

ESTUDIO DE REDES DE SENSORES Y APLICACIONES ORIENTADAS A LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE SEÑALES BIOMÉDICAS



WIRELESS SENSOR NETWORKS AND RELATED APPLICATIONS FOR COLLECTING AND ANALYZING BIOMEDICAL SIGNALS

AUTOR

SIXTO ENRIQUE CAMPAÑA BASTIDAS
Doctor (c) en Ingeniería
*Universidad Pontificia Bolivariana
Estudiante Doctorado En ingeniería
Escuela de ingenierías
sixto.campana@unad.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

JORGE MARIO LONDOÑO PELÁEZ
Doctor en Ingeniería
*Universidad Pontificia Bolivariana
Docente
Escuela de ingenierías
jorge.londono@upb.edu.co
COLOMBIA

INSTITUCIÓN

Universidad Pontificia Bolivariana
UPB
Institución Privada
Campus de Laureles Circular 1 No. 70-01
Medellín
información@upb.edu.co
COLOMBIA

INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN O DEL PROYECTO: El estudio comprende una revisión del estado del arte de las redes de sensores inalámbricos (WSN) aplicadas a la medicina y cuidado de la salud en general, analizando principalmente la captura de datos, forma de transmisión, los tipos de sensores que usan las aplicaciones y los resultados que se pueden obtener de dicho proceso. Este estudio es el inicio de la propuesta de Tesis Doctoral en Ingeniería énfasis en telecomunicaciones que se viene cursando en la UPB.

RECEPCIÓN: Mayo 14 de 2013

ACEPTACIÓN: Junio 6 de 2013

TEMÁTICA: Aplicaciones en Ingeniería Biomédica, Teleaplicaciones.

TIPO DE ARTÍCULO: Artículo de Revisión.

RESUMEN ANALÍTICO

El presente estudio realiza un análisis de las principales investigaciones que en los últimos años comprenden el uso de las redes de sensores inalámbricas (WSN) para aplicaciones médicas y de cuidado de la salud, con énfasis en lo relacionado con la captura y envío de datos en tiempo real, teniendo en cuenta la concepción de red WSN, sus protocolos y aplicaciones, como también el uso de sensores, sus clases y características; y la forma como se integran para hacer un sistema que apoye a la medicina mediante el uso de la tecnología en lo que generalmente se denomina telemedicina. Adicionalmente se ha tenido en cuenta que la información obtenida de la red de sensores es el insumo que permite el desarrollo de aplicaciones para el cuidado de la salud, la cual es un área de investigación que promete importantes oportunidades de investigación, por ello se ha realizado una revisión inicial del estado del arte en este tema. Por último, el estudio identifica los principales problemas y retos que presentan las aplicaciones propuestas en procura del análisis de dichas situaciones que a futuro pueden determinar nuevas investigaciones y desarrollos en el campo de estudio.

PALABRAS CLAVES: Telemedicina, Sensores, WSN, Minería de datos, Señales Biomédicas.

ANALYTICAL SUMMARY

This survey aims to provide a review of the advancements in wireless sensor network (WSN) for health care applications. This includes the capture and real-time delivery of sensor data, the design of the WSN, its protocols, sensors, and its real-time requirements. In general, these kinds of systems are considered Telemedicine applications and have been the subject of extensive research. The information collected by the WSN is the prime matter for the development of healthcare applications, a promising area of research where we provide an initial review of the state of the art. Finally; this work presents a review of the main research problems in the area and outlines possible lines for further development.

KEYWORDS: Telemedicine, Sensors, WSN, Data Mining, Biomedical Signals.

INTRODUCCIÓN.

El desarrollo tecnológico en los últimos años ha traído importantes avances en favor de atender las necesidades del ser humano, particularmente en el campo de la salud. El presente estudio ahonda en la forma como las redes, los sensores y las técnicas de análisis de datos contribuyen mediante el uso de redes de sensores y aplicaciones de análisis de datos, al desarrollo de mejores servicios para la medicina, proporcionando herramientas para monitorear enfermedades, identificar patrones para apoyar los diagnósticos médicos y detectar condiciones anómalas para la generación de alarmas.

Sin duda la llave tecnología y salud es extraordinaria y si se combina de forma que la una asista a la otra para el bienestar de las personas su aporte a la humanidad es invaluable, esta premisa ha sido considerada por muchos

investigadores en los diferentes campos que comprende esta temática, desde el punto de vista de la ingeniería se puede mencionar el desarrollo electrónico de elementos que permiten el control de enfermedades y monitoreo de las señales vitales de una persona en particular, también están las redes de datos y comunicaciones que van desde las conocidas redes WiFi hasta las cada vez más populares redes de sensores inalámbricas (WSN - Wireless Sensor Network), en el aspecto médico se ha tratado el control y monitoreo de señales como la frecuencia cardíaca, presión sanguínea, temperatura, humedad, niveles de azúcar en la sangre, entre otros.

Acorde a lo anterior en el presente estudio se pretende hacer una recopilación de los estudios más importantes de los últimos años en el tema, teniendo en cuenta los siguientes aspectos: la aplicación de las WSN con el uso de sensores para el cuerpo humano en el cuidado de la salud y control de enfermedades; aplicaciones WSN para

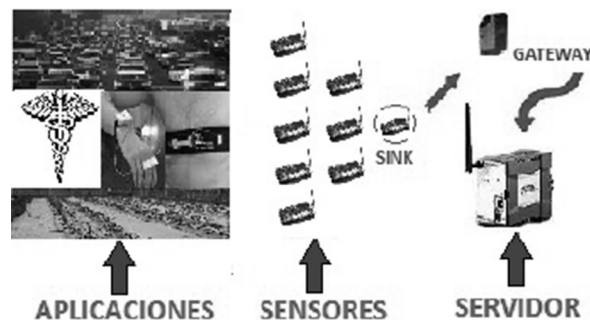
el cuidado de la salud y control de enfermedades que transmiten información en tiempo real; los problemas médicos que deben ser monitoreados para actuar de forma inmediata en pacientes que padecen este tipo de situaciones y que con la ayuda de la tecnología pueden ser tratados de forma más eficiente y como último aspecto, la aplicación de técnicas de minería de datos en aplicaciones WSN para cuidado de la salud y control de enfermedades.

1. APLICACIÓN DE WSN CON EL USO DE SENSORES PARA EL CUERPO HUMANO (BASN BODY AREA SENSOR NETWORK) EN EL CUIDADO DE LA SALUD Y CONTROL DE ENFERMEDADES.

1.1 REDES WSN.

De acuerdo con Akyildiz 2012 [3], se puede decir que las redes WSN se constituyen como una agrupación de múltiples sensores pequeños, dispersos en un determinado espacio con un fin específico, con la característica de ser redes de bajo costo, con poco consumo de energía y que transmiten señales a cortas distancias. Las WSN tienen una arquitectura de red basada en sensores que actúan en el área de influencia o trabajo, los cuales son los encargados de la captura de datos, también se encuentran los sensores nodo o principales denominados "sink", quienes reciben la información de los demás sensores y permitendeterminar la ruta para la transmisión de esta hacia la puerta de enlace (Gateway) y luego al servidor principal de procesamiento. En la figura 1 se puede apreciar la arquitectura general de una WSN.

FIGURA 1. Arquitectura WSN.



Las WSN trabajan con diferentes protocolos para la transmisión de datos, a continuación se relacionan los más importantes y usados en las mismas:

- Zigbee (802.15.4) [24]: es un protocolo de radiofrecuencia basado en el estándar de comunicaciones 802.15.4, es un protocolo de naturaleza inalámbrica muy utilizado en aplicaciones domésticas, teóricamente proporciona velocidades que están entre 40Kbps y 250Kbps, sus dispositivos son de bajo costo. El estándar permite la conexión de dispositivos a distancias entre 10 y 75 metros, dependiendo de la potencia de salida además operan en tres bandas libres que son 868 MHz, 915 MHz y 2,4 GHz [41].
- Bluetooth (802.15.1) [41]: es una tecnología inalámbrica de corto alcance cuyo objetivo es eliminar cualquier tipo de cable, exceptuando los de alimentación en los dispositivos, tanto portátiles como fijos. Bluetooth opera en la banda libre de 2,4 GHz, conocida como ISM (Industrial Scientific and Medical). Con esto se garantiza, en principio, que cualquier dispositivo pueda trabajar en cualquier parte del mundo.
- IrDA (Infrarrojos) [41]: enlace punto a punto, de bajo costo (el costo es menor que el de Bluetooth), de bajo consumo con tasas de transferencia desde 115 Kbps en dispositivos estándar hasta 4 Mbps en Fast IR (FIR) e insensible a las interferencias de radiofrecuencia, pero es sensible a interferencia infrarroja, particularmente en ambientes expuestos directamente a la luz solar. Las desventajas que presenta IR es que tiene un alcance de apenas un metro y que tanto el emisor como el receptor tienen que estar en línea visual, tolerando únicamente un ángulo de incidencia de 15 grados; además, no puede atravesar paredes u otros obstáculos físicos.
- 802.11: Se refiere a un conjunto de protocolos que permiten la transmisión de datos en forma inalámbrica, a diferencia de los anteriores es el que maneja mayores distancias y velocidades, tiene una serie de referencias y usos, el más común es el IEEE 802.11g, el cual apareció en junio de 2003 con el que se logran transmisiones de 54 Mbit/s en la banda de frecuencia de 2,4 GHz utilizando tecnología OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).
- Grape Monitoring [8]: Proyecto relacionado con el uso de sensores en la agricultura; fue de las primeras aplicaciones que se hizo, además se puede

decir que este campo ha sido favorecido y tema de investigación constante en la aplicación de las WSN.

- Landslide Detection [46]: Aplicación de sensores en la detección y predicción de posibles deslizamientos de tierra, sobre todo en situaciones climáticas de intensas lluvias y nieve derretida; complementaria con la anterior aplicación, pero más dirigida hacia el estudio de fenómenos naturales, también en este campo se tiene sensores para situaciones vulcanológicas entre otras.
- Passive Structural Monitoring [30]: Aplicación de sensores para el monitoreo de estructuras físicas como puentes y edificios; este tipo de estudios se enfocan más hacia las aplicaciones de hogares inteligentes (smart home), un campo que también concentra muchas investigaciones al respecto.
- Forest Fire Detection [22]: Proyecto dirigido hacia la aplicación de sensores en el monitoreo de incendios forestales; este tipo de aplicaciones pone como una alternativa viable a los sensores en la prevención y manejo de accidentes causado por el hombre o fenómenos ambientales.
- Red de sensores global [47]: Se trata de un proyecto Argentino que va en consonancia con una propuesta Europea de masificar la red de sensores inalámbricos (WSN), para hacer de ella una alternativa viable en múltiples aplicaciones; dado el auge de las redes WSN, desde Europa hasta América, hay una gran cantidad de proyectos relacionados con el tema y este estudio busca precisamente hacer de las WSN una opción real en la transmisión de datos y control de procesos.

Este documento podría sólo dedicarse a referenciar la cantidad de aplicaciones WSN que existen, pero ese no es el objetivo, con los anteriores ejemplos se puede hacer una idea de la importancia de este tipo de redes y del protagonismo que día a día van ganando, un aspecto que si interesa en este estudio es conocer los retos y dificultades que afrontan las mismas, entre los cuales se tiene [15]:

- Manejo y gestión de la energía para el funcionamiento de los sensores [19], es un problema muy importante desde el inicio de este tipo de redes y del mismo depende la masificación de los sensores para una mayor aplicabilidad de las WSN.
- Enrutamiento de la información [27], si bien es cierto que se han desarrollado diferentes algoritmos para ello, aún sigue siendo un problema el control del nodo principal (Sink) y la optimización en el envío de datos. Este problema reviste importancia por la arquitectura de las WSN que es dispersa, lo cual significa que los nodos no obedecen a una organización de agrupamiento específica, sino

que pueden estar enmarcados por la necesidad del contexto, lo que hace que definir el nodo "sink" pueda ser un problema y esto también puede suponer que la forma en que los demás nodos identificaran al mismo no sea tan sencillo.

- El software desarrollado aún tiene predominio de ser propietario [33], es un problema que hace dependiente el dispositivo (sensor) del fabricante. Ya se han desarrollado unas pocas aplicaciones de middleware abiertas, pero aún es un tema por desarrollar y abordar por los investigadores y programadores amantes del código abierto.
- Desarrollo de sensores con mayor inteligencia, tomando como referencia a Acedo 2008 [1], este es otro problema en el cual no se ha avanzado mucho, los sensores sólo detectan señales y a lo sumo envían un valor de una variable específica, otros son actuadores y responden generalmente a una acción mecánica, esta situación supone un reto latente para los fabricantes de sensores, donde las aplicaciones tengan mayor ámbito de acción en los problemas que se han enmarcado y que los sensores hagan parte complementaria y efectiva en el desarrollo de la solución de los mismos.
- La seguridad es otro reto para los investigadores [14], sobre este aspecto hay diferentes investigaciones que sostienen que este tema está limitando el desarrollo e implementación de las WSN, sobre todo por la búsqueda de protocolos de seguridad necesarios para el umbral entre las capas física y de enlace. Este problema es importante y va de la mano con el desarrollo de todo el contexto de aplicación de las WSN, sobre todo para llegar a convertirse en una red fiable y de gran uso.

Teniendo en cuenta la información general que se ha relacionado hasta ahora acerca de las WSN, es preciso nombrar algunas aplicaciones que relacionan directamente a este tipo de redes y el aspecto médico y cuidado de la salud:

- Wireless Sensor Networks for Healthcare [25]: Es un documento que expone el estado del arte de las aplicaciones WSN con la salud y medicina hasta el año 2010, habla acerca de los retos y dificultades que presenta este tipo de estudios hasta la fecha de publicación del mismo.
- High-Confidence Medical Devices [36]: Se refiere a un encuentro médico e ingenieril relacionado con el análisis de la aplicación de los dispositivos electrónicos, como sensores en el cuidado de la salud. El compendio de artículos que hace referencia esta cita es de un congreso médico, pero hace evidente la necesidad del uso de la tecnología en el mejoramiento del cuidado de la salud para las personas con el apoyo de la misma.

- M2M Communications for Healthcare [11]: Propuesta de diseño de una aplicación tecnológica para el uso de sensores en situaciones médicas. Este estudio tiene la particularidad de una nueva tendencia y es el M2M o también llamado: "Machine to Machine", que refiere a la comunicación directa entre dispositivos sin la intervención humana.
 - Medical applications of wireless sensor networks current status and future directions [26]: Estudio detallado de los BASN, estado del arte de las aplicaciones médicas y retos a futuro en este campo. El documento permite conocer el estado del desarrollo de las aplicaciones WSN en el campo médico y cuidado de la salud en general.
 - Cardio Sentinel: A 24-hour Heart Care and Monitoring System [31]: Aplicación con sensores para monitoreo remoto de señales cardiacas con teléfonos inteligentes (smartphones) activo las 24 horas del día. Este estudio refiere a un control continuo de pacientes con problemas cardiacos y toda la infraestructura necesaria para actuar en un determinado momento, en la arquitectura de este sistema se incorpora el uso de teléfonos inteligentes (smartphones) y sensores ECG principalmente.
 - E-Doctor: A Real Time Home Monitoring and Mobile Healthcare Plataform [50]: Plataforma que pretende implementar un sistema en tiempo real de monitoreo y control de pacientes, usa como red de transmisión de datos Bluetooth, donde cada paciente tiene un teléfono inteligente (smartphone) como puerta de enlace (gateway) y un sensor como detector de señales y variables médicas.
 - Assessment of a telemetry monitoring system (Movicorde) developed in Cuba [45]: Estudio controlado de pacientes con problemas cardiovasculares durante un periodo de tres años con asistencia periódica a un centro de investigación acondicionado como gimnasio, la novedad de este sistema es que captura de manera inalámbrica hasta 8 señales de pacientes al mismo tiempo y procesa la información en una base de datos para su posterior análisis. Hasta ahora se ha desarrollado para trabajo local con una red LAN (Local Area Network).
 - Monitor de señales de electrocardiografía y frecuencia cardiaca mediante un teléfono móvil con el protocolo de comunicación Bluetooth [7]: Es un estudio que propone la captura de datos con un sensor ECG para el análisis de señales cardiacas, que envía los datos del sensor al celular del usuario, hasta el momento ese es el máximo grado de amplitud, a futuro los investigadores esperan que se use la red de telefonía celular para difusión de la información capturada.
 - Monitoramento Remoto de Pacientes en Ambiente Domiciliar [9]: Aplicación que propone el uso de dos sensores para monitorear a pacientes sobre diferentes aspectos médicos, con un sensor se analiza datos fisiológicos y con el otro datos de movimiento, esta aplicación trabaja con la red Internet para el envío de datos a una central remota, de manera local usa una red LAN y supone el uso de celulares o equipos de cómputo para hacer las veces de puerta de enlace (gateway).
- El anterior compendio de estudios e investigaciones son una parte de la gran cantidad de aplicaciones que existen alrededor del tema propuesto, lo cual da una línea de base importante para aplicaciones futuras. Por otro lado se debe destacar los aspectos comunes de las investigaciones enunciadas y los temas que generan nuevos desafíos alrededor del campo de estudio propuesto, entre lo cual se puede destacar:
- Seguridad, incluyendo la integridad, privacidad y el control de acceso [25]: La integridad entendida como la garantía que deben dar los sistemas para el envío de información sin que ocurra que esta sea adulterada o interferida por otro dispositivo que actúe en el mismo rango de acción. La privacidad, como la garantía contra el posible robo de información y mal uso de esta con fines poco éticos. El control de acceso, entendido como el conjunto de políticas y mecanismos para que solo el personal autorizado tenga acceso a la información. El tema de la seguridad siempre será transversal al desarrollo de aplicaciones inteligentes para la salud y otras áreas.
 - Escasez de recursos [25]: esta situación va asociada a la necesidad de nuevos desarrollos en el tema de hardware y software que permitan potencializar las redes WSN y su aplicabilidad con la medicina y el cuidado de la salud.
 - Comunicación en tiempo real: Si bien es cierto que se ha logrado el monitoreo remoto de aspectos médicos que antes era imposible hacerlo, el tiempo de respuesta y acción sobre el problema presentado, aún sigue siendo bajo y esto debido principalmente a la falta de aplicaciones con respuesta en tiempo real.
 - Consolidación y correlación de información de muchos pacientes: A excepción de ciertos trabajos como [45], que propone el trabajo con 8 pacientes al tiempo, son pocas las investigaciones que relacionan un sistema distribuido con aplicación y análisis de datos de varios pacientes simultáneamente.
 - Sistemas de minería de datos aplicados al análisis de información capturada por sensores y WSN: Este es

otro campo con mucho futuro por explorar, y va de la mano con el desarrollo de los anteriores desafíos, por cuanto permitirá establecer patrones relativos a las señales vitales de grupos de pacientes que puedan tener la misma patología.

- Sensores especializados con mayor capacidad de procesamiento: En el campo de la electrónica el reto de mejorar los dispositivos de captura y procesamiento de datos de las WSN es una tarea con mucho futuro, este tipo de redes se están convirtiendo en populares y de gran aplicación, esto trae consigo la necesidad de mejorarlas día a día.

1.2 SENSORES PARA WSN EN EL CUIDADO DE LA SALUD Y CONTROL DE ENFERMEDADES.

Un aliado y elemento principal en las WSN son los sensores, estos dispositivos que pueden ser utilizados desde aplicaciones tan sencillas como medir la temperatura, detectar la humedad, la velocidad del viento, hasta el cuidado delicado de los signos vitales de una persona, son fundamentales para los propósitos de la medicina moderna y cuidado de la salud presente y futuro. En esta parte del documento se referirá a los más comunes y sobre todo a los relacionados con el tema que atañe.

En el campo de la medicina y cuidado de la salud se han desarrollado una serie de sensores que pueden estar asociados a diferentes situaciones que afectan al ser humano, al conjunto de estos sensores que podrían hacer parte del cuerpo humano de una determinada persona se le denomina: red de sensores del cuerpo humano (su sigla en inglés: BASN), El listado de sensores puede ser muy grande y continuamente se están desarrollando nuevos, tanto en la industria como en investigaciones científicas, tomando como referencia a Hanson et al[21], se pueden identificar tres grandes categorías de sensores aplicados en la medicina y cuidado de la salud:

- Sensores fisiológicos (Physiological sensors), en este grupo están los relacionados con los que miden la presión arterial, medición de la glucosa en la sangre, electrocardiografía, electroencefalograma, etc.
- Sensores biocinéticos (Biokinetic sensors), en este grupo se encuentran los sensores que registran los movimientos del cuerpo humano.
- Sensores ambientales (Ambient sensors), este grupo lo conforman aquellos que miden los fenómenos ambientales como la humedad, la luz, el nivel de presión sonora y la temperatura.

Acorde a lo anterior, a continuación se relacionan algunos ejemplos de estos grupos de sensores que se encuentran referenciados en Pantelopoulos et al [39]:

- Sensor Electrocardiograma - ECG: Es un sensor de electrodos que se ubica en el pecho y funciona enviando las señales cardiacas.
- Sensor para la presión arterial (Blood pressure): es un sensor que se ubica en el brazo y se refiere a la fuerza ejercida por la circulación de la sangre en las paredes de los vasos sanguíneos, especialmente las arterias.
- Sensor para medir la temperatura del cuerpo o la piel: Funciona como un termómetro para el cuerpo.
- Sensor para medir la tasa de respiración (Respiration rate): Indica los valores de inspiración y espiración por unidad de tiempo.
- Sensor para medir la saturación de oxígeno (Oxygen saturation): Es un sensor que trabaja con la sangre del cuerpo humano y determina los niveles de oxígeno de la misma.
- Sensor para medir la frecuencia cardiaca (Heart rate): Mide la frecuencia del ciclo cardiaco.
- Sensor para la transpiración de la piel: Permite determinar el comportamiento del cuerpo con respecto al sudor.
- Sensor para detectar los sonidos del corazón (Heart sounds): Funciona como un fono cardiograma.
- Sensor para medir la glucosa en la sangre (Blood glucose): Es complementario a los sensores que trabajan con la sangre, este mide la cantidad de glucosa en la sangre.
- Sensor Electromiograma - EMG: Sensor para medir la capacidad física de los músculos del cuerpo humano.
- Sensor Electroencefalograma - EEG: este sensor trabaja señales eléctricas que genera el cerebro.
- Sensor de movimiento (Body movements): Permite registrar los movimientos del cuerpo humano en una determinada área.

En los últimos años estos dispositivos han ido aumentando considerablemente a la medida de las necesidades y nuevas investigaciones, por ello se prevee desde ya una nueva generación de sensores para el cuerpo humano, tal y como lo afirman Ashrafy Hassanien [5], quienes nombran 4 nuevos grupos:

- Dispositivos que no incomodan o perturban (Non-Obtrusive Devices), se trata de la mejora que deben tener los actuales sensores que son molestos para el cuerpo humano, ya sea por su tamaño, su peso o la radiación de energía que emiten. La nueva generación tiene el reto de hacerlos más pequeños, con mayor duración y mejor alcance, aunque dada su necesidad en aspectos específicos que requieren cierto volumen, no serán del todo pequeños.

- Dispositivos parásitos (Parasitic Devices), son sensores que ya se usan en las BASN, pero que aún requieren mayor evolución, estos dispositivos no deben ser sentidos por el usuario (paciente), deben permitir el normal desarrollo del movimiento por quien los lleva, su volumen deberá ser muy pequeño y el consumo de energía de estos dispositivos debe ser de unos pocos milivatios.
- Dispositivos simbióticos (Symbiotic Nodes), estos sensores son de corte invasivo y ya se ha dado algunos avances en los mismos, estos dispositivos ingresan al cuerpo humano, por ende su tamaño es muy pequeño, casi microscópico y a futuro se busca que sean biocompatibles con el cuerpo que los aloja.
- Dispositivos Bio-inspirados (Bio-Inspired Nodes), este es el avance que se espera de los sensores, a futuro serán más inteligentes y serán uno sólo con el cuerpo que los contiene. Este tipo de dispositivos hará uso de la nanotecnología y biología molecular para su desarrollo. Estos dispositivos funcionarán de manera autónoma, alimentada por las reacciones químicas inspirados en sistemas biológicos.

También existen algunos desafíos y problemas que deben afrontar los sensores para lograr un óptimo rendimiento y un buen acoplamiento en la solución de las necesidades que día a día aparecen en el campo médico para el cuidado de la salud y control de enfermedades, para Ashraf y Hassanien [5], estos desafíos son: de tipo físico, principalmente en la relación con el tamaño de los sensores, mejorar en la sensibilidad de los mismos, manejo óptimo y eficiente de la energía necesaria para su funcionamiento, mejorar en la forma de capturar y transmitir datos, mayor compatibilidad entre sensores sin importar el fabricante y manejo de ancho de banda; en la parte de capa de enlace el desafío es mejorar en la calidad del servicio; en la capa de red el desafío está en las mejoras que se puedan hacer en cuanto al enrutamiento, con lo cual se podría tener una mejor optimización del consumo de energía y velocidad de procesamiento; en la capa de transporte, se requiere pensar ya en un protocolo fiable de entrega de la información, situación que hoy no sucede y que es vital para el campo de la salud, sobre todo para saber si la información llegó correctamente para poder actuar acorde a la situación; en la capa de aplicación, los desafíos son hacia el desarrollo de sistemas cada vez más inteligentes, automáticos y que permitan el autoaprendizaje; como desafíos generales que tiene los sensores para el campo de la salud

y control de enfermedades Ashraf y Hassanien [5] resaltan: la mejoras continuas que exige el campo de la seguridad de la información, la privacidad de los datos, en consecuencia con el secreto médico, la facilidad en el uso de los mismos, facilidad de implementación y escalabilidad y por último la movilidad, que debe facilitar el desplazamiento de los usuarios, independiente que tengan o no un sensor.

Como se puede notar el tema de sensores es muy amplio y extenso, hasta ahora se ha mencionado las categorías que existen, los sensores más comunes, las nuevas generaciones que se proponen y los desafíos que enfrentan ahora y a futuro.

2. APLICACIONES WSN PARA EL CUIDADO DE LA SALUD Y CONTROL DE ENFERMEDADES QUE TRANSMITEN INFORMACIÓN EN TIEMPO REAL.

Luego de un primer acercamiento a las redes WSN y la definición e identificación de los sensores que acompañan a las mismas en las aplicaciones relacionadas con el cuidado de la salud y control de enfermedades, se pretende en esta sección ahondar un poco más en aquellas que tienen que ver directamente con la transmisión de datos en tiempo real y que permiten actuar en determinados casos de acuerdo a la necesidad que se presente.

En primera instancia se hará un listado de las aplicaciones más comunes que atañen al campo de estudio, luego se hará un comparativo entre las mismas, identificando principalmente el tipo de protocolo que usa la red WSN, los sensores, el tipo de puerta de enlace que relaciona (Gateway) y la cantidad de pacientes al tiempo que permite monitorear.

Desde el año 2009 a la fecha de publicación de este artículo las principales aplicaciones consideradas en la literatura que refieren al cuidado de la salud y control de enfermedades con apoyo de la tecnología, que usan redes WSN y que propenden por la transmisión en tiempo real son:

- E-Doctor: A Real Time Home Monitoring and Mobile Healthcare Platform [50], usa protocolo Bluetooth, la aplicación funciona con sensores fisiológicos (Physiological sensors), como Gateway utiliza teléfonos inteligentes (smartphones) y permite monitorear varios pacientes al tiempo.

- Using Heterogeneous Wireless Sensor Networks in a Telemonitoring System for Healthcare [12], Es un modelo de aplicación que propone una arquitectura que use múltiples protocolos, que trabaje con sensores fisiológicos (Physiological sensors) y sensores biocinéticos (Biokinetic sensors), los gateways también serán múltiples y se podrá tratar a varios pacientes al mismo tiempo.
 - Application of Virtual Mobile Networking to Real-Time Patient Monitoring [42], es una aplicación piloto que utiliza el protocolo Bluetooth, como Gateway un teléfono inteligente y trabaja con sensores fisiológicos de un paciente.
 - Using Smart Phones and Body Sensors to Deliver Pervasive Mobile Personal Healthcare [13], es una aplicación experimental que usa un teléfono inteligente como Gateway, el protocolo Bluetooth, sensores fisiológicos, específicamente ECG (para monitorear el ritmo cardíaco), la red internet para transmitir datos al centro remoto. El prototipo simula los datos que debería generar el sensor.
 - Unobstructive Body Area Networks (BAN) for Efficient Movement Monitoring [18], Aplicación piloto simulada, trabaja con el protocolo Bluetooth y Zigbee (802.15.4), propone un sistema redundante en caso de que falle un protocolo, utiliza sensores fisiológicos y sensores biocinéticos.
 - Arquitectura de e-Salud basada en redes inalámbricas de sensores [10], aplicación investigativa que trabaja con sensores fisiológicos, protocolo Zigbee (802.15.4) con puente hacia WiFi y como Gateway utiliza un computador personal.
 - Cardio Sentinel: A 24-hour Heart Care and Monitoring System [31]: Aplicación con sensores para el monitoreo remoto de señales cardíacas con teléfonos inteligentes (smartphones) activo las 24 horas del día. Este estudio refiere a un control continuo de pacientes con problemas cardíacos y toda la infraestructura necesaria para actuar en un determinado momento, en la arquitectura de este sistema se incorpora el uso de teléfonos inteligentes (smartphones) y sensores ECG principalmente
 - Robust medical adhoc sensor networks (MASN) with wavelet-based ECG data mining [23], es una de las aplicaciones clásicas que junto con otras como "Codeblue" de la Universidad de Harvard y MEDiSN [17] fueron las precursoras de los tratamientos médicos y control de enfermedades con la tecnología y específicamente con el uso de sensores. Esta aplicación ha seguido innovando y su enfoque hacia la transmisión en tiempo real la hace vigente, utiliza diferentes protocolos y diferentes sensores.
 - Monitor de señales de electrocardiografía y frecuencia cardíaca mediante un teléfono móvil con el protocolo de comunicación Bluetooth [7], aplicación de tratamiento local de señales cardíacas a un paciente, con captura en tiempo real y visualización de la información en un celular. Usa el protocolo Bluetooth y sensores fisiológicos.
 - Real Time Healthcare System for Patients with Chronic Diseases in Home and Hospital Environments [32], es una aplicación que propone la captura de datos en tiempo real mediante sensores fisiológicos, se comunica al Gateway que puede ser un teléfono inteligente o un computador personal.
 - Resource-aware Secure ECG Healthcare Monitoring Through Body Sensor Networks [48], Prototipo de desarrollo de una aplicación inalámbrica para el monitoreo de señales cardíacas en un paciente con redes WSN, trabaja con sensores fisiológicos, con protocolos de red de la familia IEEE 802.11, como Gateway propone teléfonos inteligentes.
 - Ubiquitous healthcare service using Zigbee and mobile phone for elderly patients [28], aplicación piloto dirigida a 29 pacientes para el control de signos vitales en pacientes de edad avanzada, utiliza sensores fisiológicos, el protocolo elegido es el Zigbee (802.15.4) y como Gateway utiliza un teléfono inteligente.
- No todas las anteriores aplicaciones se han diseñado para funcionar en tiempo real, algunas sólo lo estiman como una mejora futura y otros realizan la captura en tiempo real pero no el análisis de la información para una alerta o tratamiento específico, en la tabla 1 se ha resumido y compilado las características de los diferentes sistemas analizados, en la misma se puede observar la tendencia hacia el uso de teléfonos inteligentes para la captura y transmisión de datos provenientes de los sensores de las WSN es alta, así como también el uso del protocolo Bluetooth, otro aspecto importante para resaltar es que aún con los avances de los investigadores y la tecnología en el campo de la telemedicina, aún no es una constante el manejo en tiempo de real de la información procedente de un paciente que está siendo monitoreado.

3. SITUACIONES MÉDICAS Y CUIDADO DE LA SALUD QUE PUEDEN REQUERIR EL USO DE LAS REDES WSN EN TIEMPO REAL.

Existen algunos aspectos dentro de la medicina y el cuidado de la salud que requieren más atención que otros, puesto que de los mismos puede depender la vida de una persona, como ejemplo de estas situaciones se

tiene el monitoreo constante del corazón a pacientes con problemas cardíacos, monitoreo a pacientes de la tercera edad que padecen problemas de memoria y en general el monitoreo de situaciones que puedan poner en peligro la vida de las personas sino se tratan a tiempo.

En esta parte del documento se ha recopilado los aspectos médicos que pueden ser tratados mediante diferentes aplicaciones de la telemedicina, que podrían utilizar las redes WSN en tiempo real para el monitoreo de los mismos y también se mencionará algunas aplicaciones que ya lo hacen.

Se podría decir que todo aspecto médico es susceptible de un control y monitoreo con la ayuda de latecnología, pero hay algunos que requieren más ayuda tecnológica que otros y hay unos cuantos en los que es imprescindible que se cuente con un apoyo mayor para poder salvar una vida, a continuación se referencia a los aspectos médicos más relevantes que se han enfocado hacia el uso de sistemas que se apoyan en la telemedicina y que acorde con el tema de este documento están relacionados con las redes WSN.

- Cuidado de pacientes de la tercera edad y niños: Este tipo de cuidado reviste mucha importancia y requiere de controles específicos en ciertas áreas, en algunos casos no tienen una enfermedad asociada como tal, sino que requieren de un control acerca de la movilidad de este tipo de pacientes y cuidado de los peligros que por su edad temprana o avanzada puedan estar expuestos.
- Enfermedad de Alzheimer (EA) y situaciones mentales: Es una enfermedad crónica, progresiva y degenerativa del cerebro. El curso de la EA es variable y dura entre 5 y 20 años. Representa entre 60% y 80% de todos los casos diagnosticados de demencia, siendo por tanto el más frecuente [20]. La demencia, problemas de personalidad bipolar, entre otros también son importantes y a tener en cuenta a la hora de monitorear a pacientes que las padezcan.
- Las enfermedades cardiovasculares (ECV): Las enfermedades cardiovasculares son un conjunto de trastornos del corazón y de los vasos sanguíneos. Se clasifican en: hipertensión arterial (presión alta), cardiopatía coronaria (infarto de miocardio), enfermedad cerebro vascular (apoplejía), enfermedad vascular periférica, insuficiencia cardíaca, cardiopatía reumática, cardiopatía congénita y miocardiopatías [38].
- Enfermedad de Parkinson (EP): Esta enfermedad es una patología neurodegenerativa causada por la pérdida de células dopaminérgicas en la sustancia negra mesencefálica. Esto produce una disfunción de los núcleos basales que se manifiesta con síntomas motores como temblor, rigidez y bradicinecia, entre otros [2].
- Cáncer: Es uno de los grandes retos de la medicina moderna y busca su detección y control a tiempo, el desarrollo de nuevos sensores podrían ayudar a detectarlo aún sin necesidad de biopsias.
- Asma: El asma es un trastorno respiratorio crónico que se caracteriza por ataques recurrentes de disnea y sibilancias. Algunas causas y desencadenantes son comunes a todas las personas que sufren la enfermedad, pero hay también diferencias individuales. Aunque las causas últimas del asma no se conocen del todo, los factores de riesgo más importantes son productos inhalados, entre los que cabe citar los siguientes: alérgenos en espacios cerrados (por ejemplo los ácaros del polvo presentes en la ropa de cama, las alfombras y los muebles tapizados, la contaminación y la caspa de los animales domésticos); alérgenos en espacios exteriores (como pólenes y mohos); humo de tabaco, y; productos químicos irritantes en el lugar de trabajo. Otros factores desencadenantes pueden ser el aire frío, una emoción extrema, de enfado o miedo, y el ejercicio físico [38].

Los anteriores aspectos se podrían considerar los más relevantes, pero no los únicos en el campo médico y cuidado de la salud que actualmente tienen algún tipo de ayuda o propenden por la inclusión de las tecnologías como las redes WSN, sensores y transmisión de datos en tiempo real, para un monitoreo y control continuo de los mismos, y por ende una mejora en el campo de la salud.

En consonancia con los anteriores requerimientos médicos que necesitan atención y ayuda de la tecnología para un óptimo control y monitoreo de los mismos, a continuación se nombran algunas aplicaciones en los temas antes señalados:

TABLA 1. Cuadro comparativo aplicaciones con WSN y transmisión en tiempo real.

Aplicación	Protocolo	Tipo de Sensor	Gateway	Varios Pacientes	Tiempo Real
E-Doctor	Bluetooth	Fisiológicos	Teléfonos inteligentes	Si	No
Using heterogeneous wireless sensor networks in a telemonitoring system for healthcare.	Varios	Fisiológicos y Biocinéticos	Varios	Si	Si
Application of virtual mobile networking to real-time patient monitoring.	Bluetooth	Fisiológicos	Teléfono inteligente	No	Si
Usign smart phones and sensor bodys to deliver pervasive mobile personal healthcare.	Bluetooth	Fisiológicos (ECG)	Computador personal	No	No
Unbstructive body area networks (BAN) for efficient movement monitoring.	Bluetooth y Zigbee	Fisiológicos y Biocinéticos	Computador personal y teléfono inteligente.	No	Si
Arquitectura de e-salud basada en redes inalámbricas de sensores.	Zigbee	Fisiológicos	Computador personal	No	Si
Cardiosentinal	Bluetooth	Fisiológicos	Teléfono inteligente	Si	Si
Robust medial and hoc sensor networks (MASN) with wavelet-based ECG data mining.	Varios	Varios	Varios	Si	Si
Monitor de señales de electrocardiografía y frecuencia cardiaca mediante un teléfono móvil con el protocolo de comunicaciones Bluetooth.	Bluetooth	Fisiológicos	Teléfono inteligente	No	Si
Real time healthcare system for patients chronic with diseases in home and hospital environments.	Bluetooth y Zigbee	Fisiológicos	Teléfono inteligente y computador personal	Si	Si
Resource-aware secure ECG Healthcare monitoring through body sensor networks.	IEEE 802.11	Fisiológicos	Teléfono inteligente	No	No
Ubiquitous healthcare service using Zigbee and mobile phone for elderly patients.	Zigbee	Fisiológicos	Teléfono inteligente	Si	No

Aplicaciones para enfermedades cardiovasculares:

- Diseño de un prototipo de pulsímetro inalámbrico para la monitorización de pacientes pediátricos [29]: Aplicación que permite transmitir de manera inalámbrica las mediciones de frecuencia cardiaca de un paciente pediátrico. El trabajo es más desde el punto de vista electrónico y se enfoca hacia el desarrollo del pulsímetro. Es de uso local y no permite un control remoto del paciente en tiempo real.
- Hybrid wireless sensor network for home care monitoring of chronic patients [16]: Aplicación híbrida que utiliza sensores fijos en la casa y sensores en el cuerpo del paciente, su enfoque busca la transmisión en tiempo de real de las situaciones que pueda experimentar el paciente que está siendo monitoreado, particularmente está dirigido al control de la apnea de sueño, control del ritmo cardiaco y alertas acerca de la cotidianidad médica que debe tener el paciente.

- Mobile Telecare System for Real Time Medical Emergency Care [44]: Aplicación que propone la creación de un centro de asistencia remota a pacientes con situaciones de emergencia médica, principalmente monitorea signos vitales y transmisión en tiempo real de la situación.
- Implementation of an automated ECG-based diagnosis algorithm for a wireless body sensor platform [43]: Aplicación para el control en tiempo real de señales cardíacas con sensores ECG.

Aplicaciones para el cuidado de niños y personas de la tercera edad:

- The Hermes Shoe Platform [49]: Aplicación que utiliza una serie de sensores en los zapatos de los pacientes, con el fin de monitorear los movimientos de los mismos y la estabilidad que presenta la persona que usa dichos sensores.
- Wireless Healthcare Monitoring with RFID Enhanced Video Sensor Networks [4]: Sistema de vigilancia remoto a pacientes de la tercera edad, utiliza las redes WSN y RFID para el monitoreo continuo.

Aplicaciones para la enfermedad de Alzheimer (EA) y otras enfermedades mentales:

- PSYCHE: Personalised Monitoring Systems for Care in Mental Health [40]: Aplicación que permite el monitoreo de pacientes con trastornos de estado de ánimo, específicamente trastornos bipolares, la aplicación recolecta información mediante sensores que están ubicados en el cuerpo del paciente y también en la ropa del mismo, con el fin de analizar los datos y saber la tendencia posible del paciente, así como los avances en el tratamiento aplicado a la enfermedad que padece.
- Non-intrusive Patient Monitoring of Alzheimers Disease Subjects Using Wireless Sensor Networks [6]: Sistema de monitoreo para pacientes que padecen Alzheimer, permite hacer seguimiento a los movimientos del paciente y genera alertas en situaciones predeterminadas.

Como se puede observar la unión tecnología y medicina están evolucionando a favor de los usuarios, lo que permitirá mejores procesos y mayor campo de aplicación, sin embargo los retos y problemas a solucionar también son importantes y estos hacen que el desarrollo sea tan rápido como se quisiera. También se puede identificar que la mayoría de las aplicaciones médicas con el uso de WSN están enfocadas hacia el monitoreo de enfermedades cardiovasculares y de movilidad de las personas principalmente, lo cual hace que en este

campo las mejoras sean más evidentes y la evolución de los sensores también sea importante. En otros campos de la salud como el de la demencia y el Parkinson aún el desarrollo es bajo, pero ya se tienen antecedentes que pueden marcar la ruta para un mayor desarrollo.

4. MINERÍA DE DATOS EN APLICACIONES WSN.

En el presente estudio se ha presentado una serie de aplicaciones médicas relacionadas con la telemedicina, el cuidado de la salud, el control de enfermedades y monitoreo remoto de pacientes con la ayuda de latecnología, específicamente con las redes WSN, el uso de sensores para el cuerpo (BASN) y la transmisión de datos en tiempo real, sin embargo hay otro aspecto importante que se debe tener en cuenta y es el relacionado con el almacenamiento y procesamiento de la información capturada, puesto que tan importante como obtenerla generar alertas sobre posibles anomalías, también es relevante saber procesar la misma para generar informes que hagan más útil el almacenamiento de datos, por ello en esta parte del documento se hará referencia a un concepto importante en la captura de información que refiere a la denominada Minería de datos.

Tomando como referencia a Ochoa et al [37], se puede decir que la minería de datos (MD) o por su nombre en inglés Data Mining es el proceso de extraer conocimiento útil y comprensible, previamente desconocido, desde grandes cantidades de datos almacenados en distintos formatos, una característica fundamental de la minería de datos es que acorde con las herramientas que se utilicen las mismas pueden predecir futuras tendencias y comportamientos, permitiendo en diferentes campos donde aplique la toma de decisiones.

Las herramientas para minería de datos están asociadas al tipo de software que se utilice y al motor de base de datos que se emplee, por ello existe una variedad de alternativas, tanto de código abierto como de tipo propietario. Ejemplos ampliamente conocidos de código abierto son: Weka V3.6.2(www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/) y Pentaho [37]. En el campo que a tñe este documento, las herramientas de minería de datos serían el complemento perfecto para el análisis y procesamiento de la información recolectada por las diferentes aplicaciones que monitorean uno o varios aspectos médicos de los pacientes, pero aún no son la constante en el desarrollo de las mismas, como ejemplo estadístico se tiene las aplicaciones mencionadas en este documento, de las cuales sólo en las siguientes se hace referencia a aspectos relacionados con minería de datos, a continuación se detalla las mismas:

- Body area sensor networks: challenges and opportunities [21]: Este es un estudio de las tendencias de la red de sensores inalámbricos aplicadas al cuerpo humano (BASN), donde se menciona la necesidad de utilizar las herramientas de minería de datos para el análisis de la información capturada por los sensores, si bien no es una aplicación es un documento que indica la tendencia que a futuro debe darse con este tipo de soluciones para el cuidado de la salud y control de enfermedades.
- CardioSentinal: A 24-hour Heart Care and Monitoring System [31]: Esta aplicación propone la creación de un centro de datos, el cual estaría equipado con herramientas de minería de datos para el análisis de los datos cardiacos capturados, identificando las tendencias y patrones en los pacientes monitoreados.
- Monitoramento Remoto de Pacientes em Ambiente Domiciliar [9]: Esta aplicación no tiene explícito en su arquitectura un centro de datos, pero analiza y compara los datos de varios pacientes, identificando similitudes y diferencias, situación que deja entrever un acercamiento al concepto de minería de datos.
- PSYCHE: Personalised Monitoring Systems for Care in Mental Health [39]: Esta aplicación para pacientes con trastornos mentales, tiene implícito un módulo de minería de datos, con el fin de analizar comportamientos y evolución de la enfermedad tratada, que en este caso se refiere a trastornos bipolares.
- Real Time Healthcare System for Patients with Chronic Diseases in Home and Hospital Environments [32]: Esta aplicación también incorpora herramientas de minería de datos y lo hace para realizar diagnósticos precisos y predecir los futuros datos médicos y eventos. La lectura de datos se recibe y se almacena en la base de datos central hasta que se requiera.
- Robust medical ad hoc sensor networks (MASN) with wavelet-based ECG data mining [23]: Esta aplicación incorpora una herramienta para minería de datos y trata de establecer comportamientos en la captura de datos del sensor ECG.
- A Distributed Network Management Approach to WSN in Personal Healthcare Applications [35]: Es una aplicación para pacientes de la tercera edad, monitorea sus comportamientos y hace seguimiento al proceso, también incorpora herramientas de minería de datos.

5. CONCLUSIONES

Las redes WSN constituyen una nueva alternativa viable para el control de procesos, el desarrollo en este campo promete nuevos avances y aplicaciones que permitirán hacer efectivo un mejor cuidado de la salud y control médico de personas que así lo requieran. Así mismo, el desarrollo de las redes WSN se complementa en dos frentes: El desarrollo de sensores y las aplicaciones para el monitoreo y análisis de los datos recolectados

Los sensores cada vez son más pequeños, más inteligentes y con diversas posibilidades de aplicación, se prevee que a futuro su rango de acción será extenso y su integración con las aplicaciones médicas será transparente y efectiva en el cuidado de la salud y control de enfermedades.

Las aplicaciones de telemedicina con soluciones WSN en tiempo real están en continuo desarrollo y dado el auge de la minería de datos en todos los campos de estudio, a futuro se espera una mayor innovación en este campo, la cual aún no se ha desarrollado plenamente, por cuanto hay otros problemas que se están solucionando y son necesarios para el funcionamiento de este tipo de redes, tales como el problema de la energía, el enrutamiento, la transmisión de datos en tiempo real, la seguridad entre otros, aspectos que se han analizado en este estudio.

6. REFERENCIAS

- [1] ACEDO, M., MOLINA, M., SILVA, R., MARCIANO, M. y PORTILLA, R. Revisión del proceso de identificación de nodos en las wireless sensor networks. CIDETEC-IPN. Departamento de Posgrado. Área de Telemática. Unidad Profesional Adolfo López Mateos. C.P. 07700, México, D.F., MÉXICO, 2008.
- [2] AGUILAR, Oscar, SOTO, Camila, and ESGUERRA, Mauricio. Neuropsychological changes associated with deep brain stimulation of Parkinson disease: Theoretical review. 18(2), 2011.
- [3] AKYILDIZ, I., SU, W., SANKARASU, BRAMANIAM, Y. and CAYIRCI, E. A survey on sensor networks. IEEE Communication, page 40, 2012.
- [4] ALEMDAR, Hande, DURMUS, Yunus, and ERSOY, Cem. Wireless healthcare monitoring with rfid-enhanced video sensor networks.2010 (473037), 2010.

- [5] ASHRAF, Darwish, and HASSANIEN, Aboul Ella. Wearable and implantable wireless sensor network solutions for healthcare monitoring, 2011.
- [6] AVVENUTI, M., BAKER, C., LIGHT, J., TULPAN, D. and VECCHIO, A. Nonintrusive patient monitoring of alzheimers disease subjects using wireless sensor networks,2010.
- [7] BECERRA, Luna, BRAYANS, Dávila, GARCÍA, Rodrigo, SALGADO RODRÍGUEZ, Paola, MARTÍNEZ MEMIJEJA, Raúl, y INFANTE VÁZQUEZ, Óscar. Monitor de señales de electrocardiografía y frecuencia cardiaca mediante un teléfono móvil con el protocolo de comunicación Bluetooth. ELSEVIER DOYMAN - Archivos de cardiología de México, 82:197–203, 2012.
- [8] BURRELL, J., BROOKE, T. and BECKWITH, R. Vineyard computing: Sensor networks in agricultural production. IEEE Pervasive Computing, page 3, 2004.
- [9] CARVALHO, Sergio T., ERTHAL, Matheus, MARELI, Douglas, SZTAJNBERG, Alexandre, COPETTI, Alessandro, y LOQUES, Orlando. Monitoramento remoto de pacientes em ambiente domiciliar. Instituto de Computacao Universidade Federal Fluminense (UFF) - Instituto de Informática Universidade Federal de Goiás (UFG) –Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), 2011.
- [10] CERVANTES DE AVÍLA, Humberto, NIETO, Juan Iván, SÁNCHEZ, LÓPEZ, Juan de Dios, MARTÍNEZ, Miguel Enrique, ROSAS, Memijeja, y HAWA CALVO, Aram. Arquitectura de e-salud basada en redes inalámbricas de sensores. 6(2), 2012.
- [11] CHENG, Kwang. Machine-to-machine communications for healthcare. Journal of Computing Science and Engineering, 6:119–126, 2012.
- [12] CORCHADO, Juan M., BAJO, Javier, TAPIA, Dante I. and ABRAHAM, Ajith. Using heterogeneous wireless sensor networks in a telemonitoring system for healthcare.14 (2), 2010.
- [13] CRILLY, Patrick, and MUTHUKUMARASAMY, Vallipuram. Using smart phones and body sensors to deliver pervasive mobile personal healthcare, 2010.
- [14] CUSACK, Brian, and KYAW, ArKar. Forensic readiness for wireless medical systems. In 10th Australian Digital Forensics Conference, Novotel Langley Hotel, Perth, Western Australia, 3rd-5th December, 2012.
- [15] DELICATO, F., PIRES, P., PIRMEZ, L. and BATISTA, T. Wireless sensor networks as a service. In 17th IEEE International Conference and Workshops on Engineering of Computer-Based Systems, 2010.
- [16] DOB RESCU, Radu, POPESCU, Dan, NICOLAE, Maximilian, and MOCANU, Stefan. Hybrid wireless sensor network for homecare monitoring of chronic patients. 3, 2009.
- [17] EGBOGAH, Emeka, E. and FAPOJUWO, Abraham, O.A survey of system architecture requirements for health care-based wireless sensor networks, 2011.
- [18] FELISBERTO, Filipe, COSTA, Nuno, RIVEROLA, Florentino Fernandez, and PEREIRA, António. Un obstructive bodyare a networks (BAN) for efficient movement monitoring, 2012.
- [19] GÓMEZ, B. y CARMONA, J.V. ¿Sabes quién soy abuelo?,2006.
- [20] HANDY, M., HAASE, M. and TIMMERMANN, D. Institute of appliedmicroelectronics and computer science university of Rostock. Richard-Wagner-Str. 31, 18119 Rostock, Germany, 2005.
- [21] HANSON, Mark A., POWELL, Harry C., BARTH, Adam T., RINGGENBERG, Kyle, CALHOUN, Benton H., TAYLOR, James H. and LACH, John. Bodyarea sensor networks: challenges and opportunities. 2009.
- [22] HARTUNG, C., HAN, R., SEIELSTAD, C. and HOLBROOK, S. Firewxnet: A multi-tiered portable wireless system for monitoring weatherconditions in wildland fire environments. Proc. of the 4th Int. Conf.on Mobile Systems, Applications and Services (MobiSys), 2006.
- [23] HU, Fei, JIANG, Meng, CELENTANO, Laura, and XIAO, Yang. Robust medical adhoc sensor networks (masn) with wavelet-based ECG data mining, 2008.
- [24] KHUSVINDER, Gill, SHUANG-HUA, Yang, FANG, Yaoy, and LU, Xin. Azigbee-based home automation system. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 55, 2009.

- [25] KO, JeongGil, LU, Chenyang, SRIVASTAVA, Mani B., STANKOVIC, John A., TERZIS, Andreas, and WELSH, Matt. Wireless sensor networks for healthcare. IEEE 2010, 98, 2010.
- [26] KRESIMIR, Grgic, DRAGO, Zagar, and VISNJA, Krizanovic. Medical applications of wireless sensor networks current status and future directions. MEDICINSKI GLASNIK Official publication of the Medical Association of Zenica-Doboj Canton, Bosnia and Herzegovina, 9:23–31, 2012.
- [27] KUMAR, P., SINGH, M. and TRIAR, U. A review of routing protocols in wireless sensor network. National Institute of Technology Patna, Bihar, India. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 1, 2012.
- [28] LEE, Hak Jong, LEE, Sun Hee, HA, Kyoo-Seob, JANG, HakChul, CHUNG, Woo-Young, KIM, Ju Young, CHANG, Yoon-Seok, and YOO, Dong Hyun. Ubiquitous healthcare service using zigbee and mobile phone for elderly patients, 2009.
- [29] LLAMOCA, CHAHUA, KIOKO, Yessenia. Diseño de un prototipo de pulsímetro inalámbrico para la monitorización de pacientes pediátricos, 2012.
- [30] LYNCH, J. and LOH, K. A summary review of wireless sensors and sensor networks for structural health monitoring. Shock and Vibration Digest, 2006.
- [31] MIN, Gao, QIAN, Zhang, LIONEL, Ni, YUNHUAI, Liu, and XIAOXI, Tang. Cardiosentinal: A 24-hour heart care and monitoring system. Journal of Computing Science and Engineering, 6:67–78, 2012.
- [32] MOHAN, Gouri, and SINCIYA, P. O. Real time healthcare system for patients with chronic diseases in home and hospital environments, 2013.
- [33] MOTTOLA, Luca, and PIETRO, Gian. Middleware for wireless sensor networks: An outlook. This work is partially supported by the European Union through the project makeSense (FP7-ICT-2009-5-258351) and the Cooperating Objects Network of Excellence (CONET, FP7-2007-2-224053), 2008.
- [34] MOTTOLA, Luca, and PIETRO, Picco Gian. Programming wireless sensor networks: Fundamental concepts and state of the art. ACM Journal Name, V, 2008.
- [35] NAVARRO, Karla Felix, LAWRENC, Elaine, HOANG, Doan, and YANG, Lim Yen. A distributed network management approach to WSN in personal healthcare applications. 3(1), 2010.
- [36] NCO/NITRD. National coordination office. High-confidence medical devices: Cyber-physical systems for 21st century health care. Prepared by the High Confidence Software and Systems Coordinating Group of the Networking and Information Technology Research and Development Program, 2009.
- [37] OCHOA REYES, Alexeis Joel, GARCÍA, Arturo Orellana, SÁNCHEZ CORALES, Yovannys, y DAVILA HERNÁNDEZ, Frank. Webcomponent for the analysis of clinical information using the technique of clustering data mining, 2013.
- [38] OMS. Enfermedades cardiovasculares, 2013.
- [39] PANTELOPOULOS, Alexandros y BOURBAKIS, Nikolaos G. A survey on wearable sensor-based system for health monitoring and prognosis. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetic Part C: Applications and Reviews, 40, 2010.
- [40] PARADISO, R., BIANCHI, A. M., LAU, K. and SCILINGO, E.P. Psyche: Personalised monitoring systems for care in mental health. 2(10), 2010.
- [41] PASCUAL, Carlos Marin. Bluetooth: Criterios de selección y comparativa con otras tecnologías inalámbricas. Técnica Industrial, 298:76–80, 2012.
- [42] REHUNATHAN, Devany, BHATTI, Saleem. Application of virtual mobile networking to real-time patient monitoring, 2010.
- [43] RINCÓN, Francisco J., GUTÉRREZ, Laura, JIMÉNEZ, Mónica, DÍAZ, Víctor, KHALED, Nadia, ATIENZA, David, SÁNCHEZ, Marcos, RECAS, Joaquín, and DE MICHELI, Giovanni. Implementation of an automated ECG based diagnosis algorithm for a wireless body sensor platform, 2009.
- [44] RIVERA RODRÍGUEZ, R., SERRANO SANTOYO, A., TAMAYO FERNÁNDEZ, R. and ARMENTA RAMADE, A. Mobile telecare system for real time medical emergency care. 13(1), 2012.

- [45] RIVERO VARONA, Martha Mireya, RIVAS, Eduardo, CARTAYA LOPEZ, Mary Eugenia, VALLES CRUZ, Juliette, MEISSIMILLY GONZÁLEZ, Gay, HERNÁNDEZ, Susana, y ARMAS ROJAS, Nurys B. Assessment of a telemetry monitoring system (movicorde) developed in cuba. *Revista Cubana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular – Órgano Oficial de la Sociedad Cubana de Cardiología*, 18, 2012.
- [46] SHETH, A., TEJASWI, K., MEHTA, P., PAREKH, C., BANSAL, R., MERCHANT, S.SINGH, T., DESAI, U., THEKKATH, C. and T OYAMA, K. Senslide: Asensor network based landslide prediction system. *Proc. of the 3rdInt. Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys)*, 2005.
- [47] SOSA, Eduardo. Contribuciones al establecimiento de una red global de sensores inalámbricos interconectados. *Phdthesis, facultad de informática – Universidad Nacional de La Plata Argentina*, 2011.
- [48] WANG, Honggang, PENG, Wei Dongming, WANG, Dartmouth, SHARIF, Hamid, CHEN, Hsiao-Hwa, and KHOYNEZHAD, Ali. Resource-aware secure ECG healthcare monitoring through body sensor networks, 2010.
- [49] WENDT, James B. and POTKONJAK, Miodrag. Medical diagnostic based sensor selection.3 (11), 2011.
- [50] ZHANG, Jin ad ZHANG, Qian. E-doctor: A real time home monitoring and mobile healthcare plataform. *IEEE COMSOC MMTCE-Letter*, 6, 2011.