente estudiados en el contexto de un banco de pruebas de edificios inteligentes existente presentado anteriormente en [8] . The testbed is a multi-floor, multi-room physical representation of a smart building that can be tailored to different contexts without drastically altering the underlying physical structure. The smart home system used in this paper is designed with a distributed control system that can be capitalized on by expanding the building system to include inputs from resident biometric data in order to customize the response of the home environment. With a distributed system, modification can be made to controllers on individual floors or in rooms without necessitating modification of the entire system. This allows for consideration of multiple occupants who may or may not be using wearable devices of their own. For patients with limited mobility, this can involve increasing resident comfort by adapting settings such as light intensity or temperature without affecting rooms primarily used by other residents. Additional user safety and security can be addressed by having the ability to automatically contact a caregiver or emergency services in the event of abnormal incidents where there is no user response. Safety can even be increased by introducing machine learning into the control system to learn the basic routine of a patient. For example, patients with Alzheimer’s disease can have a tendency to wander off and become disoriented. In this case, the designed control system can reduce the likely-hood of patient injury or death from exposure by alerting a caregiver of unusual activity such as leaving the home during the night outside of normal routine.

[[
Fig. 1
 - 

A medical IoT network consists of devices that can collect, analyze, and act on patient data such as brain activity (EEG), temperature, respiratory rate, blood glucose, gait, medication intake, blood oxygen, heart rate, and many more useful metrics

](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8905987/8908628/8908641/linko1-468700a029-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8905987/8908628/8908641/linko1-468700a029-large.gif)

**Fig. 1.** A medical IoT network consists of devices that can collect, analyze, and act on patient data such as brain activity (EEG), temperature, respiratory rate, blood glucose, gait, medication intake, blood oxygen, heart rate, and many more useful metrics

The structure of this paper is as follows. Section II considers the relation between the current research of medical IoT and smart buildings. Integration of WBANs to the smart home testbed for the development of test cases and further refining of current objectives are presented in section III . Conclusions and future research directions are presented in section IV .

**SECTION II.**

## **Medical Internet of Things and Smart Homes**

El Internet de las cosas ha crecido hasta abarcar cualquier objeto conectado incrustado con un dispositivo que le permite enviar y recibir datos. Estos dispositivos pueden conectarse directamente a Internet a través de un punto de acceso, o pueden conectarse a un dispositivo habilitado para Internet a través de Bluetooth. El Internet médico de las cosas puede constar de muchos dispositivos y está personalizado según las necesidades del usuario. Los sensores portátiles comunes miden la frecuencia cardíaca, el oxígeno en sangre, la glucosa en sangre, la temperatura corporal y la marcha ( Fig. 1 ). Estos dispositivos se pueden conectar directamente a Internet o a un dispositivo habilitado para Internet, como un teléfono inteligente, una computadora portátil o una tableta.

Las redes de área corporal usable (WBAN) son un componente crucial de la IoT médica [7] . The influx of commercially available devices designed to be non-invasive and generally unobtrusive to a user’s daily routine has created an opportunity for tailored medical care without exorbitant equipment costs. WBANs can be single-purpose sensors such as pulse oximetry sensors that measure the level of oxygen in a user’s blood, or more complex devices comparable to Fitbits, which are capable of tracking location, logging activity, and measuring heart rate. For patients in stable, non-critical conditions, monitoring using WBANs allows for recovery at-home or in the home of a caretaker instead of remaining in the hospital under observation after the completion of primary treatment. When possible, recovery at home is often preferred due to the familiar surroundings and control that a patient has over their routine. In some countries, insurance coverage may also be a concern as patients that have been admitted for observation (who are considered outpatients) are not covered in the same way as they may be with admittance as an inpatient under a doctor’s order. Moving patients out of medical facilities has the added benefit of increasing the number of free beds for patients that need more involved care and monitoring. Devices such as pill dispensers for reminding users of medication routines, personal emergency response systems (PERS), and unlit gas sensors can also be integrated into a smart home to work in tandem with wearable devices to create a more robust network for user care.

Los pacientes con enfermedades crónicas o que de otro modo necesitan atención a largo plazo pueden beneficiarse del uso de WBAN para documentar información vital para crear un registro más completo y detallado de su salud. Este registro puede ser útil para un profesional médico al proporcionar información o detalles que pueden no ser evidentes en una visita de consulta típica. La documentación de afecciones anormales que aparecen en circunstancias específicas, como después de un ejercicio intenso o después de tomar ciertos medicamentos, puede ayudar a diagnosticar afecciones graves antes de que alteren la vida diaria de una persona o provoquen graves consecuencias para la salud del paciente.

El monitoreo general del bienestar de una persona es posible con el IoT médico. Esto también se aplica a situaciones en las que no es necesario recopilar datos explícitamente con la intención de presentarlos a un proveedor médico. Las personas de edad avanzada que no tienen los medios o el deseo de vivir con un cuidador, o en una instalación asistida, pueden beneficiarse al tener dispositivos que pueden controlar las caídas. Además, garantizar la seguridad de los usuarios puede incluir registrar la ubicación de las personas mayores que pueden estar en las primeras etapas de la demencia y notificar a un contacto preferido si la persona sale de una rutina o área regular durante un período prolongado de tiempo.

### A. Aprendizaje automático para el Internet médico de las cosas.

La tecnología médica tiene poco margen de error. El delgado margen de error se aplica con mayor fuerza en los casos en que los pacientes están siendo monitoreados fuera de un entorno médico típico. Las WBAN pueden proporcionar una gran cantidad de información sobre el estado físico actual de una persona, pero corren el riesgo de mediciones defectuosas, fallas de hardware, problemas de software y cualquier número de problemas exclusivos de la situación en la que se han implementado. La incorporación del aprendizaje automático para detectar anomalías en las lecturas de redes de sensores médicos se ha propuesto e implementado con cierto éxito [9] . Como se discutió en [3] , los algoritmos inteligentes se utilizan efectivamente para administrar los recursos del dispositivo y filtrar grandes cantidades de datos multidimensionales, muchos de los cuales no tienen patrones correlativos indicativos de la enfermedad visible para la inspección humana.

En los casos en que las lecturas habituales de un paciente se desvían en un rango estrecho, los grandes cambios o picos pueden indicar un problema de salud. El modelado predictivo se puede utilizar para pronosticar la desviación en las lecturas biométricas, como la presión arterial, el colesterol, el azúcar en la sangre, etc., tanto de las lecturas de referencia normales del paciente como de los rangos "seguros" aceptados. La minería de datos se puede utilizar con las características del paciente, como la edad, el peso, las condiciones médicas anteriores y el historial de medicamentos para establecer una línea de base personal [10] . Cuando se proporcionan datos multidimensionales, el aprendizaje automático puede aplicarse con un efecto más significativo para predecir condiciones futuras basadas en las tendencias actuales. Las redes neuronales artificiales (ANN) se han utilizado para procesar datos médicos y ayudar en el diagnóstico de algunas afecciones [11] , [12] . En [13] , un marco de aprendizaje automático está diseñado para aprovechar las tecnologías de capa MAC de IoT para hacer frente a la heterogeneidad de diferentes dispositivos de IoT en escenarios de hogares inteligentes. Con la aplicación del aprendizaje automático a la IoT médica, es posible detectar algunas anomalías de manera temprana, antes de que se desvíen de las normas aceptables, al monitorear la deriva desde una línea de base establecida del paciente. Del mismo modo, la condición del paciente durante la recuperación o los cambios en la rutina de la medicación pueden monitorearse para detectar desviaciones inaceptables que pueden incluir presión arterial baja, aumento de la glucosa en sangre o una fracción de oxígeno baja inspirada.

### B. Características notables para el cuidado de la salud en hogares inteligentes

Smart buildings, including smart homes, are intelligent structures that utilize the Internet of Things and embedded, wired devices to increase resident comfort and reduce operation costs by efficiently managing resources. These buildings employ on-location controllers capable of collecting and analyzing data, and then controlling actuators to adjust the environment as needed to fit programmed or user-set parameters.

A medical IoT with WBANs deployed in a smart home shares several main aspects with smart buildings. However, the highest priority is given to a user’s safety, followed by comfort. Notable features of a medical IoT integrated into a smart home are as follows:

#### 1) User Safety

Patient safety is the primary concern of a medical IoT network. As this network involves a person who may face potentially life-threatening health concerns, a method of contacting caregivers or emergency services is required. In cases where there is an atypical event or reading, the system will first attempt to get a response from the patient to reduce false alarms. If the patient does not respond, a caretaker should be notified. Depending on the severity of the event, emergency services may also be notified. It is possible for sensors to slip out of place and give abnormal, but not alarming, readings, so alerting a caretaker to check on sensor placement and patient health before notifying emergency services can reduce erroneous calls to emergency services. In the event of a serious issue such as a fall or cardiac arrest, or if the caretaker does not respond in a reasonable amount of time, emergency services should be contacted as soon as possible.

User safety is not solely reliant on WBANs in a smart home environment. In cases where a user may be living with dementia, the risk of potential injury can be reduced by integrating commonly used appliances into the normal IoT network. If an oven or stove top has been left on for an unusual period of time, the smart home should be able to alert a resident or caregiver. With a context-aware controller, detection of such an incident can be done with the same passive infrared (PIR) sensor used to monitor movement for a security system. Furthermore, integration of medical technology in to a smart home has several advantages over short-term care facilities for personalized care. Consideration for patient routine can be worked into the network by integrating monitoring into fixed utilities and furniture. In [14] the authors integrate sensors in to a bathtub to monitor if a person becomes submerged or otherwise incapacitated while bathing. A chair with built in electrocardiogram (EKG) sensors is described in [15] , which can monitor a patient with limited mobility who may spend long periods of time in the same location. Also, if patients with dementia are prone to wandering outside of the building, a caretaker can be alerted if the user has left at unusual hours or has been outside the building for an extended period of time.

#### 2) Comfort

Comfort in a smart building depends on the condition of the environment around the resident. Sensor placement and devices used in a WBANs have a high impact on comfort in a medical IoT network. A consideration toward patient comfort is the effort needed to engage with the devices in the network. Constant and direct engagement with devices creates inconvenience for both users and caregivers. Ideally, maintenance of devices in a WBAN should not complicate a user’s routine so that the daily routine needs to be designed around constant engagement of devices in the network. Device abandonment becomes a serious issue when patients become frustrated with technology and believe that the hassle of operation is greater than the ultimate benefit [16] , [17] . If a medical device is large or otherwise designed to be non-mobile, such as a continuous positive airway pressure (CPAP) machine, the interface for operation should be straightforward. Patients who have been released to recover at home may not want or need anything beyond passive monitoring of their recovery over a short period of time. Wired devices or devices that need constant charging risk becoming a hindrance. Elderly patients living with dementia may not be capable of maintaining, cleaning, or operating complex devices. Therefore, WBANs should be unobtrusive, with the predominant goal of not interfering with a patient’s daily routine.

#### 3) Patient Heath

Medical IoT networks are not designed as a replacement for professional medical advice or care. These networks should work in tandem with a professional in order to facilitate personalized care with greater nuance than traditional consultations alone. Medical IoT in a home environment is customizable to the point where the user and caregiver are comfortable interacting with the system - if the case is that neither user nor caretaker are comfortable with or able to maintain medical IoT devices, then nothing is lost by utilizing traditional medical facilities. For users and caretakers that are comfortable with these devices, then there is the potential for freedom and autonomy that has not been previously available.

In cases where insurance may not cover extended hospital stays for monitoring, WBAN devices will be available to collect data that can be reviewed by a professional. Machine learning can be implemented as a forecasting tool for potential diagnostics [11] . Parkinson’s disease [3] , diabetes [4] , and Friedreich’s ataxia [5] have been successfully identified and monitored using wearable sensors.

#### 4) Design Flexibility

La naturaleza adaptable de los edificios inteligentes ofrece amplias oportunidades de personalización. En los casos en que el edificio utiliza un sistema de control distribuido, un sistema en el que varias unidades de control autónomas trabajan hacia el mismo objetivo bajo la supervisión de un controlador coordinador, las habitaciones o pisos individuales pueden desconectarse para su modificación sin obstruir las unidades de control en el resto de el edificio. Esto también permite que el sistema se personalice de manera más efectiva para habitaciones individuales mientras se puede coordinar entre subsistemas. Por ejemplo, un controlador en una cocina puede controlar luces, calefacción y aire, y monitores de gas sin luz, mientras que un controlador ubicado en un garaje puede controlar luces y un sistema de seguridad. Si bien estos sistemas no necesitan funcionar independientemente uno del otro, cada piso o habitación no necesita operar de la misma manera porque tienen funciones diferentes. En un hogar inteligente, es concebible que solo la sala de estar del paciente necesite reaccionar a las señales de los datos de un usuario de IoT médico. Para hogares inteligentes donde los usuarios de IoT médicos viven con un cuidador, si el usuario no puede acceder a partes de un edificio debido a problemas de movilidad, como pacientes de edad avanzada que no pueden subir las escaleras, las áreas generalmente inaccesibles pueden personalizarse por separado para la rutina del cuidador, o no personalizarse en absoluto. Esto puede extenderse a centros de atención médica, incluidos hogares de atención o hospicios, que necesitan equilibrar a muchos pacientes dentro de un solo edificio. Para hogares inteligentes donde los usuarios de IoT médicos viven con un cuidador, si el usuario no puede acceder a partes de un edificio debido a problemas de movilidad, como pacientes de edad avanzada que no pueden subir escaleras, las áreas generalmente inaccesibles pueden personalizarse por separado para la rutina del cuidador, o no personalizarse en absoluto. Esto puede extenderse a centros de atención médica, incluidos hogares de atención o hospicios, que necesitan equilibrar a muchos pacientes dentro de un solo edificio. Para hogares inteligentes donde los usuarios de IoT médicos viven con un cuidador, si el usuario no puede acceder a partes de un edificio debido a problemas de movilidad, como pacientes de edad avanzada que no pueden subir escaleras, las áreas generalmente inaccesibles pueden personalizarse por separado para la rutina del cuidador, o no personalizarse en absoluto. Esto puede extenderse a centros de atención médica, incluidos hogares de atención o hospicios, que necesitan equilibrar a muchos pacientes dentro de un solo edificio.

#### 5) Información y compromiso del usuario

Con muchos dispositivos, existen interfaces de usuario en forma de aplicaciones que permiten a los usuarios ver sus datos. Debido a la cantidad de aplicaciones y puertas de enlace necesarias para las redes IoT tradicionales, se han propuesto muchos intentos [18] para administrar las conexiones de dispositivos. Los paneles resultantes, o interfaz de usuario, en muchos aspectos se asemejan a los implementados comercialmente para edificios inteligentes para ver las condiciones ambientales. Permitir a los usuarios ver sus propios datos fomenta un compromiso positivo, lo que conduce a una disminución en el abandono de la tecnología [16] , [17] . Los pacientes pueden mantenerse informados sobre el estado de su propia atención al tener la capacidad de ver los datos en cualquier momento.

**SECCION III.**

## **Incorporación de una red de dispositivos médicos de IoT en un banco de pruebas de edificios inteligentes**

La telesalud no es un nuevo tema de investigación. La idea de la atención remota al paciente ha existido durante décadas y a menudo se ha promocionado como una forma de obtener consultas de especialistas en todo el mundo. Sin embargo, con el reciente interés en los beneficios de los edificios inteligentes y el aumento del ecosistema más grande de ciudades inteligentes, existe un interés en utilizar la conectividad en el hogar del usuario para aumentar la calidad de vida. La IoT basada en la medicina puede aprovechar esa conectividad al extenderla a dispositivos de sensores personales que permiten un entorno hogareño inteligente para acomodar la seguridad y la salud de los residentes mientras buscan maximizar la comodidad.

Anteriormente diseñamos e implementamos un banco de pruebas para un prototipo de edificio inteligente que utiliza soluciones de IoT para recopilar, analizar y administrar datos de sistemas de construcción [8] . El banco de pruebas actual es una representación física de varios pisos y varias habitaciones de un edificio inteligente capaz de personalizarse para diversos fines de prueba. Tiene puertas, ventanas, elementos de calefacción, ventiladores, luces LED, sensores de movimiento PIR y cámaras completamente funcionales, colocados como se muestra en la Fig. 2 . El objetivo principal de un edificio inteligente, un sistema ciberfísico que se ajusta a las necesidades del residente de una manera que proporciona la máxima comodidad y minimiza el costo operativo, se extiende aquí para incluir la seguridad y la salud del residente. A los fines de este documento, no se aborda la interacción del edificio dentro del alcance más amplio de una ciudad inteligente. En [8] , el proyecto se implementa en tres unidades: control y análisis de datos, comunicación y datos, y visualización. El edificio está equipado con un controlador distribuido que utiliza un Raspberry Pi responsable de recopilar datos y controlar los actuadores integrados en cada piso. La comunicación se realiza mediante WiFi a través de los módulos HUZZAH ESP8266 capaces de comunicarse directamente con la Raspberry Pi, que está configurada como un punto de acceso a un servidor. Los mensajes se transmiten a través del protocolo de transporte de telemetría de colas de mensajes (MQTT). Los datos de los sensores se pueden mostrar a través de un tablero desplegado como un servidor web como parte de la unidad de visualización. Además, una interfaz gráfica de usuario (GUI) permitirá a los usuarios controlar aspectos del hogar, como la temperatura, la iluminación y otros actuadores del sistema.

[[
Fig. 2
 - 

Layout of sensors and actuators on the four floors of the smart building testbed in 

[8]


](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8905987/8908628/8908641/linko2-468700a029-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/8905987/8908628/8908641/linko2-468700a029-large.gif)

**Figura 2.** Layout of sensors and actuators on the four floors of the smart building testbed in [8]

In the healthcare application, data can be collected by real people wearing medical sensors and then fed into the control system either through the server to the Raspberry Pi as a recorded dataset, or in real-time via the WiFi module if in range. For sensors that operate on Bluetooth and utilize an internet enabled device as an access point, a device can be added to the system to connect to the WiFi module or the sensor can be integrated with a secondary module capable of communicating with the WiFi module directly.

Buildings are not usually designed around the idea of accommodating future health concerns, even when they are designed for accessibility. The idea of designing a structure with future capacity for further integration of smart-technology is still new. Designing modular systems such as the sensor layout and control scheme of the testbed in [8] , [19] permits modification beyond the original intent. This extends to medical technology implemented in the smart home environment. By utilizing a physical testbed during the design and initial implementation of a medical IoT network, unexpected behavior can be caught, isolated, and replicated to create a more robust design. The modularity of the testbed also allows for a wider variety of flexible design in test case implementation.

For the sake of testing on controlled data, real data such as pulse, blood oxygen, respiratory rate, body temperature, and gait can be collected and stored. To simulate a health issue, anomalies can be introduced into the data to test the response of the controller. Having datasets available to replay when the controller has been modified will allow for testing for changes in response. Model predictive control [19] , [20] can be used to monitor biometric data, or machine learning systems such as an ANN [11] can be trained to identify trends, especially when multi-dimensional inputs are used. There may even be potential to merge an ANN with a controller depending on intended actuator impact on the environment.

Sin una modificación extensa del estado actual del banco de pruebas como se propone en [8] , hay varios casos de uso simulados que pueden explorarse:

1. ***Eventos cardíacos***: los datos para detectar eventos cardíacos se pueden recopilar de un solo sensor diseñado para monitorear la frecuencia cardíaca, o potencialmente detectados a partir de una combinación de monitor de frecuencia cardíaca, oxímetro de sangre y presión arterial. El controlador debe reaccionar ante picos de actividad repentinos y anormales, o la falta completa de frecuencia cardíaca, intentando primero obtener una respuesta del usuario. Esto se puede lograr mediante el uso de señales de audio para pedirle al usuario que presione un botón que lleva puesto en un cordón, como lo hacen los productos comerciales existentes. Si el paciente no responde, el controlador activará una llamada a los servicios de emergencia. En casos donde existen condiciones como arritmia, soplos o palpitaciones y están documentadas, el controlador puede alertar a un paciente o cuidador de actividad irregular, pero no alertar a los servicios de emergencia a menos que se le indique lo contrario.
2. ***Caídas repentinas***: como se examinó en [3] , se pueden obtener datos valiosos midiendo la marcha de un paciente. Además de monitorear el pronóstico de la enfermedad a lo largo del tiempo, se pueden usar los mismos sensores para detectar movimientos repentinos que pueden ser indicativos de una caída. Si el paciente no puede responder o solicita ayuda, el controlador debe comunicarse con los servicios de emergencia.
3. ***Condiciones con movilidad limitada.***: La movilidad limitada puede ser el resultado de una enfermedad a largo plazo, afección crónica o accidente. La conciencia y la capacidad para la independencia de un paciente dependen de la situación y pueden dejar a un paciente bajo cuidado a tiempo completo. Este tipo de circunstancias pueden no requerir intervención de emergencia durante la duración de la atención. En cambio, las WBAN se pueden usar junto con un hogar inteligente para aumentar la comodidad de un paciente. Además de monitorear los eventos cardíacos, una baja fracción de oxígeno inspirado, frecuencia del pulso y otras métricas, es posible medir la temperatura corporal de un paciente y ajustar la temperatura ambiental según sea necesario. El estado de un sistema de seguridad puede estar disponible para un cuidador fuera del hogar o puede ser utilizado por un paciente para monitorear los movimientos de otros residentes, como niños pequeños, que viven en el hogar.

Los datos para condiciones y situaciones como las descritas anteriormente se pueden recopilar en tiempo real (oxígeno en la sangre, frecuencia cardíaca, marcha, puerta del banco de pruebas abierta o cerrada) o falsificados para entrenar y probar la respuesta del controlador inteligente del edificio. Los dispositivos para confirmar el estado del paciente después de una caída o un evento cardíaco, como un cordón de botón, se pueden implementar en el banco de pruebas. El contacto automático con un cuidador o servicios de emergencia en casos de emergencia se puede simular mediante el uso de teléfonos de investigación y otros dispositivos como tabletas o computadoras. Los datos médicos también se pueden mostrar en un tablero como el desarrollado para nuestro banco de pruebas en [8] .

Otros escenarios, donde se implementan WBAN y IoT médica, requerirán una modificación adicional al banco de pruebas o la introducción de dispositivos de terceros (potencialmente simulados). Los planes para el envejecimiento en el lugar se beneficiarán especialmente de la IoT médica en un entorno hogareño inteligente, ya que la red del dispositivo puede modificarse para adaptarse a diferentes condiciones que ocurren con la edad, algunas de las cuales pueden ser temporales o tener un inicio repentino. Las modificaciones en el hogar, como la bañera en [14] y la silla de medición EKG [15] son valiosas para los usuarios mayores que pueden ser propensos a caídas o debilidad muscular, y los usuarios que se someten a un tratamiento serio como una quimioterapia. Es posible imitar el comportamiento de los circuitos presentados en [14] y [15] en una escala más pequeña para activar una respuesta del sistema de casa inteligente. La administración de medicamentos y tratamientos será posible con dispositivos como dispensadores de píldoras conectados a la red para recordar a los pacientes cuándo es el momento de tomar píldoras. El deterioro mental y la salud pueden monitorearse utilizando sistemas ambientales capaces de monitorear la rutina del paciente en busca de comportamientos inusuales, como pacientes de edad avanzada que no comen o no se bañan [21] . Esto también se puede extender para aplicar a personas con afecciones mentales diagnosticadas, como el bipolarismo que no son adherentes a las rutinas de medicación [22] , o las personas que viven con trastorno de estrés postraumático (TEPT), donde los cambios repentinos de rutina pueden ser un indicador de suicidio riesgo [23] , [24] .

**SECCION IV.**

## **Conclusión y trabajo futuro**

La buena salud es una cosa que muchas personas dan por sentado. Las lesiones, enfermedades y otras dolencias no discriminan y pueden afectar a cualquier persona en cualquier momento. A medida que se desarrolla la tecnología y el interés por los hogares inteligentes, también lo hace la oportunidad de integrar la atención médica. Internet of Things ofrece una solución flexible y personalizable para no solo aliviar la presión actual sobre los proveedores de atención médica al trasladar la atención de rutina y no crítica a la comodidad del hogar de un paciente, sino que les brinda a los pacientes la libertad de recuperarse en la comodidad y familiaridad de su propia casa

Todavía hay muchos desafíos en los campos de IoT, edificios inteligentes y la evolución de la telesalud. Además de los problemas habituales de la adopción de la tecnología del paciente, el IoT médico corre el riesgo de que los sensores no solo no se usen, sino que se usen incorrectamente. El aprendizaje automático tiene el potencial de mitigar parcialmente este riesgo, pero depende en gran medida de tener suficientes datos para desarrollar una red capaz de analizar una amplia variedad de sistemas de sensores. La prevención de falsas alarmas y otros errores que pueden ocurrir en sistemas inteligentes, como no reconocer el contexto, también son cuestiones que deben abordarse. Sin embargo, a pesar de los desafíos que existen, el campo de la IoT médica evoluciona continuamente de la posibilidad a la aplicación.

Con el reciente interés en los beneficios de los edificios inteligentes y el aumento del ecosistema más grande de ciudades inteligentes, existe un interés en utilizar la conectividad en el hogar del usuario para aumentar la calidad de vida. Medical IoT puede aprovechar esa conectividad extendiéndola a dispositivos de sensores personales que permiten un entorno hogareño inteligente para acomodar la seguridad y la salud de los residentes mientras buscan maximizar la comodidad. El banco de pruebas que construimos anteriormente promueve muchas posibilidades para el desarrollo de redes de dispositivos médicos en un entorno de hogar inteligente. El diseño modular y el sistema de control distribuido permiten una amplia variedad de modificaciones sin cambiar la estructura física subyacente del banco de pruebas. Esto permite implementar una gran cantidad de casos de prueba en un entorno físico para realizar más pruebas y perfeccionar el sistema de control inteligente del hogar. El desarrollo de redes de IoT médicas personalizadas por el usuario que pueden integrarse junto con un esquema de control actual abrirá oportunidades para la modificación de edificios existentes sin necesidad de un rediseño completo de los sistemas existentes. Además, los dispositivos tradicionalmente no portátiles, como los monitores de presión arterial y las máquinas de electrocardiograma, y ​​otros dispositivos estacionarios, como los dispensadores de píldoras, pueden integrarse en nuestro banco de pruebas en el futuro como un dispositivo de terceros o reconstruirse para simular la interacción del sistema con estos dispositivos. El desarrollo de redes de IoT médicas personalizadas por el usuario que pueden integrarse junto con un esquema de control actual abrirá oportunidades para la modificación de edificios existentes sin necesidad de un rediseño completo de los sistemas existentes. Además, los dispositivos tradicionalmente no portátiles, como los monitores de presión arterial y las máquinas de electrocardiograma, y ​​otros dispositivos estacionarios, como los dispensadores de píldoras, pueden integrarse en nuestro banco de pruebas en el futuro como un dispositivo de terceros o reconstruirse para simular la interacción del sistema con estos dispositivos. El desarrollo de redes de IoT médicas personalizadas por el usuario que pueden integrarse junto con un esquema de control actual abrirá oportunidades para la modificación de edificios existentes sin necesidad de un rediseño completo de los sistemas existentes. Además, los dispositivos tradicionalmente no portátiles, como los monitores de presión arterial y las máquinas de electrocardiograma, y ​​otros dispositivos estacionarios, como los dispensadores de píldoras, pueden integrarse en nuestro banco de pruebas en el futuro como un dispositivo de terceros o reconstruirse para simular la interacción del sistema con estos dispositivos.