# A Survey on the Roles of Communication Technologies in IoT-Based Personalized Healthcare Applications (Una Encuesta Sobre los Roles de las Tecnologías de Comunicación en Aplicaciones de Atención Médica Personalizadas Basadas en IoT)

**Abstracto:**

La visión de Internet de las cosas (IoT) es permitir que los sistemas de todo el mundo compartan datos utilizando tecnologías de comunicación avanzadas. Con los recientes avances tecnológicos, las soluciones basadas en IoT ya no son una visión desafiante. IoT ofrecerá numerosos beneficios potencialmente revolucionarios al mundo digital de hoy. La futura atención médica personalizada y conectada es una de las áreas prometedoras para ver los beneficios de IoT. Este documento analiza las aplicaciones de atención médica emergentes, incluidos los aspectos técnicos detallados necesarios para la realización de una solución completa de extremo a extremo para cada aplicación. La encuesta explora los requisitos clave específicos de la aplicación desde la perspectiva de las tecnologías de comunicación. Además, Se presenta una exploración detallada de las tecnologías y estándares existentes a los emergentes que permitirían tales aplicaciones, destacando la consideración crítica de las comunicaciones de corto y largo alcance. Finalmente, la encuesta destaca importantes desafíos y problemas de investigación abierta específicamente relacionados con los futuros sistemas de salud basados ​​en IoT.

[***Tema:*** dispositivos y sistemas portátiles e implantables](https://ieeexplore.ieee.org/xpl/topics.jsp?isnumber=8274985&punumber=6287639&refinements=SpecialSection:Wearable%20and%20Implantable%20Devices%20and%20Systems)

**Publicado en:**[Acceso IEEE](https://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=6287639)(Volumen: 6)

**Página (s):** 36611 - 36631

**Fecha de publicación:** 05 de julio de 2018

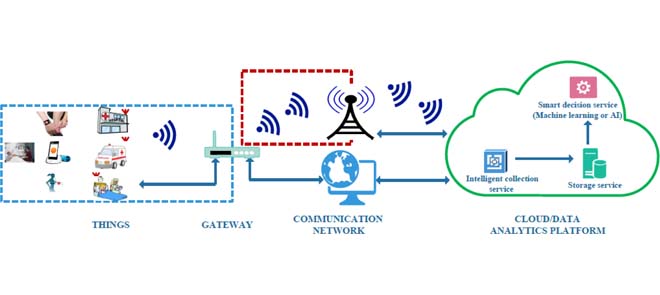
**ISSN electrónico:** 2169-3536

**Número de acceso de INSPEC:** 17948521

**DOI:**[10.1109/ACCESS.2018.2853148](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2853148)

**Editorial:**IEEE

**Agencia fundadora:**



Una descripción general de un sistema de salud típico basado en IoT.

**SECCIÓN I.**

## **Introducción**

Una encuesta realizada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2013 destacó que "la escasez mundial de personal sanitario alcanzará los 12,9 millones en las próximas décadas" [1]. Se destacaron algunos de los principales factores hacia la disminución, que incluyen, por un lado, la disminución del interés de los jóvenes que ingresan a la profesión, el envejecimiento de la fuerza laboral ya existente y, por otro lado, el creciente riesgo de enfermedades no transmisibles en personas como el cáncer, el corazón enfermedad, accidente cerebrovascular, etc.

Recientemente, la "Salud personalizada y conectada" ha proporcionado un rayo de esperanza para revolucionar la industria de la salud. Hoy en día, la salud y el estado físico se pueden monitorear y rastrear fácilmente con la ayuda de tecnologías portátiles como relojes inteligentes o ropa inteligente. Además, las personas mayores se pueden gestionar de forma remota y, por lo tanto, las visitas al hospital se pueden minimizar significativamente. Informes recientes estiman que el Servicio Nacional de Salud (NHS, por sus siglas en inglés) del Reino Unido puede ahorrar siete mil millones de libras al reducir la cantidad de visitas al hospital y admisiones utilizando tecnologías innovadoras para brindar atención médica de calidad a pacientes con enfermedades crónicas de forma remota [2]. La salud personalizada y conectada tiene el potencial de ofrecer numerosos beneficios a pacientes, médicos o personal médico. Por ejemplo, las bombas de insulina y el manguito de presión arterial no solo permiten a las personas registrar y rastrear sus propios signos vitales, sino que también hacen posible que los médicos y el personal médico los controlen de forma remota. Esto también es beneficioso para los pacientes, ya que reciben tratamiento instantáneo. Además, la salud conectada es especialmente beneficiosa para las personas mayores, ya que podrán controlar su salud en el hogar sin la necesidad de estadías en el hospital a largo plazo, lo que a veces es deprimente. La salud conectada también permite a las personas dar acceso a sus datos de salud a través de diferentes aplicaciones a sus familiares, médicos o cuidadores, lo que resulta en numerosos beneficios.

Los teléfonos inteligentes de hoy en día (que pueden actuar como coordinadores corporales o unidad central para el monitoreo de salud personalizado) están equipados con una gama de sensores que incluyen ópticos (para medir la frecuencia cardíaca, la glucosa y la presión sanguínea, la saturación de oxígeno y otros signos vitales), ambientales (para temperatura, presión, mediciones de humedad, etc.), acelerómetros, magnetómetros y giroscopios (para medir la velocidad, la dirección y los efectos gravitacionales). Además, las aplicaciones integradas en teléfonos inteligentes (como S-Health) se pueden utilizar para realizar un seguimiento de la forma física diaria. Sin embargo, existen preocupaciones sobre la confiabilidad, la privacidad y la seguridad de los datos, la rentabilidad en el uso generalizado de la tecnología de asistencia portátil y las plataformas genéricas de código abierto.

En una configuración clásica de monitoreo de salud personal, los dispositivos portátiles (incluidos sensores, actuadores, coordinadores y puertas de enlace) constituyen una red de sensores inalámbricos portátiles (W-WSN), donde un coordinador es un controlador centralizado clave que programa los patrones de comunicación de los nodos desplegados en el cuerpo y recopila la información de estos nodos. Típicamente, dicha información puede transmitirse aún más a través de un medio inalámbrico o por cable al médico ubicado de forma remota a través de puertas de enlace o estaciones base (y a menudo se denomina comunicación fuera del cuerpo). Sin embargo, con el advenimiento de la comunicación cuerpo a cuerpo, la arquitectura general y las tecnologías compatibles para las aplicaciones de salud y seguridad conectadas están evolucionando [3].

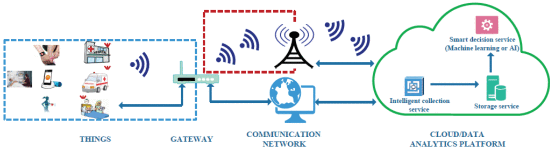
En el futuro, la asistencia sanitaria personalizada no solo podría permitir la monitorización y el seguimiento remotos, sino también el diagnóstico, la detección temprana y la prevención de enfermedades [4]. Para tales escenarios y aplicaciones de atención médica, las soluciones basadas en una arquitectura IoT son prometedoras. Una arquitectura IoT típica se puede subdividir en cuatro subsistemas que son los siguientes: cosas, puertas de enlace, red de comunicación e infraestructura basada en servicios en la nube, como se muestra en la Figura 1. Una breve descripción de lo que se requiere para garantizar una comunicación confiable y eficiente entre estos subsistemas es la siguiente:

* **Pasarelas** También hoy en día denominados nodos de niebla, actúan como un nodo intermedio entre los sensores/dispositivos y la nube, proporcionando la conectividad, la seguridad y la capacidad de administración necesarias. Sin embargo, en algunas aplicaciones de IoT, se requiere un análisis rápido basado en los datos generados. Tomemos un ejemplo de un paciente cuya presión arterial se encuentra bajo monitoreo constante. Si la presión arterial se acerca al límite del umbral, se deben tomar medidas correctivas de inmediato. Sin embargo, la demora para que las lecturas de la presión arterial viajen desde el usuario a la nube para su procesamiento y análisis podría ocasionar la pérdida de la oportunidad de evitar la caída de un paciente. Por lo tanto, el análisis de los datos cercanos al dispositivo que recopiló los datos (también conocido como procesamiento del sensor cercano) puede marcar una gran diferencia en el diagnóstico de salud del paciente y evitar cualquier peligro. A este respecto, Se introducen nuevas tecnologías informáticas como la informática de borde o niebla para realizar análisis de datos parciales o completos, ya sea en la cosa/dispositivo o en la puerta de enlace. Con el advenimiento de estas tecnologías, la carga de las tecnologías de comunicación también se reducirá y, por lo tanto, cada vez más cosas/dispositivos se pueden administrar fácilmente.
* **Tecnologías de la comunicación.**Una de las cuestiones clave en las aplicaciones basadas en IoT es el intercambio de información que requiere tecnologías de comunicación apropiadas. **Un mejor intercambio de información es clave: mejorar tanto la eficiencia como la eficacia del servicio prestado.**Particularmente para compartir información en tiempo real, la conectividad confiable y segura es esencial. Sin duda, existen soluciones de línea fija, pero en su mayoría demasiado limitadas y caras de implementar. Una alternativa flexible y rentable que proporciona una respuesta son las redes de comunicación inalámbricas. En términos de conexión inalámbrica, generalmente se considera una combinación de comunicación de corto alcance como Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi y tecnologías de comunicación de largo alcance, como los sistemas celulares o satelitales 3G/4G.
* **Infraestructura en la nube.**Una infraestructura en la nube está constituida por un conjunto de servidores y almacenes que están unidos entre sí. Para admitir aplicaciones de IoT, tales infraestructuras ejecutan aplicaciones basadas en aprendizaje automático o inteligencia artificial que analizan datos del dispositivo o de una cosa para generar información útil que pueda usarse para el servicio o la toma de decisiones.

Las tecnologías de aprendizaje automático, big data e inteligencia artificial han seguido revolucionando todas las industrias al procesar y analizar una gran cantidad de datos de manera eficiente, dando significado a los datos sin procesar. Con estos algoritmos avanzados, las máquinas pueden analizar un gran conjunto de datos de información y pueden predecir eventos y casi en tiempo real. Con tales capacidades, los sistemas de salud no solo pueden ayudar a los pacientes con diagnóstico temprano o monitoreo constante, sino que también pueden reducir el costo del tratamiento médico y optimizar sus procesos en toda la organización [5].

**Crear un marco proactivo basado en análisis predictivos no solo es posible, es el futuro de la industria de la salud.**

Sin embargo, además de la disponibilidad de una amplia gama de tecnologías y sistemas que pueden constituir un sistema de salud basado en IoT, todavía hay una pregunta que debe abordarse, a saber, **“¿Cuál de las tecnologías de comunicación de red emergentes habilitadas para IoT podría encajar en el requisitos específicos del futuro cuidado de la salud?**

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik1-2853148-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik1-2853148-large.gif)

**FIGURA 1.** Una descripción general de un sistema de salud típico basado en IoT.

Para abordar esta pregunta, es realmente importante comprender los requisitos específicos de la aplicación de diferentes aplicaciones de atención médica emergentes. Por lo tanto, en este estudio de encuesta presentamos una visión holística de los requisitos tecnológicos de las aplicaciones de atención médica y brindamos una visión amplia sobre las soluciones y estándares de comunicación heredados y emergentes. Las principales contribuciones de este documento son las siguientes:

* Primero, se presenta una extensa encuesta sobre escenarios de salud emergentes y futuristas. En particular, se presentan tres estudios de caso sobre enfermedades infecciosas, trastornos musculoesqueléticos (TME) y trastornos neuromusculares para resaltar las perspectivas y mejoras futuras en estos escenarios de aplicación. Se presentan los requisitos específicos (es decir, latencia, velocidades de datos, eficiencia energética, etc.). A continuación, en las contribuciones a continuación, se evalúa si estos requisitos pueden cumplirse mediante tecnologías de comunicación emergentes.
* En segundo lugar, las tecnologías y estándares emergentes se exploran en detalle, desde soluciones heredadas y estándares existentes hasta tecnologías emergentes. Tanto las tecnologías de comunicación de largo alcance como las de largo alcance se presentan en detalle y se comparan. Se hace especial hincapié en los últimos estándares de IoT (incluidos los estándares compatibles no celulares y celulares). Se detallan los pros y los contras de estas tecnologías, especialmente las opciones recientes del programa de asociación de tercera generación (3GPP), que incluyen comunicación de tipo de máquina mejorada (eMTC), banda estrecha (NB) -IoT y sistema global de cobertura extendida para comunicaciones móviles (EC-GSM ) -IoT. Este artículo examina la literatura durante el período 2000–2017 sobre tecnologías de comunicación inalámbrica (desde legado hasta emergente).
* Finalmente, se presentan desafíos y oportunidades de investigación abierta relacionados con el mapeo de escenarios de aplicaciones futuras a las tecnologías emergentes.

Es importante resaltar las diferencias y contribuciones clave de esta encuesta con respecto a otras encuestas existentes relevantes. Entre las últimas encuestas, Islam *et al.*[6] cubre las tecnologías sanitarias basadas en IoT. Su enfoque es examinar las arquitecturas de red de vanguardia, los servicios y aplicaciones basados ​​en IoT con especial consideración de varios problemas de seguridad en los sistemas de salud basados ​​en IoT. También mencionan varias regulaciones y políticas para aplicar diversas tecnologías de IoT al dominio de la salud. Otra encuesta realizada por Alam y Hamida [2]presenta tecnología y aplicaciones de asistencia humana ponibles. Proporciona detalles de rescate y situaciones críticas de emergencia y seguridad. Cubre la mayoría de las tecnologías y estándares heredados, particularmente los estándares IEEE 802.15.4 e IEEE 802.15.6. El trabajo de encuesta realizado por Choudhary y Jain [7] también cubre las tecnologías de comunicación heredadas de corto alcance. Además, las encuestas de Lin *et al.*[8] y Al-Fuquha *et al.*[9] presentan el protocolo de comunicación heredado de corto alcance, así como la integración de la computación de niebla/borde e IoT, y sus aplicaciones. La encuesta realizada por Wang y Fapojuwo [10]presenta, de manera holística, los protocolos de capa PHY y MAC para soluciones LPWAN. Además, se han dedicado varios esfuerzos a cuestiones de seguridad y privacidad en IoT. Por ejemplo, el trabajo de encuesta realizado por Andrea *et al.*[11] presenta los problemas de seguridad y privacidad en las tecnologías de IoT asociadas con sistemas físicos, redes, software y cifrado. Del mismo modo, la encuesta funciona en [12] - [13] [14] también presenta las aplicaciones de IoT, desafíos de seguridad y contramedidas. La encuesta realizada por Ni *et al.*[15] presenta el problema de seguridad en la computación de niebla para IoT. Además, la encuesta realizada por Ida *et al.*[dieciséis]presenta el problema de seguridad y los desafíos de IoT en el contexto de eHealth y nubes. Además de los trabajos de encuesta mencionados anteriormente, Botta *et al.*[17] considera la integración de la computación en la nube y la IoT. Además, la encuesta de Verma *et al.*[18] presenta las vistas para manejar datos de IoT y diferentes habilitadores de inteligencia para IoT.

La mayoría de las encuestas existentes se centran principalmente en aspectos demasiado generales (para proporcionar una visión holística) o demasiado específicos de IoT como se mencionó anteriormente. Según nuestro conocimiento, atención médica personalizada para diversas enfermedades, sus requisitos técnicos (por ejemplo, latencias, precisión, tiempo real, rendimiento, eficiencia energética, etc.) y mapearlos en tecnologías existentes (tecnologías bien establecidas) y emergentes para comprender si pueden servir aplicaciones futuras o no, rara vez se abordan. Esto requiere una encuesta bien enfocada e integral de las tecnologías de IoT para la atención médica.

El enfoque de nuestra encuesta está en las futuras aplicaciones de atención médica y sus requisitos técnicos y cómo dichas aplicaciones serán compatibles con las tecnologías emergentes en términos de comunicación. **El objetivo principal es investigar y resaltar los requisitos de futuras aplicaciones de atención médica y discutir si las tecnologías de comunicación emergentes pueden cumplir con esos requisitos o no.**Además, esta encuesta también presenta los desafíos abiertos y los problemas de investigación que aún deben abordarse para cumplir con esos requisitos. Sin embargo, se puede observar que uno de los aspectos que no está incluido en el alcance de esta encuesta son los problemas de privacidad en IoT, ya que creemos que es principalmente un tema de gobernanza y legislación. Preguntas como la captura, el procesamiento y la propiedad de los datos de los ciudadanos requerirán nuevos marcos legislativos para implementar al mismo tiempo que el marco también debe evitar plantear restricciones innecesarias para el mercado de IoT.

En el contexto general, el público objetivo de este documento incluye la comunidad de investigación, los médicos, las pequeñas y medianas empresas (es decir, los proveedores de soluciones de telemedicina), los empresarios, los encargados de formular políticas, etc. Esta encuesta proporciona al lector una comprensión completa de una solución integral basada en la arquitectura IoT para futuros sistemas de atención médica. Además, al mapear las tecnologías emergentes con los requisitos específicos de la aplicación del futuro sistema de salud, esta encuesta mejora la comprensión dentro de la comunidad de investigación y abre nuevas direcciones de investigación.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera. En la Sección 2, se exploran las aplicaciones y escenarios de atención médica emergentes y futuros con sus características clave. Esto es seguido, en la Sección 3, por un estado detallado de las tecnologías emergentes con sus pros y sus contras. Además, los desafíos de investigación abierta se abordan en la Sección 4. Finalmente, una conclusión destaca los principales hallazgos de esta encuesta.

**SECCION II.**

## **Aplicaciones emergentes**

### A. Descripción general de las aplicaciones de atención médica

El uso de la tecnología digital está creciendo rápidamente en lo que respecta a la atención médica, ya sea para el monitoreo, la predicción, el tratamiento, así como para mantenerse y mantenerse en forma. El rendimiento general mejorado (rendimiento, latencia, fiabilidad,...) las capacidades prometidas por las redes inalámbricas 5G allanan el camino para una nueva generación de aplicaciones de atención médica que van desde el monitoreo remoto de la salud hasta la consultoría de video. Entre otras cosas, los avances en términos de sensores, plataformas informáticas y radios están respaldando el despliegue de tecnologías habilitadoras para la adquisición, procesamiento, análisis y transmisión de datos relacionados con la salud, tales como mediciones de signos vitales, información de capacitación y actividad de la vida diaria (ADL) patrones, etc. Basándose en los conceptos clave de WBAN e IoT, tales tecnologías permitirán la "Internet de las cosas de salud" o "Internet de las cosas médicas" [22]. A continuación, resumimos los escenarios relacionados con la atención médica y destacamos las limitaciones que requieren nuevas tecnologías de telecomunicaciones que se espera que estén cubiertas bajo el paraguas 5G (consulte la Sección III).

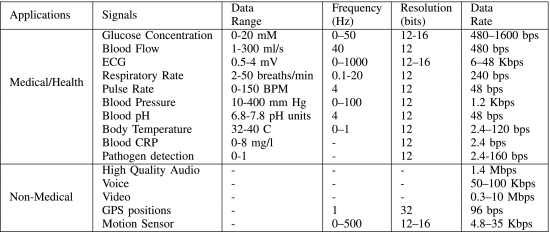
* **Hoy en día: las** aplicaciones de atención médica generalmente se basan en el modelo típico de tres niveles propuesto en [24], a saber, intra-BAN, inter-ban y más allá de BAN. Las aplicaciones de telemedicina más comunes en la actualidad incluyen la monitorización de la frecuencia cardíaca, la presión arterial (PA), la saturación de oxígeno en la sangre (SpO2) y el nivel de glucosa, el peso corporal. En casos más sofisticados, los datos de electrocardiograma (ECG) con dispositivos similares a Holter también son aplicables para pacientes con enfermedades cardiovasculares. Debido a la reciente explosión de relojes inteligentes, el seguimiento de la actividad física también se está volviendo popular. tabla 1ejemplifica sensores que normalmente se encuentran en aplicaciones WBAN y las velocidades de datos correspondientes; Esto define los requisitos básicos para la conectividad inalámbrica. Como se puede observar, el monitoreo y la detección basados ​​en audio y video están emergiendo progresivamente; sin embargo, como se discutió más adelante, solo la conectividad inalámbrica de próxima generación permitirá un uso más extendido de la misma.

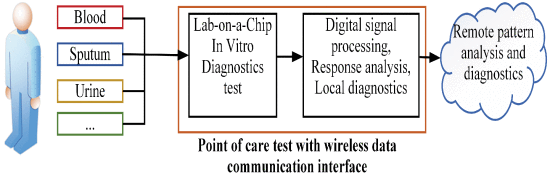
Dados los requisitos anteriores, muchos proyectos existentes y dispositivos disponibles comercialmente dependen de, por ejemplo, Bluetooth (IEEE 802.15.1) y/o ZigBee (IEEE 802.15.4), o más recientemente 6LoWPAN (que se basa en IEEE 802.15.4 y donde cada nodo tiene su propia dirección IPv6 y puede conectarse directamente a Internet) para transmitir de forma inalámbrica los datos recopilados por los sensores a una puerta de enlace. Un enfoque más adecuado sería usar IEEE 802.15.6 o SmartBAN (que están específicamente diseñados para WBAN con baja potencia, corto alcance y confiabilidad en mente), pero todavía no aparecen dispositivos compatibles en el mercado.

* **Mañana:** La ecnología de sensores está evolucionando rápidamente gracias a los avances y la convergencia de materiales, física, química, biología y electrónica. Estos avances permiten la producción de nuevos tipos de sensores, pero también la miniaturización. Los avances tecnológicos importantes de los sensores dependen de dispositivos electrónicos flexibles y dispositivos micromecánicos. Los sensores actuales sufren varios inconvenientes, como molestias (p. Ej., Sensores y baterías relativamente voluminosos), sus posibles efectos secundarios médicos (p. Ej., Inflamación) y, a veces, problemas de precisión (debido, p. Ej., A un contacto físico deficiente). Para aliviar estos inconvenientes, se están desarrollando enfoques tales como dispositivos flexibles y estirables "tipo tatuaje" construidos con nanomateriales [25], [26]. También vale la pena señalar que estos desarrollos en electrónica flexible también consideran la recolección de energía y el almacenamiento de energía [27]. Otro ejemplo son los sensores químicos micro y nano que se pueden utilizar para detectar firmas químicas con aplicación para el monitoreo de la salud [28].

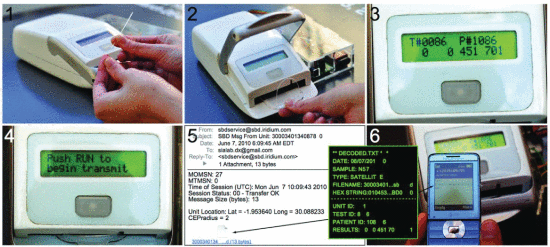
Del mismo modo, los dispositivos Lab-on-a-Chip (LoC) para pruebas de punto de atención (POCT) se basan en los últimos avances en biosensores y manejo de líquidos a través de microfluídica [4], [29], [30]. Aunque generalmente no se usan en el cuerpo, se espera que los dispositivos POCT desempeñen un papel cada vez más importante en el diagnóstico in situ, como complemento de la monitorización remota. Las pruebas de diagnóstico in vitro de LoC (IVD) están diseñadas específicamente para la detección de un único objetivo biológico y un solo uso [31]. Después de su uso, la parte del dispositivo en contacto con la muestra de fluido corporal se descarta. El dispositivo LoC ideal es una unidad autónoma del tamaño de la palma de la mano, que impone restricciones en las dimensiones de los componentes internos, así como en la fuente de alimentación disponible. Además, la necesidad de ser desechable limita la variedad de materiales estructurales disponibles. Los nuevos dispositivos LoC son capaces de informar automáticamente los resultados a través de una interfaz de comunicación inalámbrica [32], que agrega presión sobre los canales de comunicación en términos de velocidad de datos y ancho de banda. Las pruebas de detección de patógenos están diseñadas para un solo uso y, por lo tanto, no generan una carga significativa en los canales de comunicación de datos [30]. Las pruebas rápidas enzimáticas cuantitativas (p. Ej., Pruebas de función hepática) pueden usarse para el seguimiento de pacientes diariamente en fases agudas [33], o mensualmente en fases crónicas de afecciones médicas. La mayoría de estas pruebas rápidas solo genera unos pocos bytes de datos y, como se mencionó anteriormente, la mayoría están diseñados para un uso poco frecuente o único. Sin embargo, su presencia en el mercado crecerá de manera constante en los próximos 3 a 5 años, al igual que la disponibilidad de pruebas para varios objetivos [29]. Con una gran base de usuarios que informa los resultados de las pruebas simultáneamente, estas pruebas pueden poner una carga más pesada en los canales de comunicación de datos. Esto debe tenerse en cuenta en futuros desarrollos. En la Figura 2 se representa una plataforma de detección de LoC en red portátil y prevista.

**TABLA 1** Ejemplos de sensores WBAN y tasas de datos correspondientes (compilado de [19] - [21])

[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik.t1-2853148-large.gif)

[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik2-2853148-large.gif)

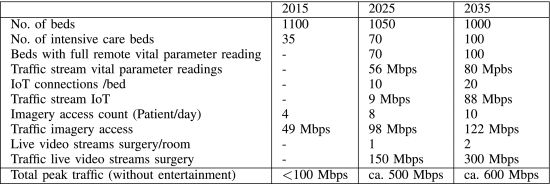
**FIGURA 2.** Plataforma de detección de punto de atención en red portátil imaginada, que incluye una prueba de diagnóstico in vitro de laboratorio en un chip, procesamiento de datos y capacidades de comunicación inalámbrica de datos.

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik3-2853148-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik3-2853148-large.gif)

**FIGURA 3.** El mChip es uno de los primeros ejemplos comerciales de una prueba portátil, autónoma y de punto de atención capaz de detectar enfermedades infecciosas con un cartucho desechable de laboratorio en un chip e informar automáticamente los resultados a través de una conexión de banda ancha celular [40].

Hasta donde sabemos, no se ha publicado ningún estudio sistemático de las velocidades de datos inalámbricas y los requisitos de ancho de banda relacionados con los sensores emergentes anteriores, probablemente debido al hecho de que las tecnologías centrales todavía se están desarrollando y se han integrado pocas integraciones en WBAN. realizado hasta ahora. Sin embargo, se han propuesto estimaciones de grano grueso cuando se trata de un entorno hospitalario. El estudio publicado recientemente en [23] presenta el número actual y estimado de camas y el correspondiente tráfico pico de la red en un hospital universitario en Munich (Alemania). Como se puede ver en la Tabla 2, mientras que se espera que el número total de camas disminuya de 1100 en 2015 a 1000 en 2035, el de camas de cuidados intensivos aumentará de 35 a 100 y el de camas con lectura de parámetros vitales remotos aumentará de 0 a 100. Al mismo tiempo, el estudio destaca el aumento esperado en términos de tráfico de red pico, por ejemplo de 0 a 88 Mbps para el flujo de tráfico IoT. Combinado con transmisiones de video en vivo para cirugía, el estudio estima que el tráfico máximo total (sin entretenimiento) alcanzaría los 600 Mbps en 2035.

**TABLA 2** Tráfico pico de red actual y estimado en un hospital universitario en Alemania. Extraído de [23]

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik.t2-2853148-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik.t2-2853148-large.gif)

### B. Escenario de aplicación 1 - Enfermedades infecciosas

La prevalencia y la gravedad de las enfermedades infecciosas en el mundo moderno varía significativamente según el grupo de patógenos [34]. Si bien la mayoría de los patógenos letales ya no causan altas tasas de mortalidad, algunos todavía lo hacen, especialmente en las zonas menos desarrolladas del mundo. Por otro lado, las enfermedades de transmisión sexual (ETS), por ejemplo, tienen una prevalencia relativamente alta incluso en el mundo desarrollado [35], y aunque generalmente no es letal, aún puede causar complicaciones graves, como infertilidad. La detección, seguida de un tratamiento inmediato y/o cuarentena, puede ayudar a contener un brote antes de que se convierta en una epidemia. POCT, y especialmente los nuevos dispositivos de LoC pueden contribuir en gran medida a la medicina preventiva al ofrecer diagnósticos de grado clínico a una amplia audiencia a un precio asequible. Especialmente con los informes de resultados inalámbricos automatizados (obligatorios), estos dispositivos podrían cambiar el juego en el campo de las enfermedades infecciosas, donde generalmente los tratamientos están más disponibles que las herramientas de diagnóstico. Las pruebas de diagnóstico rápido (RDT) por definición deben cumplir con las pautas ASEGURADAS (asequibles, sensibles, específicas, fáciles de usar, rápidas, sin equipo y entregadas),[36]. Los POCT de primera generación son baratos (20–50 EUR por prueba), RDT sin equipo que están disponibles en farmacias de toda Europa. Son pruebas típicamente serológicas implementadas en varillas de flujo lateral. Tardan hasta una hora en realizarse y no requieren capacitación para el usuario que no sea leer un manual. Estas pruebas se basan en una respuesta inmune ya presente y, por lo tanto, requieren un tiempo de incubación de unos días a unas pocas semanas antes de que puedan detectar la presencia de una infección [37]. Además, no ofrecen exactamente las mismas medidas de rendimiento que las pruebas de grado clínico tradicionales.

Todas estas pruebas podrían equiparse fácilmente con un sistema de lectura automático al agregar una fuente de luz y una cámara CCD (junto con una unidad de procesamiento y fuente de alimentación), como se demostró en la Prueba de embarazo digital Clearblue [38]. Agregar una interfaz de comunicación inalámbrica al lector es una tarea simple con la amplia variedad de microcontroladores habilitados para Bluetooth 4.0 LE disponibles (por ejemplo, aquellos construidos alrededor del módulo Intel Curie). Por otro lado, la mayoría de los teléfonos inteligentes hoy en día tienen cámaras digitales que ofrecen excelentes resoluciones de imagen (8-20 MP), así como una fuente de luz; Por lo tanto, leer las tiras de flujo lateral con una aplicación complementaria también es una opción viable, y ofrece la oportunidad de informar automáticamente los resultados a una base de datos médica central. En la actualidad, una amplia gama de RDT de primera generación se dirigen a las ETS, como el VIH-1 o Chlamydia Trachomatis. Además de la detección de una respuesta inmune directa al patógeno, el monitoreo de los niveles de biomarcadores séricos, como la PCR (proteína C reactiva, un marcador de inflamación no específico),

Los POCT de segunda generación se basan en nuevos métodos de diagnóstico molecular [37], que en términos de enfermedades infecciosas típicamente significa pruebas de amplificación de ácido nucleico (NAAT). Los ensayos NAAT son el estándar de oro actual en la detección de patógenos, siendo la PCR (reacción en cadena de la polimerasa) el protocolo más extendido y conocido, utilizado por prácticamente todas las clínicas. Sin embargo, para LoC, los NAAT isotérmicos son mucho más adecuados, ya que requieren solo un rango de temperatura de incubación bien definido para la reacción en lugar del ciclo térmico como lo exige la PCR. NAAT, como su nombre indica, amplifica la concentración de un ADN objetivo a una cantidad fácilmente detectable, contra un medio ruidoso, como una muestra de sangre. Los amplicones (ADN amplificado) se pueden visualizar agregando moléculas marcadoras o detectados por sensores electroquímicos. Los amplicones se pueden visualizar en barras de flujo lateral como con los RDT de primera generación, ofreciendo la misma opción para la integración de lectura como se mencionó anteriormente. Los sensores electroquímicos son incluso mejores opciones para un mayor nivel de integración, ya que el sensor y la unidad de procesamiento se pueden fabricar dentro del mismo proceso e idealmente empaquetados en el mismo troquel.[39].

Las pruebas de LoC tienen un gran potencial en el diagnóstico médico descentralizado, pero su comercialización aún se encuentra en una etapa temprana [29]. En la actualidad, solo se han demostrado unas pocas pruebas de LoC con informes inalámbricos automatizados. El mChip de [32] Sia Lab es un dispositivo portátil, de mano y alimentado por batería que utiliza cartuchos LoC desechables que realizan pruebas ELISA (Ensayo de inmunosorbente ligado a enzimas) para detectar anticuerpos específicos para una determinada enfermedad infecciosa y transfiere resultados a una base de datos central a través de Una conexión de banda ancha celular integrada. El dispositivo fue probado en el campo para la detección del VIH-1 [40]. La plataforma mChip puede detectar el VIH-1 a 1/10 del costo de un ensayo ELISA de sobremesa, y requiere una capacitación mínima del usuario. En esencia, la plataforma mChip es un POCT de primera generación con informes de resultados inalámbricos automatizados, ya que se basa en pruebas serológicas en lugar de un ensayo NAAT más confiable. En la actualidad, no hay POCT de segunda generación con informes automáticos, pero existen ejemplos de dispositivos NAAT comerciales, así como existe un esfuerzo significativo en la literatura para implementarlos. El Alere Influenza A & B [41] es un ejemplo destacado de una prueba NAAT portátil, que tiene una lectura de resultados automatizada pero no hay informes inalámbricos en este momento. Es un instrumento de mesa confiable para el diagnóstico rápido del virus de la influenza a un costo menor y más rápido que por los medios tradicionales. Gurrala *y col.* [39] demostró un cartucho LoC que sería alimentado y controlado por una PC a través de un puerto USB. El cartucho demostrado era una plataforma de detección de VIH-1 autónoma que se basaba en un ensayo NAAT y un sensor de pH integrado para medir la concentración de amplicones.

### C. Escenario de aplicación 2: enfermedad cardiovascular

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) como el corazón coronario, la presión arterial alta, la arritmia cardíaca y otros problemas cardiovasculares son la principal causa de muerte en todo el mundo [42]. Un factor clave relacionado con la enfermedad cardiovascular es la presencia de dolor torácico agudo. Sin embargo, también puede ser causada por otros problemas médicos y hay casos de paro cardíaco que son silenciosos. En caso de hipertensión crónica periódica, es decir, presión arterial diaria y peso corporal, las mediciones son suficientes para controlar la condición del paciente. Sin embargo, la única herramienta de diagnóstico confiable disponible para evaluar la probabilidad de un evento cardíaco es el monitoreo de electrocardiograma (ECG). Representa la actividad eléctrica del corazón como se registra en los electrodos unidos al tórax y/o extremidades de un paciente y es la prueba que se realiza con mayor frecuencia para evaluar el nivel de salud de los pacientes con mal funcionamiento o funcionamiento irregular del corazón [5]. En comparación con otras mediciones de signos vitales como la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria, la presión arterial, el ECG requiere un rendimiento de datos significativamente mayor. El enfoque tradicional de la monitorización de ECG se basa en dispositivos Holter, que realizan la grabación de señales de ECG, generalmente durante 24 horas en el entorno doméstico. Luego, las señales se analizan fuera de línea para encontrar cualquier irregularidad. Aparentemente, para algunos pacientes, los eventos cardíacos son raros, por lo que es beneficioso el monitoreo continuo o al menos a largo plazo con acceso remoto a datos. Además, la transferencia en tiempo real de las señales de ECG al hospital en caso de una situación de emergencia tiene un alto potencial de reducir el tiempo de respuesta en el control o la reanimación de víctimas de muerte súbita cardíaca [43]. El monitoreo en línea del ECG también es útil para la rehabilitación domiciliaria después de las cirugías cardíacas. De esta manera, el tiempo de hospitalización puede reducirse, pero la recuperación activa del paciente puede ser posible bajo la vigilancia profesional.

Con el avance en las redes inalámbricas y móviles, el ECG y los resultados más simples de medición del corazón de los pacientes con ECV pueden transmitirse a los proveedores de atención médica en tiempo real. WBAN es la parte esencial de dichos sistemas, ya que permite la integración de datos de nodos de sensores conectados al cuerpo o utilizados durante las mediciones programadas. El objetivo de la investigación actual es abordar el desafío de brindar atención de calidad a los pacientes cardíacos en cualquier momento y en cualquier lugar, además de reducir los costos de atención médica al aprovechar los beneficios de las tecnologías móviles para permitir el monitoreo remoto de los pacientes. La monitorización ubicua del corazón en busca de signos de eventos cardíacos, que de otro modo habrían pasado desapercibidos, no solo promovería la detección temprana y el tratamiento de la enfermedad cardíaca, por lo tanto, reduciría la tasa de mortalidad debido a paros cardíacos,[5].

En este sentido, se han propuesto varios marcos arquitectónicos adecuados para monitorear pacientes con ECV de forma inalámbrica. En [44], se introduce un chaleco inteligente con una variedad de sensores integrados en la tela de la prenda que simultáneamente recolecta señales biológicas de una manera no invasiva y discreta. Los parámetros medidos por el chaleco incluyen ECG, fotopletismografía (PPG), frecuencia cardíaca, presión arterial, temperatura corporal y respuesta galvánica de la piel (GSR). Del mismo modo, se presenta un novedoso dispositivo portátil capaz de recopilar y transmitir de forma inalámbrica parámetros relacionados con el corazón, como ECG, PPG y bioimpedancia [45]. Además, varios estudios han investigado con éxito la monitorización de ECG sin contacto y sin plomo [46] - [47] [48]. Una encuesta exhaustiva de más de 120 sistemas de monitoreo de ECG fue revisada y clasificada en sistemas de monitoreo de ECG portátiles, inalámbricos y móviles inteligentes con algoritmos de procesamiento de señales relacionados en [49]. La mayor parte del sistema de monitoreo presentado en [49] también incluye otras mediciones de monitoreo de signos vitales. Los resultados de la revisión sugieren que con la adopción de sistemas de monitoreo inteligentes que miden parámetros vitales, incluido el ECG en tiempo real, se puede mejorar la calidad del sistema de atención médica y reducir los costos.

Desde el punto de vista de la comunicación inalámbrica, los desafíos que deben abordarse para tales sistemas son los requisitos específicos en términos de niveles de potencia, velocidades de datos y latencia. Debido a la participación de la vida humana y los problemas de salud, es esencial un nivel suficiente de precisión y alta confiabilidad. En este sentido, los requisitos de velocidad de datos establecidos para el sistema de monitoreo de pacientes con ECV se pueden clasificar de la siguiente manera:

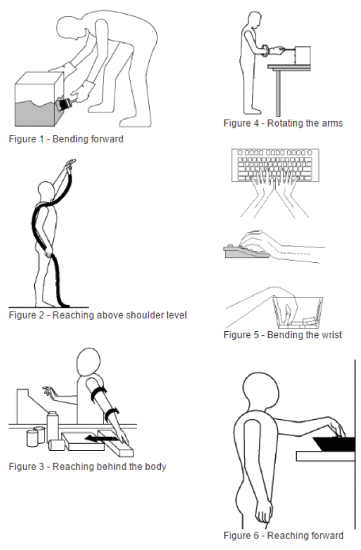
1. **Baja tasa de datos:** pruebas periódicas (una o dos veces al día) que consisten en mediciones de frecuencia cardíaca (FC), presión arterial y peso corporal. La resolución de datos de 8 bits es suficiente para cada medición. Una sola prueba de medición con marca de tiempo produce aproximadamente 10 bytes de datos, el flujo de datos promedio a lo largo del tiempo es insignificante, y también lo es el rendimiento requerido en tiempo real. Un caso de uso novedoso importante es la detección de caída en tiempo real que tampoco produce una cantidad significativa de datos.
2. **Velocidad de datos media:** aplicaciones que incluyen un par de electrodos individuales (2 o 3 cables) Medición de ECG que produce un flujo de datos de 12–16 bits a una velocidad de muestreo de 250 Hz-1 kHz Como se describió anteriormente, la transferencia en tiempo real de las señales de ECG abre nuevas posibilidades de aplicación para la monitorización remota y rehabilitación de pacientes con ECV. Según las opiniones de expertos, la capacitación colaborativa eficiente bajo la asistencia de un médico distante o fisioterapeuta requiere una latencia de extremo a extremo de las señales de ECG por debajo de un segundo. Un dispositivo comercial que se puede utilizar para la observación en tiempo real del ECG de un solo canal es Zephyr Bioharness 3. Tiene una resolución de 12 bits y una frecuencia de muestreo de 250 Hz [50]. Es interesante que el dispositivo tenga un acelerómetro incorporado que permita observar el nivel de actividad del paciente (100 Hz) y la postura corporal (1 Hz). La velocidad de datos real (sin comprimir) de dicho sensor de ECG portátil individual es de aproximadamente 3 Kbps, la velocidad de datos de movimiento es de aproximadamente 1,5 Kbps.
3. **Alta velocidad de datos** Para la evaluación clínica profesional se utilizan dispositivos de ECG de hasta 12 derivaciones. Los dispositivos portátiles y portátiles de medición de ECG de electrodos múltiples generalmente tienen 5 canales y 16 bits a una resolución de 1 kHz [51]. A veces, también se proporcionan capacidades de medición EMG (resolución similar a ECG, quizás 2–3 canales). Para el monitoreo de alta calidad de los pacientes con ECV, especialmente para el soporte de entrenamiento en el hogar, es aconsejable proporcionar datos sin procesar del movimiento o la postura humana para el análisis combinado. La captura de movimiento de alta resolución, que generalmente se realiza con sensores de movimiento inercial (IMU) de 16 bits y 9 grados de libertad (DoF) a una muestra de 50–250 Hz, permite reducir el impacto de los artefactos de movimiento en las señales eléctricas, comprender el contexto de medición y, por lo tanto, mejorar La calidad de la evaluación. La fusión de datos y el reconocimiento de patrones se pueden realizar en nodos de niebla, que es más preferido hoy en día, o en la nube. El uso de técnicas de aprendizaje automático es aplicable en ambos casos. Para el monitoreo remoto y la asistencia humana en tiempo real, los retrasos de la red no deben exceder un segundo como en la clase de requisito anterior. Normalmente, el monitoreo remoto multicanal de ECG y EMG generalmente requiere un rendimiento de datos de 120 y 60 Kbps respectivamente [52]. Tal ancho de banda de datos también permite la transmisión simultánea de datos sin procesar de 1–3 sensores de movimiento.

Además del desafío de proporcionar un servicio de comunicación confiable y en tiempo real, el procesamiento de un diagnóstico preciso en tiempo real también es de vital importancia. Para tales sistemas, se deben incluir técnicas avanzadas de procesamiento de aprendizaje automático. Sin embargo, también existe una disposición para abordar estos problemas con la ayuda de conceptos de computación de borde o niebla cerca del dispositivo que reducen los retrasos y también minimizan la carga sobre las tecnologías de comunicación. La visión general de dicha disposición para el futuro sistema de salud se discutirá en secciones posteriores.

### D. Escenario de aplicación 3: trastornos musculoesqueléticos

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) son lesiones y molestias que afectan el movimiento del cuerpo humano o el sistema musculoesquelético. Las partes del cuerpo que pueden verse afectadas por los TME incluyen manos, muñecas, codos, cuello, hombros y columna vertebral. Los TME son una de las enfermedades profesionales más frecuentes en la Unión Europea (UE); entre los trabajadores de todos los sectores, a menudo se les conoce como "trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo (WMSD)" [53]. Según la recopilación de datos de las Estadísticas europeas de enfermedades profesionales (EODS), las enfermedades profesionales más comunes son las enfermedades musculoesqueléticas [53]. Según la última encuesta de la Fuerza Laboral en Gran Bretaña, el 41% de la enfermedad laboral se debe a TME [54]; Del mismo modo, son los problemas de salud dominantes entre la población activa de la UE [55]. Tales hechos y estadísticas se difunden en todo el mundo según lo informado por el Centro Canadiense para la Salud y Seguridad Ocupacional en [56] y Safe Work Australia en [57] y así sucesivamente.

Los factores que contribuyen a los TME incluyen, entre otros, posturas y movimientos de trabajo, repetitividad y ritmo de trabajo, fuerza de movimientos, vibración, temperatura, aumento de la presión (por ejemplo, para aumentar la productividad) y la falta de comunicación o mala comunicación [ 56]. En ciertas condiciones del lugar de trabajo, como se muestra en la Fig. 4, por ejemplo, el diseño de la estación de trabajo, la velocidad del trabajo (especialmente en trabajos con transportador) y el peso de los objetos que se manejan influyen en estos factores.

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik4-2853148-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik4-2853148-large.gif)

**FIGURA 4.** Diversas posturas y movimientos capturados entre los trabajadores ocupacionales que pueden conducir a posibles trastornos musculoesqueléticos [56].

Se han realizado varios estudios sobre diversos trabajadores ocupacionales, incluidos los informáticos y de oficina [58], enfermeras, cuidadores y personal paramédico [55], [59], centrándose en identificar la prevalencia de TME. Cubren las molestias y trastornos en el cuello/hombro, dedos/muñeca/manos, dolores de espalda superiores y bajos, etc. Estos estudios se basan en un gran conjunto de recopilaciones de datos en varios profesionales entre diferentes países y continentes. Sin embargo, los métodos de recopilación de datos existentes se basan predominantemente en encuestas y cuestionarios que a menudo no son muy precisos. En su mayoría, el porcentaje estimado de posturas y posturas particulares se obtiene en base a meras conjeturas. Esto lleva a serias preocupaciones sobre la precisión de tales recopilaciones de datos.

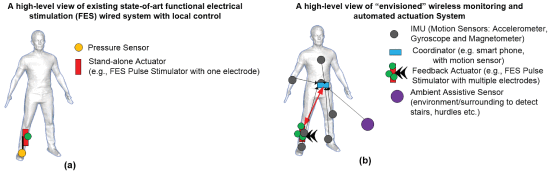
Para mejorar tales métodos de recolección de datos, se pueden usar sensores y dispositivos de implantes y miniaturizados portátiles. La plataforma de detección portátil presentada en la Fig. 2, puede explotarse en el contexto de MSD. Puede ayudar a obtener posiciones precisas y precisas, posturas y orientaciones, mediciones de carga en diferentes huesos, etc. Con ese fin, se prevé explotar las colecciones de datos en varios niveles. Primero, a nivel local, los resultados de diagnóstico y POCT pueden advertir a los trabajadores con alarmas o advertencias de posibles riesgos debido a sus posturas y movimientos incorrectos consistentes. También puede considerarse que el proceso de procesamiento y decisión a nivel local ha implementado cámaras infrarrojas para monitorear y realizar un seguimiento de los movimientos y, al realizar el análisis de la marcha, se pueden proporcionar advertencias y precauciones tempranas a los trabajadores [60].

Otro aspecto importante es el monitoreo de nivel remoto, el diagnóstico de procesamiento y las detecciones tempranas de los posibles MSD, en los que la información precisa y precisa de los sensores y dispositivos desplegados podría transmitirse a la nube remota para predicciones y estimaciones a largo plazo. Dichos sistemas podrían explotar principalmente algoritmos y técnicas de aprendizaje automático para análisis de big data; Estos se cubren como uno de los aspectos desafiantes más adelante en la Sección IV.

### E. Escenario de aplicación 4: trastornos neuromusculares

Los sistemas actuales de telemedicina y eHealth, incluidas las soluciones portátiles y mHealth, están orientados a la recopilación de datos del usuario y a los servicios de intercambio de información fuera de línea entre el usuario y el médico. Esto implica requisitos de QoS bastante suaves para el rendimiento y la confiabilidad en tiempo real de los canales de comunicación. Las aplicaciones avanzadas de detección remota como los sistemas LoC mencionados anteriormente tampoco establecen requisitos estrictos para la calidad del canal de comunicación. La situación es más complicada para los sistemas de circuito cerrado que incluyen ciertos actuadores. Por ejemplo, existe la necesidad de soluciones tecnológicas de asistencia para pacientes con enfermedades neuromusculares en términos de ayuda física para caminar y prevención de caídas. De hecho,[61]. En este contexto, la estimulación muscular eléctrica es un método novedoso de tratamiento de los temblores de la enfermedad de Parkinson [62]. Además, el sonido de estimulación metronómica puede ayudar a recuperarse de los períodos de inactividad de Parkinson [63]. Ciertos pacientes con accidente cerebrovascular, ataxia, lesión cerebral traumática pueden beneficiarse de la estimulación muscular eléctrica para mejorar la marcha [64].

Existen estimuladores eléctricos que pueden activar los músculos de pacientes con deficiencias neuronales. Por ejemplo, los dispositivos comerciales de asistencia para la caída del pie, es decir, [65], [66] pueden activar los músculos del talón durante la marcha con señales eléctricas y, por lo tanto, reducir significativamente el riesgo de caída de los pacientes. El estimulador eléctrico puede controlarse manualmente a través de un enlace inalámbrico [67] o, en sistemas modernos, mediante un interruptor de presión conectado de forma inalámbrica debajo de la suela Fig. 5-a. Según los estudios de retroalimentación háptica humana, las latencias no deben exceder ca. 50 ms para lograr la sensación de retroalimentación o reacción instantánea [68].

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik5ab-2853148-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik5ab-2853148-large.gif)

**FIGURA 5.** Monitoreo y actuación de enfermedades neurodegenerativas para la vida asistida.

Sin embargo, los estimuladores existentes, tanto de forma manual como activados por un único sensor, todavía funcionan como soluciones independientes sin tener en cuenta el contexto ambiental cambiante y otros parámetros de salud del paciente. Por ejemplo, la operación independiente no tiene en cuenta las condiciones específicas, como la presencia de hielo o escaleras en el camino o el aumento de la frecuencia cardíaca del paciente. La comunicación no confiable (inalámbrica) entre el sensor único y el actuador de estimulación debido, por ejemplo, a la congestión de la red puede ser perjudicial para la seguridad del paciente. Por lo tanto, las soluciones de conectividad para actuadores portátiles deben proporcionar ciertos niveles determinísticos de QoS, también mientras existen varias fuentes de información de contexto externo. En la figura 5-b se propone una idea de un sistema moderno de estimulación eléctrica muscular sensible al contexto.

Para la activación muscular (del talón), se utiliza información adicional además del único sensor. Las IMU conectadas al cuerpo humano proporcionan información sobre la postura del cuerpo que es esencial para la prevención oportuna de caídas. Los sensores externos proporcionan información sobre el entorno, es decir, las condiciones de la superficie de la calzada, el contexto en el exterior o en el exterior e información específica relacionada con el paciente, como la presencia de una condición de recaída, presión arterial baja o frecuencia cardíaca.

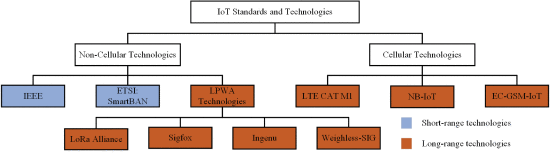
Para elaborar los requisitos de aplicación (clínicos), consideremos una IMU con acelerómetro, giroscopio y magnetómetro con 9 DoF. Cada sensor individual tiene hoy en día 16 bits de precisión, es decir, 48 bits para (X, Y, Z), con una resolución de 100 Hz, produciendo una carga útil de aplicación de 14,4 Kbits (casi 2 KB/IMU). Con 3 a 4 IMU con un actuador, el coordinador debe administrar una carga útil de la aplicación de casi 10 KB en 50 ms. Para lo anterior, la selección de tecnología correspondiente no es trivial. Continua Health Alliance de fabricantes de dispositivos médicos ha certificado las tecnologías Bluetooth y Zigbee para la comunicación inalámbrica. Sin embargo, con el creciente número de dispositivos médicos ubicuos y omnipresentes, tecnologías y estándares portátiles y BAN específicos como WBAN (IEEE 802.15.6), MBAN (IEEE 802.15.4j) y recientemente SmartBAN,

*Resumen:* Para concluir sobre los cuatro estudios de caso anteriores, para las futuras aplicaciones de atención médica, la aparición combinada de nuevos tipos de sensores y sus números, capacidades de actuación, la cantidad de datos y las posibles tasas de datos (especialmente para video), ultra bajo La utilización de la energía, la mayor calidad de servicio y la confiabilidad llevarán los estándares y tecnologías de comunicación inalámbrica existentes a sus límites. Además, es probable que se establezcan requisitos nuevos y más estrictos sobre la calidad del servicio de comunicación de las soluciones WBAN. Esto requiere un cambio de las tecnologías heredadas a las tecnologías y estándares de próxima generación, como se detalla en la siguiente sección.

**SECCION III.**

## **Habilitación de estándares y tecnologías**

Durante la última década, se han utilizado varios estándares para aplicaciones orientadas al cuerpo destacadas en la sección anterior. En esta sección, proporcionamos un análisis exhaustivo de varios estándares propuestos por los órganos de gobierno como IEEE, ETSI, 3GPP, etc. El objetivo es resaltar las fortalezas y debilidades de estos estándares propuestos y comprender la idoneidad de estas tecnologías en los futuros sistemas de salud. Para hacerlo, hemos clasificado estos estándares como celulares y no celulares que luego se dividen en protocolos de comunicación de corto y largo alcance, como se muestra en la figura 6.

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik6-2853148-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik6-2853148-large.gif)

**FIGURA 6.** Habilitación de estándares y tecnologías para IoT.

### A. Estándares heredados que operan en espectro sin licencia

Estos estándares utilizan el espectro sin licencia y generalmente están basados ​​en infraestructura no celular, que a menudo son fáciles de implementar dependiendo de las aplicaciones personalizadas.

#### 1) Estándares IEEE

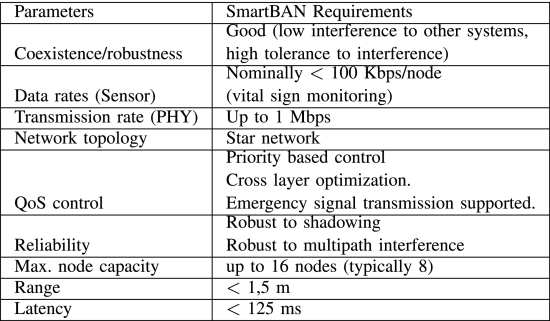
En las últimas dos décadas, la asociación de estándares IEEE (SA) ha propuesto una amplia gama de estándares para satisfacer varios requisitos de aplicaciones. En particular IEEE 802.11 a/b/g/n/ac, etc. (para Wi-Fi), IEEE 802.11p (comunicaciones vehiculares), IEEE 802.15.4 (WSN), IEEE 802.15.1 (BL) e IEEE 802.15.1 (BLE) son ampliamente utilizados en la comunicación de corto alcance. Con referencia a las redes de sensores corporales, inicialmente IEEE 802.15.4 y sus variantes se usaron como una solución fácil para WSN y últimamente IEEE 802.15.1 también se está volviendo popular en dispositivos portátiles y médicos.

La mayoría de los estándares de comunicación mencionados anteriormente no fueron diseñados específicamente para redes inalámbricas de sensores portátiles (W-WSN). Por lo tanto, no cumplen con los requisitos específicos establecidos por las aplicaciones W-WSN [2] - [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19]. Por ejemplo, existen limitaciones importantes en términos de consumo de potencia máxima, velocidades de datos alcanzadas, rango de comunicación, interferencias de RF generadas y comunicaciones eficientes cuerpo a cuerpo. Con este fin, los estándares IEEE 802.15.6 e IEEE 802.15.4j están específicamente diseñados para cumplir con los requisitos de las aplicaciones W-WSN. El estándar IEEE 802.15.6 propuso una mayor flexibilidad y disposiciones para ajustar el estándar en función de los requisitos de diseño de las aplicaciones dadas. En la capa física, el estándar incluye tres opciones (es decir, comunicación del cuerpo humano, comunicaciones de banda estrecha y banda ultra ancha) con diferentes frecuencias de operación y velocidades de datos. Mientras que, en la capa de control de acceso medio, hay acceso distribuido (CSMA/CA), acceso programado (TDMA), acceso no programado y opciones de poling y publicación.[2] y [19].

#### 2) ETSI: SmartBAN

ETSI estableció un Comité Técnico (TC) llamado SmartBAN en 2013 para el desarrollo de un nuevo estándar considerando las restricciones y requisitos específicos para W-WSN. Este TC aprobó un nuevo conjunto de especificaciones, que abarca la capa PHY [69] y MAC [70], en diciembre de 2014, pero las especificaciones técnicas detalladas están pendientes de publicación por ETSI. Los requisitos técnicos iniciales retenidos por TC SmartBAN para los parámetros WBAN se enumeran en la Tabla 3 [71].

**TABLA 3** Especificaciones técnicas para SmartBAN

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik.t3-2853148-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik.t3-2853148-large.gif)

Las esperadas soluciones basadas en SmartBAN apoyarán principalmente la comunicación corporal, la comunicación cuerpo a cuerpo y los enlaces a dispositivos implantados. Además, SmartBAN se basa en un enfoque de radio múltiple en el que los dispositivos se pueden conectar utilizando estándares de radio existentes. SmartBAN opera en la banda ISM de 2.401–2.481 GHz y utiliza la modulación Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK). También existe una disposición para emplear la codificación BCH (127,113) y la codificación de repetición para reducir los errores si es necesario.

La característica clave del protocolo SmartBAN es la división en el canal de datos para las transmisiones de datos y el canal de control para la inicialización de la red y la transmisión de mensajes de control. Los beneficios de tener un canal de control separado incluyen adquisiciones rápidas de canales y comunicaciones BAN-a-BAN fáciles. Por el contrario, si el canal de control enfrenta interferencia, los cambios significativos como la asociación de nodos y el cambio de canal no son posibles en el canal de Datos [72].

Además, la transmisión de datos se divide en Inter-Beacon Interval (IBI) que consta de tres componentes principales que son los siguientes: Período de acceso programado (SAP), Período de control y gestión (CMP) y Período inactivo. SAP es principalmente para la transmisión de datos con acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) para evitar colisiones. CMP se utiliza para el control y la transmisión de datos y es operado por Aloha ranurado. Además de estos protocolos de acceso, también se ha definido un modo de acceso de canal multiusuario (MCA) alternativo que permite la transmisión de mensajes de alta prioridad, como paquetes de emergencia. Esto es particularmente importante para garantizar una latencia muy baja para aplicaciones de tiempo crítico [72]. Sin embargo, estas características son exclusivas del protocolo SmartBAN y no son compatibles con otros estándares para W-WSN, por ejemplo, en IEEE 802.15.6.

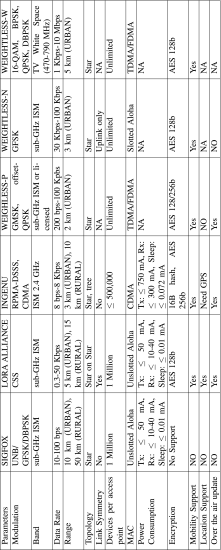
Esta sección se centró en la comunicación corporal típica. En la siguiente sección, destacamos el siguiente nivel de comunicación, es decir, comunicación cuerpo a cuerpo y fuera del cuerpo y las nuevas tecnologías emergentes.

### B. Tecnologías de área amplia de baja potencia

Las tecnologías de área amplia de baja potencia no celular (LPWA) son tecnologías prometedoras para cumplir con los diversos requisitos establecidos por las futuras aplicaciones de IoT. Estas tecnologías pueden funcionar en coexistencia con las tecnologías inalámbricas celulares y de corto alcance tradicionales para permitir la conectividad de dispositivos de baja potencia y baja velocidad de datos, que actualmente no es compatible con estas tecnologías tradicionales. Los pronósticos de oportunidades y conexiones de LPWA son enormes; se espera que los números aumenten de 59 millones (en 2016) a 83 millones (en 2017) y alcancen 3 mil millones de conexiones en 2025 [73].

Las principales aplicaciones de destino para las tecnologías LPWA incluyen, entre otras, ciudades inteligentes, aplicaciones personales de IoT, redes inteligentes, medición inteligente, logística, monitoreo industrial, agricultura, etc. Una de las aplicaciones potenciales para la tecnología LPWA es la salud inteligente y sistema de monitoreo remoto de bienestar. Estos sistemas constituyen W-WSN que se comunican a través de enlaces inalámbricos de largo alcance para enviar o recibir información. Específicamente, las tecnologías LPWA se consideran para aplicaciones tolerantes a demoras que requieren baja velocidad de datos, bajo consumo de energía y bajo costo. Un ejemplo de ello es la monitorización remota de los pacientes en sus hogares, que generalmente no tiene requisitos de tiempo estrictos.

**TABLA 4** Comparación de tecnologías LPWA

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik.t4-2853148-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik.t4-2853148-large.gif)

Además, la mayoría de las tecnologías LPWA se basan en la topología de red en estrella en la que cada sensor/nodo se comunica directamente con la estación base. Esto da como resultado un enlace altamente asimétrico entre un nodo y la estación base. Como en la mayoría de las aplicaciones de IoT, el tráfico de datos es principalmente del nodo a la estación base y el tráfico de la estación base al nodo consiste solo en el reconocimiento o simples comandos o acciones a realizar. Esta naturaleza asimétrica ayuda a poner toda la complejidad en la estación base, lo que resulta en dispositivos finales simples con bajo costo y mejor duración de la batería. Por otro lado, esto también tiene un impacto negativo en la escalabilidad y la calidad del servicio proporcionado por las tecnologías LPWA.

En este momento, existen varias tecnologías LPWA no celulares competidoras como Sigfox, LoRA, Ingenu, Weightless-SIG y Telensa, cada una de las cuales emplea diversas técnicas para lograr una operación de largo alcance, baja potencia y alta escalabilidad. La comparación detallada de todas estas tecnologías competidoras se presenta en la Tabla 4.

#### 1) Sigfox

La tecnología Sigfox utiliza la técnica de Banda Ultra Estrecha (UNB) y opera en la banda ISM por debajo de GHz [74]. La operación UNB se logra utilizando anchos de banda de canal inferiores a 1 kHz. Esto permite a Sigfox tener bajos niveles de ruido y operar con una potencia ultrabaja que resulta en un rendimiento máximo de 100 bps. Sin embargo, por otro lado, esto también da como resultado una alta sensibilidad del receptor y un diseño de antena económico. Debido al consumo de energía ultrabajo, Sigfox utiliza la modulación Binary Phase Shift Keying (BPSK) para la transmisión de datos. La baja velocidad de datos ofrecida por Sigfox limita el número de casos de uso de esta tecnología.

Además, Sigfox se basa en una topología de red en estrella y la versión inicial de la tecnología solo admite la comunicación de enlace ascendente. Sin embargo, la última versión puede admitir la comunicación bidireccional con una asimetría de enlace significativa. Esta tecnología es apta para aplicaciones que requieren enviar solo un pequeño tráfico de datos, como sistemas de alarma, monitoreo de recursos humanos o enviar alertas a los servicios de rescate, que en su mayoría solo requieren comunicación unidireccional.

#### 2) LoRa Alliance

La solución LoRa Alliance LPWAN se basa en dos componentes principales, a saber, LoRa y LoRaWAN [75] y opera en la banda ISM por debajo de GHz.

LoRa es una tecnología de capa física que utiliza un esquema de espectro expandido chirp (CSS) para la modulación. La idea principal de CSS es difundir una señal de banda estrecha en un ancho de banda de canal más amplio, lo que hace que sea más difícil de detectar ya que tiene propiedades similares al ruido. Además, LoRa también introduce seis factores de dispersión ortogonales (SF) diferentes para lograr velocidades de datos variables dependiendo de las especificaciones de la aplicación. Esto da como resultado una eficiencia espectral mejorada y un aumento en la capacidad de la red. Para mejorar la robustez de la comunicación, LoRa también incluye un esquema de corrección de errores cíclicos variables [76].

LoRaWAN es un protocolo de capa de red que utiliza un esquema ALOHA simple en combinación con LoRa para permitir que múltiples dispositivos se comuniquen en una topología en estrella. LoRaWAN está optimizado específicamente para dispositivos de bajo consumo de energía. Para admitir diversas aplicaciones de IoT, LoRaWAN clasifica tres clases de dispositivos finales LoRa con diferentes latencias y requisitos de potencia. Dispositivos de soporte de clase A que requieren un consumo de energía ultra bajo pero son altamente tolerantes a los retrasos. Estos dispositivos escuchan el enlace descendente durante un breve intervalo de tiempo inmediatamente después de la transmisión del enlace ascendente; de ​​lo contrario, permanece en modo de suspensión. Dispositivos de soporte de clase B que requieren bajo consumo de energía y requisitos de latencia moderados. Los dispositivos de clase B programan la recepción desde la estación base en períodos de tiempo fijos. Por lo tanto, estos dispositivos solo se activan en los intervalos en los que está programada la transmisión. Por lo tanto, utilice más energía que los dispositivos de Clase A. Por último, los dispositivos de soporte de clase C que requieren la menor latencia posible y, por lo tanto, tienen que escuchar continuamente la transmisión de enlace descendente. Además, LoRaWAN también proporciona comunicación segura utilizando criptografía de clave simétrica mientras se autentican los dispositivos finales con la red.[76]

Desde una perspectiva de velocidad de datos, LoRa proporciona mejores velocidades de datos que Sigfox y es ideal para velocidades de transferencia de datos entre 300 bps y 5000 bps. Sin embargo, uno de los principales inconvenientes en el uso de la solución LoRa LPWAN es que requiere una suscripción de un único proveedor (Semtech), lo que puede ser costoso.

#### 3) Ingenu

Ingenu era anteriormente conocido como On-Ramp Wireless. Ingenu está operando en la banda ISM de 2.4 GHz que proporciona alta potencia de transmisión, lo que permite un mayor rendimiento y más capacidad que otras tecnologías que operan en la banda sub-GHZ. Por el contrario, operar a 2.4 GHz le da un rango más corto que Sigfox y LoRa, y lo hace más vulnerable a la interferencia. Además, Ingenu utiliza un esquema de acceso patentado denominado Acceso Múltiple de Fase Aleatoria (RPMA) que emplea acceso múltiple de espectro de secuencia directa (DSSS) [77]. La tecnología RPMA emplea un estricto control de potencia de transmisión y tiene una alta sensibilidad del receptor [78]. El alto nivel de sensibilidad del receptor proporciona una buena potencia de señal al tiempo que mantiene un nivel de capacidad significativo. Esto permite una gran área de cobertura con un punto de acceso de bajo costo simultáneo con una capacidad extrema mientras está optimizado para una batería de larga duración y seguridad de grado empresarial. Un punto de acceso RPMA también puede soportar cientos de miles de dispositivos finales con varias velocidades de datos.

#### 4) Tecnología RPMA

admite las especificaciones IEEE 802.15.4k. La velocidad de datos ofrecida por Ingenu generalmente es de cientos de miles de bits por segundo, que es más alta que Sigfox y LoRa, pero a costa de una menor duración de la batería. Además, Ingenu tiene sus propios protocolos de seguimiento precisos y no requiere un módulo separado del sistema global de navegación por satélite (GNSS) para aplicaciones de seguimiento como Sigfox y LoRa. Similar a LoRa, Ingenu es capaz de transmisión bidireccional que actualmente no es compatible con Sigfox. Sin embargo, en términos de número de usuarios admitidos por estación base, Sigfox y LoRa son una mejor opción que Ingenu.

#### 5) sin peso

Sin peso es un estándar LPWA abierto. Opera en el espectro sin licencia por debajo de GHz. La ingravidez comprende tres estándares abiertos, cada uno con diferentes características, rango y consumo de energía [79].

* **Sin peso-P.**Este estándar proporciona comunicación bidireccional y utiliza esquemas de modulación Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) y Quadrature Phase Shift Keying (QPSK). El estándar ofrece la tasa de rendimiento comprometida, la confiabilidad de la red y los parámetros de seguridad proporcionados por las soluciones 3GPP. Este estándar ofrece una velocidad de datos en el rango de 0.2 Kbps a 100 Kbps y proporciona un costo sustancialmente menor que otras tecnologías LPWA. Un soporte completo para los reconocimientos y las capacidades de comunicación bidireccional también permiten actualizaciones de firmware por aire.
* **Sin peso-N.**Este estándar ofrece comunicación unidireccional y utiliza una arquitectura de red en estrella. Los dispositivos sin peso N tienen una batería de larga duración de diez años y un bajo costo de red. Weightless-N utiliza un esquema de modulación de codificación de desplazamiento binario diferencial (DBPSK) y opera en banda sub-GHz con tecnología de banda ultra estrecha. Este estándar utiliza algoritmos de salto de frecuencia para reducir la interferencia. Weightless-N también brinda soporte para la movilidad.
* **Sin peso-W.**Este estándar opera en el espectro de espacios en blanco de TV y puede admitir varios esquemas de modulación, incluida la modulación de amplitud de 16 cuadraturas (16-QAM) y el diferencial-BPSK (DBPSK) y una amplia gama de factores de propagación. Debido a la amplia gama de esquemas de modulación, el estándar puede proporcionar una velocidad de datos máxima entre 1 Kbps y 10 Mbps. Además, para una mejor duración de la batería, el dispositivo final funciona en banda estrecha con baja potencia que la estación base. Sin embargo, uno de los principales inconvenientes de este estándar es que hasta ahora solo se puede permitir en algunas regiones.

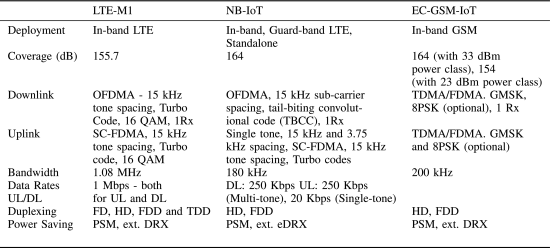
Al igual que LoRa, todos los estándares de Weightless emplean criptografía de clave simétrica para proteger los datos de la aplicación.

### C. Estándares celulares/con licencia

Las tecnologías inalámbricas no celulares heredadas mencionadas en la sección anterior no son ideales para conectar dispositivos que se distribuyen en una gran área geográfica debido a su limitación de cobertura. Estas tecnologías se pueden implementar para un área específica (es decir, hogar, hospital) y no podrán proporcionar cobertura global, que es el requisito de muchas aplicaciones de IoT, como ciudad inteligente, logística y atención médica personal [80]. Para mejorar el alcance de estas tecnologías, uno debe usar una implementación densa de dispositivos y puertas de enlace en una red de malla de múltiples saltos que incurre en un costo de implementación enorme. Por otro lado, las redes celulares tradicionales que ya tienen una huella global podrían ser una opción adecuada. Pero estas tecnologías celulares no pueden lograr una alta eficiencia energética para soportar diez años de vida útil de la batería para los dispositivos finales. Además, la complejidad y el costo de los dispositivos celulares también son muy altos, ya que deben lidiar con formas de onda complejas para administrar servicios de voz y datos de alta velocidad. Existe la necesidad de eliminar la complejidad y el costo de dichos dispositivos reduciendo sus funcionalidades para aplicaciones que requieren comunicación de baja potencia.

Sin embargo, en el contexto de IoT, existe la necesidad de tener múltiples tecnologías para cumplir con los requisitos de las aplicaciones de IoT masivas que pueden coexistir entre sí. Por lo tanto, la industria móvil está estandarizando varias tecnologías LPWA, incluida la cobertura extendida GSM (EC-GSM), LTE-M1 y NB-IoT. Todas estas soluciones cumplen requisitos masivos de IoT y pueden complementarse entre sí en función de la disponibilidad de tecnología, los requisitos de casos de uso y los escenarios de implementación. La Tabla 5 presenta las especificaciones de los estándares 3GPP IoT. Las características comunes clave entre las tres opciones incluyen modos efectivos de ahorro de energía (PSM) y técnicas de eDRX (recepción discontinua extendida) que permite a las redes celulares explotar aplicaciones de baja velocidad de datos con una duración de batería de alrededor de 10 años.

**TABLA 5** Especificaciones de los estándares IoT de 3Gpp

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik.t5-2853148-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/8274985/8404033/malik.t5-2853148-large.gif)

Con respecto al PSM, típicamente en LTE, se dice que el equipo de usuario (UE) está en modo inactivo cuando no está conectado a eNB, aún así la red realiza un seguimiento del UE mediante un mecanismo de búsqueda. Después de la secuencia de encendido inicial, el UE realizará una funcionalidad limitada en modo inactivo y ahorrará mucha batería debido a la recepción discontinua. El UE está paginado para tráfico DL pero para tráfico UL el UE ya no estará en estado inactivo; se moverá al estado conectado [81]. Sin embargo, en los nuevos estándares de IoT, un dispositivo LTE-M11 (ver más abajo) que transmite una vez al día en modo PSM completo podría durar más de 10 años con 2 baterías AA [82].

#### 1) Estándar LTE CAT M1

LTE-M1 es parte de la versión 13 de 3GPP y opera en anchos de banda más bajos de 1.4 MHz. El objetivo principal de LTE-M1 es proporcionar baja complejidad, mayor cobertura y mejor duración de la batería, al tiempo que permite la reutilización de la base instalada de LTE. Debido a la limitación del ancho de banda, se especificó un nuevo canal de control y un mecanismo de salto de frecuencia. Sin embargo, la mayor parte de la señalización transmitida por LTE heredada para sincronización e información del sistema sigue siendo la misma. Además, LTE-M1 incluye PSM y eDRX para extender la vida útil de la batería hasta 10 años o más. La combinación de ancho de banda bajo y potencia de transmisión reducida dará como resultado un diseño más económico y de baja potencia. El tráfico LTE-M1 se realiza a través de un operador LTE completo y, por lo tanto, puede aprovechar la capacidad multiplexada de LTE. Adicionalmente, La nueva funcionalidad para un costo de dispositivo sustancialmente reducido y la cobertura extendida para LTE-M1 también se especifican dentro de 3GPP. Incluso con la complejidad reducida, los UE LTE-M1 aún pueden proporcionar características similares a los UE LTE heredados, incluida la movilidad en modo conectado y las transferencias sin interrupciones, la programación eficiente de paquetes de frecuencia a través de la programación semi persistente (SPS) y el paquete de baja latencia mientras en modo conectado[83]. Todas estas características abren la posibilidad de que un UE LTE-M1 también integre voz en aplicaciones IoT.

#### 2) Estándar de banda estrecha de IoT

NB-IoT es una variante de evolución a largo plazo (LTE) diseñada específicamente para IoT. Al igual que LTE, NB-IoT se basa en el acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) con un ancho de banda del sistema de 180 kHz, que corresponde a un bloque de recursos físicos (PRB) en la transmisión LTE. Con 180 kHz de requisito mínimo de espectro, NB-IoT se puede implementar en tres modos operativos posibles, que son los siguientes:

* Independiente como un operador dedicado. En la implementación independiente, NB-IoT puede ocupar un canal GSM de 200 kHz.
* En banda como parte de la portadora LTE de banda ancha, al igual que LTE-M1 pero utiliza un bloque de recursos físicos (PRB) de LTE con 180 kHz.
* Dentro de la banda de protección de un operador LTE existente con un PRB.

Para admitir estos escenarios de implementación flexibles, NB-IoT reutiliza el diseño LTE ampliamente, como OFDM en el enlace descendente y acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única (SC-FDMA) en el enlace ascendente [84]. Además, también se agregan nuevas características para garantizar las demandas de las aplicaciones basadas en IoT. Los cambios clave en el diseño de LTE incluyen secuencias de sincronización, preámbulo de acceso aleatorio, canal de transmisión y canal de control. NB-IoT está diseñado para permitir comunicaciones de largo alcance a baja velocidad de datos entre dispositivos, como sensores que funcionan con una batería en aplicaciones tolerantes a demoras. La característica clave de NB-IoT es que se puede implementar fácilmente dentro de la infraestructura celular actual con una actualización de software, lo que resulta en un costo de implementación reducido. Además, NB-IoT puede proporcionar una velocidad de datos de 250 Kbps para la comunicación de enlace descendente multitono y 20 Kbps para la comunicación de enlace ascendente de tono único. Además, para la extensión de la cobertura, se introduce el concepto de repeticiones y técnicas de combinación de señales.

Además, para lograr una alta eficiencia energética, NB-IoT emplea funciones de ahorro de batería como PSM y eDRX. Estas características ayudan a los dispositivos NB-IoT a tener una duración de batería de más de 10 años. La complejidad del dispositivo de NB-IoT también se reduce en comparación con los dispositivos LTE-M1 y otras tecnologías LPWA sin licencia, y será ideal para abordar aplicaciones de gama ultra baja en los mercados.

#### 3) Estándar EC-GSM IoT

Al igual que LTE, 3GPP también ha propuesto el estándar GSM de cobertura extendida (EC-GSM) que tiene como objetivo extender la cobertura GSM utilizando la banda sub-GHz para aplicaciones IoT. Similar a NB-IoT, EC-GSM también utiliza la combinación de repetición y señal para la extensión de cobertura. Sin embargo, para proporcionar velocidades de datos variables para satisfacer la diversidad de la aplicación de IoT, se pueden utilizar dos técnicas de modulación, a saber, Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) y 8-ary Phase Shift Keying (8PSK) para la transmisión de datos. La velocidad máxima de datos que se puede lograr con 8PSK es de 240 Kbps. Al igual que otros estándares celulares, EC-GSM se puede implementar con una actualización de software en la red GSM. Además, el estándar también ha mejorado las características de seguridad en comparación con el GSM convencional y puede soportar alrededor de 50 K dispositivos por estación base.

*Resumen:* Sin duda, en las soluciones basadas en IoT, las tecnologías de comunicación juegan un papel vital. Particularmente, en el caso de sistemas de salud conectados, se requiere una comunicación confiable e intolerante con retraso. En este sentido, la tecnología de comunicación celular ya tiene una huella global y, por lo tanto, se considera que respaldar e impulsar la adopción de IoT es más viable. Sin embargo, para una solución de extremo a extremo, será necesario fusionar múltiples estándares y tecnologías en un solo sistema. La descripción detallada sobre los desafíos de investigación resultantes se proporciona en la Sección IV al mapear las tecnologías mencionadas anteriormente en el requisito establecido por la aplicación presentada en la Sección II.

**SECCION IV.**

## **Mapeo de aplicaciones y tecnologías futuras: desafíos y oportunidades de investigación**

La industria de la salud está cambiando a un ritmo acelerado, los avances tecnológicos están jugando un papel vital en la mejora de los servicios de salud. En el futuro, sería más importante tener una detección temprana y prevenir las enfermedades que pueden ser dañinas y pueden crear efectos nocivos en la salud pública, los servicios y capacidades de salud, así como los presupuestos financieros. Como se destacó en la Sección II, los posibles escenarios de atención médica, en particular enfermedades generalizadas como los TME, requieren atención. La clave de tales problemas es la identificación temprana de enfermedades; En un futuro próximo, la explotación de las tecnologías habilitadas para IoT puede ayudar a superar las limitaciones existentes. A continuación destacamos algunos de los importantes desafíos abiertos y futuras oportunidades de investigación.

### A. Tecnología heterogénea para aplicaciones emergentes de atención médica

En el contexto de las aplicaciones de atención médica, hay muchos factores a considerar al elegir una tecnología apropiada, como el costo de nodo, el costo de la red, la vida útil de la batería, la velocidad de transmisión de datos (rendimiento), la latencia, la movilidad, el rango dinámico, la cobertura y el modelo de implementación. Ninguna tecnología única podrá sobresalir en todos los factores simultáneamente. Además, la mayoría de las aplicaciones de atención médica requerirán comunicación en el cuerpo, dentro o fuera del cuerpo. Por lo tanto, se necesitará una combinación de tecnologías de comunicación de corto y largo alcance.

En este sentido, para la comunicación de corto alcance, SmartBAN puede considerarse una buena combinación, ya que ofrece comunicación tanto en el cuerpo como en el cuerpo, lo que resulta en un mayor número de escenarios de casos de uso aplicables. Además, también es la única tecnología de corto alcance que está totalmente optimizada para aplicaciones sanitarias. Además, se basa en un enfoque heterogéneo de radio múltiple, como se menciona en la Sección III-A.2, con baja interferencia a otros sistemas y alta tolerancia a la interferencia. Por lo tanto, también puede coexistir con los estándares de comunicación de largo alcance. Sin embargo, considerando los requisitos específicos de estimulación FES (detallados en la Sección II-E), el rendimiento alcanzable en 50 ms es de solo 6.25 Kbytes. Esto resalta las limitaciones de tiempo débilmente abordadas de los sistemas basados ​​en actuadores en los estándares específicos de BAN, ya que la mayoría de ellos consideran un retardo de extremo a extremo de límite superior de 125 ms.

Además, el estándar se encuentra actualmente en desarrollo y se necesita una mayor estandarización para el consumo de energía y la interoperabilidad para ayudar a abrir el mercado. Además, se necesitan avances técnicos para hacer que los dispositivos y soluciones BAN sean discretos, más convenientes para el usuario y confiables.

Por otro lado, para la comunicación de largo alcance, el requisito clave de las aplicaciones de atención médica es la comunicación frecuente de bajo costo y la calidad de servicio (QoS, por sus siglas en inglés), como la monitorización remota del paciente para detectar enfermedades cardíacas [85] o la monitorización del ECG [86]. La mayoría de las tecnologías LPWA no pueden ofrecer la misma QoS que un protocolo celular; sin embargo, están optimizados para una solución de bajo costo y alto volumen. Por otro lado, los protocolos celulares pueden proporcionar QoS garantizada, pero no ofrecen un costo de espectro comparable. Además, con las tecnologías LPWA como Sigfox y LoRa, el dispositivo final puede dormir tan poco o tanto tiempo como lo desee la aplicación debido a los protocolos asincrónicos basados ​​en ALOHA. Sin embargo, en los protocolos celulares, el dispositivo final tiene que sincronizarse periódicamente con la red a intervalos constantes, lo que resulta en un mayor consumo de energía. La sincronización se ha reducido en los nuevos protocolos celulares como NB-IoT, pero sigue siendo un problema que debe abordarse.

Además, la modulación en tecnologías celulares como OFDM o FDMA requiere transmisores lineales que requieren más corriente máxima en comparación con las modulaciones de transmisores no lineales como LoRa. Esto da como resultado una descarga de batería más rápida en las tecnologías celulares. Por el contrario, las tecnologías celulares proporcionan latencia corta y alta velocidad de datos. Por lo tanto, para aplicaciones que requieren una transmisión frecuente con alta velocidad de datos y baja latencia, las tecnologías celulares serán la mejor opción. Sin embargo, para aplicaciones que necesitan una batería de larga duración y una transmisión poco frecuente, las tecnologías LPWA podrían ser una mejor opción.

### B. Disponibilidad de red y localización

Otros requisitos esenciales para las aplicaciones sanitarias son la disponibilidad y localización de la red. Una ventaja útil de la tecnología celular es que la infraestructura existente se puede actualizar para entregar el servicio; sin embargo, esto puede ser viable para un entorno urbano denso que tiene o tendrá cobertura 4G/LTE ya que el despliegue está restringido a una estación base celular. No es ideal para áreas rurales o suburbanas que no tienen o nunca tendrán cobertura 4G. En este caso, las tecnologías LPWA como Lora o Sigfox serán una mejor opción. La localización en un sistema celular suele ser muy precisa y se puede lograr fácilmente con una cuidadosa implementación y planificación de la red. Por otro lado, debido al ancho de banda limitado y la ausencia de ruta directa, es realmente difícil obtener una localización libre de errores en las tecnologías LPWA [76]. Por lo tanto, hacer una localización precisa utilizando solo transceptores LPWA es un verdadero desafío.

### C. Gestión de recursos

En el futuro, se espera que las aplicaciones de atención médica funcionen como una comunicación subyacente o superpuesta con las tecnologías de comunicación existentes como 5G o Wi-Fi, creando así una red heterogénea (HetNet). Además, el despliegue de varios dispositivos IoT no planificados, junto con un esquema agresivo de reutilización de frecuencia, generará una interferencia severa entre las células adyacentes, degradando el rendimiento del sistema. Por lo tanto, para proporcionar una solución adecuada para los casos de uso de IoT como la atención médica, uno debe optimizar el rendimiento requerido, el retraso y la densidad del dispositivo con un nuevo algoritmo de gestión de recursos, que será una tarea difícil. Cabe señalar que los estándares celulares como NB-IoT (que tienen la disposición de operar dentro de la banda LTE) experimentarán interferencia entre células de los usuarios de la célula vecina.

Además, en aplicaciones de atención médica, el tamaño de los datos suele ser bastante pequeño (por ejemplo, que comprende pocos bytes), particularmente para aplicaciones como monitoreo de frecuencia cardíaca, sudoración, presión arterial, etc. Para un tamaño de datos tan pequeño, tecnologías celulares como NB-IoT podría no ser una opción adecuada debido a los altos costos generales del canal de control. El uso de tales tecnologías para aplicaciones como el cuidado de la salud, sin una asignación sólida de recursos, resultará en una utilización ineficiente del espectro radioeléctrico [87].

Además, la mayor parte del estándar propuesto para la comunicación de largo alcance trata con aplicaciones tolerantes a retrasos, mientras que aplicaciones como la asistencia sanitaria están sujetas a restricciones estrictas de retraso. Para permitir los retrasos más bajos y una mayor confiabilidad, los protocolos de comunicación de largo alcance actuales como NB-IoT necesitan modificaciones; algunos de ellos son los siguientes:

* Los intervalos de tiempo de transmisión reducidos al aumentar el espacio de la subportadora entre los símbolos OFDM permitirán una transmisión de datos rápida y eficiente;
* Permitir la estimación temprana del canal rediseñando canales físicos;
* Proporciona una decodificación rápida y confiable de la transmisión de datos mediante el uso de códigos de convolución y códigos de bloque para canales de control;
* Implementación de altos niveles de diversidad que mejoran la confiabilidad de la detección y decodificación de señales, así como la disponibilidad.

### D. Gestión de seguridad y privacidad

Con la llegada de IoT, también aumentará el riesgo potencial de seguridad que podría dañar al usuario. Estos riesgos se asocian principalmente con el acceso no autorizado y el mal uso de la información personal. Aunque estos riesgos existen con las redes de comunicación tradicionales, se intensifican en el contexto de IoT. Con el aumento en el número de dispositivos IoT conectados a la red, también aumentará la vulnerabilidad que un intruso puede atacar y obtener la información. Además, en la aplicación sanitaria, estos riesgos son más significativos y pueden conducir a situaciones graves que pueden conducir a la muerte. Por ejemplo, una persona no autorizada podría explotar la seguridad y obtener acceso a la red para controlar la bomba de insulina conectada a un paciente. Al obtener dicho acceso, ahora puede cambiar la configuración de estos dispositivos para que ya no entreguen medicamentos, o un atacante también podría cambiar los informes del paciente, lo que llevaría a un diagnóstico inexacto por parte del médico o profesional médico. Tales ataques pondrían la vida del paciente en graves riesgos.

Enfrentarse a tales ataques en IoT es realmente desafiante debido a tres razones principales. En primer lugar, la incompetencia de las empresas que ingresan al mercado de IoT al tratar con problemas de seguridad. En segundo lugar, el objetivo de IoT es tener dispositivos de bajo costo que eventualmente resulten en dispositivos que no sean altamente sofisticados para manejar tales preocupaciones. En tercer lugar, la mayoría de los dispositivos IoT funcionarán con tecnología de espectro sin licencia para conectividad de corto alcance con QoS limitada y requisitos de seguridad típicamente aplicables para entornos domésticos o interiores. La combinación de tecnologías de comunicación de corto y largo alcance incluso resultará en una menor seguridad para los protocolos de comunicación de largo alcance, ya que el hacker buscará nuevas puertas para ingresar a las redes.

Además de los riesgos para la seguridad, los riesgos de privacidad también son de suma importancia. La mayoría de estos riesgos se deben a la recopilación directa de información personal confidencial, como la geolocalización precisa, los números de cuentas financieras o la información de salud que ya están presentes en Internet tradicional y el comercio móvil. Sin embargo, desde la perspectiva de IoT, el riesgo principal surge de la información, como el patrón de comportamiento de las personas, el orden de sueño, los hábitos, las ubicaciones y las condiciones físicas a lo largo del tiempo.

Dada la discusión anterior, se puede concluir que se requerirá la combinación de múltiples tecnologías para satisfacer las diversas necesidades de las aplicaciones de IoT. Los requisitos de la aplicación, el escenario de implementación y los costos determinarán qué tecnología se utiliza para una aplicación específica. Las tecnologías LPWA tanto celulares como no celulares tienen diferentes fortalezas y debilidades. Por lo tanto, en el futuro, es probable que sean complementarios, en lugar de competidores.

### E. Análisis de datos

La industria de la salud está manejando una enorme cantidad de datos producidos por registros oficiales, requisitos de regulación para diferentes aspectos del paciente [88]. Los dispositivos portátiles para aplicaciones de atención médica y los datos producidos por estos nos dan la oportunidad de aprender el patrón de comportamiento del usuario para estimar el impacto futuro. Estos datos crecerán exponencialmente en los próximos años debido a la gran popularidad de los dispositivos portátiles. Big data crece rápidamente en términos de velocidad, veracidad, valor, variedad y volumen [89]. El análisis será cada vez más complejo para esta gran cantidad de datos personales y también para actualizar la base de conocimiento. En consecuencia, esta complejidad exige soluciones de análisis de big data para el dominio de los sensores portátiles. El análisis de Big Data consta de herramientas adecuadas que pueden abordar los datos masivos a través de la computación de borde, niebla o nube, aprendizaje automático, inteligencia artificial y técnicas de reconocimiento de patrones. Los datos recopilados de sensores portátiles necesitan algunos métodos para que sean comprensibles para detectar la causalidad de diferentes enfermedades.

Los métodos existentes para el análisis de datos generalmente se basan en métodos de observación de autoinforme (es decir, cuestionarios, entrevistas y encuestas) o evaluaciones de expertos. Estos métodos tienen limitaciones y no son suficientes para la evaluación objetiva de la exposición (p. Ej., Diferentes posturas y movimientos para los TME, discutidos como un estudio de caso en la Sección II ). Sin embargo, el uso de equipos de medición en personas ayuda a proporcionar mediciones cuantitativas y objetivas de posturas y movimientos, carga muscular durante el trabajo para TME [90]. Conocer la relación exposición-respuesta es uno de los aspectos críticos de la investigación para la prevención de enfermedades. IoT está remodelando el futuro cuidado de la salud mediante la recopilación de datos críticos de los pacientes, proporcionando comunicación entre diferentes sensores, capacidades de procesamiento de nodos de niebla/borde y aplicando análisis de datos para fusionar la información útil que es útil para pacientes o partes interesadas. Enviar un comentario apropiado en tiempo real al paciente después de analizar los datos en una arquitectura de salud basada en IoT es un desafío abierto para el futuro sistema de salud. Además, descubrir la relación adecuada de exposición y acción en línea en tiempo real para las enfermedades es una tarea difícil para la plataforma basada en IoT.

El procesamiento de eventos complejos (CEP) es un enfoque prometedor que ayuda a permitir el análisis de datos en tiempo real. El propósito principal del CEP es la detección de patrones de eventos complejos a partir de eventos semánticamente de bajo nivel, como datos de sensores, registros o RFID, y generar/activar una señal/actividad para esa coincidencia de patrones. La determinación de los patrones de reglas a partir de estos eventos simples basados ​​en las correlaciones temporales, semánticas o espaciales es la tarea principal de los sistemas CEP [91]. En el diseño actual, los expertos proporcionan patrones de reglas de eventos para los sistemas CEP. Sin embargo, el florecimiento de Big Data e IoT brinda la oportunidad de automatizar la determinación de patrones de reglas en dominios CEP. Los algoritmos de aprendizaje automático ayudan a automatizar la determinación de patrones de reglas para CEP. Proponer un algoritmo de aprendizaje automático eficiente y en línea para la determinación de las reglas/relación exposición-acción en CEP es un aspecto desafiante y una tendencia reciente de investigación.

Definir los eventos complejos de manera generalizada para las aplicaciones de atención médica también es un aspecto desafiante para reutilizar las diferentes capacidades de procesamiento de señales. Definir una gramática simple y expresiva para el procesamiento de eventos complejos (CEP) es una investigación en curso para lograr el trabajo de las definiciones semánticas, las entradas, salidas y lógica requeridas. Además, para comprender la naturaleza de los diferentes análisis de salud, es necesario desarrollar una plataforma generalizada que también sea un aspecto desafiante para el análisis de datos de atención médica en el futuro.

Además de la arquitectura de procesamiento de datos, los métodos basados ​​en aprendizaje automático requieren un ajuste específico para aprender un clasificador sobre conjuntos de datos a gran escala [92]. La reducción de dimensionalidad y la selección de características ayudan a mejorar la reducción de dimensionalidad. Ya sea supervisado o no supervisado, los algoritmos de aprendizaje automático siempre requieren los pasos de aprendizaje regulares para obtener una asignación para conocer los conjuntos de reglas. Algunos algoritmos de aprendizaje automático, por ejemplo, el aprendizaje profundo implican la transformación de varias capas de los datos para obtener la abstracción de alto nivel [93]. Ahora, para lidiar con los grandes datos, se deben dar consideraciones especiales a la complejidad de estos métodos.

Desde el punto de vista del software, el procesamiento de big data está vinculado al paradigma de programación paralela, por ejemplo, MapReduce. Además, hay algunas arquitecturas de código abierto, por ejemplo, Hadoop se considera para almacenar bases de datos distribuidas en un marco escalable donde algunas herramientas como Cascading, Pig, Hive que permiten desarrollar diferentes aplicaciones para procesar grandes datos en clústeres [94]. Sin embargo, cuando se combina con los flujos continuos de datos, esto requiere capacidades para cálculos iterativos y de baja latencia, dependiendo de modelos sofisticados de cómputo en memoria y procesamiento de datos.

Otro desafío es ¿dónde colocar la computación de niebla/borde en el sistema para el análisis de datos? ¿Las aplicaciones sanitarias futuras realmente necesitan esta tecnología o la computación en la nube es suficiente? Como los nodos sensores para aplicaciones de atención médica tienen desafíos debido a su pequeño tamaño, eficiencia energética, capacidades informáticas y memorias limitadas, los escenarios futuros de aplicaciones de atención médica no coinciden con el procesamiento del nodo sensor local para la gran cantidad de datos en tiempo real. Mediante IoT, los nodos sensores pueden reenviar los datos a la nube para procesarlos utilizando el estándar de comunicación, por ejemplo, 6LoWPAN sobre IPv6 [95]. Pero esta infraestructura de dispositivo a la nube no es factible para tantos casos. Por ejemplo, las regulaciones no permiten almacenar los datos fuera del hospital y también hay posibilidades de fallas en el centro de datos. Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema distribuido donde las capacidades de procesamiento de datos residen no solo en un centro de datos centralizado sino también en algunos otros dispositivos entre sensores y nubes, es decir, computación de niebla/borde.

La privacidad de los datos es otro tema importante que está regulado por las leyes en la mayoría de los países. Para preservar el problema de la privacidad, los datos deben estar vinculados a la persona adecuada, lo que garantiza un diagnóstico y tratamiento correctos. Por lo tanto, los datos recopilados del individuo deben etiquetarse con un identificador único. Además, la seguridad de los datos debe garantizarse en todos los niveles del sistema de salud, incluido el nivel del sensor.

El principal desafío de la analítica de datos para el futuro sistema de salud es predecir cambios fisiológicos agudos y a más largo plazo que ocurrirán bajo la progresión de la enfermedad. Hay una gran cantidad de registros de salud que pueden respaldar esto, pero la transformación en información relevante es el aspecto más difícil y desafiante.

**SECCION V.**

## **Conclusión**

El sector de la salud está adoptando el IoT muy rápidamente. El crecimiento exponencial de los dispositivos portátiles, las potentes tecnologías de comunicación y los métodos de análisis de datos basados ​​en la nube están proporcionando una nueva era de los futuros sistemas de salud. El mapeo de las diferentes aplicaciones de IoT en el futuro de la atención médica que se asocia con las tecnologías de comunicación de red recientes es muy importante para explorar los desafíos y las direcciones de investigación futura. Además, para manejar la gran cantidad de datos seleccionando los métodos más adecuados para el análisis de datos, también es un requisito indispensable para futuras aplicaciones de atención médica. Este documento de estudio presenta avances en la atención médica futura basada en IoT para diversos escenarios de casos de uso, explora las tecnologías y estándares de comunicación recientes y emergentes en IoT.

En general, se puede concluir que para la mayoría de los escenarios de aplicación, como enfermedades infecciosas, trastornos musculoesqueléticos y neuromusculares, las tecnologías de comunicación actuales pueden cumplir con los requisitos en términos de confiabilidad, conectividad, velocidad de datos y latencia. Sin embargo, se necesitará una amalgama de tecnologías para tener una solución integral para aplicaciones emergentes de atención médica. Esto generará nuevas preguntas de investigación, como ¿cómo van a coexistir estas tecnologías o cómo estas tecnologías de comunicación afectarán las características de transmisión en escenarios tan heterogéneos? Además, para aplicaciones como las enfermedades cardiovasculares, que requieren un procesamiento de datos casi en tiempo real y restricciones estrictas de retraso y velocidad de datos, las tecnologías actuales no satisfacen tales requisitos.

### EXPRESIONES DE GRATITUD

Este material refleja solo la opinión de los autores y la Agencia Ejecutiva de Investigación de la CE no es responsable del uso que pueda hacerse de la información que contiene.