

# Design of a ubiquitous architecture Arduino-based telemedicine for monitoring signals through biometric technology LTE

Yair Rivera, Msc  
Programa de Ingeniería de Sistemas  
Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, Colombia  
yrivera2@unisimonbolivar.edu.co

**Abstract**— The paper focused on the design of open telematics architecture for telemedicine, linked to a mobile and ubiquitous based in Arduino device, a standalone device with direct connection to the cellular data network LTE (Long Term Evolution). The device developed allows multiplexing biometric readings through the adaptation of specialized Sensors and distributed in different parts of the body: Glucometer Sensor, Body Temperature Sensor, Blood Pressure Sensor (Sphygmomanometer), Pulse and Oxygen in Blood Sensor (SPO2), Airflow Sensor (Breathing), Galvanic Skin Response Sensor (GSR - Sweating), Electrocardiogram Sensor (ECG), Electromyography Sensor (EMG). The hardware wireless modem connection is TELIT Le910, which allows obtain geo positioning signal of each patient in real time through GPS positioning system GLONASS with biometric readings.

**Keywords**—LTE, Arduino, ECG, EMG, SPO2, GPS, GLONASS.

## I. INTRODUCTION

Cada vez mas los servicios hospitalarios basados en telemedicina asocian sus servicios ofrecidos de forma remota con la ubicación geográfica del paciente; actualmente existe una gran variedad de servicios en prueba e implementados en sistemas de soluciones cerradas con una extensión cada vez mayor en los sistemas de transmisión inalámbrica; esto debido en gran parte al aumentos masivo de la tecnologías móviles en áreas remotas y de difícil acceso, en donde el acceso múltiple a una red de datos a través de dispositivos móviles era casi imposible; acorde al boletín trimestral de las TIC en Colombia, durante el cuarto trimestre del 2014, el número total de usuarios móviles es de (5.565.663), cantidad comprendida por usuarios de 3G(3.751.593), usuarios de 4G(1.134.987) y finalmente por usuarios de 2G(679.083)[1]; este aumento masivo de usuarios viene acompañado junto al desarrollo de tecnologías emergentes en el campo de la telemedicina y la telemetría, las cuales han permitido la implementación de servicios ubicuos, servicios implementados en dispositivos médicos de alta gama bajo un desarrollo cerrado, lo que lo hace poco flexible para implementar cambios, y solo son asequible por grandes compañías medicas con un alto precio en el

mercado [2]. Con base a lo anterior se pretende plantear una arquitectura Open Source, centrado en un diseño modular basado en Arduino para telemedicina, lo que lo hace flexible a cambios y fácilmente adaptable; Un dispositivo inteligente, dotada de un conexión autónoma e inalámbrica a una red de datos celular de 4G a través del MODEN transmisor TELIT Le910, el dispositivo permite obtener un censo biométrico en tiempo real a través de la interfaces especializadas, donde se multiplexan las señales junto con el geo posicionamiento del paciente, todo con la finalidad de aprovechar al máximo todos los servicios y recursos médicos acentuados en infraestructuras hospitalarias fijas o móviles en un momento dado, así como médicos especialistas ubicados en zonas remotas, inclusive en otros países.

## II. DESARROLLO DE LA PLATAFORMA Y MODELAMIENTO

A través de la nueva arquitectura telemática se pretenden dar bases a servicios especializados, los cuales necesitan una alta transferencia de datos con un mínimo de retardo en la transmisión, teniendo en cuenta la movilidad y el geo posicionamiento del paciente[3]. Estos servicios se apoyarían en tecnologías móviles como la red celular 4G LTE, la cual establece una transferencia alta de transmisión datos, 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, estableciendo una conexión directa punto a punto e identificada por una miniSIMCARD; la conectividad de todos estos servicios móviles estaría basada en todo una arquitectura diseñada en el protocolo IP, tanto para la transferencia de voz como para la de video y datos, lo que facilita potencializar los servicios asociados a la QoS(Quality of Service) [4][5][6], optimizando así el traspaso de información de forma inalámbrica en tiempo real. El desarrollo sería totalmente modular y flexible programado bajo el controlador open source Arduino. Garantizando plena conectividad y movilidad en el territorio Colombiano o en zonas de difícil acceso[7].

### A. Monitoreo del sistema y Tiempo Real.

El desarrollo modular estaría programado en Arduino, una versión simplificada de C++, esto permite agregar librerías open source especializadas según los módulos seleccionados a trabajar, el Arduino uno contiene un micro controlador

principal ATmega328; para observar su configuración Ver figura 1, capaz de realizar tareas de alto rendimiento a través de 23 líneas de propósito general, adicionalmente tiene 32 registros con 3 temporizadores a modo de comparación, equipado con 54 entradas/salidas digitales para obtener valores ya sean digitales o análogos, contiene además un cristal oscilador de 16MHz, lo que hace posible obtener valores codificados de forma sincronizada con otros módulos, los cuales fueron desarrollados para realizar funciones específicas; para este caso en particular sería el censado de señales biométricas, esta captura de datos permitiría obtener valores indispensables para conocer el estado vital en todo paciente de forma remota a través de la placa modular e-Health Sensor PlatforV2.0. Esta sincronización se realiza de forma directa entre las 2 plataformas administrada con base al puerto SPI(Serial Peripheral Interface),el cual es un estándar de comunicación serial para el intercambio de señales digitales[8],[9],[10]. Finalmente la sincronización entre estas 2 plataformas se da de forma dependiente, el tipo de configuración maestro/esclavo entre estos módulos establece un multiplexado de datos para la toma y envío de este tipo señales codificadas, lo que permite ejecutar un código para el censado de varias señales biométricas con diferentes sensores, esta comunicación estaría regulada a través de 4 señales básicas[11][12]: SCLK (Reloj): Sincronización de bits, SS/Select: Selección tipo de comunicación Master/Eslave, MOSI (Master Output Slave Input): salida de bits Master y entrada de bits al Slave, Finalmente la señal MISO (Master Input Slave Output): salida de bits del Slave y entrada de bits al Master.

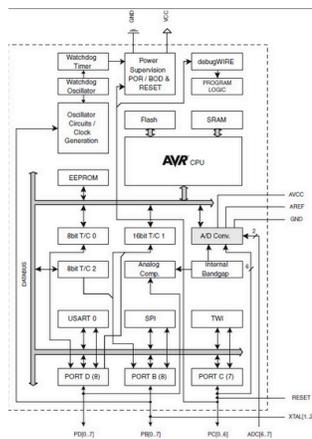


Fig. 1: Diagrama de bloque del controlador ATmega328[13].

### B. Censado y transmisión de datos biométrico.

Las señales captadas por los sensores biométricos son codificados y multiplexada por la placa e-Health Sensor PlatforV2.0[14]; Ver figura 2; toda una plataforma diseñada para la adaptación de sensores especializados en el cuerpo humano. El censado es tomado en tiempo real y los datos codificados son enviados para su procesamiento a través del puerto de comunicación SPI.

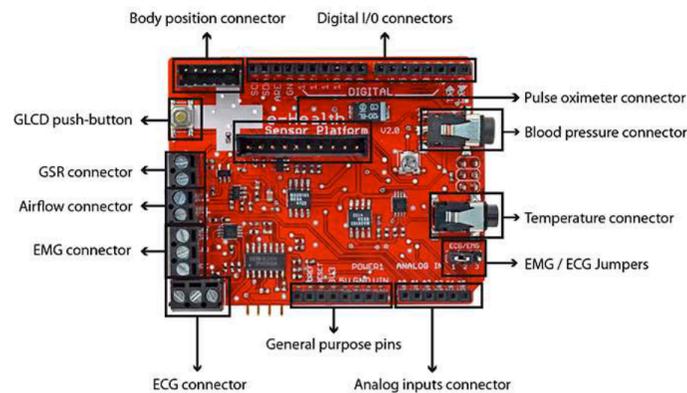


Fig. 2: e-Health Sensor PlatforV2.0[14].

A partir de la codificación de este tipo de señal biométrica, la placa base puede disponer de estos valores para realizar vectores de datos; estos vectores son transformados para ser enviados y almacenados en un sistema persistente almacenado en la web junto con la ubicación geográfica de cada paciente; La comunicación inalámbrica se establece con una baja potencia a través del modem 4G TELIT Le910; Ver Figura 3 para la shield electronica para arduino, el cual permite una conexión directa con la red de datos IP de la red celular LTE; esta tecnología permite velocidades de hasta 100Mbps de bajada en movimiento y 1Gps en reposo, 50Mbps de datos en subida y un ancho de banda de 20 Mhz, este aumento significativo en las tasas de transmisión es debido a la implementación la modulación (64 QAM).



Fig. 3. Shield Modem 4G LTE[18]

Para el geo posicionamiento del paciente el modulo permite conectarse directamente a un sistema básico de localización satelital, para que se pueda realizar este enlace el modem se conecta al sistema satelital GPS o GLONASS con un rango operación de 1.65V a 5.5V voltios, lo que facilita su portabilidad y un manejo eficiente de la energía [19], a diferencia de otros modem de conexión modular como el sim908[20], el cual requiere un consumo adicional de hasta 7V para su sincronización, este último solo es compatible con el sistema GPS y 3G [21]. Esta geo referenciación GPS ligada al modem TELIT Le910 se da a través de una tecnología acceso al medio, la cual permite una comunicación multiplexada por división de código(CDMA), es decir, todos los usuarios comparten el mismo espacio de radiofrecuencia, pero cada señal es identificada a través de un código[16]; finalmente el

aumento de transmisión de datos en el modem es debido al sistema de modulación utilizada BPSK o modulación por desplazamiento de fase, esta determina un mayor rendimiento en el ancho de banda, gracias a su configuración e implementación de símbolos [19].

### C. Modelamiento del sistema.

Para tener una visión más organizada del diseño, la tecnología y de su integración con los respectivos servidores y terminales de datos, es necesario realizar un modelamiento entre los diferentes actores, así como la forma en que ellos interactúan con la plataforma, es decir se debe especificar la lógica del área especializada con base al diagrama UML(Unified Modeling Language)[22][23] y así poder determinar los componentes del sistema ,Como se observa en la Fig. 4.

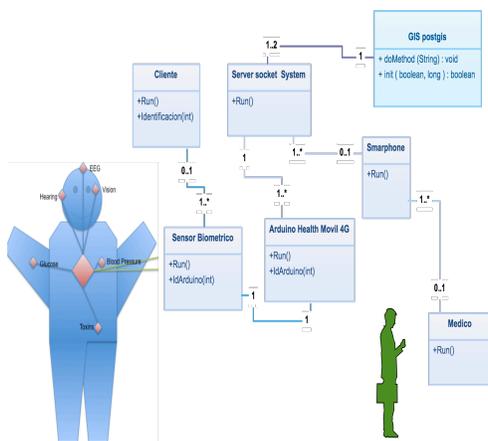


Fig. 4. Diagrama UML, Plataforma del Sistema [23]

Dentro del modelamiento del sistema existe un módulo con una relación única con cada paciente, físicamente está compuesto por un módulo de identificación internacional SIMCARD de datos, el cual identifica a cada paciente asociándolo a un número id internacional IMSI(International mobile subscriber identity), un número compuesto por el código del país, el del operador de la red de datos y finalmente por el MSIN(mobile subscription identification number)[24]; A partir de este módulo SIMCARD se establece una comunicación segura a través de un protocolo de seguridad; este protocolo se basa en un método de autenticación con soporte en una llave de autenticación temporal de 64 bits, la cual es adoptada por algoritmos criptográficos para su cifrado, el primero A3 para la autenticación del subscritor, A8 para la generación de la llave y A5 para una radio encryption en el espectro electromagnético [25]; gracias a este tipo de codificación se establece un canal de comunicación blindado para la transferencia de los datos. Ahora bien, en cuanto a la infraestructura tecnológica para el almacenamiento de los datos, la tecnología cuenta con un sistema itinerante instalado y configurado en forma de servidor de aplicaciones open source, encargado de tomar los datos censados y enviados por el dispositivo móvil a través del protocolo ubicuo HTTPS, el

cual contiene la función GET, necesaria para la identificación y envío final de los datos en la web en forma de vector[26][27]. Desde el servidor de aplicaciones on line, cualquier persona previamente identificada por el sistema puede consultar los datos censados y almacenados, a partir de cualquier dispositivo móvil con conexión a la red de datos y con una aplicación móvil instalada y previamente configurada.

### D. Visualización de los Datos.

Teniendo en cuenta que el sistema permite registrar la geo-referenciación del paciente a través de consultas de datos geoespaciales, y relacionarlo al mismo tiempo con infraestructuras físicas identificables de la salud, por tal razón se implementa una arquitectura de servicios multicapa; A través de la capa de aplicación se atiende los requerimientos funcionales necesarios para el intercambio de los datos a través de la web [28]. Se definen consultas geo espaciales relacionadas con una serie de funciones potenciadas para la cartografía y el espacio, es decir, se brindan una serie de servicios de geo código, los cuales toman como parámetro de entrada las coordenadas geoespaciales de cada paciente, estas a la vez se correlacionan con cada coordenada geoespacial de cada infraestructura hospitalaria y otro datos no geo espaciales como servicios médicos especializados, lo que permite generar consultas inteligentes basadas en un sistema geo espacial de la salud, es decir un GIS(Geographic Information System), Como se observa en la figura 5. [25] [26]

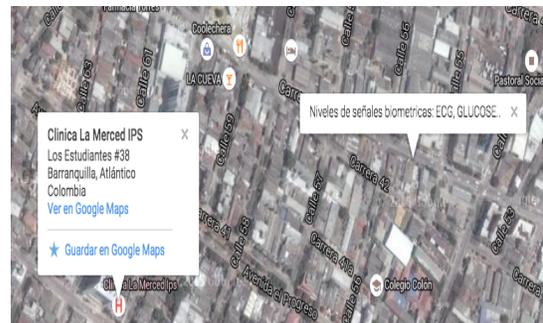


Fig. 5: Visualización GIS y servicios móviles [29].

Para su visualización la capa de datos interactúa directamente con los servicios remotos ofrecidos a través de Google Maps JavaScript API, con ayuda de estos recursos y los tipos de datos geo espaciales se establece una vista unificada de servicios de forma nativa a través de la web, toda esta arquitectura garantiza una extensión especializada para representar y analizar datos espaciales; para el almacenamiento de la información se cuenta con un servidor de base de datos en PostgreSQL y un motor de datos espaciales en PostGIS, se plantea entonces un middleware necesario para dar soporte a consultas geográficas en la web desde cualquier dispositivo que se conecte a la internet con un navegador [31][32], Como se observa en la figura 6. Finalmente el sistema permite ofrecer excelentes mecanismos de indexación espacial, en especial sobre los datos almacenados del paciente ,su entorno , recursos médicos y hospitalarios[33][32].

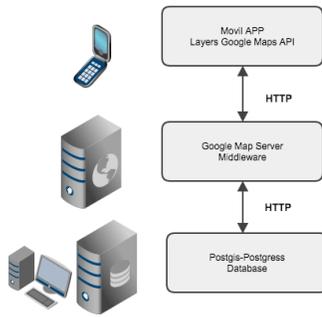


Fig. 6: Capa Unificada de servicios[31].

### E. Otras aplicaciones y arquitectura final.

En la actualidad se han planteado otras aplicaciones en telemedicina para el monitoreo de señales biométricas de forma inalámbrica, basadas en el concepto de asistencia médica, es decir en el censado y almacenamiento de datos sin necesidad de la intervención humana[34]; Aplicaciones como el HeartMapp desarrolladas bajo Android, permiten tener una lectura constante de las señales cardiacas y almacenar los datos de forma local o remota, dependiendo de si hay conexión a una red de datos o no, en este punto se relacionan datos relevantes del paciente para definir alguna tendencia significativa. Con todo lo anterior la aplicación movil depende de un sensor ECG para la lectura cardiaca, el cual se comunica vía Bluetooth con el dispositivo móvil, haciendo la arquitectura más compleja, ya que hay un punto más en la comunicación[35]; Otras tecnologías similares como el PATRIOT son funcionales en la nube y pretenden mostrar lecturas en tiempo real haciendo una sincronización de servicios a través del protocolo HTTP, al igual que HeartMapp intervienen 3 puntos en la comunicación, el procesador de señales para la censometria, el dispositivo móvil que sirve como extensión ya sea a través de los estándares de comunicación inalámbrica Wi-fi o Bluetooth y el servidor de aplicaciones que permite almacenar los datos en la web [36]; Todas Estas soluciones hacen relevancia en una extensión de la comunicación para el censado, más que en un dispositivo con conexión autónoma y directa con la red de datos móvil.

### III. CRITERIO DE SELECCIÓN TECNOLÓGICA

Para el desarrollo de la plataforma se estableció un criterio de comunicación basado en la prestación de servicios convergentes; toda una infraestructura de banda ancha fija e inalámbrica, centrada en el cubrimiento y la movilidad del paciente; en especial en aquellas zonas rurales y de difícil acceso en la geografía colombiana, para esto se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: Potencia, Cubrimiento, Movilidad y Ancho de Banda, Como se muestra en la Figura 8[37]. Esta ventaja significativa en la tecnología LTE o 4G se logra gracias a la optimización incremental de las tecnologías de acceso en radiocomunicación RNC(Radio Network Controller) y BSC(Base Station Controller), con un soporte en la distribución de servicios con el BTS(Base Transceiver Station), donde aplica una nueva técnica de eficiencia espectral

basado en la división de frecuencia ortogonal para múltiples usuarios OFDMA(Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) para DOWNLINK, y SC-FDMA(Single Carrier Frequency Divison Multiple Access) para UPLINK[38]; Esta arquitectura en hardware permite realizar una transferencia de datos mucho más rápida con unos tiempos de acceso a 30 ms [5], ya que la tecnología LTE emplea una banda de 700 Mhz, aprovechando así una mejor cobertura y eficiencia espectral, idóneo para los efectos multipath; disminuyendo en gran medida los retardos en la comunicación hasta conseguir un total de 10 ms [4]; Gracias a la eficiencia espectral se permite lograr una mayor cobertura hasta 100km y disminuir los tiempos en la comunicación con baja potencia, cada dispositivo final obtiene una mayor aprovechamiento de la energía y potencia, obteniendo así una batería con más horas de transmisión de datos en el tiempo [39], de tal manera que LTE nos ofrece la posibilidad de cubrir aquellas necesidades en telemetría que por motivos técnicos son muy difíciles de cubrir con otros estándares de comunicación inalámbrica como Wifi, Bluetooth o 3G[40].

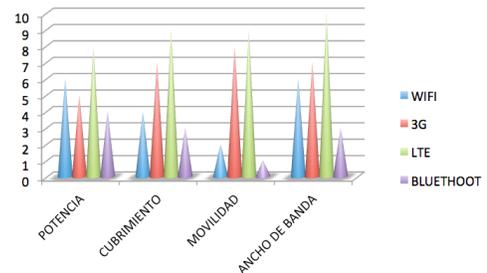


Fig. 7: Criterio de seleccion de tecnología Movil.

### IV. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

Se definió el diseño y la arquitectura telemática de un dispositivo móvil open source basado en Arduino capaz de censar y multiplexar señales biométrica que mapean los signos vitales de paciente, con la finalidad de codificar estos valores y enviarlos junto con su ubicación geográfica a través de una red de datos inalámbrica con tecnología LTE soportada en su totalidad por el protocolo IP; en el otro extremos de la comunicación el valor es almacenado en un sistema itinerante, un sistema de información geográfica de la salud ubicada en la web, con funcionalidad de relacionar la información geográfica de cada paciente con la infraestructura física de los servicios hospitalarios y el historial clínico, además de generar una integración que permite una vistas de servicios unificados.

### REFERENCES

- [1] M. de tecnologías de la información y las comunicaciones-R. de colombia MINTIC, "BOLETIN TRIMESTRAL DE LAS TIC, Cifras Cuarto Trimestre de 2014," Bpogota-Colombia, 2015.
- [2] M. Lisón, Á. Martínez, and F. García, "Integración de herramientas Open Source para la Monitorización del Sistema Informático," *Dialnet.Unirioja.Es*, pp. 148–155, 2010.

- [3] N. Figuerola, "Internet de las cosas," *PMQuality*, 2014.
- [4] E. Técnica, S. D. I. Universidad, and P. Comillas, "Redes móviles terrestres: 4g," pp. 1–12, 2010.
- [5] V. Khare, S. Garg, S. Shukla, and P. Sharma, "Comparative Study of 1G, 2G, 3G and 4G," *J. Eng. Comput. Appl. Sci.*, vol. 2, no. 4, pp. 55–63, 2013.
- [6] S. M. S. Al-majeed and M. Fleury, "H . 265 Codec over 4G Networks for Telemedicine System Application," 2014.
- [7] S. Tamilselvan and D. Prabakar, "LTE Approach for Real Time Applications in Telemedicine Using FMC," vol. 2, no. 10, pp. 1917–1924, 2013.
- [8] T. Olsson, D. Gaetano, J. Odhner, and S. Wiklund, "Open Softwear. Fashionable prototyping and wearable computing using the Arduino," pp. 1–104, 2009.
- [9] A. G. Smith, *Introduction to Arduino*. 2011.
- [10] W. Durfee, "Arduino Microcontroller Guide," *Univ. minnesota*, pp. 1–27, 2011.
- [11] S. Monk, *30 Arduino Projects for the evil genius*. 2010.
- [12] B. Dfrobot, "DF ROBOT 32 Servo Controller USB."
- [13] C. C. By-sa, "Introduction to Arduino // Basic Arduino reference sheet : Support : Forums :," 2012.
- [14] A. De Barranquilla, "DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE ARDUINO- MOBILE IN AREA OF TELEMEDICINE FOR REMOTE MONITORING DIABETIC," *Comput. Aided Syst. Eng. (APCASE), 2015 Asia-Pacific Conf.*, pp. 36 – 40.
- [15] Y. L. Was, D. J. Sengupta, A. Kumar, and Divya, "Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G to 4G," *Desenbre 2010*, vol. 7109, p. 5, 2010.
- [16] U. Mobile, C. Division, M. Access, H. Speed, P. Access, and I. P. Internet, "1 Estudio de las características técnicas de LTE y su nivel de concordancia con los requerimientos de IMT-avanzado establecidos por la Unión Internacional de," 1998.
- [17] P. Mtro and A. Salazar, "TECNOLOGÍAS MÓVILES," pp. 1–9.
- [18] I. Board, "41. LE910 Interface."
- [19] D. A. G. Álvarez, "Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)," p. 124, 2008.
- [20] Y. E. R. Julio, "Development of a Prototype Arduino-Mobile in Area of Telemedicine for Remote Monitoring Diabetic People," in *Computer Aided System Engineering (APCASE), 2015 Asia-Pacific Conference on*, Quito: IEEE, 2015, pp. 36–40.
- [21] J. Carmona and J. Luis, "MOVICUO : Comunicaciones móviles de última generación y software libre para la ubicuidad 1," in *Libro de actas de las III Jornadas de Software Libre de la Universidad de Cádi*, 2006.
- [22] J. D. D. B. Paredes, "Desarrollo Orientado a Objetos con UML," pp. 1–38, 2002.
- [23] P. S. and Systems, "Modelado de Sistemas com UML Popkin Software and Systems," *System*, 2001.
- [24] J. Bava, "Telemedicina sobre movil IP," p. 66, 2004.
- [25] J. Andr, "A n á l i s i s y E s t u d i o d e R e d e s G P R S," 2005.
- [26] L. Miguel, C. Mart, and F. a C. Her, *INTRODUCCIÓN A TCP / IP Sistemas de Transporte de Datos*. .
- [27] D. T. Britt and C. Matthews, "Front cover TCP / IP Tutorial and," *Contract*, vol. 1, no. December 2006, p. 1004, 2006.
- [28] Comment ça marche, "Web Services," pp. 1–21, 2013.
- [29] R. Flor, "Modelado de datos para bases de datos espaciales. Caso de estudio: sistemas de información geográfica," vol. I, p. 134, 2008.
- [30] M. Garc, "Curso de PostGIS 2.0 - PATHIII, Tegucigalpa 2013 Documentation," 2014.
- [31] R. E. Roth and K. S. Ross, "Extending the Google maps API for event animation mashups," *Cartogr. Perspect.*, no. 64, pp. 21–31, 2009.
- [32] S. Hu and T. Dai, "Online Map Application Development Using Google Maps API , SQL Database , and ASP . NET," vol. 3, no. 3, pp. 102–110, 2013.
- [33] P. Eisentraut, B. Helmle, N. Matthew, R. Stones, T. Mitchel, and A. Emde, "Tutorial „Einführung in PostgreSQL mit PostGIS unter MS Windows“," pp. 1–17, 2009.
- [34] S. Alberto, A. Quiroz, E. Especialización, and T. Upb, "Redes de sensores inalámbricos utilizando zigbee/802.15.4," vol. 11, pp. 1–6.
- [35] M. Di Sano, A. Perez, A. Miguel, and F. Giovannetti, "Demonstration Paper : HeartMapp : A Mobile Application to Improve CHF Outcomes and Reduce Hospital Readmissions," 2015.
- [36] A. Antoniou, E. S. Valchinov, I. Chatzigiannakis, P. Athanasios, C. Alexakos, and P. Konstantinopoulos, "Patriot : Delivering Instant Heart Observation with a miniature wearable ECG and Cloud Platform," pp. 177–182, 2015.
- [37] S. Adhikari, "Error Quantification of Topographic Index in Relation to Terrain Condition and Grid Spacing," p. 92, 2008.
- [38] K. Raghunath and A. Chockalingam, "SC-FDMA versus OFDMA: Sensitivity to large carrier frequency and timing offsets on the uplink," in *GLOBECOM - IEEE Global Telecommunications Conference*, 2009.
- [39] K.-C. Chen, "Machine-to-Machine Communications for Healthcare," *J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 119–126, 2012.
- [40] L. A. Nueva, E. R. A. D. E. Las, and C. Tácticas, "Opini3n," pp. 1–26, 2015.