

Sistema de telemonitoreo de salud en casa para “Titulación de Medicamentos” en el tratamiento de la insuficiencia cardíaca: Arquitectura para una solución interoperable

Giovanny Barbosa-Casanova [¶], Juan C. Vanegas-Serna, Henry Andrade-Caicedo

Grupo de Dinámica Cardiovascular, Centro de Bioingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

Resumen— La insuficiencia cardíaca es una condición común en la que el corazón es incapaz de suministrar los volúmenes de sangre suficiente al organismo. Por lo tanto, el oxígeno y los nutrientes ya no son capaces de llegar a las células cardíacas, lo que empeora la situación de todo el corazón. Tratar a un paciente con IC es un desafío debido a las comorbilidades y los numerosos medicamentos asociados con el tratamiento. Dosis médica a través de la titulación de los inhibidores de la ECA (IECA), bloqueadores de los receptores de la angiotensina (ARA), beta bloqueadores y otros fármacos son procedimientos recomendados para reducir la morbilidad y la mortalidad en los pacientes con IC. Sin embargo, el procedimiento se realiza bajo supervisión médica en el hospital, con una duración de una a cuatro semanas. Proponemos un sistema de telemonitoreo para ayudar a los médicos a seguir al paciente a través del proceso de titulación de medicamentos en casa. Utilizamos dispositivos médicos comerciales, certificados con estándares internacionales de comunicación para asegurar la interoperabilidad. Independientemente del productor o la marca, estos pueden funcionar correctamente en la arquitectura diseñada. Hasta el momento, somos capaces de conectar dos dispositivos médicos, un medidor de presión arterial y una balanza, a un concentrador de datos. A continuación, los datos son redirigidos a la nube, donde la información se almacena en una base de datos. Utilizamos una aplicación comercial para visualizar los datos a través de una interfaz gráfica amigable.

Palabras clave—Informática de Salud, Insuficiencia Cardíaca, Interoperabilidad, Dispositivo de Salud Personal, Telemedicina.

HOME HEALTHCARE TELEMONITORING SYSTEM FOR “MEDICATION TITRATION” IN THE TREATMENT OF HEART FAILURE: ARCHITECTURE FOR AN INTEROPERABLE SOLUTION

Abstract—Heart failure is a common condition in which the heart is unable to keep up with its workload. Therefore, oxygen and nutrients are no longer able to reach the cardiac cells, which worsens the situation of the whole heart. Treating an HF patient is challenging due to the co-morbidities and the numerous medications associated with the treatment. Medical dosage through titration of ACE inhibitors (ACEIs), Angiotensin receptor blockers (ARBs), beta-blockers and other drugs is a recommended procedure to

[¶] Dirección para correspondencia: geiner.barbosa@upb.edu.co

reduce morbidity and mortality in HF patients. However, the procedure is performed under medical supervision at the hospital, lasting from one to four weeks. We propose a telemonitoring system to help clinicians to follow the patient through the Medication Titration procedure at home. We used commercial medical devices, certified on international communication standards to assure interoperability. Independently of the producer or brand, they can operate properly in the designed architecture. So far, we are able to connect two medical devices, blood pressure meter and weight scale, to a data hub. Then the data is rerouted to the cloud, where information is stored in a database. We use a commercial application to visualize the data through a friendly graphical interface.

Keywords—Health Informatics, Heart Failure, Interoperability, Personal Health Device, Telemedicine.

SISTEMA DE TELEMONITOREO DE SAÚDE EM CASA PARA "TITULAÇÃO DE MEDICAMENTOS" NO TRATAMENTO DA INSUFICIÊNCIA CARDÍACA: ARQUITETURA PARA UMA SOLUÇÃO INTEROPERABLE

Resumo—A insuficiência cardíaca é uma condição comum na que o coração é incapaz de fornecer os volumes de sangue suficiente ao organismo. Portanto, o oxigênio e os nutrientes já não são capazes de chegar às células cardíacas, o que piora a situação de todo o coração. Tratar a um paciente com IC é um desafio devido às morbidades e os numerosos medicamentos associados com o tratamento. Dose médica através da titulação dos inibidores da ECA (IECA), bloqueadores dos receptores da angiotensina (ARA), beta bloqueadores e outros fármacos é um procedimento recomendado para reduzir a morbidade e a mortalidade nos pacientes com IC. No entanto, o procedimento realiza-se baixo supervisão médica no hospital, com uma duração de uma a quatro semanas. Propomos um sistema de telemonitorio para ajudar aos médicos a seguir ao paciente através do processo de titulação de medicamentos em casa. Utilizamos dispositivos médicos comerciais, certificados em padrões internacionais de comunicação para assegurar a interoperabilidade. Independentemente do produtor ou a marca, eles podem funcionar corretamente na arquitetura desenhada. Até o momento, somos capazes de ligar dois dispositivos médicos, um medidor de pressão arterial e uma balança, a um concentrador de dados. A seguir, os dados são dirigidos à nuvem, onde a informação se aloja num banco de dados. Utilizamos um aplicativo comercial para visualizar os dados através de uma interface gráfica amigável.

Palavras-chave—Informática de Saúde, Insuficiência Cardíaca, Interoperabilidade, Dispositivo de Saúde Pessoal, Telemedicina.

I. INTRODUCCIÓN

La insuficiencia Cardíaca (IC) es una condición en la que el corazón es incapaz de bombear suficiente sangre para lograr la cantidad que el cuerpo necesita [1]. De acuerdo con la información presentada por la American Heart Association (AHA), aproximadamente 5.7 millones de estadounidenses han adquirido IC [2]. En el caso de Colombia, según la Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, en el año 2012, aproximadamente 1.1 millones de colombianos fueron afectados por esta enfermedad [3].

Debido a la naturaleza progresiva de la insuficiencia cardíaca, su tratamiento a menudo consiste en la aplicación de combinaciones de medicamentos [1]. Cuando un paciente llega al hospital con síntomas que reflejan inestabilidad, tales como fatiga, edema, hinchazón de los pies y los tobillos, falta de aire, etc., por lo general, el procedimiento común consiste en un tratamiento que tiene como objetivo estabilizar al paciente mediante la prescripción de medicamentos por vía intravenosa. El paciente tiene que permanecer en el hospital durante todo el proceso [4]. Durante el período de hospitalización, el médico ajustará la dosis del medicamento. Se aumentará progresivamente hasta alcanzar la dosis recomendada, o hasta la dosis máxi-

ma tolerada por el paciente [5]. Este proceso puede durar de una a cuatro semanas, dependiendo de la condición del paciente y la medicina. Una vez que el médico establece la dosis, el siguiente paso es reemplazar la medicina intravenosa por píldoras orales. Este procedimiento se conoce comúnmente como "titulación de la dosis" o "titulación de medicamentos".

La elevada morbilidad y mortalidad que la IC causa tiene repercusiones en la carga financiera de los sistemas de salud, debido principalmente a las readmisiones [6]. El telemonitorio domiciliario se presenta como una estrategia alternativa, ya que permite el monitoreo remoto de los síntomas y signos del paciente [6-9]. En las obras de Raikhelkar y Raikhelkar [10] y Maric et al. [11], diferentes técnicas se han utilizado en telemedicina en los estudios de cardiología. Éstas han ayudado a reducir la tasa de ingresos hospitalarios, morbilidad y mortalidad. Los estudios encontraron que las principales variables que se analizan son el peso corporal, la presión arterial y la frecuencia cardíaca, con resultados positivos para su implementación. Sin embargo, la mayoría de estos sistemas utilizan protocolos de comunicación patentados, lo que limita el intercambio de información a dispositivos producidos por el mismo fabricante o marca. Por otra parte, la falta de interoperabilidad y estandarización afecta la integridad, seguridad en

la transferencia y el acceso a los informes generados por el sistema, impidiendo la implementación exitosa de los servicios de telemedicina [12-14].

Las organizaciones internacionales están proponiendo y promoviendo la adopción de estándares de comunicación para permitir la interoperabilidad entre los diferentes dispositivos y sistemas de información biomédica utilizados en los servicios de salud.

Algunos ejemplos son la “Personal Connected Health Alliance” (PCHA), que desarrolla las directrices de diseño basados en la familia de estándares ISO/IEEE 11073, la “Integrating the Healthcare Enterprise” (IHE) “Patient Care Device PCD-01 Transaction” y el “Health Level Seven International” (HL7) “Personal Health Monitoring Report” (PHMR). El PCHA también certifica los productos que cumplen con la norma. Esta es una forma de garantizar la interoperabilidad entre dispositivos biomédicos y los sistemas de información en hospitales, sin importar el fabricante o la marca del dispositivo [15].

Este artículo describe el desarrollo de un sistema de telemonitoreo diseñado para pacientes con insuficiencia cardíaca durante el procedimiento llamado “la titulación de medicamentos”. El sistema utiliza una arquitectura interoperable que cumple con los estándares internacionales de comunicaciones anteriormente descritos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñó el sistema de telemonitoreo basado en Continua Design Guidelines (CDG), publicado por PCHA, la arquitectura busca la interoperabilidad de cada elemento del sistema, desde el dispositivo biomédico, que pasa a través de la puerta de conexión (*gateway*), de la base de datos, a la aplicación del servidor. Por lo tanto, se revisaron y seleccionaron los dispositivos médicos que cumplieron con los estándares sugeridos por CDG.

A. Arquitectura de las directrices Continua Design

CDG define las interfaces que garantizan la interoperabilidad en el intercambio de información de salud entre los dispositivos médicos, los *gateways* y sistemas de información [16].

En la primera interfaz denominada “Dispositivos de salud personal”, CDG propone el uso de la familia de estándares IEEE 11073. Estos definen el formato de datos y el intercambio de información entre dispositivos médicos y sus *gateways*. Esta familia de normas se ajusta a diferentes protocolos de comunicación, tales como USB, Bluetooth, Bluetooth Low Energy (BLE), NFC, y ZigBee, lo que representa una ventaja.

La interfaz de servicios utiliza la transacción IHE PCD-01 para el intercambio de información entre los *gateways* personales de salud y los servicios médicos o de salud del paciente (*fitness*). Esta interfaz permite cargar la información, intercambiar mensajes, y sesiones persistentes autenticadas, a través de una red WAN (Wide Area Network). Además, la interoperabilidad en esta interfaz se consigue limitando las especificaciones IHE y los estándares HL7.

La tercera y última interfaz definida por CDG es la Red de Registros de la Salud o Health Records Network (HRN), que utiliza PMHR basados en HL7, para el intercambio electrónico de registros médicos. El transporte de estos informes se realiza utilizando IHE Cross-Enterprise Document Sharing (XDS), que permiten el intercambio de documentos médicos entre el hospital y los proveedores de atención médica a través de la WAN.

B. Familia de estándares IEEE 11073

Este conjunto de normas fue desarrollado por el IEEE con el fin de permitir la interoperabilidad entre los dispositivos médicos de uso personal. Dentro de estos, el IEEE 11073: 20601 define un marco común para crear un modelo abstracto de datos personales de salud, disponible en una sintaxis de transferencia independiente del protocolo de comunicación, que permite establecer conexiones lógicas entre los sistemas y proporciona los servicios necesarios para llevar a cabo las tareas de comunicación [17].

Este estándar clasifica los dispositivos médicos en dos tipos: Agentes y Administradores. Los Agentes son sensores que adquieren la información médica y la transmiten. Los Administradores son los dispositivos que reciben información de uno o más Agentes. Además, en este estándar se presenta un modelo de sistema compuesto por tres partes principales: el modelo de dominio de la información (DIM, en inglés), el modelo de servicio y el modelo de comunicación. Estos modelos permiten la representación, para definir y comunicar los datos.

DIM describe los datos del Agente como un conjunto de objetos. Cada objeto tiene uno o más atributos. Los atributos representan los datos de medición que se transmiten al Administrador, así como los elementos que controlan el comportamiento y el estado del Agente.

El modelo de servicio define los mecanismos conceptuales para los servicios de intercambio de datos. Además, proporciona los primitivos de acceso a datos que se transmiten entre el Agente y el Administrador. El protocolo de mensaje utilizado en este estándar se define en ASN.1.

El modelo de comunicación es compatible con la topología de uno o más Agentes que se comunica con un

Administrador a través de una conexión punto a punto. El comportamiento dinámico del sistema, de cada conexión punto a punto, se define por una máquina de estados. Además, este modelo define la entrada, salida, y las condiciones de error para cada estado. Asimismo, en este modelo se incluyen suposiciones con respecto al comportamiento de las capas de comunicación subyacentes.

C. Arquitectura del sistema

La arquitectura de sistema sugerida por CDG es una cadena donde la información se transmite desde un sistema a otro, siguiendo una secuencia en la que los datos de los dispositivos médicos básicos pueden llegar al servidor a través de Internet. Su importancia radica en los estándares de comunicación que se utilizan en cada nivel, reduciendo las incompatibilidades en la comunicación por parte de diferentes fabricantes y productos de software. Para este proyecto, integramos tres sistemas: dispositivos médicos, *gateway* y aplicaciones web. La arquitectura del sistema se presenta en la Fig. 1.

Para las comunicaciones entre sistemas, se seleccionaron BLE y IHE Personal Care Device (PCD-01) para dispositivos *gateway* y *gateway-servidor*, respectivamente.

D. Dispositivos

Se realizaron búsquedas en dispositivos que se ajustan a los requisitos del protocolo de comunicaciones para este proyecto. Seleccionamos el A&D de la presión arterial UA-651BLE y el A&D Báscula UC352BLE, ambos con la comunicación BLE. Estos dispositivos siguen las especificaciones de Bluetooth para servicios y características.

También se pueden utilizar en un entorno doméstico y pueden conectarse a un dispositivo móvil iPhone o Android.

El sistema *gateway* es una Health@home Linux Hub v2.0 desde LNI. Este sistema es compatible con el transporte BLE y cumple con las especificaciones de Bluetooth CDG y de comunicaciones USB con los estándares de la familia IEEE 11073. Los datos se traducen internamente a IHE PCD-01 (HL7 V2.6) para la transmisión a través de WAN. Para asegurar la información, se utiliza la autenticación SAML y la conexión HTTPS.

E. Conexiones de prueba

El primer paso fue asegurar que los dispositivos fueran descubiertos por el sistema de puerta de enlace o *gateway*. Utilizamos la aplicación web local de la puerta de enlace para buscar y vincular los dispositivos con el *gateway*. El segundo paso fue tomar mediciones de ambos dispositivos y comprobar los archivos de registro (*log files*) para validar que los valores fueran transmitidos y no estuvieran dañados. En los mismos archivos de registro, comprobamos la traducción de los datos a un mensaje HL7.

Para la transmisión HTTPS, se utilizó el sistema de demostración de la Health@home InSight proporcionado por LNI. En esta aplicación web, pudimos ver la carga de datos en tiempo real y el modo histórico. Para comprobar la seguridad de la información se utilizó el comando *tcpdump* Linux y el programa Wireshark. En primer lugar, se realizaron búsquedas en el paquete para la autenticación SAML, validando la negociación XML. Luego, verificamos que los paquetes fueran la transmisión de los datos de los dispositivos médicos, corroborando que cada cuerpo del mensaje estuviera encriptado.

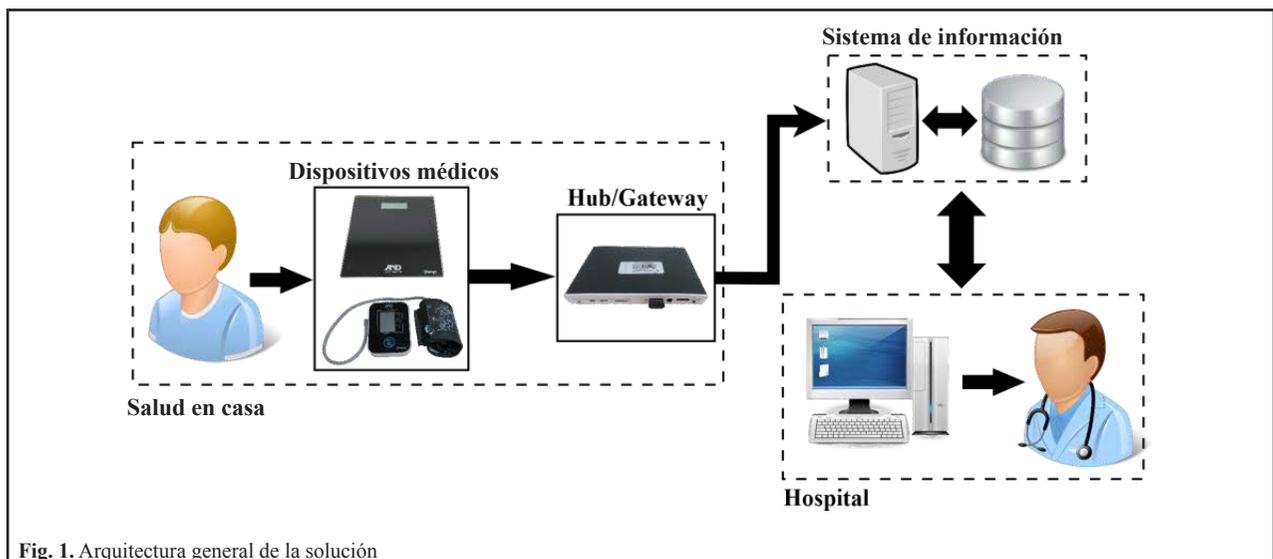


Fig. 1. Arquitectura general de la solución

F. Protocolo clínico

Este sistema está diseñado para el seguimiento de pacientes con insuficiencia cardíaca durante el proceso de “la titulación de medicamentos”. Para determinar la viabilidad técnica y clínica del sistema, se está desarrollando un protocolo, conjuntamente con el personal clínico de la Unidad Cardiovascular del Hospital San Vicente Fundación. Este protocolo definirá la frecuencia en la que los dispositivos biomédicos adquieren los datos, los criterios para evaluar la condición del paciente, a partir de datos adquiridos, y la duración de los períodos de seguimiento. El equipo clínico comprobará la plataforma todos los días y le dará indicaciones al paciente, con el fin de ajustar la dosis del medicamento.

III. RESULTADOS

Implementamos la arquitectura del sistema propuesta en la Fig. 1. Los dispositivos fueron probados en el laboratorio, controlando las variables y los momentos cuando se tomaron las mediciones. Para la prueba, se utilizó tanto UA-651BLE y UC352BLE. Se realizaron diez mediciones con ambos dispositivos y se obtuvieron cuarenta valores, diez corresponden a peso medido con el UC-352BLE y los otros treinta se corresponden con la presión sistólica, presión diastólica, y el pulso, medidos con el UA-651BLE. Utilizamos archivos de registro de puerta de enlace para buscar los valores reportados de los dispositivos. Contrastamos que los valores reportados en el *gateway* fueran, de hecho, los reportados a nivel local por los dispositivos.

Tabla 1. Valores tomados por los dispositivos biomédicos durante la prueba del sistema

Medición	Peso (kg)	Presión sistólica (mmHg)	Presión diastólica (mmHg)	Pulso (lps)
1	64.9	125	91	64
2	61.9	95	64	72
3	70.2	111	70	80
4	80.6	129	71	71
5	68.4	105	74	74
6	78.6	117	68	69
7	66.3	101	73	52
8	64.0	108	66	66
9	42.3	81	51	77
10	49.7	73	56	82

Los valores corresponden exactamente a lo expresado entre el informe del dispositivo y el archivo de registro de la puerta de enlace (*gateway log file*). Para la página web,

hemos utilizado, una vez más, los archivos de registro del *gateway*, pero esta vez buscando el mensaje HL7. Cuando se reportó el mensaje, comprobamos la aplicación Health@home InSight para corroborar si la información llegó correctamente. Pudimos comprobar que los datos de mediciones fueron correctos y que corresponden a los reportados tanto en el dispositivo como el *gateway*.

Seguimos a los paquetes de datos con *tcpdump* y revisamos con *Wireshark* para validar la conexión segura y la transmisión de los datos. Cuando tratamos de leer el cuerpo de cada mensaje enviado al servidor, no fuimos capaces de descifrar los datos debido a la capa de seguridad TLS V1.2 de la comunicación, verificando de esta manera la codificación de los datos de extremo a extremo.

IV. DISCUSIÓN

Las pruebas realizadas en el laboratorio muestran que el sistema desarrollado es capaz de adquirir información del paciente y transmitirla de forma segura y correcta a un servidor. Del mismo modo, las variables adquiridas por este sistema junto con el control de la ingesta de líquidos y diuresis, permiten realizar un seguimiento de la condición del paciente con IC, durante el proceso de la titulación de medicamentos. Además, la arquitectura interoperable presentada por este sistema permite su adaptación a diferentes escenarios, así como la adición de nuevos dispositivos, independientemente del fabricante o la marca. Sin embargo, es necesario realizar pruebas en un entorno domiciliario para determinar la viabilidad y la utilidad del sistema en el seguimiento de los pacientes en este tipo de entornos.

V. CONCLUSIÓN

Este artículo presenta un sistema de telemonitoreo remoto de las variables fisiológicas, diseñado para pacientes con insuficiencia cardíaca, durante el procedimiento de titulación de medicamentos, basado en dispositivos comerciales que cumplen con los estándares internacionales de interoperabilidad.

La arquitectura del sistema que se presenta en este documento se basa en las normas contenidas en el CDG. El sistema consta de tres partes: dispositivos médicos, puerta de entrada o *gateway*, y la aplicación web. El intercambio de información entre dispositivos médicos y el *gateway* se realizó a través de BLE, mientras que el intercambio de información entre el *gateway* y la aplicación web se realizó utilizando IHE PCD-01. La principal ventaja de este sistema es que es totalmente interoperable, por otra parte, permite la fácil integración de nuevos dispositivos, siempre y cuando cumplan con los estándares contenidos

en CDG. Estas características muestran que el sistema es capaz de realizar el monitoreo y control de enfermedades diferentes a la insuficiencia cardíaca.

Los resultados de las pruebas realizadas, muestran que el sistema es capaz de adquirir información del paciente, cifrarla y transmitirla a un centro de referencia, donde puede ser almacenada, vista y analizada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al profesor Iván Mora, Ingeniero Mauricio Aristizábal, y los estudiantes Aysha Villamizar y Camilo González por su ayuda en el manejo de los dispositivos y el personal médico del Hospital San Vicente Fundación: Unidad Cardiovascular por la asesoría prestada durante el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1]. V. Gol Vallés and C. Barroso Peréz, "Farmacología de la insuficiencia cardíaca," *Farm. Hosp.*, vol. 20, no. 3, pp. 149–156, 1996.
- [2]. D. Mozaffarian, E. J. Benjamin, A. S. Go, D. K. Arnett, M. J. Blaha, M. Cushman, S. R. Das, S. de Ferranti, J.-P. Després, H. J. Fullerton, V. J. Howard, M. D. Huffman, C. R. Isasi, M. C. Jiménez, S. E. Judd, B. M. Kissela, J. H. Lichtman, L. D. Lisabeth, S. Liu, R. H. Mackey, D. J. Magid, D. K. McGuire, E. R. Mohler, C. S. Moy, P. Muntner, M. E. Mussolino, K. Nasir, R. W. Neumar, G. Nichol, L. Palaniappan, D. K. Pandey, M. J. Reeves, C. J. Rodriguez, W. Rosamond, P. D. Sorlie, J. Stein, A. Towfighi, T. N. Turan, S. S. Virani, D. Woo, R. W. Yeh, and M. B. Turner, "Heart Disease and Stroke Statistics—2016 Update," Dec. 2015.
- [3]. C. Jaramillo, E. Gómez, E. Hernández, C. Saldarriaga, N. Flórez, R. Buitrago, C. Dueñas, M. Jaramillo, D. Isaza, L. E. Echeverría, M. Poveda, J. L. Accini, G. González, Á. García, S. Navarrete, M. J. Rodríguez, J. E. Gómez, C. Arias, D. Molano, F. Mendoza, A. Rivera, F. Rivera, N. Roa, Á. Quintero, F. Rosas, B. Rolong, C. Plata, J. M. Sarmiento, L. F. Aponte, A. Figueredo, J. Ramírez, G. Sarmiento, D. Sánchez, and A. Torres, "Definición, etiología, clasificación y epidemiología," in *Consenso Colombiano para el Diagnóstico y Tratamiento de la Insuficiencia Cardíaca Crónica*, Sociedad C., Bogotá D.C.: Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, 2014, pp. 7–9.
- [4]. Organización Mundial de la Salud, "Guía de la buena prescripción - Manual práctico," *Organización Mundial de la Salud*, 1998. [Online]. Available: <http://apps.who.int/medicinedocs/es/d/Jh2991s/7.1.5.2.html>. [Accessed: 26-Apr-2016].
- [5]. National Heart Foundation of Australia, "Titrating Medications in Heart Failure," *HEART Online*, 2016. [Online]. Available: <http://www.heartonline.org.au/articles/medications/titratingmedications-in-heart-failure#general-approach-to-titration>. [Accessed: 26-Apr-2016].
- [6]. J. T. Sørensen, P. Clemmensen, and M. Sejersten, "Telecardiología: pasado, presente y futuro," *Rev. Española Cardiol.*, vol. 66, no. 3, pp. 212–218, 2013.
- [7]. K. Dickstein, A. Cohen-Solal, G. Filippatos, J. J. V. McMurray, P. Ponikowski, P. A. Poole-Wilson, A. Strömberg, D. J. van Veldhuisen, D. Atar, A. W. Hoes, A. Keren, A. Mebazaa, M. Nieminen, S. G. Puri, K. Swedberg, A. Vahanian, J. Camm, R. De Caterina, V. Dean, K. Dickstein, G. Filippatos, C. Funck-Brentano, I. Hellemans, S. D. Kristensen, K. McGregor, U. Sechtem, S. Silber, M. Tendera, P. Widimsky, J. L. Zamorano, M. Tendera, A. Auricchio, J. Bax, M. Böhm, U. Corrà, P. della Bella, P. M. Elliott, F. Follath, M. Gheorghiu, Y. Hasin, A. HERNBERG, T. Jaarsma, M. Komajda, R. Kornowski, M. Piepoli, B. Prendergast, L. Tavazzi, J.-L. Vachiery, F. W. A. Verheugt, J. L. Zamorano, and F. Zannad, "ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008," *Eur. J. Heart Fail.*, vol. 10, no. 10, pp. 933–989, Oct. 2008.
- [8]. C. E. Grau, J. C. Colet, and J. M. V. Rotellar, "Aplicaciones de la telemedicina en el seguimiento de insuficiencia cardíaca: experiencia en una unidad integral," *FMC - Form. Médica Contin. en Atención Primaria*, vol. 22, no. 4, pp. 188–195, 2015.
- [9]. R. A. Clark, S. C. Inglis, F. A. McAlister, J. G. F. Cleland, and S. Stewart, "Telemonitoring or structured telephone support programmes for patients with chronic heart failure: systematic review and meta-analysis," *BMJ*, vol. 334, no. 7600, pp. 942–942, May 2007.
- [10]. J. Raikhelkar and J. K. Raikhelkar, "The Impact of Telemedicine in Cardiac Critical Care," *Crit. Care Clin.*, vol. 31, no. 2, pp. 305–317, Apr. 2015.
- [11]. B. Maric, A. Kaan, A. Ignaszewski, and S. A. Lear, "A systematic review of telemonitoring technologies in heart failure," *Eur. J. Heart Fail.*, vol. 11, no. 5, pp. 506–517, May 2009.
- [12]. Y. B. Choi, J. S. Krause, Hyewon Seo, K. E. Capitan, and Kyusuk Chung, "Telemedicine in the USA: standardization through information management and technical applications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 44, no. 4, pp. 41–48, Apr. 2006.
- [13]. S. Jimenez-Fernandez, P. de Toledo, and F. del Pozo, "Usability and Interoperability in Wireless Sensor Networks for Patient Telemonitoring in Chronic Disease Management," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 60, no. 12, pp. 3331–3339, Dec. 2013.
- [14]. B. B. Traore, B. Kamsu-Foguem, and F. Tangara, "Integrating MDA and SOA for improving telemedicine services," *Telemat. Informatics*, vol. 33, no. 3, pp. 733–741, Aug. 2016.
- [15]. Personal Connected Health Alliance, "ABOUT PCHA," *The Personal Connected Health Alliance*, 2017. [Online]. Available: <http://www.pchalliance.org/about-pcha>. [Accessed: 15-Dec-2016].
- [16]. Personal Connected Health Alliance, "Fundamentals of Data Exchange," 2015. [Online]. Available: <https://cw.continuaalliance.org/document/dl/13473>.
- [17]. IEEE, *11073-20601-2014 - IEEE Health informatics--Personal health device communication - Part 20601: Application profile-Optimized Exchange Protocol*. 2014.