



PROFESOR: BARTOLOMÉ JAIME SERRA CIFRE

1. ESTADO DEL ARTE

Internet of Things (IoT)

El Internet of Things (IoT) ^[2] es una red que consiste en dispositivos sensores que se pueden conectar a la internet de manera inalámbrica. La estructura agrega y gestiona los datos generados por los dispositivos sensores en un nodo que actúa como administrador central.

Una de las maneras de dividir la arquitectura IoT actualmente es en 7 capas ^[6], cada una con unos elementos y funciones en concreto:

7. **Colaboración y procesos:** involucra procesos empresariales y de personas.
6. **Aplicación:** reportar, analíticas, control.
5. **Abstracción de datos:** agregación y acceso.
4. **Acumulación de datos:** almacenamiento.
3. **Edge computing:** análisis y transformación de elementos de información.
2. **Conectividad:** unidades de comunicación y procesamiento.
1. **Dispositivos y controladores físicos:** las “cosas” en IoT.

El campo ha evolucionado debido a la convergencia de múltiples tecnologías ^[5], incluyendo computación ubicua, sensores de mercancía, sistemas embebidos cada vez más potentes y machine learning.

Hay varias preocupaciones respecto de el aumento de popularidad de las tecnologías IoT y productos, especialmente es las áreas de seguridad y privacidad, y consecuentemente, movimientos industriales y gubernamentales han comenzado para afrontar estas preocupaciones, incluyendo el desarrollo de estándares internacionales y locales, pautas y frameworks regulados.

El extenso conjunto de aplicaciones para dispositivos IoT se suele dividir en los siguientes subcampos:

- Consumidor.
- Comercial.
- Industrial.
- Infraestructura.

Sin embargo la IoT sufre de problemas como la fragmentación de plataformas, falta de interoperabilidad y estándares técnicos comunes. Esto es una situación que provoca que la variedad de dispositivos IoT, en términos de variaciones hardware y software, hace difícil la tarea de desarrollar aplicaciones que funcionen consistentemente entre diferentes ecosistemas de tecnología.

IoT medical

Una de las industrias donde se está aprovechando la tecnología IoT es la industria médica. Hospitales alrededor de todo el mundo se están inclinando hacia mejores y más avanzadas tecnologías^[3]. En los tiempos recientes, la integración de el Internet of Things con las tecnologías médicas disponibles así como con los pacientes y su ambiente, ha proporcionado una nueva perspectiva para obtención de datos y mejores decisiones.

Los dispositivos IoT pueden usarse de varias maneras para mejorar la salud de las personas junto con asegurar que no existen errores en el proceso de medicación y distribución de medicina.

Pueden usarse para habilitar monitorización médica remota y sistemas de notificación de emergencias. Estos dispositivos de monitorización de salud^[5] pueden ir desde monitores de presión sanguínea y ritmo cardíaco hasta dispositivos avanzados capaces de monitorizar implantes especializados, como marcapasos, pulseras electrónicas Fitbit, o ayuda auditiva avanzada.

Algunos hospitales incluso han empezado a implementar “smart beds” que pueden detectar cuando están ocupados y cuándo el paciente está intentando levantarse. Las capacidades de estas camas llegan a características como adaptarse automáticamente y por sí solas para asegurar la presión y soporte apropiados sin intervención del personal médico.

Recientemente se habla de el concepto e-Health^[4]. Este concepto describe el nuevo modelo de sistema de salud que combina la ciencia y tecnologías de la salud con las tecnologías de la información y comunicación que pueden servir como una solución clave para proveer beneficios de salud significantes. La investigación en e-Health se ha estado centrando en el uso de Internet para mejorar los servicios de salud, especialmente en el tema de reducir costes. Gradualmente, las discusiones se han extendido a el rol de la Internet en mejorar la calidad de los servicios médicos y la comunicación entre pacientes, especialistas médicos, proveedores de sanidad y otras autoridades del sistema sanitario.

El e-health incluye un gran rango de aplicaciones a información, comunicaciones y tecnologías. El objetivo de este sistema es mejorar la gestión y el uso de información para dar soporte a una variedad de procesos clínicos, al nivel operacional, financiero y de toma de decisiones. Los beneficios del e-Health pueden incluir:

- Acceso incrementado a información y recursos.
- Incremento de la habilidad de los pacientes de tomar mejores decisiones.
- Procesos organizacionales mejorados.
- Salud y calidad de vida mejorada de los pacientes.

Hoy en día, mucha gente se ve afecta por enfermedades crónicas como ataques cardíacos, problemas respiratorios, apoplejía mental, etc. De ahora en adelante,

es esencial para las personas someterse a controles de salud para evitar cualquier imprevisto.

El cuerpo humano tiene múltiples señales fisiológicas^[7] que pueden ser medidos: desde señales eléctricas a bioquímicas. Las señales biológicas pueden ser extraídas y usadas para entender mejor el estado de salud y reacción a factores externos. Algunas de las señales vitales más comunes son:

- ECG.
- Ritmo cardíaco.
- Presión arterial.
- Ritmo respiratorio.
- Saturación de oxígeno en sangre.
- Glucosa en sangre.

El impacto del IoT en el avance del sector sanitario es inmenso. El inicio de la Medicina 4.0 ha dado lugar a un mayor esfuerzo para desarrollar plataformas, tanto a nivel de hardware como de software. Esta visión ha llevado al desarrollo de sistemas Healthcare IoT (H-IoT)^[8].

Las tecnologías básicas incluyen la comunación entre los nodos de detección y los procesadores; y los algoritmos de procesamiento para generar una salida obtenida de los datos coleccionados por los sensores. Sin embargo, en el presente, estas tecnologías son también apoyadas por muchas otras nuevas tecnologías.

El uso de inteligencia artificial ha transformado los sistemas H-IoT en casi cualquier nivel. El paradigma fog/edge esta acercando la potencia computacional a la red desplegada y por tanto mitigando muchos de los desafios en el proceso, mientras que el Big Data permite la gestión de inmensas cantidades de datos.

Adicionalmente, las Software Defined Networks (SDNs) permiten flexibilidad en el sistema. Por otra parte, el Internet of Nano Things(IoNT) y el Tactile Internet (TI) están encabezando la innovación en las aplicaciones H-IoT.

2. DETECCIÓN DE UN PROBLEMA REAL

Las **enfermedades crónicas**, también conocidas como enfermedades no transmisibles, provocan la muerte de **41 millones** de personas cada año, lo que equivale al **71%** de las muertes **mundiales**.

Cada año mueren por ENT **15 millones** de personas entre las edades de **30 y 69 años**. Más del **85%** de estas muertes se dan en países cuyos ingresos se clasifican como bajos y medianos.

Las cardiovasculares son las más letales, provocando la mayoría de muertes por ENT (**17.9 millones** al año) y les siguen el cáncer (**9 millones**), las respiratorias (**3.9 millones**) y finalmente la diabetes (**1.6 millones**).

Suelen ser de larga duración y son causa de una combinación de factores entre los que se incluyen factores genéticos, fisiológicos, ambientales y conductuales.

Afectan a todos los grupos de edad y a todas las regiones y países. Algunos comportamientos modificables como por ejemplo consumir tabaco, ser inactivo físicamente, tener una dieta inadecuada o tomar alcohol incontroladamente aumentan el riesgo de padecer una enfermedad crónica:

- El tabaco es responsable de más de **7.2 millones** de vidas al año y la cifra está en crecimiento.
- Aproximadamente **4.1 millones** de muertes al año están relacionadas con ingerir sal/sodio en cantidades excesivas.
- Más del 50% de los **3.3 millones** de muertes anuales relacionadas con el consumo del alcohol, se deben a la vez a enfermedades crónicas, entre ellas el cáncer.
- **1.6 millones** de muertes anuales se deben a la actividad física insuficiente.

Suponen un peligro para la consecución de los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**, entre los que se incluye reducir las muertes prematuras por enfermedades crónicas en un **33%** para el año **2030**.

En **La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible**, los Jefes de Estado y de Gobierno se comprometieron a elaborar respuestas nacionales ambiciosas que logren reducir las muertes prematuras por enfermedades crónicas en el porcentaje indica para 2030 mediante la **prevención** y el **tratamiento**.

Estos datos son recientes, del **año 2021**. A medida que la esperanza de vida aumenta, así lo hará el número de personas que padecen enfermedades crónicas.

A pesar de el progreso terapeutico, la opinión común de los expertos es que el sistema sanitario **no trata adecuadamente** a los pacientes con enfermedades crónicas.

El sistema se diseñó hace entre **20 y 40 años** y está centrando principalmente en **enfermedades agudas** y **tratamientos episódicos**. Hasta la fecha, el tratamiento de enfermedades crónicas ha estado caracterizado por una serie de desventajas que impiden que el sistema sea mucho más efectivo. 2 ejemplos son:

- **Reactividad:** solo se lleva acabo tratamiento si los pacientes están en un estado crítico y prácticamente no existen diagnósticos preventivos o no hay suficiente presupuesto para ello, y tiende a estar limitado a campañas de concienciación.
- **Discontinuidad del tratamiento:** los sistemas sanitarios públicos o privados solo monitorizan a los pacientes temporalmente, y normalmente transcurre demasiado tiempo entre cada instancia de monitorización.

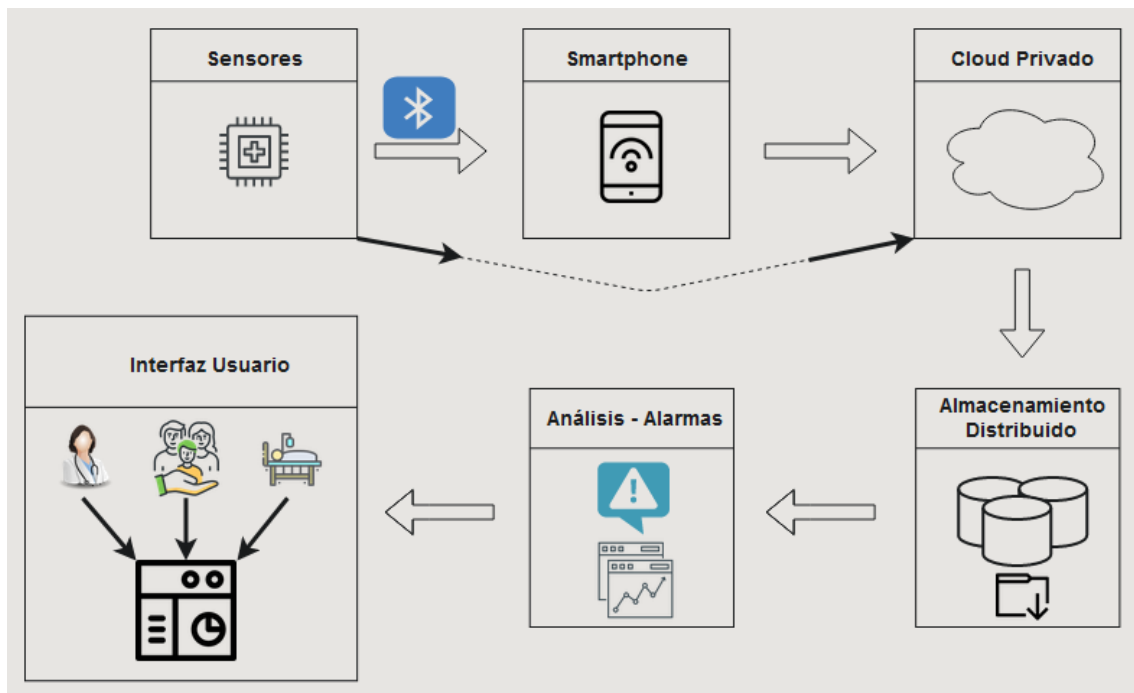
Se centran solo en pacientes muy enfermos o extremadamente dependientes, y los pacientes deben desplazarse hasta los centros médicos para pruebas y consultas médicas.

Adicionalmente, los servicios de emergencia están a menudo saturados por patologías que no requieren más que una simple comprobación médica. Esto empeora extremadamente si incluimos la existencia de una pandemia como ha sido el covid-19.

3. DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN

Para solucionar el problema presentado, haría uso de la tecnología IoT combinada con otras tecnologías como cloud computing, bluetooth, almacenamiento distribuido, sistemas de alarmas, interfaces de usuario y smartphones, para permitir la monitorización remota de enfermedades crónicas en la vivienda de los pacientes que las padecen.

Un posible modelo de la arquitectura de la solución sería el siguiente:



El Internet of Things nos aporta los sensores inteligentes, capaces de obtener y transmitir información. Existen una variedad de sensores, cada uno de los cuales es más útil o menos útil dependiendo de la enfermedad crónica en la que nos centremos. Ejemplos de los sensores más importantes son:

- Sensor de ritmo cardíaco.
- Sensor de temperatura corporal.
- Sensor de presión sanguínea.
- Sensor de nivel de azúcar.
- Sensor de estrés.
- Contador de pulso.
- Sensor awareness.
- Acelerómetro.

Cloud

Las ventajas de utilizar **cloud** son:

- Usabilidad.
- Accesibilidad.
- Coste eficiente.
- Automatización.
- Escalabilidad.
- Sincronización de múltiples terminales.

Se puede utilizar cualquier plataforma de cloud privado disponible. Un ejemplo es [Dell Cloud](#).

Almacenamiento distribuido

Por otra parte, se considera usar **almacenamiento distribuido** por las siguientes razones:

Los sistemas de almacenamiento tradicionales no son capaces de estar al día con la **demanda de información** generada hoy en día en los ambientes informáticos.

Con almacenamiento distribuido utilizamos una red de computadores para almacenar los datos, de manera que estos son almacenados en más de un nodo o servidor. Este tipo de sistema permite gran flexibilidad y mejor rendimiento al utilizar y acceder los datos seleccionados, y al mismo tiempo incrementa la seguridad.

Las principales **características y ventajas** que justifican su utilización en esta solución son:

- **Flexibilidad y escalabilidad:** se adapta a las necesidades en cualquier momento, incrementando la capacidad de almacenamiento rápidamente cuando las circunstancias lo demanden.
- **Seguro:** si uno de los servidores/nodos cae, otro lo sustituirá inmediatamente sin pérdida de datos y permitiendo el acceso.
- **Rápido y eficiente:** este tipo de almacenamiento permite gestión ágil con acceso rápido para queries, cambios, subida de datos, etc. Puede conseguir gran rendimiento con poco hardware a través de exprimir al máximo los recursos de todos los servidores.

Hay varios frameworks disponibles para utilizar almacenamiento distribuido. Yo elegiría [CrowdStorage](#), que hace énfasis en solventar los problemas de seguridad que se han visto a lo largo de los últimos años en este tipo de sistemas.

Análisis de datos

Se analizan los datos almacenados que han sido generados por los sensores. Entre el sistema de almacenamiento y la interfaz de usuario de las aplicaciones de visualización de datos pacientes y doctores, se coloca un módulo analítico:

- **Módulo de análisis de datos:** compara en tiempo real los datos recibidos por los sensores con los límites establecidos para generar alarmas.
- **Módulo de generación de alarmas:** recibe instrucciones del módulo de análisis. Se envían las alarmas o alertas a los pacientes o doctores si se ha superado el umbral de medición establecido.

Sensores

Como hay diversidad de enfermedades crónicas, me centraré en 3 de las **más importantes**, para reducir el enfoque de la solución. Se eligen estas 3 porque las considero de las más importantes por los datos estadísticos de 2021.

- Enfermedades cardiovasculares.
- Hipertensión.
- Enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

Para la elección de sensores, los 3 más importantes serían:

- **Electrocardiografo o Monitor ECG:** permite enviar señales en tiempo real a un dispositivo móvil a través de Bluetooth. Los datos podrían ser accedidos remotamente por el personal médico a través de una app Cloud. Por ejemplo: [VIATOM Monitor ECG](#).

- Connect with smartphone via bluetooth
- Connect with computer by supplied cable
- Optional 30S/60S/5mins measuring length
- Free switching between Single-user and Dual user



- **Oxímetro de pulso inalámbrico:** oxímetro de pulso inalámbrico que permitiría monitorizar remotamente los niveles de saturación de oxígeno en la sangre. Permite también ver el ritmo cardíaco. La transmisión de datos desde el sensor al smartphone se haría de nuevo con Bluetooth (A ser posible al menos Bluetooth 2.0 WT). Por ejemplo: [Medisana PM 100 Connect](#)



- **Sensor de presión arterial:** sensor que puede determinar la presión arterial y pulso, y proporciona una serie de funcionalidades como guardar un historial de medidas.

Puede compartir las mediciones con smartphones tanto iOS como Android. La transmisión se realiza con Bluetooth, al igual que con los otros 2 sensores elegidos. Viene con una app diseñada especialmente para la visualización de sus medidas.

Los datos pueden ser enviados a una infraestructura cloud y ser accedidos desde cualquier lugar tanto por familiares como personal médico. Un ejemplo de este tipo de sensor: [Omron Tensiómetro Evolv Smart](#).



Las mediciones que permiten estos 3 sensores, así como los umbrales aproximados que se deberían establecer para la activación de alarmas son los siguientes:

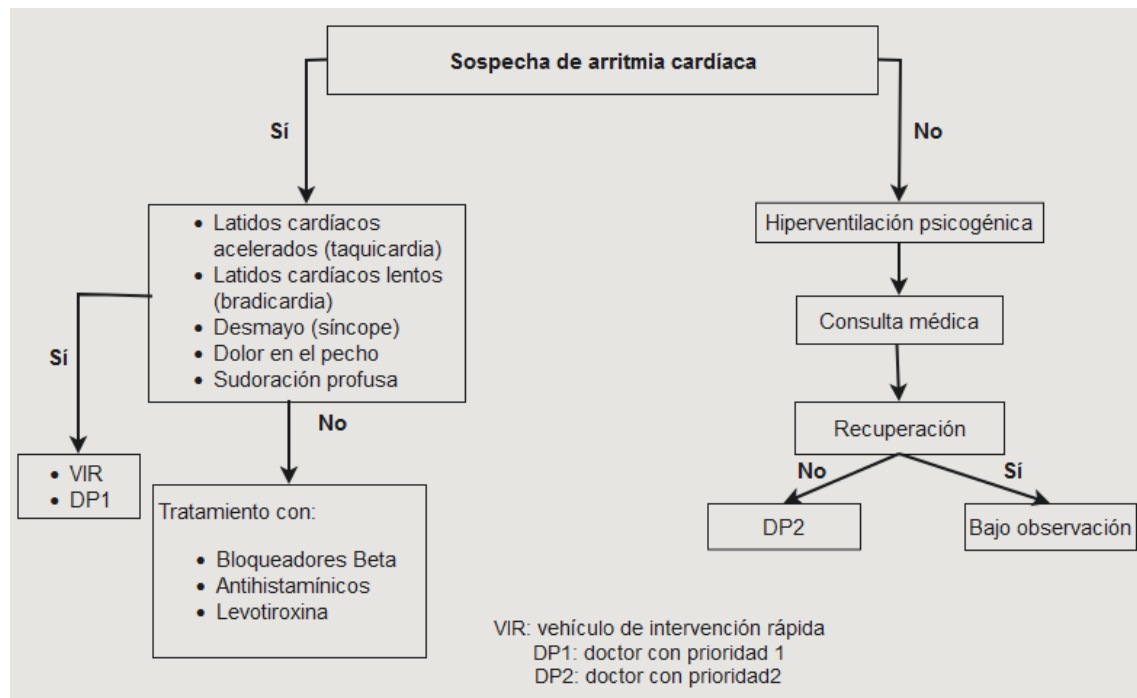
Sensor	Mediciones	Rango alarma/alerta
Electrocardiografo / Monitor ECG	<ul style="list-style-type: none"> • Ritmo(Onda P) • Ritmo cardíaco • Segmento-ST 	<ul style="list-style-type: none"> • Onda seno p anormal • 50 – 120 bpm • Alto $\geq 2\text{mm}$. • Descenso $\geq 2\text{mm}$.
Oxímetro de pulso	<ul style="list-style-type: none"> • SpO2 • Frecuencia de pulso 	<ul style="list-style-type: none"> • $\leq 90\%$ • 50 -120 bpm
Sensor de presión arterial	<ul style="list-style-type: none"> • Sistólico • Diastólico • Frecuencia de pulso 	<ul style="list-style-type: none"> • SBP: $<50, >100$ • DBP: $<100, >150$ • 50-120 bpm

Los datos del ECG, oxímetro de pulso y sensor de presión arterial se enviarían desde el móvil a los cloud privados, y desde el cloud privado se podrían pasar a un almacenamiento distribuido, donde se analizarían y se activarían las alarmas si fuera necesario.

Enfermedades cardiovasculares

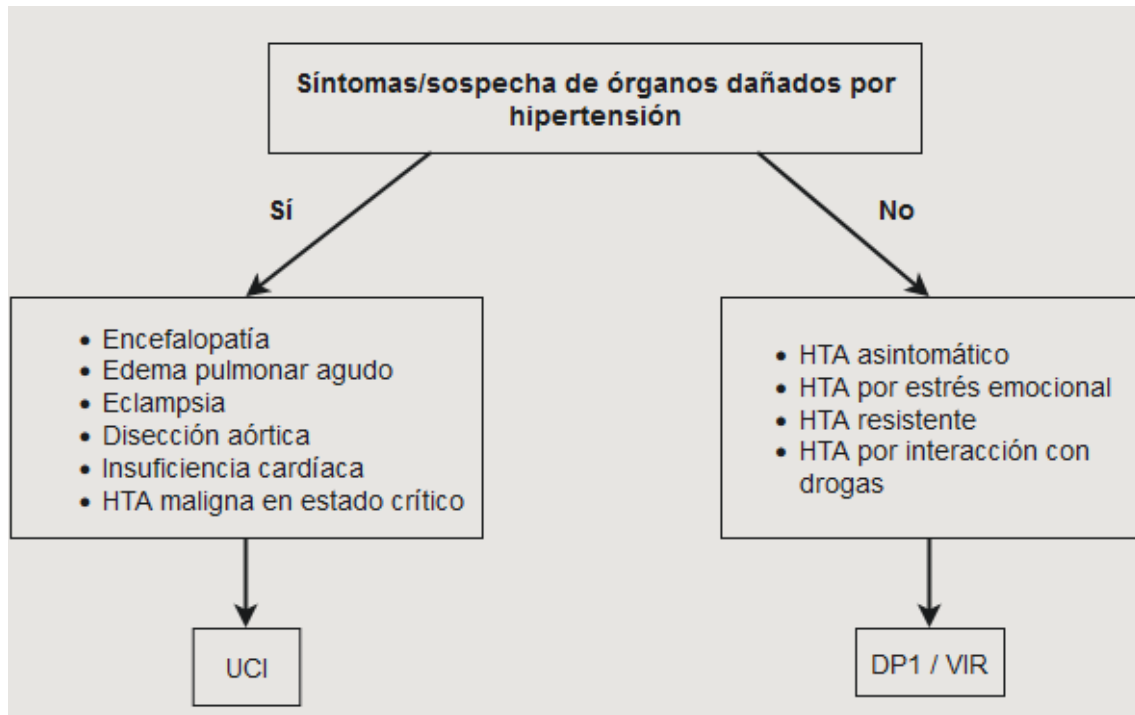
El primer caso de uso es enfermedades cardiovasculares. Los 3 sensores elegidos permiten monitorizar el ritmo cardíaco en tiempo real. Se establecería un valor umbral de ritmo cardíaco, de manera que si se sobrepasa, se activarían las alarmas correspondientes y se actuaría en consecuencia.

Un diagrama que representaría el tratamiento de esta enfermedad es el siguiente:



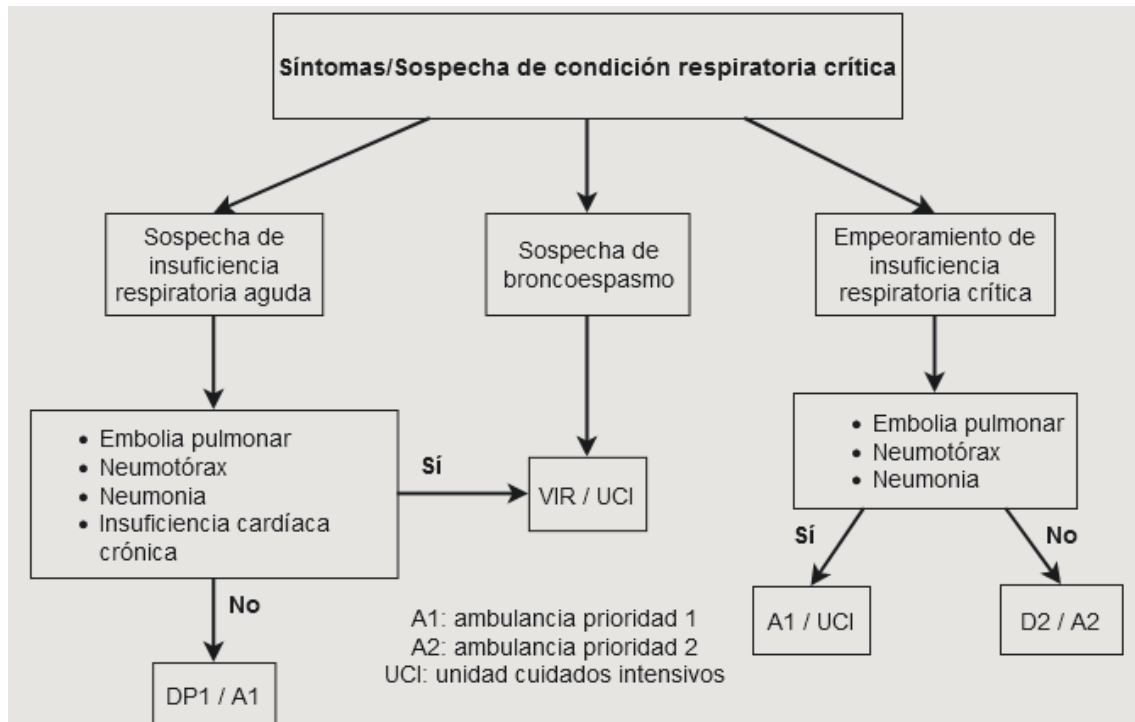
Hipertensión

Si un sensor detecta una presión arterial por encima de un umbral, se disparan las correspondientes alarmas. El funcionamiento se mostraría con un diagrama similar al de enfermedades cardiovasculares:



Enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

Niveles de saturación de oxígeno por debajo del 90% indican una oxigenación pobre potencial. Si los sensores detectan esos niveles, se actúa de acuerdo al protocolo establecido.



BIBLIOGRAFIA

- [2] **S. Cho and S. Lee, "Survey on the Application of BlockChain to IoT," 2019 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), 2019, pp. 1-2, doi: 10.23919/ELINFOCOM.2019.8706369.**
- [3] **S. S. Mishra and A. Rasool, "IoT Health care Monitoring and Tracking: A Survey," 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), 2019, pp. 1052-1057, doi: 10.1109/ICOEI.2019.8862763.**
- [4] **Y. Shaikh, V. K. Parvati and S. R. Biradar, "Survey of Smart Healthcare Systems using Internet of Things (IoT) : (Invited Paper)," 2018 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT), 2018, pp. 508-513, doi: 10.1109/IC3IoT.2018.8668128.**
- [5] "Internet of Things". Visitado por última vez **04-02-2022**, de https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things.
- [6] **CISCO Internet of Things Reference Model**. Visitado por última vez **04-02-2022**.
- [7] **R. Hegde, S. Ranjana and C. D. Divya, "Survey on Development of Smart Healthcare Monitoring System in IoT Environment," 2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), 2021, pp. 395-399, doi: 10.1109/ICCMC51019.2021.9418405.**
- [8] **Y. A. Qadri, A. Nauman, Y. B. Zikria, A. V. Vasilakos and S. W. Kim, "The Future of Healthcare Internet of Things: A Survey of Emerging Technologies," 2020 in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, no. 2, pp. 1121-1167, Secondquarter 2020, doi: 10.1109/COMST.2020.2973314.**
- [9] "Enfermedades no transmisibles". Visitado por última vez **04-02-2022**, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>