

Una Arquitectura Orientada a Microservicios y Dirigida por Eventos para el Desarrollo de Sistemas de eSalud Avanzados: Caso de Evaluación de Fragilidad en Mayores

Francisco M. García-Moreno¹[0000-0001-6366-3758], M. Bermúdez-Edo¹[0000-0002-2028-4755],
María José Rodríguez-Fórtiz¹[0000-0002-3166-6652] and José Luis Garrido¹[0000-0001-7004-1957]

¹ Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, CITIC-UGR,
Universidad de Granada, Granada, España
{fmgarmor, mbe, mjfortiz, jlgarrido}@ugr.es

Abstract. En el presente trabajo se presenta una propuesta tecnológica para eSalud de una arquitectura basada en microservicios, que pueden ser desplegados en dispositivos móviles, *wearables* y *cloud*, para evaluar el riesgo de fragilidad de las personas mayores. Dicha propuesta es extensible a otros dominios de problemas del *Internet of Things* (IoT) dentro del ámbito de la eSalud ya que el patrón de diseño de arquitecturas basadas en microservicios contribuye al desarrollo de sistemas informáticos desacoplados y extensibles. Además, el protocolo *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) utilizado en IoT favorece el bajo consumo y la no sobrecarga de la red, por lo que incorporar nuevos dispositivos *wearables* al sistema para recolectar datos de sus sensores se realizaría con poco esfuerzo.

Keywords: Microservicios, Arquitecturas Orientadas a Servicios, MQTT, IoT, Wearables, E-Health, Envejecimiento Activo, Fragilidad.

1 Introducción

Desde la aparición de Internet y la Web, las técnicas y tecnologías utilizadas para el desarrollo de sistemas software (*Service-Oriented Architecture*, Servicios Web, *Cloud Computing*, etc) siguen evolucionando en el transcurso del tiempo. En la actualidad, las arquitecturas orientadas a microservicios [12, 24], derivadas de la arquitectura orientada a servicios y dirigida por eventos (o en inglés, *Event-Driven Service-Oriented Architecture*, ED-SOA o más conocida como SOA 2.0 [1, 16–18]) han ganado reputación, y empresas como Netflix, Google, LinkedIn y Amazon las han adoptado [28]. En el ámbito de la salud, empresas como ZH Healthcare Inc, ofrecen plataformas e-Salud basadas en microservicios [29]. Estas arquitecturas contribuyen a mejorar la extensión de funcionalidades en el desarrollo de sistemas informáticos, algo muy común en eSalud, ya que con el tiempo requieren de la incorporación de nuevas características [7]. Ello es posible gracias a que cada microservicio se desarrolla y despliega independientemente del resto [22]. SOA 2.0 [16] es una combinación

de arquitecturas orientadas a servicios y dirigidas por eventos que permite dotar a los sistemas de inteligencia y proactividad. Las arquitecturas dirigidas por eventos (*Event-Driven Architecture*, EDA [17]) habitualmente comunican asincrónicamente éstos bajo el modelo de comunicación de Publicación/Subscripción [9, 15].

En los últimos años se han creado varias líneas de actuación centradas en promover el envejecimiento activo, incluida la prevención de la fragilidad en los mayores [8]. El síndrome de la fragilidad se define como «un estado dinámico que afecta a un individuo que experimenta pérdidas en una o más dimensiones del funcionamiento humano (físico, psicológico, social), causadas por la influencia de un rango de variables y que aumenta el riesgo de resultados adversos» [14]. Afecta aproximadamente al 11% de los mayores que viven en la comunidad, y entre el 30% y el 70% de los pacientes quirúrgicos de edad avanzada, y se asocia con otros problemas como la pérdida del equilibrio y las caídas, la hospitalización, e incluso puede causar la muerte [13]. Si los clínicos contaran con una herramienta de evaluación multifactorial que pudiera considerar todos los factores que producen fragilidad, o al menos los más significativos, ésta podría detectarse de forma más eficaz y precoz [27]. Para ello, se necesitan nuevos estudios científico-técnicos que reporten resultados en torno a la validez de nuevos instrumentos o herramientas (informáticas) de recogida y análisis de datos de carácter multifactorial.

En esta línea, Schwenk *et al.* [25] resaltan el potencial que tienen los dispositivos móviles y wearables para detectar fragilidad en escenarios diferentes al centro de salud u hospital, al aportar portabilidad, precisión, eficacia y localización. Además estos dispositivos no tienen un coste muy elevado, especialmente si los comparamos con otros instrumentos médicos [10]. Además, las características que presentan los wearables actuales (larga duración de batería, ergonomía, precios más reducidos, más capacidad de almacenamiento y compatibilidad) han hecho que muchos se hayan aprobado como instrumento de medida por organizaciones regulatorias y seguridad para los pacientes [6].

Este artículo propone un diseño de sistemas basados en diferentes tecnologías avanzadas tales como las arquitecturas SOA 2.0 (orientadas a microservicios y dirigidas por eventos) y dispositivos *wearables* y móviles para potenciar y mejorar la aplicabilidad de estos sistemas en el dominio de salud de forma ecológica. Como caso, se describe la evaluación de la fragilidad en mayores a partir de datos recogidos con diferentes sensores disponibles en *wearables* y móviles. De esta forma, la propuesta muestra cómo dicha evaluación puede así contribuir de la mejor forma posible a prevenir la fragilidad.

Este artículo se organiza como sigue. La Sección 2 introduce los los conceptos previos de microservicios y del protocolo de mensajería *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT). En la Sección 3, se describe la propuesta de diseño arquitectónico del sistema que permite llevar a cabo la evaluación de la fragilidad en mayores. Y en la Sección 4 se resumen conclusiones y trabajo futuro.

2 Fundamentos

A continuación, se introducen los fundamentos y características de los microservicios, y del protocolo de mensajería MQTT basado en el paradigma Publicación/Subscription de eventos.

2.1 Microservicios

Un microservicio es un módulo software responsable de una única tarea, y que es desarrollado y desplegado de forma independiente, asegurando así el máximo desacoplamiento y extensibilidad [22, 23]. Una arquitectura basada en microservicios es una composición de microservicios desplegados y conectados mediante mecanismos de composición de servicios (comúnmente coreografía y orquestación) [24].

En Fig. 1 se muestra la taxonomía básica de una arquitectura basada en microservicios, que consiste en los siguientes elementos [24]:

1. Los microservicios funcionales (FM, por sus siglas en inglés) implementan las funcionalidades y operaciones del dominio de negocio. Esos microservicios se exponen públicamente al exterior mediante una capa *API Gateway*.
2. Los microservicios de infraestructura (IM) son responsables de tareas de más bajo nivel relacionadas con la infraestructura del sistema, como la monitorización, comunicación de información, interacción entre microservicios, etc.
3. La capa *API Gateway* es la interfaz para exponer públicamente microservicios al exterior, distribuyendo información que provee un microservicio a clientes que solicitan consumirla mediante una petición (aplicaciones y/o microservicios de terceros o implementados por la misma organización). Además, éstos tienen que presentar su identidad ante la *API Gateway* mediante el inicio único de sesión (Single Sign-On, SSO) u *OAuth* [31], y ésta se encargará de conceder o denegar el acceso para poder consumir los microservicios expuestos. La implementación de la *API Gateway* debe asignar la identidad de los clientes a un protocolo real, como una URL en una API REST [11] o CoAP [26], una cola o intercambio en AMQP [30], o un *topic* en MQTT [21].
4. El almacén de datos es exclusivo de cada microservicio, y no todos los microservicios tienen que tener uno. Para consumir los datos de un almacén de datos gestionado por un servicio, el cliente (consumidor) realiza una petición, vía *API Gateway* al microservicio proveedor de los datos, el cual se los servirá.

2.2 MQTT

MQTT [21] es un protocolo de envío/recepción de mensajes, empleado para la comunicación *machine-to-machine* (M2M), que utiliza el modelo *publish/subscribe* [9], basado en *topics* (temática identificada con una palabra clave), que tiene una sobrecarga de red baja y puede implementarse en dispositivos de bajo consumo, como los microcontroladores que podrían usarse en sensores remotos de *Internet of Things* (IoT). En el ámbito de la eSalud donde se utilicen sensores disponibles en *wearables*,

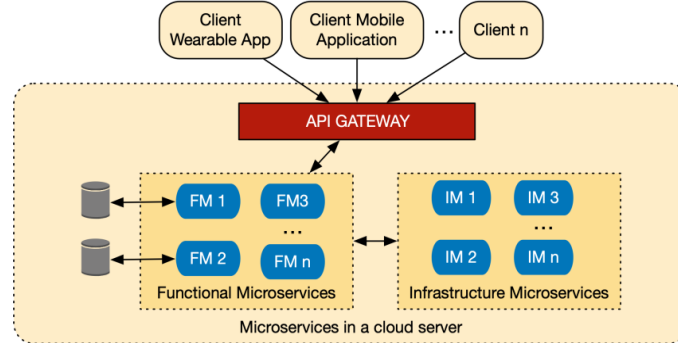


Fig. 1. Taxonomía de la arquitectura basada en microservicios (adaptada de [24])

y *smartphones*, dichas propiedades del MQTT favorecen su elección como protocolo de mensajes para nuestra propuesta.

El protocolo MQTT consiste en tres elementos principales: (1) el *Message Broker*, encargado de gestionar los mensajes recibidos para enviarlos a los destinatarios adecuados, y siguiendo la filosofía de arquitecturas basadas en microservicios, el cual hace la función de *API Gateway*, exponiendo al exterior los proveedores de servicios; (2) el Publicador (*Publisher*) de datos bajo un *topic* (temática), actúa como proveedor de servicios; (3) el Suscriptor (*Subscriber*) tiene el rol de consumidor de servicios, realiza una petición de suscripción a un *topic* concreto, y espera a recibir los datos que el *Publisher* provea mediante el *Message Broker* (véase Fig. 2).

Una implementación de dicho protocolo es la herramienta *Mosquitto* [19], que provee de servidor y cliente MQTT.



Fig. 2. Paradigma MQTT (adaptada de [2])

Por lo tanto, la comunicación no es directa entre el *Publisher* y el *Subscriber*, sino que el *Message Broker* hace de intermediario entre ambos. Los *topics* siguen una sintaxis similar a las *RESTful APIs* [11] que permiten una categorización de las temáticas, como los siguientes:

- *topic1/subtopic1/subsubtopic1*
- *topic1/subtopic1/subsubtopic2*
- *topic1/subtopic2*
- *topic1/#*
- *topic1/subtopic1/#*

Además, como podemos observar, utilizar el símbolo almohadilla (#), que actúa como un comodín, sirve para suscribir o publicar mensajes en todos los *topics* que se especifiquen. Así, en el caso de *topic1/#* haría referencia a todos los mensajes adscritos al *topic1*, es decir, *subtopic1/subsubtopic1*, *subtopic1/subsubtopic2* y *topic1/subtopic2*.

3 Propuesta de Diseño Arquitectónico

En esta sección se propone un diseño arquitectónico orientado a microservicios y dirigidos por eventos para el desarrollo de sistemas eSalud flexibles, versátiles y avanzados. La propuesta se describe con la ayuda del caso de evaluación del riesgo de fragilidad en personas mayores, utilizando para la recogida de datos los sensores disponibles en *wearables*, *smartphones* y análisis en sistemas *cloud*. El objetivo principal es notificar al usuario final y al facultativo de la presencia de riesgo de fragilidad. En particular, se usa un *wearable* (reloj inteligente *Samsung Gear S3*) con sensores como acelerómetro, ritmo cardíaco, luminosidad, y se transfieren los datos recopilados tanto a un *smartphone* (vía *bluetooth*) como a un servidor *cloud*.

Arquitectura orientada a microservicios. Se puede considerar que el diseño de arquitectura propuesto en el presente artículo se ajusta a una visión del paradigma IoT como se introdujo en [20]: "el sistema de IoT se construye a partir de microservicios autocontenidos y de una granularidad muy fina que se desarrollan y despliegan de forma independiente".

La propuesta de diseño de arquitectura basada en microservicios del sistema e-Salud para la evaluación de la fragilidad se muestra en la Fig. 3. La figura incluye el despliegue de la arquitectura software orientada a microservicios en las diferentes plataformas que son requeridas para el caso, a saber, dispositivo *wearable*, *smartphone* y servidor *cloud*.

En primer lugar, en el dispositivo *wearable* se han desplegado diferentes microservicios, uno por cada sensor disponible, como el acelerómetro, giroscopio, ritmo cardíaco, etc. (por claridad, se han omitido de la imagen algunos sensores). Además, para transferir los datos recopilados de los sensores del *wearable* al *smartphone*, sin necesidad de que el *smartphone* los solicite vía Internet, se ha implementado un servidor *Generic Attribute* (GATT) [4] en el *smartphone*, utilizado comúnmente para transferir datos vía *Bluetooth*; y en el *wearable* se ha implementado el cliente GATT. Más concretamente, dicho servidor GATT expone como servicios tipo GATT [5] los microservicios correspondientes a los sensores del *wearable* y características GATT [3], como «frecuencia de muestreo del sensor X», «iniciar captura del sensor X», «detener sensor X», «valor del sensor X», entre otras. En este sentido, el servidor GATT (*smartphone*) puede requerir el inicio de la captura de datos de un sensor concreto del *wearable* cambiando el valor de la característica GATT «inicio del sensor X» del servicio GATT «X» (donde «X» es un microservicio de sensor, como el acelerómetro) y, entonces, el cliente GATT (*wearable*) detecta que dicho valor ha cambiado y empieza a capturar datos de los diferentes sensores. Es entonces cuando el *wearable*

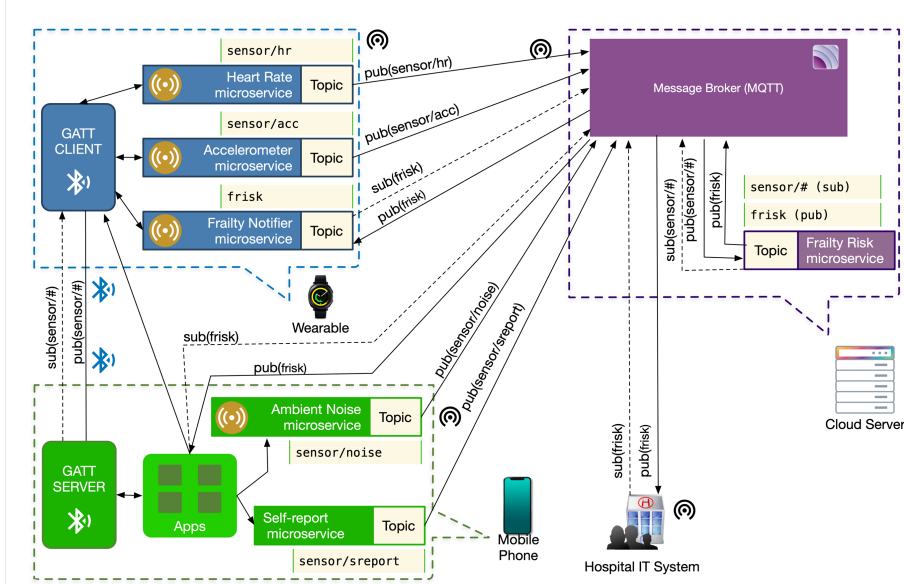


Fig. 3. Arquitectura orientada a microservicios y dirigida por eventos: sistema de eSalud para la evaluación de riesgo de fragilidad

transfiere los datos capturados por el sensor «X» cambiando la característica «valor del sensor X», y el servidor GATT detecta ese cambio y lee el dato recibido del sensor. De forma similar, se configuraría o se detendría un sensor del *wearable* vía GATT.

En segundo lugar, en el *smartphone* se despliegan los microservicios que recopila datos del contexto, como el de ruido ambiental que aparece en la figura, y otro que reporta resultados de cuestionarios podría ir rellenando el usuario.

En último lugar, está el servidor *cloud*, que se despliega el MQTT *Message Broker* [21], y está encargado del envío de mensajes, que describimos a continuación.

Paso de mensajes a través de MQTT. En la propuesta, el *Message Broker* se implementa con la tecnología *Mosquito* [19], y es el encargado de recibir las peticiones de suscripción y publicación de las entidades participantes (que pueden ser tanto microservicios concretos, como aplicaciones móviles, web, etc.), el cual tiene el rol de *API Gateway* en la filosofía de microservicios (véase Fig. 3). Aunque no se muestra en la ilustración, se propone la implementación de un sistema de autenticación que permite aceptar o rechazar esas peticiones de *publish/subscribe* (*pub/sub*, de forma abreviada), para dotar al sistema de una capa de seguridad adicional.

En el servidor *cloud*, se ha añadido un microservicio adicional, *Frailty Risk*, que está suscrito a los datos que publican todos los microservicios de sensores, tanto del *wearable* como del móvil (gracias al *topic sensor/#*). Este microservicio publica el *topic «frisk»* al *Message Broker* con la predicción del riesgo de fragilidad detectada,

según los datos recolectados; y el microservicio *Frailty Notifier* del *wearable*, que está suscrito a dicho *topic*, la recibe y manda una notificación al usuario.

El sistema está preparado para que otro tipo de clientes, como el sistema TIC de un hospital, se suscriban al *Message Broker*, y puedan consumir el servicio para conocer el riesgo de fragilidad de sus pacientes.

4 Conclusiones

Este artículo ha presentado una propuesta para el diseño arquitectónico de sistemas de eSalud que utiliza e integra tecnologías emergentes. En particular, el diseño orientado a microservicios y dirigido por eventos que mejora en estos sistemas interesantes propiedades como son extensibilidad, reutilización, proactividad e inteligencia. Las nuevas plataformas *cloud*, móviles y *wearables* disponen recursos (distintos tipos de sensores) y capacidades adicionales (procesamiento y almacenamiento) a las tradicionales, así como características (bajo coste, fáciles de portar, etc.), que aumentan y potencian sus posibilidades en términos de aplicabilidad en diferentes dominios, como también en el dominio de eSalud. Un despliegue apropiado de funcionalidades en dichas plataformas satisface requisitos de dominios específicos.

Además, la arquitectura presentada utilizando MQTT, usada en IoT por su bajo consumo y la poca sobrecarga de la red que produce entre otras de sus características, permite incorporar más dispositivos *wearables*, móviles, y otros sensores IoT, que publiquen datos en nuevos *topics*, como por ejemplo una pulsera que mida la conductividad o respuesta galvánica de la piel podría publicar en un nuevo *topic* que denominemos, por ejemplo, *sensor/eda* (*eda*, del inglés de *Electrodermal Activity*). En definitiva, la extensibilidad del sistema eSalud es uno de los puntos fuertes de este diseño.

La propuesta muestra estas ventajas mencionadas mediante el caso de la evaluación de la fragilidad en mayores. De forma automática y transparente para los usuarios, el sistema realiza la recogida de datos y puede analizar éstos en tiempo real y aplicando técnicas avanzadas de inteligencia artificial, sacando partido de las características de las diferentes plataformas utilizadas. A posteriori, los datos pueden filtrarse y analizarse para identificar patrones de comportamiento, variables dependientes y anomalías, así como para hacer evaluaciones y clasificaciones. Esta información sería muy útil para afrontar de una manera más efectiva las intervenciones en prevención de la fragilidad en mayores, siendo una importante aportación en eSalud.

Como trabajo futuro se pretende llevar estudios experimentales de manera formal de una forma holística (dimensiones físicas, cognitivas y socioemocionales) con una cantidad significativa de participantes. Así se podrán recoger datos suficientes para realizar con validez análisis estadísticos y basados en técnicas de inteligencia artificial. Los profesionales en Salud podrán desarrollar programas de intervención de forma personalizada y adaptada a cada usuario final. Además, con todo ello, esta propuesta sienta las bases para un diseño futuro de un *framework* que nos facilite el desarrollo de otros sistemas eSalud similares al caso de fragilidad presentado, incorporan-

do más microservicios que resuelvan otros problemas del ámbito de la salud y puedan reutilizar los microservicios de sensores que aquí se proponen, entre otros.

References

1. Allah Bukhsh, Z. et al.: SOA and EDA: A Comparative Study - Similarities, Differences and Conceptual Guidelines on their Usage. In: Proceedings of the 12th International Conference on e-Business. pp. 213–220 SCITEPRESS - Science and Technology Publications (2015). <https://doi.org/10.5220/0005539802130220>.
2. Alvear, O. et al.: Crowdsensing in Smart Cities: Overview, Platforms, and Environment Sensing Issues. *Sensors*. 18, 2, 460 (2018). <https://doi.org/10.3390/s18020460>.
3. Bluetooth SIG, I.: GATT Characteristics, <https://www.bluetooth.com/specifications/gatt/characteristics>. Último acceso Abril 2019.
4. Bluetooth SIG, I.: GATT Overview, <https://www.bluetooth.com/specifications/gatt/generic-attributes-overview>. Último acceso Abril 2019.
5. Bluetooth SIG, I.: GATT Services, <https://www.bluetooth.com/specifications/gatt/services>. Último acceso Abril 2019.
6. Bustamante-Bello, R. et al.: Health Wearables for Early Detection of Frailty Syndrome in Older Adults in Mexico: An Informed, Structured Process for the Selection of a Suitable Device. *Procedia Comput. Sci.* 98, 374–381 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.057>.
7. Carranza-García, F. et al.: Supporting Active Ageing Interventions with Web and Mobile/Wearable Technologies and Using Microservice Oriented Architectures. In: García-Alonso, J. and Fonseca, C. (eds.) First International Workshop, IWOG 2018. pp. 1–10, Cáceres, Spain, and Évora, Portugal (2019). https://doi.org/10.1007/978-3-030-16028-9_11.
8. Carretero, L. et al.: Progression in healthy ageing: frailty, cognitive decline and gender in the European Innovation Partnership for Active and Healthy Ageing. *Eur. J. Psychiatry*. 29, 4, 231–237 (2015). <https://doi.org/10.4321/S0213-61632015000400001>.
9. Eugster, P.T. et al.: The many faces of publish/subscribe. *ACM Comput. Surv.* 35, 2, 114–131 (2003). <https://doi.org/10.1145/857076.857078>.
10. Fang Wang, F. et al.: Toward a Passive Low-Cost In-Home Gait Assessment System for Older Adults. *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*. 17, 2, 346–355 (2013). <https://doi.org/10.1109/JBHI.2012.2233745>.
11. Fielding, R.T.: REST: Architectural Styles and the Design of Network-Based Software Architectures. University of California, Oakland, CA, USA (2000).
12. Fowler, M., Lewis, J.: Microservices, <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>. Último acceso Abril 2019.
13. Fried, L.P. et al.: Frailty in Older Adults: Evidence for a Phenotype. *J. Gerontol. Med. Sci. Am.* 56, 3, 146–156 (2001).
14. Gobbens, R.J.J. et al.: In Search of an Integral Conceptual Definition of Frailty:

- Opinions of Experts. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* 11, 5, 338–343 (2010). <https://doi.org/10.1016/J.JAMDA.2009.09.015>.
15. Ion, M. et al.: Supporting Publication and Subscription Confidentiality in Pub/Sub Networks. Presented at the (2010). https://doi.org/10.1007/978-3-642-16161-2_16.
 16. Krill, P.: Make way for SOA 2.0, <https://www.infoworld.com/article/2654672/make-way-for-soa-2-0.html>.
 17. Laliwala, Z., Chaudhary, S.: Event-driven Service-Oriented Architecture. In: 2008 International Conference on Service Systems and Service Management. pp. 1–6 IEEE (2008). <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2008.4598452>.
 18. Levina, O., Stantchev, V.: Realizing Event-Driven SOA. In: 2009 Fourth International Conference on Internet and Web Applications and Services. pp. 37–42 IEEE (2009). <https://doi.org/10.1109/ICIW.2009.14>.
 19. Light, R.A.: Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol. <https://doi.org/10.21105/joss.00265>.
 20. Lu, D. et al.: A Secure Microservice Framework for IoT. In: 2017 IEEE Symposium on Service-Oriented System Engineering (SOSE). pp. 9–18 IEEE (2017). <https://doi.org/10.1109/SOSE.2017.27>.
 21. MQTT.org: MQ Telemetry Transport, <http://mqtt.org/>.
 22. Newman, S.: Building Microservices. O'Reilly Media, Sebastopol (2015).
 23. Pautasso, C. et al.: Microservices in Practice, Part 1: Reality Check and Service Design. *IEEE Softw.* 34, 1, 91–98 (2017). <https://doi.org/10.1109/MS.2017.24>.
 24. Richards, M.: Microservices vs. Service-Oriented Architecture. O'Reilly Media (2016).
 25. Schwenk, M. et al.: Wearable Sensor-Based In-Home Assessment of Gait, Balance, and Physical Activity for Discrimination of Frailty Status: Baseline Results of the Arizona Frailty Cohort Study. *Gerontology.* 61, 3, 258–267 (2015). <https://doi.org/10.1159/000369095>.
 26. Shelby, Z. et al.: Constrained application protocol (CoAP) draft-ietf-core-coap-17. (2013).
 27. Sutton, J.L. et al.: Psychometric properties of multicomponent tools designed to assess frailty in older adults: A systematic review. *BMC Geriatr.* 16, 1, 55 (2016). <https://doi.org/10.1186/s12877-016-0225-2>.
 28. Villamizar, M. et al.: Evaluating the monolithic and the microservice architecture pattern to deploy web applications in the cloud. In: 2015 10th Computing Colombian Conference (10CCC). pp. 583–590 IEEE (2015). <https://doi.org/10.1109/ColumbianCC.2015.7333476>.
 29. ZH Healthcare, I.: blueEHR, <https://blueehr.com/specialized-telehealth-provider-launches-technology-platform-30-days/>.
 30. AMQP, <https://www.amqp.org/>. Último acceso Abril 2019.
 31. OAuth 2.0 — OAuth, <https://oauth.net/2/>. Último acceso Abril 2019.