# Fog Computing in Healthcare–A Review and Discussion (Computación de niebla en la atención médica: una revisión y discusión)

**Abstracto:**

La computación de niebla es un estilo arquitectónico en el que los componentes de red entre dispositivos y la nube ejecutan lógica específica de la aplicación. Presentamos la primera revisión sobre la computación en niebla dentro de la informática sanitaria, y exploramos, clasificamos y discutimos los diferentes casos de uso de aplicaciones presentados en la literatura. Para eso, clasificamos las aplicaciones en clases de casos de uso y enumeramos un inventario de tareas específicas de la aplicación que pueden manejarse mediante la computación de niebla. Discutimos en qué nivel de la red se pueden ejecutar tales tareas de computación de niebla, y proporcionamos compensaciones con respecto a los requisitos relevantes para la atención médica. Nuestra revisión indica que: 1) hay un número significativo de tareas informáticas en el cuidado de la salud que requieren o pueden beneficiarse de los principios de la computación en niebla; 2) se requiere procesamiento en niveles de red más altos debido a restricciones en los dispositivos inalámbricos y la necesidad de agregar datos; y 3) los problemas de privacidad y la confiabilidad evitan que las tareas de computación se trasladen completamente a la nube. Estos hallazgos corroboran la necesidad de un enfoque coherente hacia la computación de niebla en la atención médica, para lo cual presentamos una lista de acciones recomendadas de investigación y desarrollo.

**Publicado en:**[Acceso IEEE](https://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=6287639)( Volumen: 5 )

**Página (s):** 9206 - 9222

**Fecha de publicación:** 15 de mayo de 2017

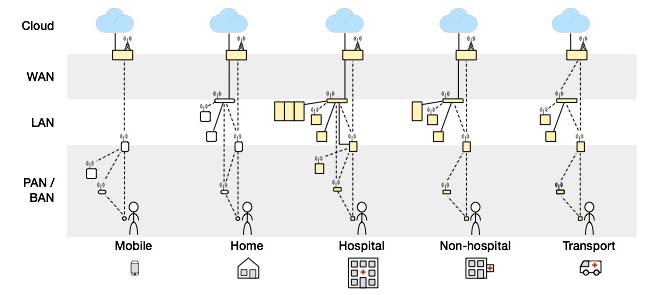
**ISSN electrónico:** 2169-3536

**Número de acceso de INSPEC:** 16950468

**DOI:**[10.1109 / ACCESS.2017.2704100](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2704100)

**Editorial:**IEEE

**Agencia fundadora:**



Cinco escenarios de implementación típicos habilitados por la computación de niebla en la atención médica. Todos ellos conectan dispositivos sensores usados ​​por los pacientes con la nube, pero ofrecen diferentes componentes de niebla ... Ver más

Ocultar resumen completo

**SECCIÓN I.**

## **Introducción**

Como Topol escribe en *The Creative Destruction of Medicine*[1] , la atención médica se encuentra ante sus cambios más fundamentales. Uno de los impulsores de estos cambios es la tecnología de sensores inalámbricos. Además de dar acceso a un número creciente de parámetros biométricos, los sensores también se están volviendo más pequeños, de modo que se pueden usar sin obstruir la vida cotidiana. Esto es importante cuando los datos deben recopilarse continuamente. El BioStamp [2] , por ejemplo, es un sensor del tamaño de una curita que puede medir varias señales biométricas y simplemente unirse a la piel. Además, Kang et. al [3]Describa una técnica optimizada para imprimir sensores directamente sobre una película adhesiva que se pueda unir a la piel. Las lentes de contacto también ofrecen posibilidades de detectar una serie de datos biométricos [4] . Tales avances promueven un escenario en el que los pacientes están equipados con docenas de sensores. Además viene la abundancia de rastreadores de ejercicios. Presagian un futuro en el que cada humano, independientemente de su estado de salud, es monitoreado continuamente.

Los datos sensoriales solo son útiles si podemos obtener información de ellos. Dichos conocimientos son proporcionados por otros conductores en el cuidado de la salud, como big data y aprendizaje automático, cuya precisión pronto superará la de los humanos [5] . Además del análisis automático o asistido de imágenes médicas, el análisis de big data se puede utilizar para estudiar la efectividad de los tratamientos, identificar pacientes en riesgo de enfermedades crónicas, asegurar que los pacientes se adhieran a los planes de tratamiento, optimizar procesos y personalizar la atención [6] .

Para monitorear a los pacientes a esta escala, los sensores deben ser portátiles e inalámbricos. Esto limita su tamaño e influye en la cantidad de energía, memoria y capacidad de procesamiento que pueden ofrecer. Además, los datos solo son valiosos en contexto y deben agregarse desde varios sensores. Por lo tanto, los sensores lo envían a otros dispositivos informáticos más capaces para su análisis, agregación y almacenamiento. El sistema inalámbrico de monitoreo de ECG *IntelliVue* de Philips [7]por ejemplo, requiere su propia instalación de puntos de acceso y conmutadores de red para reenviar sin problemas los datos de ECG a los servidores centrales. Sin embargo, tales enfoques verticales no se escalan. Cuando se debe instrumentar a muchos pacientes, cada uno de los cuales requiere una gran cantidad de sensores, estos no pueden ser respaldados por su propia infraestructura dedicada, ya que tales infraestructuras individuales son caras y difíciles de mantener.

El Internet de las cosas (IoT) ofrece un enfoque alternativo. Los dispositivos sensores pueden usar una infraestructura común para reenviar sus datos a aplicaciones más completas, utilizando protocolos estandarizados como 6LoWPAN [8] sobre IPv6 [9] . La conectividad es proporcionada por enrutadores fronterizos, que conectan los nodos inalámbricos con recursos limitados a las infraestructuras de red existentes. Esto permite una arquitectura de dispositivo a nube en la que la infraestructura entre el dispositivo y la nube solo se usa como un canal de comunicación. La computación en la nube libera a los sensores de las tareas informáticas que agotan la batería y proporciona recursos prácticamente ilimitados. La nube también es un lugar posible donde se pueden agregar datos de diferentes sensores, lo que permite los conjuntos de datos a gran escala requeridos por las tareas de análisis mencionadas anteriormente.

Sin embargo, para muchas aplicaciones dentro de la informática sanitaria, una arquitectura tan simple de sensor a nube no es factible. En algunos casos, las regulaciones no permiten almacenar datos de pacientes fuera del hospital. Para algunas aplicaciones, depender completamente de centros de datos remotos también es inaceptable debido a la seguridad del paciente en caso de fallas de la red y del centro de datos.

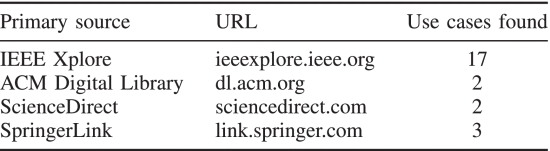
Una posible solución para cerrar la brecha entre sensores y análisis en informática sanitaria es la *computación en niebla* . Este es un estilo arquitectónico para sistemas distribuidos en el que la lógica específica de la aplicación reside no solo en los centros de datos (la nube) o los dispositivos más cercanos a los usuarios, sino también en los componentes de infraestructura entre ellos. Ejemplos de tales componentes de infraestructura son puertas de enlace, enrutadores y puntos de acceso. Esta flexibilidad adicional de cómputo abre nuevas posibilidades para resolver los desafíos de atención médica. Una mejor movilidad del paciente y una mayor integración permitirán un monitoreo ininterrumpido como se presentó anteriormente, y también permitirán aplicaciones completamente nuevas, como se discutirá más adelante.

Observamos un número cada vez mayor de publicaciones sobre principios de cómputo de niebla en general, incluidas las aplicaciones dentro de la asistencia sanitaria. Sin embargo, en la mayoría de los casos, se invierte poco esfuerzo para discutir dónde deben colocarse las tareas de cálculo o las compensaciones entre los diferentes requisitos. Para avanzar en la aplicación de la computación de niebla en el cuidado de la salud, es importante comprender estas compensaciones de manera integral, teniendo en cuenta los diversos requisitos de varias aplicaciones que interactúan y la visión de la medicina futura como se describe anteriormente. Esto plantea tres preguntas:

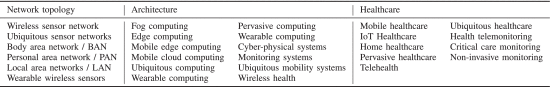
* ¿Qué tareas computacionales en informática de salud pueden ser procesadas por la computación de niebla?
* ¿Cuáles son las ubicaciones potenciales en Internet de las cosas donde se pueden ejecutar estas tareas?
* ¿Cuáles son las compensaciones a considerar al colocar tareas computacionales en el sistema?

Para encontrar respuestas a estas preguntas, realizamos una revisión sistemática de aplicaciones de salud generalizadas relevantes para la computación en niebla. Llevamos a cabo una búsqueda amplia en revistas internacionales, conferencias y talleres, utilizando las fuentes enumeradas en la Tabla 1 . Buscamos documentos que aborden las aplicaciones de red de sensores personales en general, y las aplicaciones de atención médica inalámbrica en particular. Para identificar publicaciones relevantes, configuramos tres grupos de términos de búsqueda, resumidos en la Tabla 2. Los primeros dos grupos abarcan los términos que los autores usan para describir la topología de red y la arquitectura, respectivamente. Establecieron los límites técnicos para el estudio. El tercer grupo de términos aborda las diferentes frases que se utilizan para describir la atención médica en un entorno inalámbrico o móvil. Cada vez que encontramos un documento que usaba un nuevo término relevante para nuestro estudio, lo añadíamos al grupo correspondiente y realizábamos una nueva búsqueda para encontrar otras publicaciones usando la misma frase.

**TABLA 1** Fuentes utilizadas en la búsqueda de publicaciones relevantes

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/7859429/7927714/kraem.t1-2704100-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/7859429/7927714/kraem.t1-2704100-large.gif)

**TABLA 2** Términos utilizados en la búsqueda de publicaciones relevantes

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/7859429/7927714/kraem.t2-2704100-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/7859429/7927714/kraem.t2-2704100-large.gif)

La búsqueda dio como resultado 163 artículos, publicados entre 2005 y 2016, que encontramos relevantes para nuestro estudio después de leer los resúmenes. Fuera de este grupo, descartamos 73 después de realizar una revisión de texto completo. De los documentos que quedan, identificamos las topologías de red y los requisitos de las soluciones, y extrajimos 24 casos de uso relevantes para su posterior análisis. Las fuentes de estos casos de uso se enumeran en la Tabla 1 .

Las revisiones anteriores han abordado la temática de la asistencia sanitaria relacionada con las redes inalámbricas de sensores [10] y las redes de área corporal [11] , el Internet de las cosas [12] , la informática ubicua y generalizada [13] y la informática móvil [14] . Sin embargo, hasta donde sabemos, aún no se ha realizado una encuesta sobre la computación en niebla dentro de la atención médica.

Nuestra revisión y discusión aporta lo siguiente:

* Una visión general de los beneficios y desafíos de la computación en niebla.
* Una revisión de las aplicaciones sanitarias y las tareas informáticas que son relevantes para la computación en niebla.
* Una descripción general de los tipos de red y dispositivo en diferentes escenarios de implementación.
* Una revisión de dónde se colocan las tareas de computación de niebla.
* Una discusión de las compensaciones al colocar tareas de computación de niebla, con respecto a los requisitos en la atención médica.
* Una lista de acciones recomendadas de investigación y desarrollo.

El documento está estructurado de la siguiente manera. En la secta. II , presentaremos el concepto de cómputo de niebla y enumeraremos las principales características y beneficios discutidos en la literatura. En la secta. III , presentamos algunas de las tendencias y desafíos en el cuidado de la salud, y brindamos una descripción general de los sensores y actuadores médicos y sus requisitos técnicos. En la secta. IV , encuestamos las aplicaciones de atención médica, clasificadas según el escenario de implementación y la clase de caso de uso, y proporcionamos un inventario de tareas de cálculo que son adecuadas para la computación en niebla. En la secta. VProporcionamos una descripción general de las tecnologías más relevantes para la salud inalámbrica. Luego analizamos la arquitectura de las aplicaciones en la literatura y descubrimos en qué niveles jerárquicos se ejecutan las tareas de computación de niebla de la red. En la secta. VI discutimos los beneficios y desafíos de las aplicaciones y arquitecturas que hemos revisado, y discutimos las compensaciones seleccionadas. Concluimos con una descripción general del estado actual de la investigación y describimos más demandas de investigación y desarrollo para aplicar la computación de niebla dentro de la atención médica.

**SECCION II.**

## **Computación de niebla**

El término *computación de niebla* fue inicialmente acuñado por la industria [15] como una metáfora de la idea arquitectónica principal detrás de esto: la niebla está en algún lugar entre la nube (centros de datos) y el suelo, donde se encuentran los dispositivos de los usuarios. Un término que a menudo se usa como sinónimo es *computación de borde* , que describe tareas que se colocan en el borde de la red en contraste con la nube. Tenga en cuenta que el término *borde* puede referirse a diferentes niveles de la arquitectura. En un entorno industrial, *edge a* menudo se refiere a nodos en una planta de producción y reside en premisas con el usuario, por ejemplo, como parte de un controlador de máquina o una puerta de enlace de red [16] . Terminología de ETSI [17]toma la perspectiva de los proveedores de servicios de internet, refiriéndose a edge como el límite de la red del operador, como por ejemplo una estación base LTE. Nuestra comprensión de la niebla cubre ambas perspectivas.

La característica principal de la computación en niebla es su topología, es decir, los nodos distribuidos geográficamente que realizan la computación y ofrecen servicios de almacenamiento y red. Los recursos informáticos de niebla pueden integrarse en puntos de acceso, enrutadores y puertas de enlace de red junto con las funciones de red genéricas. También puede haber nodos de computación de niebla dedicados, como los servidores de computación de borde móvil (MEC) implementados en estaciones base LTE y puntos de acceso descritos por ETSI [17] . Otros dispositivos pueden ser puertas de enlace dedicadas implementadas en el hogar, como los centros de automatización del hogar. Los tipos específicos de tareas que realiza la computación en niebla dependen de la aplicación y el dominio específicos. En general, las tareas contienen filtrado, agregación, análisis y almacenamiento temporal de datos.

La computación de niebla se puede realizar en un solo nodo de computación de niebla o en varios nodos conjuntamente. Esto puede mejorar la escalabilidad y proporcionar redundancia y elasticidad, agregando más nodos de niebla cuando se necesita más potencia informática. Mecanismos como la virtualización y el sandbox pueden usarse para ejecutar aplicaciones, por lo que la computación en niebla comparte muchos de los principios de la computación en la nube. El concepto central de la computación en niebla es el concepto de *descarga* de cómputo , que ha sido tratado en la investigación, por ejemplo, por cloudlets [18] , y también se puede encontrar en lo que se llama *nube móvil*[19] . Del mismo modo, la informática colectiva se centra en la utilización de la potencia de cálculo distribuida proporcionada por, por ejemplo, dispositivos móviles [20] .

Existe un consenso en la literatura de que la computación en niebla no tiene la intención de reemplazar la computación en la nube, sino que la ve como un *aliado perfecto*[21] o una *extensión*[15] de la misma. [22] también señala cuántas de las tecnologías y propiedades como la elasticidad utilizada para la computación en la nube también se aplican para la computación en la niebla.

A continuación, explicamos y ejemplificamos los beneficios de la computación en niebla mencionados en la literatura. Discutimos y evaluamos estos beneficios con respecto a la atención médica más adelante.

### A. Latencia reducida

En comparación con una arquitectura de dispositivo a nube, colocar el procesamiento más cerca de los dispositivos puede reducir la latencia ya que la distancia física es más corta y se puede eliminar el tiempo de respuesta potencial en un centro de datos. En comparación con una arquitectura de solo dispositivo, la latencia se puede reducir ya que las tareas de computación intensiva que requieren mucho tiempo en dispositivos sensores con recursos limitados se pueden mover a nodos de computación de niebla más capaces. La motivación también puede ser mantener la latencia predecible [23] .

### B. Privacidad

En comparación con la arquitectura de dispositivo a nube, la computación en niebla puede reducir la propagación de datos, por ejemplo, al analizar datos sensibles en una puerta de enlace local en lugar de un centro de datos fuera del control del usuario. Esto puede mejorar la privacidad de los datos del usuario [24] .

### C. Eficiencia energética

Hay varias formas en que la computación en niebla puede mejorar la eficiencia energética dentro de los dispositivos sensores. Primero, las puertas de enlace pueden servir como proxies de comunicación, de modo que los dispositivos pueden aumentar la duración de sus ciclos de sueño. Durante el modo de suspensión, la puerta de enlace se encarga de cualquier solicitud o actualización, que luego se procesa cuando el dispositivo sensor se activa. En segundo lugar, los cálculos intensivos en energía y otros servicios pueden descargarse de los nodos alimentados por baterías [23] .

### D. Ancho de banda

En comparación con una arquitectura de dispositivo a nube, la computación de niebla puede reducir el volumen de datos que se enviarán a los centros de datos. Esto puede suceder de varias maneras: los datos sin procesar se pueden filtrar, analizar, preprocesar o comprimir para que solo sea necesario reenviar una cantidad reducida de datos [25] , [26] . Los nodos locales también pueden responder solicitudes de dispositivos basados ​​en datos almacenados localmente en caché, por lo que la comunicación con los centros de datos no es necesaria en absoluto [27] .

### E. escalabilidad

La computación en la niebla puede mejorar la escalabilidad de un sistema. El cálculo local puede reducir la carga de recursos más centralizados y expandirse según sea necesario. Vaquero y Rodero-Merino [24] se refieren a esto como "mini-nubes".

### F. Fiabilidad

La computación en niebla puede aumentar la confiabilidad del sistema de dos maneras. Puede ser un medio para lograr la redundancia, al permitir que varios nodos en la red proporcionen la misma funcionalidad. También puede ejecutar cálculos más cerca de los nodos sensores, de modo que dependen menos de la disponibilidad de una conexión de red a recursos más centralizados [21] .

### G. Contexto

En algunos casos, un nodo de computación de niebla es el primer nodo en una red que tiene suficiente visión general para razonar sobre una situación y el contexto de los datos. Un ejemplo es un sistema que induce la actividad actual del personal médico desde la ubicación y la actividad de varios dispositivos [28] .

**SECCION III.**

## **Informática inalámbrica de salud**

Revisamos brevemente los desafíos actuales en la atención médica, brindamos una descripción general de la variedad de sensores y sus requisitos.

### A. Desafíos para la asistencia sanitaria

Los sistemas de salud en la mayoría de los países enfrentan enormes desafíos que aumentarán debido al envejecimiento de la población y al aumento de enfermedades crónicas. Muchos países también experimentan una creciente escasez de personal de enfermería. Al mismo tiempo, existe una demanda para reducir los costos y mantener una atención de alta calidad para los pacientes [29] . Como consecuencia, la industria de la salud promueve un modelo de prestación de atención médica centrado en la información [30] . Parte de este modelo de entrega permite el monitoreo remoto de pacientes, lo que conduce a una mayor accesibilidad, calidad, eficiencia y continuidad de la atención médica para los pacientes, y también reduce el costo general de la atención médica [31] .

Hoy en día, se desperdicia mucho tiempo en los hospitales midiendo manualmente los parámetros biométricos y transfiriendo los datos entre sistemas, a menudo con lápiz y papel. El monitoreo remoto liberará tiempo para los cuidadores. Otras mejoras incluyen supervisión automatizada que puede reemplazar la supervisión manual. Bertini *y col.*[32]informar los beneficios de la monitorización remota en comparación con los seguimientos en el hospital, incluido incluso un impacto positivo en la supervivencia. Otra área es la mejora de los procesos dentro del hospital. Muchos procesos se planifican manualmente y, por lo tanto, se realizan de forma secuencial, en lugar de utilizar los recursos de manera más efectiva. Además, los sensores facilitarán la obtención de información correcta sobre el estado actual y la ubicación de los equipos, cuidadores y pacientes. Los sensores también proporcionarán una imagen más precisa de los pacientes, ya que pueden capturar datos de forma continua y permitir una visión de la creciente variedad de parámetros biométricos. Esto revolucionará el diagnóstico y el tratamiento. Topol [1]llama a esto "digitalizar humanos". Una vez que esta nueva imagen de los pacientes coincida con las técnicas analíticas, los nuevos conocimientos transformarán las detecciones tempranas, el diagnóstico, la medicación y el tratamiento de enfermedades. Una condición previa para esto es que los datos no se tratan en silos aislados, sino que se combinan con otras fuentes y se ven en contexto.

Otra tendencia es la desviación del tratamiento reactivo, donde los pacientes son tratados en un hospital solo después de un incidente, hacia una medicina más preventiva [33] . Esto comienza por monitorear a las personas sanas para mantenerlas fuera del hospital el mayor tiempo posible. Además, aumentar las posibilidades de monitorear a los pacientes en el hogar facilita la liberación temprana del hospital. En general, esto significa que las fronteras entre el hospital, el hogar y otros puntos de atención se vuelven cada vez más borrosas: la atención médica ocurre continuamente y en todas partes.

### B. Dispositivos médicos: sensores y actuadores inalámbricos

Existe una amplia variedad de sensores, en diferentes etapas de preparación tecnológica. Tanaka *y col.*[34] , por ejemplo, desarrolló un sensor de incontinencia integrado en pañales. El sensor utiliza la orina como un electrolito entre dos electrodos, lo que le permite enviar una señal de identificación con un alcance de 5 metros una vez que entra en contacto con la orina. Un principio similar se usa para la prescripción de medicamentos. Un microchip digerible del tamaño de una partícula de arena se integra en una píldora que genera una señal una vez en contacto con los jugos digestivos [35] . Esta señal es detectada por un parche de piel, que la transmite aún más a un teléfono móvil. Ejemplos de actuadores son los audífonos, los dispensadores de medicamentos (tanto dentro como fuera del cuerpo) o los marcapasos. El iPill de Philips [36]Por ejemplo, es un pequeño dispositivo ingerido por un paciente, que detecta la acidez de su entorno, para liberar medicamentos a través de una bomba en el lugar correcto del intestino.

### C. Requisitos de las aplicaciones de atención médica

Todos los beneficios potenciales de la computación en niebla enumerados en la sección. II son relevantes para la asistencia sanitaria. Ahora ejemplificamos los requisitos correspondientes y, cuando corresponde, los cuantificamos.

#### 1) ancho de banda

Las tasas de bits de diferentes señales fisiológicas dependen del número de derivaciones, el tamaño del paso de cuantificación del convertidor analógico a digital (ADC) en bits y la frecuencia de muestreo [37] . La temperatura corporal, por ejemplo, requiere solo una baja frecuencia de muestreo de 0.2 Hz. Con un ADC de 12 bits, esto resulta en una tasa de bits de 2.4 bit / s [38] . La presión arterial muestreada a 120 Hz con ADC de 12 bits produce 1,44 kbit / s [38] . La oximetría de pulso debe muestrearse a 600 Hz y requiere 7,2 kbit / s [38] . Los electrocardiogramas (ECG) generalmente requieren más de una derivación. Para aplicaciones clínicas, un ECG de 5 derivaciones necesita entre 36 y 216 kbit / s, dependiendo de la frecuencia de muestreo y el tamaño del paso [37] , [39]. Los electromiogramas (EMG) representan señales eléctricas generadas por los músculos y se pueden usar en varias aplicaciones, como el reconocimiento de masticación de alimentos [40] y la mejora del control protésico de los dedos [41] . Estos casos de uso requieren un ancho de banda de al menos 20.48 kbit / sy 96 kbit / s, respectivamente. El electroencefalograma (EEG) mide las actividades eléctricas del cerebro y requiere muchos cables. Un EEG de 192 derivaciones puede exigir un ancho de banda de 921,6 kbit / s. Esto muestra que las tasas de bits de las señales fisiológicas varían considerablemente.

#### 2) latencia

Con respecto a la latencia, los requisitos también varían considerablemente con el uso previsto para los datos. Para el ECG, Alesanco y García [39] encontraron a través de experimentos con cardiólogos que las latencias de hasta 2 a 4 segundos en monitoreo en tiempo real son aceptables. Estos son requisitos relativamente laxos desde un punto de vista técnico. Se requieren requisitos más estrictos para las aplicaciones en el ámbito de Internet táctil [42] , por ejemplo, para el control de exoesqueletos que permiten caminar a pacientes paralizados. Otros ejemplos con restricciones de latencia provienen de aplicaciones de telesalud que operan en áreas rurales, donde la infraestructura de red en sí misma a menudo está restringida [43] .

#### 3) Eficiencia energética

La eficiencia energética es una preocupación importante, porque reemplazar las baterías impide el uso de sensores. Mientras que algunos sensores en el cuerpo dependen de la recolección de energía, ya sea por calor o energía cinética [11] , algunos sensores pueden requerir la operación del paciente cuando una batería necesita ser reemplazada.

#### 4) confiabilidad

Dependiendo de para qué se usen los datos, las fallas del sistema tienen diferentes consecuencias, desde inconvenientes menores hasta amenazas graves para la vida de los pacientes. Por lo tanto, la confiabilidad es uno de los requisitos más importantes a tener en cuenta, estrechamente interconectados con la resistencia frente a las amenazas de seguridad.

#### 5) seguridad

Debido a la sensibilidad de los datos del paciente y las consecuencias potencialmente graves de los dispositivos y sistemas manipulados o manipulados, los requisitos de seguridad en la asistencia sanitaria son altos. Con respecto a la monitorización remota, una mayor conectividad de los dispositivos da como resultado superficies de ataque más grandes. Esto requiere procedimientos para la detección y reparación de vulnerabilidades de seguridad que son complejas. Los requisitos van más allá de las tecnologías implementadas en los dispositivos y sistemas circundantes, pero también requieren rutinas que deben implementarse en organizaciones, reguladores y fabricantes. Ver, por ejemplo, [44] para una visión general.

#### 6) interoperabilidad

Los sistemas, incluso cuando son proporcionados por diferentes proveedores, deben ser interoperables entre sí. Con frecuencia este no es el caso. Los pacientes de cardiología, por ejemplo, que deben ser transportados entre hospitales y que requieren una estrecha vigilancia a través de ECG, deben estar conectados a diferentes equipos durante la transferencia debido a incompatibilidades [37] .

### D. La visión de la computación de niebla en la asistencia sanitaria

La aparente coincidencia entre los desafíos del cuidado de la salud, los requisitos resultantes y los beneficios de la computación en la niebla, tal como se presenta en la literatura, sugiere un potencial para la computación en la niebla como un impulsor de la computación ubicua y omnipresente en la atención médica:

#### 1) Flexibilidad del locus de computación

Donde los problemas de escalabilidad, privacidad y confiabilidad impiden una solución solo en la nube, la computación en niebla puede ofrecer los recursos computacionales necesarios dentro de la red para cumplir con los requisitos reglamentarios y técnicos. Para que dichos enfoques sean efectivos, no solo es importante tener recursos computacionales entre los sensores y la nube, sino también administrarlos de manera óptima. Esto incluye la transparencia de ejecución para la aplicación, así como una flexibilidad con respecto a *dónde* se puede ejecutar el cálculo. Con la computación en niebla, la ubicación puede ser dinámica y depender del contexto actual, el entorno y los requisitos de la aplicación.

#### 2) Integración

En el panorama actual, la introducción de nuevos dispositivos sensores a menudo requiere la introducción simultánea de una infraestructura de soporte. Un ejemplo es el sistema de monitoreo de frecuencia cardíaca mencionado en la introducción, que requiere una infraestructura dedicada. Esta es una carga considerable cuando se introducen dispositivos nuevos e innovadores. Dentro de una arquitectura de computación de niebla, se pueden agregar nuevos sensores a la infraestructura existente. La computación en niebla también puede servir como una capa de compatibilidad para traducir entre varios estándares.

#### 3) Movilidad del paciente

La infraestructura específica de la aplicación también limita el área donde los pacientes pueden ser monitoreados. Esto es especialmente relevante cuando los pacientes están a punto de abandonar la infraestructura altamente instrumentada de un hospital. Los casos de uso actuales a menudo no cubren esta transición, que puede prolongar efectivamente la estadía de un paciente en el hospital. Con los recursos de computación de niebla en su lugar, las transiciones entre diferentes entornos se pueden gestionar de forma más gradual.

#### 4) Nuevas aplicaciones

La computación de niebla también permitirá aplicaciones completamente nuevas: al agregar niveles más altos de autonomía e inteligencia en el borde, la computación de niebla proporcionará mejoras de latencia y tiempo de respuesta, así como ahorros de energía para dispositivos portátiles y de bajo costo, mientras realiza tareas complejas como detección de caídas [45] . La próxima generación de dispositivos de atención médica reemplazará los dispositivos costosos y complejos, sin recurrir a algoritmos simples con precisión limitada. Estos dispositivos serán habilitados por la computación de niebla, lo que finalmente conducirá a la "Internet de las cosas de la atención médica".

**SECCION IV.**

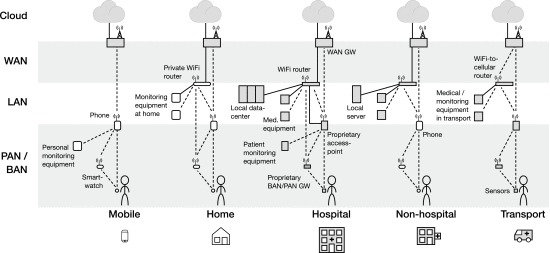
## **Aplicaciones de salud**

En esta sección, comenzamos con una descripción de los escenarios de implementación, damos ejemplos concretos de cada tipo de escenario y clasificamos las aplicaciones de atención médica en diferentes clases de casos de uso. Luego presentamos un inventario de tareas de computación que son candidatas para la computación en niebla.

### A. Escenarios de implementación

De los documentos revisados, extrajimos cinco escenarios de implementación, ilustrados en la figura 1 . Los escenarios difieren en términos de usuarios involucrados y partes interesadas, dispositivos y conectividad:

* **Móvil:** en este escenario, los teléfonos móviles de los usuarios actúan como centro entre los dispositivos sensores y la nube.
* **Tratamiento** en el hogar **:** en el hogar, la conectividad a menudo se proporciona a través del acceso a Internet del paciente. Esto tiene influencia en la propiedad del dispositivo, la usabilidad y mantenibilidad requeridas, y cómo se pueden mitigar las perturbaciones.
* **Hospital** : dentro de un hospital, los dispositivos a menudo son propietarios y, por lo general, son propiedad y están mantenidos por el propio hospital. Los sistemas son considerablemente más complejos, lo que a su vez requiere que los usuarios de las aplicaciones sean profesionales calificados.
* **Locales no hospitalarios: al** igual que los hospitales, este escenario cubre los puntos de atención profesionales, pero con menos personal e infraestructura. Ejemplos son clínicas, consultorios médicos u hogares de ancianos. La clínica posee y mantiene los dispositivos principales, pero a veces se requiere que los pacientes conecten equipos personales a la red.
* **Transporte:** este escenario cubre la conectividad en una ambulancia o helicóptero. Es similar al escenario de implementación no hospitalario, pero con la complejidad adicional de que la infraestructura necesita ser móvil, por ejemplo, mediante una conexión celular.

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/7859429/7927714/kraem1-2704100-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/7859429/7927714/kraem1-2704100-large.gif)

**FIGURA 1.**

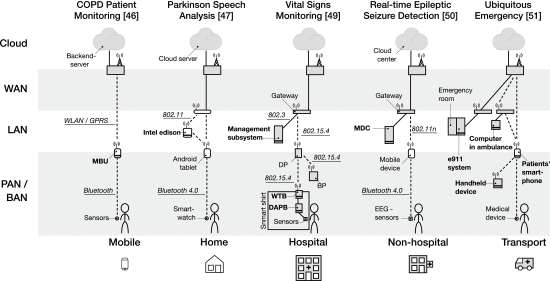
Escenarios de despliegue en salud. Los dispositivos se utilizan en diferentes capas de red. Ejemplos son sensores y actuadores, puertas de enlace, enrutadores, puntos de acceso, servidores y centros de datos. Distinguimos entre dispositivos e infraestructura propiedad o controlados por las instituciones de salud (gris) y dispositivos e infraestructura propiedad o controlados por el paciente (blanco).

[Ver todo](https://ieeexplore.ieee.org/document/7927714/all-figures)

### B. Ejemplos de casos de uso para escenarios de implementación

A continuación, presentamos ejemplos de casos de uso que son típicos para sus respectivos escenarios de implementación. También se ilustran en la figura 2 .

* **Móvil:** Un ejemplo para el escenario de despliegue móvil es el sistema de monitoreo para pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en [46] . Un teléfono móvil actúa como unidad base móvil y recopila datos de varios dispositivos de detección, los procesa y los envía a un servidor de fondo. El propósito de colocar la computación de niebla en el dispositivo móvil es aumentar la vida útil de la batería del dispositivo sensor portátil.
* **Tratamiento en el hogar:** La solución de análisis del habla de Parkinson en [47] es un ejemplo para el escenario de despliegue en el hogar. Se coloca un nodo de niebla en el nivel LAN en la jerarquía de la red. Al igual que en el escenario móvil, la computación de niebla se utiliza para recopilar, almacenar y procesar datos sin procesar, antes de enviarlos a la nube para su almacenamiento permanente. La principal motivación para la computación en niebla es reducir el tráfico de red y la latencia. Otro ejemplo de un escenario de despliegue en el hogar se describe en [48] , donde los datos de los sensores ambientales y del paciente se utilizan para detectar si un paciente se cae y generar alertas sobre fugas de gas e incendios.
* **Hospital:** en [49] vemos un ejemplo típico de una configuración utilizada en el escenario de despliegue del hospital. Las camisas inteligentes, junto con las balizas, se utilizan para controlar los datos fisiológicos y la ubicación de los pacientes. La computación en niebla se distribuye entre varios nodos. La placa de adquisición y procesamiento de datos (DAPB) recopila, procesa y combina datos de los sensores y los envía a la placa de transmisión inalámbrica (WTB). El WTB recopila datos de los puntos de baliza (BP), los fusiona con los datos del DAPB y los envía en un solo paquete al subsistema de administración, ubicado a nivel LAN. El subsistema de gestión utiliza los datos de DAPB y BP para controlar los parámetros médicos de los pacientes, ubica al paciente dentro del hospital y verifica si se ha activado una alarma.
* **Locales no hospitalarios: el** sistema de detección de ataques epilépticos en tiempo real [50] es un ejemplo del escenario de despliegue no hospitalario. Se propone una arquitectura de tres niveles, donde el filtrado, el preprocesamiento, la extracción de características, la selección de características y la clasificación de los patrones de EEG se realizan en la nube de dispositivos móviles (MDC), que se coloca en el nivel medio. Se mencionan dos ventajas del uso de la computación de niebla: proporcionar respuestas en tiempo real de menos de un segundo con una sobrecarga de comunicación mínima y reducir el tráfico entre la red de área local y el sistema de detección de ataques ubicado en un centro de nubes.
* **Transporte:** el escenario de despliegue de transporte se utiliza en la solución ubicua de intercambio de información de salud electrónica, descrita en [51] . Los autores describen cómo se pueden recopilar datos fisiológicos y contextuales en una situación de emergencia de un paciente que usa un dispositivo médico, y cómo esta información se puede duplicar y compartir entre diferentes dispositivos en el sitio, en la ambulancia y en el hospital. La computación de niebla solo se ocupa de la recopilación y el envío de datos, la complejidad radica en la distribución de datos entre muchos nodos de niebla.

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/7859429/7927714/kraem2-2704100-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/7859429/7927714/kraem2-2704100-large.gif)

**FIGURA 2.**

Ejemplos de despliegue real en salud. Escenario móvil: monitorización de pacientes con EPOC [46] . Escenario de inicio: Análisis del habla de Parkinson [47] . Escenario hospitalario: monitorización de signos vitales [49] . Escenario no hospitalario: detección de crisis epilépticas en tiempo real [50] . Escenario de transporte: emergencia ubicua [51] . Los nodos informáticos de niebla están marcados con una línea negra en la parte inferior.

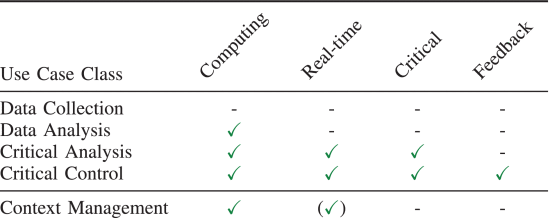
[Ver todo](https://ieeexplore.ieee.org/document/7927714/all-figures)

### C. Clases de casos de uso

Para facilitar nuestra discusión, hemos sintetizado cinco clases de casos de uso, resumidas en Tab. 3 . Las columnas de la tabla muestran si la clase de caso de uso requiere *computación* significativa específica de la aplicación , tiempos de respuesta cortos ( *en tiempo real* ), la *importancia crítica* para la salud del paciente y la capacidad de proporcionar *comentarios* para controlar los dispositivos médicos.

* **Recopilación de datos.**Esta clase de casos de uso solo se ocupa de la recopilación de datos, que luego es examinada por un médico cuando es necesario. Ejemplos son el registro de la actividad de entrenamiento, peso o postura corporal. La criticidad de tales datos es baja. Si el sistema no puede registrar algunos puntos de datos, el paciente aún está a salvo.
* **Análisis de los datos.**Esta clase amplía la recopilación de datos con un análisis automático de los datos para obtener más información. Un ejemplo es el análisis del habla para pacientes con Parkinson [47] . De manera similar a la recopilación de datos, la criticidad de los datos es baja. Este caso de uso, sin embargo, requiere un cálculo considerable de los datos.
* **Análisis crítico.**Estos casos de uso analizan datos para condiciones críticas. Algunos ejemplos son la monitorización cardíaca mediante ECG con alarmas automáticas una vez que se detectan situaciones críticas [27] . La criticidad también implica un cierto tiempo de respuesta máximo, es decir, propiedades en tiempo real.
* **Control crítico**En esta clase de casos de uso, los eventos detectados no solo se utilizan para alertar al personal, sino también para controlar dispositivos. Un ejemplo es un dispositivo que regula la cantidad de oxígeno proporcionado a un paciente [52] .
* **Gestión del contexto.**Esta clase de casos de uso es diferente de los anteriores. Simplemente observa a los pacientes, dispositivos o empleados para averiguar su contexto y ayuda mejorando la planificación o tomando las decisiones adecuadas. Por lo general, esto requiere un análisis de datos, pero ninguna o solo restricciones de tiempo real laxas. Algunos ejemplos son los sistemas para determinar el contexto de los trabajadores de la salud [28] .

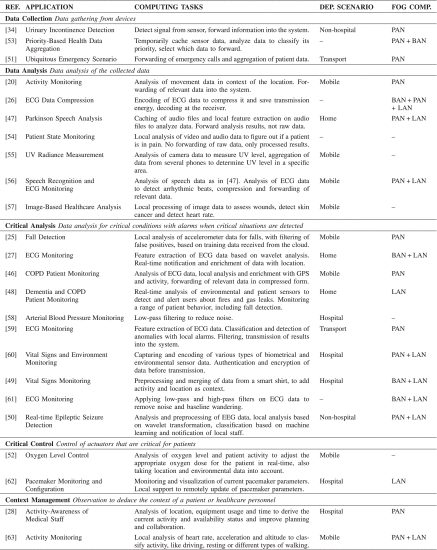
**TABLA 3** Clases de casos de uso con sus propiedades

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/7859429/7927714/kraem.t3-2704100-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/7859429/7927714/kraem.t3-2704100-large.gif)

### D. Tareas de computación

La Tabla 4 enumera las aplicaciones de atención médica que examinamos, agrupadas por clases de casos de uso. Si una aplicación tiene varias funciones, la mostramos solo una vez en la clase de caso de uso con los requisitos más críticos. La tercera columna describe qué tareas informáticas se ejecutarán y estarán sujetas a la computación en niebla. La columna cuatro muestra a qué escenario de implementación pertenece una aplicación. La columna final resume en qué niveles del cálculo de niebla de red ocurre, explicado más adelante en la sección. VD .

**TABLA 4** Aplicaciones de atención médica revisadas, agrupadas por clases de casos de uso

[[](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/7859429/7927714/kraem.t4-2704100-large.gif)](https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/6287639/7859429/7927714/kraem.t4-2704100-large.gif)

Ahora ilustraremos algunas de las tareas de cálculo enumeradas en la Tabla 4 . La clase de caso de uso de *recopilación de datos* se ejemplifica en el escenario de emergencia omnipresente presentado en [51] , en el que los datos se agregan e intercambian entre las partes involucradas solo en casos de emergencia. Como efecto secundario, el consumo de energía debido a la transmisión de datos también se reduce, lo que aumenta el tiempo de funcionamiento efectivo del dispositivo. La clase de *análisis de datos* está ejemplificada por el sistema de teletratamiento del habla para pacientes con Parkinson descrito en [47] . El análisis del habla, realizado en una puerta de enlace local, reduce el tiempo de procesamiento y el tráfico a la nube, mientras que los médicos remotos aún pueden recuperar los datos analizados de la nube. los*La* clase de *análisis crítico* se puede ver en [50] , que describe una solución para la detección de ataques epilépticos en tiempo real. Durante una convulsión, los pacientes generalmente no pueden presionar un botón, pero la detección automática garantiza que el personal de atención médica esté alerta y que el tratamiento pueda iniciarse rápidamente. El análisis para la detección de ataques se realiza en servidores locales para baja latencia, mientras que el análisis de big data se descarga a la nube. Un caso de uso de *control crítico* se encuentra en [52] , donde se propone un sistema automático de control de oxígeno para pacientes con EPOC. Un ejemplo de la clase de *gestión de contexto* es [28] , que determina la actividad del personal en función de su ubicación y los dispositivos que se utilizan.

**SECCION V.**

## **Arquitecturas de computación de niebla**

Antes de discutir la ubicación de las tareas de computación de niebla, discutimos los tipos de redes y dispositivos que se encuentran típicamente en la atención médica.

### A. Tipos de red

Los casos de uso de salud generalizados revisados ​​emplean combinaciones de cuatro tipos de red para cerrar la brecha entre los dispositivos médicos y la nube: redes inalámbricas de área personal (WPAN), redes inalámbricas de área corporal (WBAN), redes de área local (LAN) y redes de área amplia (WAN) La jerarquía de estas redes se muestra en el eje vertical de la figura 1 . Algunos dispositivos sensores están conectados directamente a la WLAN a través de Wi-Fi [25] , [46] . Especialmente en el escenario de implementación móvil, los dispositivos están directamente conectados a una WAN a través de conexiones celulares [20] , [59] .

Otra forma de conectar sensores es mediante la tecnología WPAN, proporcionada por Bluetooth, IEEE 802.15.4 o ZigBee. Por lo general, tienen un rango más bajo que el Wi-Fi o las conexiones celulares, pero también son más eficientes energéticamente. Sin embargo, las tecnologías WPAN tienen limitaciones. Para algunas aplicaciones, no ofrecen las tasas de bits necesarias para las señales biomédicas, como EEG o ECG (véase la sección III ), especialmente si los pacientes usan varios sensores. Además, el cuerpo bloquea las transmisiones de señales electromagnéticas en algunas posturas [11] . Esto reduce la calidad del enlace o imposibilita la comunicación con dispositivos internos.

Para mitigar los desafíos con WPAN, se introdujo un estándar específico para redes inalámbricas de área corporal (WBAN) con IEEE 802.15.6 [64] . Utiliza una topología en estrella de uno o dos saltos con un solo hub como puerta de entrada a otras redes [11] . Además, IEEE 802.15.6 propone tres capas físicas diferentes que se pueden elegir para diferentes aplicaciones [64] . La *capa física de banda estrecha* proporciona un rango de comunicación más largo, con velocidades de datos ligeramente más bajas que algunas tecnologías WPAN [65] . La banda estrecha utiliza bandas de frecuencia existentes, como la banda de radiocomunicaciones de dispositivos médicos (MICS) de 402–405 MHz y la banda industrial, científica y médica (ISM) de 2,4–2,45 GHz. La *capa física de banda ultra ancha*ofrece velocidades de datos más altas que la banda estrecha con baja potencia de transmisión. Esta capa también se puede diseñar para lograr un mejor consumo de energía por bit que la banda estrecha [66] . La *capa de comunicación del cuerpo humano* utiliza el acoplamiento galvánico en la superficie del cuerpo humano para las transmisiones de datos. Esto elimina las antenas y los problemas de propagación de la señal. Además, se considera la capa física con mayor eficiencia energética para requisitos de alta velocidad de transmisión de datos [67] .

Los dispositivos que cumplen con los dispositivos IEEE 802.15.6 están, según nuestro conocimiento, todavía en desarrollo [67] , [68] . Por lo tanto, los sistemas existentes que hacen referencia a WBAN generalmente utilizan estándares WPAN, por ejemplo, Bluetooth o IEEE 802.15.4, que pueden ser suficientes para algunas aplicaciones que no requieren altas velocidades de datos o comunicaciones con dispositivos en el cuerpo.

### B. Tipos de dispositivos en la asistencia sanitaria

Dependiendo de los escenarios de implementación de la Fig. 1 , están involucrados diferentes dispositivos y nodos de red. En el escenario de *implementación móvil* , los teléfonos móviles actúan como puertas de enlace WPAN que se conectan directamente a la WAN a través de redes celulares. Las puertas de enlace WBAN, como los relojes inteligentes, se pueden usar como nodos intermedios. Los nodos fuera de ruta, por ejemplo, equipos de detección ambiental, están conectados a nivel WPAN. En el escenario de *implementación* en el *hogar* , los enrutadores inalámbricos actúan como puertas de enlace de Wi-Fi a WAN. Los dispositivos de detección se comunican a través de una puerta de enlace a nivel BAN o PAN. Este puede ser un dispositivo especializado, por ejemplo montado en un cinturón u otra prenda de vestir, o puede ser un teléfono móvil. Los nodos de cálculo fuera de ruta, como los dispositivos de detección de caídas, se colocan a nivel de LAN. En elescenario de *despliegue del hospital* , los centros de datos locales a menudo están disponibles. Tanto en el nivel LAN como en el PAN existen otros nodos de cálculo fuera de ruta como dispositivos de localización y equipos estacionarios en laboratorios o salas de operaciones. Los pacientes usan dispositivos patentados que se conectan a puertas de enlace especializadas que conectan WBAN o WPAN a la LAN. En el escenario de *despliegue no hospitalario* , por ejemplo, un consultorio médico o un hogar de ancianos, generalmente vemos pequeños servidores locales. El equipo de laboratorio o los dispositivos de detección ambiental actúan como nodos de cálculo fuera de ruta. Los pacientes usan el mismo tipo de equipo de detección no intrusivo que se identifica en el escenario doméstico. Un paciente en el *despliegue de transporte.*El escenario usa el mismo tipo de equipo de detección patentado que en el escenario del hospital. Esto se conecta a una puerta de enlace en una red WPAN que actúa como un puente a un enrutador WLAN en el vehículo. El enrutador WLAN se conecta a la WAN a través de una red celular mientras está en tránsito. El equipo médico y los dispositivos de monitoreo con cable están conectados a nivel de LAN.

### C. Plataformas de desarrollo

Para la investigación y el desarrollo, existe una amplia variedad de plataformas de desarrollo de hardware con comunicación inalámbrica con factores de forma pequeños y bajo consumo de energía. Enumeramos algunos de ellos a los que se hace referencia con frecuencia en la literatura.

* Arduino es una plataforma de bajo costo utilizada en muchos dominios de aplicación. Requiere módulos de hardware adicionales para la comunicación inalámbrica [48] . nRF24L01 es un módulo transceptor de radio de bajo costo que se puede usar con Arduino y otras plataformas. Está diseñado para la banda ISM de 2.4 GHz y optimizado para bajo consumo de energía [69] .
* El sistema MC13213 también se basa en un procesador de 8 bits, pero tiene una frecuencia de reloj más alta de 4 MHz. Integra un módulo transceptor de 2,4 GHz en el chip que admite 802.15.4 y ZigBee [49] .
* Intel Edison es otro sistema en chip (SoC) con Wi-Fi integrado y módulos de radio Bluetooth 4. Con su procesador de 400 MHz, es adecuado para computar aplicaciones que requieren mucha energía, como el procesamiento de audio [47] .
* Icycom de CSEM es una plataforma con una unidad transceptora de banda ISM de 900 MHz y un microprocesador de 16/32 bits. Su factor de forma es sobre1×1 cm con bajo consumo de energía [70] .
* Otro SoC adecuado para aplicaciones WPAN es el nRF51822. Este chip admite BLE de 2.4 GHz y puede comunicarse con nRF24L01 siempre que se implemente una pila BLE para nRF24L01. A diferencia de nRF24L01, el nRF51822 tiene un procesador integrado de 32 bits, sin embargo, todavía consume poca energía y viene en un pequeño paquete comparable al nRF24L01 [71] .

### D. Posicionamiento de las tareas de cálculo de niebla

También examinamos en qué nivel de la red y en qué dispositivos los trabajos revisados ​​colocan tareas de cálculo. Esto se resume en la última columna de la Tabla 4 . (Un guión indica que los autores no revelaron suficiente información).

Numerosos enfoques ( [20] , [25] , [28] , [34] , [48] , [51] ) colocan su tarea de cálculo en un solo nodo a nivel PAN o LAN. En este nivel, los datos se procesan y se envían a niveles superiores y, finalmente, a la nube. Hay una gran variedad de tareas. Un caso de uso típico es recolectar y analizar datos críticos en el tiempo, para lograr un monitoreo crítico, como la detección de caídas [48] . Otro ejemplo es [20], que describe una plataforma de detección donde un programador de tareas global en la nube está descargando una estrategia de cálculo a un nodo de trabajo en la niebla. Esto le indica al nodo trabajador que recopile y filtre solo los datos más importantes y relevantes.

Otros enfoques ( [26] , [27] , [47] , [49] , [53] , [56] , [61] , [63] , [72] ) utilizan dos o más nodos de niebla en una ruta directa entre el dispositivo sensor y un punto de acceso a la nube. López *et al.* Describen un ejemplo *.*[49]. Han desarrollado camisas con sensores integrados que recopilan datos fisiológicos sobre el paciente. Las camisetas incluyen un dispositivo portátil de adquisición de datos que también actúa como una puerta de enlace BAN. El dispositivo procesa los datos y los envía a un sistema de gestión a nivel LAN, donde los datos se procesan y almacenan de forma permanente. Además, la administración recibe datos de un sistema separado de ubicación fuera de ruta, que recopila datos de posicionamiento. En los casos en que se usan varios nodos de computación de niebla, observamos que el nodo más cercano al dispositivo sensor se usa típicamente para preprocesamiento o filtrado. El análisis en profundidad, la contextualización y el almacenamiento local generalmente se realizan en un nodo ubicado más cerca de la nube, a menudo a nivel de LAN.

También observamos enfoques ( [46] , [60] ) que utilizan un nodo de puerta de enlace a nivel PAN o BAN para el cálculo, y donde el nodo es capaz de conectarse a LAN a través de Wi-Fi o WAN a través de una conexión de red celular. Esto es especialmente útil para aplicaciones que necesitan un alto grado de movilidad y donde la flexibilidad con respecto a la conectividad de red es importante. Wac *y col.*[46] describe un escenario en el que un paciente usa uno o más sensores junto con una unidad base móvil, conectada en un BAN. La unidad base recopila, sincroniza, filtra y procesa los datos, antes de enviarlos a un servidor de fondo para su almacenamiento a través de WLAN o una red celular. Huang *y col.*[60]describe un sistema de sensor portátil donde los datos biológicos sobre el paciente son capturados por sensores biomédicos en el cuerpo y luego encriptados localmente antes de enviar los datos a un dispositivo de computación móvil (MCD) en un nivel de red superior. Un sistema separado de motos sensores envía datos ambientales. Los conjuntos de datos combinados son capturados y analizados por el MCD antes de que los datos se envíen a un sistema de fondo para almacenamiento permanente. Los MCD también pueden comunicarse entre sí a través de una red celular. Este caso también muestra que un nodo de niebla puede usar diferentes tipos de redes, dependiendo del tipo de datos que está enviando.

**SECCION VI.**

## **Discusión**

Después de realizar nuestra revisión y analizar los casos de uso, llegamos a la conclusión de que la computación en niebla, a pesar de su potencial, todavía se encuentra en una fase temprana dentro de la atención médica, y solo se implementó parcialmente, si es que lo hizo. La principal desventaja de la literatura colectiva es que muchos de los trabajos se centran en casos de uso aislados, y a menudo solo discuten infraestructuras que, en consecuencia, están especializadas. La mayoría de los casos de uso también cubren un solo escenario de implementación. Esto lleva a la falta de una vista unificada, que es requerida por la visión más amplia de la computación en niebla para la atención médica como se presentó anteriormente. Volveremos a esta deficiencia, después de discutir los diversos aspectos de la computación en niebla en la atención médica.

### A. Locus de computación

Nuestra encuesta en la sección anterior muestra que las tareas informáticas se producen en varios niveles de la red, desde BAN hasta la nube. Esto sugiere que la distribución de tareas computacionales no debería centrarse simplemente en el nivel jerárquico de un nodo. La ubicación de las tareas informáticas de descarga dentro de una infraestructura es bastante trivial. Los diferentes roles y recursos informáticos de los dispositivos disponibles requieren una cuidadosa consideración de las compensaciones y la complementariedad entre las posibles opciones, teniendo en cuenta los niveles de rendimiento objetivo como el rendimiento computacional, las limitaciones de latencia, el consumo de energía y la seguridad, por nombrar algunos [23]. A pesar de que para algunas operaciones puede parecer obvio que se prefiere un entorno potente como el proporcionado por la computación en la nube a otro con menos capacidades, restricciones tales como la privacidad pueden limitar el número de opciones disponibles y, por ejemplo, bloquear la salida de las instalaciones del hospital. .

También hemos observado que los escenarios de implementación específicos de salud tienen un impacto significativo en las decisiones relacionadas con la implementación del concepto de niebla, a pesar de la aceptación generalizada de la computación de niebla en cualquier lugar entre la nube y un dispositivo (cf IV-A ). En informática sanitaria, se notan ejemplos claros de este impacto al comparar el cálculo de las tareas de niebla dentro de las instalaciones del hospital, con otros lugares donde también se brindan actividades de atención médica, pero donde hay menos recursos disponibles (por ejemplo, consultorios médicos y hogares de ancianos). Otros ejemplos incluyen las intervenciones de los socorristas en áreas donde el acceso a las infraestructuras de comunicación y computación típicas puede ser extremadamente limitado, creando nuevos desafíos y oportunidades para la computación en niebla.

Al considerar los diferentes niveles en los que se puede realizar la descarga, desde el dispositivo a la nube, hacer cumplir el procesamiento local (por ejemplo, dentro de una instalación) puede ser de suma importancia cuando se discute la confiabilidad (cf. VI-C ). Este procesamiento local no invalida la cooperación entre los nodos locales y los servidores de salida. De hecho, podrían superponerse, pero proporciona garantías adicionales en caso de pérdida de conectividad al exterior y puede ser un requisito para los sistemas críticos. Sin embargo, la privacidad y las regulaciones que pueden combinarse con un escenario dado, particularmente en informática sanitaria, pueden generar restricciones más estrictas y requerir que las tareas de descarga se realicen dentro de ciertas restricciones (ver VI-D ).

### B. Latencia y rendimiento

Trabajos anteriores muestran que la descarga de computación ofrecida por la computación de niebla, en nodos cercanos a dispositivos restringidos, puede reducir la latencia hasta 2.88 veces [73] , en comparación con la descarga a la nube. Este resultado está fuertemente influenciado por los recursos locales existentes y los utilizados en la nube que, con el aumento constante de las tasas de bits de datos disponibles y una amplia cobertura de redes celulares de 3/4 generación, solo deberían depender de la cantidad de servidores usados ​​(es decir, , el acceso a la infraestructura de red es casi insignificante). No obstante, el creciente número de nodos y sensores altamente especializados plantea problemas de escalabilidad y las aplicaciones sensibles a la latencia pueden requerir mecanismos mejorados para manejar el retraso entre los sensores y la nube [23] .

Teóricamente [74] , utilizando servidores dedicados en el borde de la red (p. Ej., Cloudlets [75] ), se han logrado mejoras de rendimiento pero no tienen en cuenta la omnipresencia de los dispositivos IoT y sus características distintivas. Además, si bien es intuitivo que la realización de tareas informáticas a nivel local debería mejorar la latencia, el rendimiento e incluso el consumo de energía [76] , se deben considerar varios desafíos técnicos (por ejemplo, tiempo de implementación de VM o contenedor, gestión de recursos, entre otros aspectos). De hecho, estos mecanismos pueden ser responsables de los efectos adversos, convirtiéndose en una carga para los nodos de niebla y obstaculizando las mejoras deseadas [22]. En muchos casos, vemos que el beneficio de la latencia reducida se da por sentado, sin una cuantificación precisa de los requisitos específicos y una evaluación de diferentes soluciones.

La latencia y el rendimiento pueden mejorarse mediante la computación de niebla mediante la reducción de la cantidad de datos transmitidos entre el origen y el destino, aliviando el núcleo de la red y el sistema general [77] . Esta reducción de carga también puede reducir la probabilidad de errores de transmisión y puede lograrse realizando tareas informáticas como el filtrado, la extracción de características o incluso la predicción [27] , [76] , [78] . Las aplicaciones relacionadas con el reconocimiento de rostro y voz requieren una gran cantidad de datos y se demuestra que los cálculos locales pueden reducir la latencia [54]. Sin embargo, la mejora del rendimiento de los dispositivos con recursos limitados también dependerá de que los dispositivos sean capaces de conectar tecnologías de red (por ejemplo, 802.15.4 / 6 con 802.11). La computación de niebla debe ser capaz de aprovechar la diversidad de nodos con recursos limitados y sus capacidades, en toda la jerarquía de las infraestructuras de red, para escalar y proporcionar tiempos de respuesta más rápidos [74] .

Aunque la nube se ve típicamente como el punto final para los datos transmitidos por un nodo, estos datos pueden comenzar un nuevo ciclo de vida dentro de la nube. Por ejemplo, a menudo necesita ser entregado a otro nodo (por ejemplo, un actuador o la computadora del médico), después de ser procesado adecuadamente. Este proceso dentro de la nube es propenso a una latencia adicional, pero la computación en niebla puede aumentar significativamente el rendimiento de las aplicaciones sensibles al ancho de banda y a la latencia en comparación con una solución pura "nodo a nube a nodo" [22] , [27] . En última instancia, el impacto de la latencia y las métricas relacionadas (p. Ej., Jitter) deben considerarse en la calidad de la experiencia (QoE) registrada por médicos y pacientes en general.

### C. Fiabilidad

La confiabilidad de las aplicaciones de salud es crucial, especialmente para las clases de casos de uso de monitoreo crítico y control crítico ( Sección IV-C ). Cualquier punto único de falla requiere una cuidadosa consideración. Con respecto a las soluciones basadas en la nube, la disponibilidad general de los centros de datos es alta, pero las interrupciones siguen siendo un problema, incluso con la redundancia establecida [79] .

La red hacia los centros de datos también puede estar sujeta a fallas. Finalmente, cualquiera de las conexiones hacia un centro de datos central en los diferentes escenarios de implementación ( Sección IV-A ) puede fallar, aunque algunas están más expuestas que otras. Las ambulancias pueden atravesar áreas sin cobertura celular, o los pacientes en el hogar pueden perder la conexión a sus enrutadores Wi-Fi. Esto plantea la cuestión de hasta qué punto los servicios en la nube se pueden usar para casos de uso críticos. En la descripción de muchos casos de uso, creemos que estos aspectos no se abordan suficientemente.

El cómputo local puede usarse para reemplazar completamente las tareas críticas realizadas en los centros de datos o para usar el procesamiento local cuando existen limitaciones en la nube [80] . Un ejemplo es la extracción de características para analizar los datos del ECG del paciente en tiempo real [27] , [49] . Si los cuidadores confían en esta función para controlar el bienestar de los pacientes, el análisis no debe interrumpirse. Cuando se realiza en una puerta de enlace cercana, también se puede realizar cuando el centro de datos o la conexión hacia él están inactivos. Para la clase de caso de uso de la recopilación de datos, donde solo es importante que los datos lleguen *finalmente* a alguna base de datos, los nodos de niebla también pueden almacenar los datos localmente hasta que puedan transferirse más.

Al igual que la nube, los nodos de computación de niebla también están sujetos a fallas. Sin embargo, las consecuencias y la naturaleza de la falla son diferentes de las de la computación en la nube. Las fallas en la nube o en la red hacia ella pueden afectar a un hospital completo. Por el contrario, cuando fallan los recursos de una jerarquía de red más baja, las consecuencias afectan un área más pequeña, como secciones de hospitales o salas individuales. Tales incidentes menores a menudo son más fáciles de manejar con respecto al reequipamiento o la dotación de personal. Además, la computación de niebla puede conducir a arquitecturas con redundancia incorporada a nivel local, con varios nodos de computación de niebla que actúan como conjuntos tolerantes a fallas [80] , lo que aumenta la confiabilidad.

### D. seguridad

Davies *y col.*[81] argumentan que las preocupaciones de privacidad debido a la "sobrecentralización" de los sistemas IoT son un obstáculo crítico para su crecimiento. Aunque los datos se pueden proteger en su camino hacia la nube y dentro de los centros de datos, una estrategia adecuada para proteger los datos es evitar enviarlos fuera de las premisas en primer lugar y procesarlos más cerca de su fuente [24] . La proximidad de los dispositivos de niebla, que se pueden colocar dentro de la infraestructura, puede introducir la confianza requerida y hacer cumplir los mecanismos de privacidad necesarios que amenazan la computación en la nube en escenarios críticos. Un ejemplo es una aplicación para analizar el habla de pacientes con enfermedad de Parkinson [47]. En lugar de enviar grabaciones de audio a un centro de datos, el análisis se realiza localmente y solo se envían las métricas de resultados. Sin embargo, la privacidad sigue siendo un problema en soluciones más descentralizadas, como la computación en niebla. La confianza y la autenticación deben manejarse, especialmente cuando se consideran equipos de múltiples proveedores y dispositivos puramente inalámbricos. El desacoplamiento entre nodos y puntos de acceso, o puertas de enlace, abre la posibilidad de que los nodos de niebla no autorizados o comprometidos obstaculicen los beneficios de la localidad [82] , [83]. Para lograr una red descentralizada entre nodos de niebla y nodos móviles o sensores, se deben establecer modelos de confianza interoperables, así como software y mecanismos de seguridad física para proteger las redes y sus nodos. Otra forma de hacer que la descarga de la computación funcione en nodos de niebla no confiables es la computación verificable [84] , dado que las tareas computacionales pueden asignarse de manera eficiente a las operaciones disponibles en estas condiciones.

Los nodos de niebla también pueden contribuir a las funciones de seguridad. Como a menudo tienen más potencia computacional que los dispositivos sensores restringidos, pueden ayudar con las operaciones criptográficas [85] . Un enlace entre un dispositivo sensor y una puerta de enlace BAN puede estar protegido por cifrado simétrico, que es compatible con muchos nodos sensores integrados. La puerta de enlace BAN puede asegurar aún más los datos del paciente utilizando los esquemas propuestos en [86] , antes de enviarlos a la red. Los nodos de niebla también pueden albergar otras funciones de seguridad como la detección de intrusos [87] , o el control explícito de qué información puede dejar una ubicación [81] .

La omnipresencia de las cosas y las tecnologías con capacidad de niebla también introducirán una nueva era para la interacción hombre-computadora (HCI) y su relación con la seguridad de los usuarios y sus nodos. Además de la naturaleza inalámbrica de los dispositivos, que limita la capacidad de los usuarios para identificar el "próximo salto en el bucle", el tamaño o la falta de periféricos de entrada / salida en algunos de ellos, crea nuevos desafíos. Estos sistemas requerirán mecanismos de Autenticación, Autorización y Contabilidad (AAA) simples, pero robustos, que no comprometan las funcionalidades de los dispositivos y su movilidad entre diferentes redes.

### E. Computación autónoma de niebla

La computación de niebla agrega flexibilidad con respecto a dónde se puede colocar la computación. Para mitigar la mayor complejidad que conlleva esto, se esperan comportamientos gestionados dinámicamente en los paradigmas de IoT y de computación de niebla [22] , [24] , aprovechando los recursos existentes y coordinando acciones para mejorar el rendimiento general. Los requisitos específicos de contexto y escenario son fundamentales para permitir una gestión eficiente y autónoma en la computación de niebla, alineándose con IoT para explotar plenamente su potencial [88] . El uso de big data es particularmente relevante como habilitador para la gestión contextual [89] , teniendo en cuenta los nodos y sus diferentes roles en la infraestructura [90]. Sin embargo, estas consideraciones deben manejar la heterogeneidad de dispositivos y proveedores sin introducir gastos generales insoportables.

En general, la consideración de múltiples parámetros para mejorar la gestión en la computación de niebla debe ampliarse con los dispositivos de IoT de difusión y sus distintos usos. Esto requiere que los nodos participen en el proceso de toma de decisiones cuando se necesitan reconfiguraciones flexibles, sin comprometer su propio propósito en el sistema. Dicho proceso debe promover la autonomía de los nodos o la autoconciencia, junto con procedimientos dinámicos activados por protocolos estándar predefinidos [63] . Estos mecanismos estándar son importantes para garantizar la interoperabilidad entre dispositivos [88] , [91] y "cruzar el abismo" de Internet de las cosas [81] .

### F. Eficiencia energética

Además de la energía gastada para el procedimiento de detección real, los principales consumidores de energía en los dispositivos sensores son el cálculo y la transmisión de datos. La computación de niebla facilita los dispositivos de sensores de eficiencia energética al descargar la costosa computación. Hu *y col.*[75]muestran cómo la descarga de funcionalidades a cloudlets mejora significativamente el consumo de energía de los dispositivos móviles. Estos resultados son para aplicaciones móviles. Para los BAN, el costo de envío puede ser diferente, de modo que las ganancias de energía a través de un menor procesamiento pueden reducirse mediante un mayor costo de envío. Por lo general, los nodos de computación de niebla son ricos en energía, por lo que son adecuados para descargar en primer lugar. Sin embargo, si los nodos de niebla son móviles, como un teléfono móvil en el escenario de implementación móvil, también existe una compensación entre el consumo de energía del teléfono móvil y el dispositivo sensor. Las compensaciones como estas pueden requerir un razonamiento autónomo en el dispositivo para determinar en qué situación qué estrategia es más eficiente.

### G. Perspectivas y direcciones futuras

A pesar de algunas de las fallas y deficiencias identificadas en la literatura, la computación en niebla emerge como un ingrediente arquitectónico necesario para la computación ubicua. Debido a la amplia gama de aplicaciones y casos de uso que se pueden considerar, aún no se ha explorado completamente hasta qué punto las tareas informáticas de descarga pueden beneficiar a la informática sanitaria. Pero la computación en niebla ya ha demostrado su efectividad en términos de utilización de ancho de banda y latencia, por ejemplo, al considerar la extracción de características de ECG [27] . Esto también está respaldado por trabajos anteriores que muestran mejoras en la latencia y el consumo de energía como resultado de la descarga de tareas de dispositivos restringidos a nodos más potentes, utilizando soluciones de red comunes como Wi-Fi y 3 / 4G [68] , [69]. El otro controlador principal para la computación en niebla es la confiabilidad. No importa cómo mejore la conectividad, las interrupciones en última instancia solo se pueden cubrir mediante la informática y el almacenamiento más cerca de los sensores, lo que corresponde a la informática de niebla. El empleo de nodos de niebla permite el uso de decisiones más inteligentes y autónomas en la capa de niebla, independientemente de la disponibilidad de la nube. Esto, sin embargo, presupone la interoperabilidad entre dispositivos y sistemas heterogéneos.

La posibilidad de introducir el procesamiento, la adaptación y el almacenamiento de datos locales, habilitados por la computación de niebla, también tiene un impacto más allá de la seguridad, la latencia y la interoperabilidad. También crea nuevas posibilidades de actuación, reconfiguración autónoma, descubrimiento de dispositivos, movilidad e incluso eficiencia energética [92] . Ejemplos de estas nuevas perspectivas incluyen la dispensación robótica de prescripciones y la entrega de medicamentos [93] , que debe considerar la recopilación, el formateo, el análisis y el almacenamiento de datos médicos, así como la administración de medicamentos de acuerdo con los registros médicos de los pacientes, como hemos visto por ejemplo con El sistema de tratamiento de la EPOC [52] .

La difusión exitosa de la computación de niebla en la atención médica no solo se verá influenciada por sus ventajas. Un factor adicional son las restricciones, como las regulaciones impuestas, por ejemplo, por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). La computación en niebla puede ayudar a los usuarios y proveedores de servicios a superar estas restricciones. Los nodos de niebla pueden usarse para proporcionar una capa entre los usuarios finales, los proveedores de servicios y la nube, confinando información de salud privada o confidencial dentro de dispositivos confiables [94] .

Hemos visto la demanda de cómputo entre el sensor y la nube en prácticamente todos los casos de uso relacionados con la atención sanitaria ubicua. Sin embargo, nuestra revisión también reveló la falta de una estrategia unificada o una arquitectura general para la computación de niebla en el cuidado de la salud y las aplicaciones de atención médica generalizadas en general. Esta falta de cohesión socava el potencial de IoT y la computación de niebla. Los sistemas a menudo se ven de forma aislada, ya que los creadores de un sistema específico se centran en casos de uso aislados, escenarios de implementación o tecnología de sensores. Sobre la base de estos conocimientos y deficiencias identificadas, vemos demanda en las siguientes áreas de investigación y desarrollo:

#### 1) Normalización dentro de la asistencia sanitaria

El desafío con la mayoría de los casos de uso que revisamos es que abarcan varios dispositivos, sistemas y dominios de implementación y, por lo tanto, carecen de un único actor bien definido. Incluso los hospitales, que cubren muchos casos de uso, pueden no ser suficientes, ya que gran parte de la atención médica también ocurrirá fuera de su alcance. La Alianza Continua [95] es un ejemplo para tal estandarización con un enfoque especial en dispositivos de salud personal. En este contexto, se debe explorar si y cómo la computación en niebla se puede utilizar para aumentar la interoperabilidad a través de su flexibilidad para ofrecer computación, es decir, al permitir una arquitectura heterogénea basada en servicios en la que la computación puede ocuparse de las tareas de interoperabilidad.

#### 2) Estandarización de los mecanismos de cálculo de niebla

El esfuerzo anterior se facilitará con la disponibilidad de estándares y protocolos para anunciar y descubrir recursos informáticos en entornos de niebla, así como la descarga de cómputo. El consorcio OpenFog [96] , por ejemplo, aunque no es una organización de estandarización en sí, trabaja para lograr este objetivo.

#### 3) Gestión de niebla autónoma

Un desafío de los casos de uso presentados es su complejidad con respecto a la estructura del sistema y los componentes involucrados. Para tener éxito, dicha complejidad no debe conducir a altos costos de mantenimiento ni a expensas de la usabilidad. En cambio, las soluciones deben ser capaces de gestionarse a sí mismas, lo que implica un cierto grado de autonomía. De manera similar al tema de la interoperabilidad, la computación en niebla puede ser objeto de gestión autónoma y también contribuir con soluciones, por ejemplo, al alojar los procesos de computación necesarios para la autonomía. Esto representa oportunidades y desafíos para el área de la computación autónoma.

#### 4) conectividad

La heterogeneidad de los dispositivos y sus tecnologías de comunicación plantean varios desafíos con respecto a la conectividad. Esto debería ser transparente entre diferentes soluciones, haciendo frente no solo a la movilidad sino también a las restricciones existentes de velocidad de bits y retraso. Además, las redes no deben ser intrusivas, lo que requiere, por ejemplo, compartir recursos de red o infraestructuras.

#### 5) Seguridad y confianza

La computación de niebla conduce a relaciones más complejas entre los nodos del sistema, especialmente los dispositivos sensores y los nodos de computación de niebla. Las asociaciones entre nodos son dinámicas. Además de todas las preguntas de seguridad relacionadas con la privacidad de los datos y la seguridad de los pacientes, esto requiere algún tipo de gestión de confianza entre estos dispositivos. Aunque los modelos de confianza se han aplicado en varias áreas, estos también deben trabajar con la complejidad y la dinámica dada de la computación en niebla en la atención médica.

Para explotar completamente los conceptos de computación de niebla y proporcionar mejores aplicaciones integradas de salud y sus requisitos específicos, se deben considerar los puntos anteriores, tanto en las clases de casos de uso como en los diferentes escenarios de implementación.

**SECCION VII.**

## **Conclusiones**

Nuestra revisión muestra que hay un número considerable de tareas informáticas, en diferentes escenarios de implementación y casos de uso de aplicaciones, que pueden beneficiarse de la computación en niebla. De hecho, nuestra revisión muestra que el cálculo es un elemento necesario en casi todas las aplicaciones de atención médica generalizadas, y que estas tareas a menudo deben ejecutarse en algún lugar entre los sensores y la nube. Proporcionamos un inventario de tales tareas informáticas, y hemos mostrado en qué nodos dentro de una red pueden ejecutarse. Los documentos revisados ​​también muestran que existe potencial para el cálculo en todos los niveles de la red.

Hemos discutido aún más las compensaciones al colocar tareas de computación en la red, y hemos discutido los beneficios y desafíos de la computación de niebla relacionada con aplicaciones de salud generalizadas. Los dispositivos sensores a menudo no son lo suficientemente potentes como para realizar dicho cálculo por sí mismos, por lo que necesitan descargar las tareas informáticas. Por otro lado, el cómputo en la nube a menudo no es una solución adecuada para dicha descarga debido a restricciones con respecto a la confiabilidad, preocupaciones de privacidad o regulaciones. La computación en niebla, con su flexibilidad para agregar computación como parte de una infraestructura de red, aparece como un concepto adecuado para cumplir con los requisitos de atención médica. Las tareas informáticas de niebla pueden filtrar datos, para ayudar a preservar la privacidad o reducir la carga en la red. El lugar de ejecución se puede ajustar al escenario de implementación actual, las regulaciones y otros requisitos. Las tareas de computación de niebla también pueden actuar como componentes de interoperabilidad, adaptando las necesidades específicas del sensor a interfaces estandarizadas y armonizadas. Además, con su capacidad de actuar estrechamente con los usuarios, las tareas de cómputo de niebla agregan un componente importante para hacer que los sistemas sean más confiables. Sin embargo, para que estos beneficios sean efectivos, es necesario elevar el enfoque de los casos de uso individuales hacia arquitecturas más completas, como se discutió anteriormente. Esta revisión y discusión es una señal en esta dirección, que resume la amplia gama de escenarios de implementación, la variedad de requisitos en la atención médica futura y la variedad de tareas de computación de niebla. Las tareas de computación de niebla agregan un componente importante para hacer que los sistemas sean más confiables. Sin embargo, para que estos beneficios sean efectivos, es necesario elevar el enfoque de los casos de uso individuales hacia arquitecturas más completas, como se discutió anteriormente. Esta revisión y discusión es una señal en esta dirección, que resume la amplia gama de escenarios de implementación, la variedad de requisitos en la atención médica futura y la variedad de tareas de computación de niebla. Las tareas de computación de niebla agregan un componente importante para hacer que los sistemas sean más confiables. Sin embargo, para que estos beneficios sean efectivos, es necesario elevar el enfoque de los casos de uso individuales hacia arquitecturas más completas, como se discutió anteriormente. Esta revisión y discusión es una señal en esta dirección, que resume la amplia gama de escenarios de implementación, la variedad de requisitos en la atención médica futura y la variedad de tareas de computación de niebla.