



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

15 al 18
DE SEPTIEMBRE

20
20

www.acofi.edu.co/eiei2020

SISTEMA DE MONITOREO DEL PROCESO DE LAVADO DE MANOS EN PERSONAL DE SALUD PARA EL INGRESO A ÁREAS CLÍNICAS BAJO EL PARADIGMA DE INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

Daniel Alejandro Quiroga Torres, Juan Camilo Vargas Blanco, Pedro Antonio Aya Parra, Jefferson Sarmiento Rojas

**Universidad del Rosario
Bogotá, Colombia**

Resumen

En la sociedad actual una de las principales vías de transmisión de agentes patógenos, gérmenes y bacterias son las manos, provocando infecciones e inconvenientes de gran envergadura, especialmente en el sector de la salud durante la atención sanitaria. Esta transmisión de infecciones genera afecciones más graves en los pacientes, creando como consecuencia estancias más prolongadas en los centros de salud, a su vez menor disponibilidad de atención de estos. En el mundo, al menos uno de cada cuatro pacientes en servicios de cuidados intensivos contraerá una infección durante su estancia en el hospital. En países en vía de desarrollo, como Colombia, esta proporción puede llegar a duplicarse. Por tal motivo es necesario generar dispositivos que permitan el monitoreo del lavado de manos y de esta manera disminuir la probabilidad de contaminación cruzada. Por tal motivo, el objetivo de la investigación fue desarrollar un sistema de monitoreo del lavado de manos en personal de la salud por medio del paradigma de Internet de las cosas (IoT). Para ello, se diseñó un sistema bajo de IoT que permita el monitoreo del lavado de manos en personal de la salud en áreas clínicas. Se diseñaron dos estaciones de monitoreo una se encontraba en el lugar donde el personal de la salud realiza el proceso de higienización y la otra se encontraba en el ingreso del área clínica. Cada vez que el personal de salud realizaba el lavado de manos o ingresaba al área clínica, debía pasar una etiqueta RFID por las estaciones. Se realizó la validación de las estaciones por medio de 100 pruebas de lectura en cada una de ellas. En la estación 1 se encontró un 95% de lecturas efectivas, mientras que en la estación 2 el valor fue del 90%. Por otra parte, se realizaron 50 pruebas para verificar el monitoreo del lavado de manos obteniendo un error menor al 12%. El sistema de monitoreo implementado permitió realizar el seguimiento del lavado de manos en personal de la salud por medio de tecnología RFID y el paradigma de IoT.

Palabras clave: internet de las cosas; ingeniería clínica; lavado de manos

Abstract

In today's society, the hands are one of the main transmission routes of pathogens, germs, and bacteria, causing infections and significant problems, especially in the health sector during health care. This transmission of diseases generates more severe conditions in patients, creating as a consequence longer stays in health care centers, and therefore, less availability of them. Worldwide, at least one in four patients in intensive care services will contract an infection during his hospital stay. In developing countries, such as Colombia, this proportion may double. For this reason, it is necessary to generate devices that allow monitoring handwashing and, thus, will help to decrease the probability of cross-contamination. In this way, the research objective was to develop a handwashing monitoring system for health personnel through the Internet of Things (IoT) paradigm. To achieve this, a low IoT system was designed to allow handwashing monitoring for health personnel in clinical areas. Two monitoring stations were developed, one was in the place where the health personnel carry out the sanitation process, and the other one was at the entrance of the clinical area. Every time health personnel performed handwashing or entered the clinical area; they had to pass an RFID tag through the stations. The stations were validated using 100 reading tests in each one of them. In station 1, 95% of useful readings were found, while in station 2 the value was 90%. On the other hand, 50 tests were carried out to verify the handwashing monitoring, obtaining an error of less than 12%. The monitoring system implemented allows handwashing monitoring in health personnel using RFID technology and the IoT paradigm.

Keywords: internet of things; clinical engineering; handwashing

1. Introducción

En Estados Unidos de América, uno de cada 136 pacientes hospitalizados empeora su estado de salud debido a que contrae infecciones nosocomiales en su permanencia en hospitales. Esto equivale a 2'000.000 de casos/año y aproximadamente 90.000 muertes anuales, lo que tiene un equivalente monetario aproximado de 4.500 hasta 5.700 millones de dólares. Cada día, mueren 247 personas por una infección contraída o relacionada con la atención sanitaria en los Estados Unidos. Al menos 320.000 pacientes en el Reino Unido contraen una o más infecciones relacionadas con la atención brindada por personal médico en las diferentes instituciones prestadoras de salud (hospitales, centros de salud, etc.) (Organización Mundial de la Salud, 2005).

En el mundo, al menos uno de cada cuatro pacientes en servicios de cuidados intensivos (UCI) contraerá una infección durante su estancia en el hospital. En países en vía de desarrollo, como Colombia, esta proporción puede llegar duplicarse. En promedio el 25% de los pacientes en áreas de cuidados intensivos o críticos contraen infecciones nosocomiales, incluso en algunos países esta proporción tiende a elevarse significativamente, como lo es en el caso de Trinidad y Tobago, en donde 2/3 del número total de pacientes ingresados a una unidad de cuidados intensivos contraen por lo menos una infección de tipo nosocomial. En países que cuentan con bajos recursos, en los que

los sistemas de salud deben recibir y atender a un mayor número de población enferma, y afrontar la falta de recursos humanos y técnicos, la carga que representan las infecciones relacionadas con la atención sanitaria es aún más elevada. Puntualmente, en México, las infecciones relacionadas a la atención sanitaria son la tercera causa de muerte en la población general. Las estimaciones del porcentaje de infecciones nosocomiales que son prevenibles pueden llegar al 40% o más en los países en vía de desarrollo (Organización Mundial de la Salud, 2005).

Actualmente, a nivel mundial, miles de personas mueren diariamente o se encuentran en un delicado estado de salud debido a las innumerables infecciones contraídas al momento de recibir atención médica por parte de cualquier miembro del personal médico, el cual puede tratarse de enfermeras, terapeutas, doctores, cirujanos y demás. Estas infecciones contraídas en el entorno sanitario llegan a ser unas de las principales causas de muerte y de incremento de la morbilidad en pacientes hospitalizados. Por tal razón, mantener la higiene en las manos en este personal es una de las medidas más importantes al momento de prevenir y evitar la transmisión de gérmenes nocivos que afecten la salud de los pacientes (Hospital de Pediatría Garrahan, 2016).

En la actualidad, existen distintas soluciones a la problemática del lavado de manos. Una aproximación, es sugerir una estrategia que se basa en el recordatorio del lavado de manos constantemente mediante posters que reflejan el proceso correcto de lavado de manos. Estos se encuentran ubicados en lugares donde el procedimiento sea de mayor importancia, es decir, áreas donde se dé contacto con el paciente (Karreman, Berendsen, Pol, & Dorman, 2015). Por otra parte, existe la campaña a nivel mundial denominada "Salve vidas: límpiense las manos", la cual fue inaugurada en el 2009 y se encuentra encabezada por la OMS en apoyo de los trabajadores de la salud. Esta iniciativa tiene como objetivo mejorar la higiene de las manos en la atención sanitaria, a su vez, es la continuación del primer "Reto Mundial por la Seguridad del Paciente: Una atención limpia es una atención más segura" (Organización Mundial de la Salud, s.f.).

En cuanto a la aproximación tecnológica existen otro tipo de soluciones con un mayor impacto en el sector de la salud, estas principalmente se basan en métodos o sistemas que logren detectar el lavado de manos del personal médico. Algunos métodos empleados en ensayos clínicos se basan en sistema IR (Infrarrojo) empleando sensores que permiten determinar cuando el personal médico se traslada en medio de habitaciones o camillas, al mismo tiempo el personal médico porta dispensadores de gel de alcohol y un monitor electrónico inalámbrico (Levchenko, Boscart, Ibbett, & Fernie, 2009). Por otra parte, un experimento realizado en un hospital de Japón contó con la participación de 84 estudiantes de medicina en donde se les evaluaba la habilidad de lavado las manos mediante un método de procesamiento de imágenes en donde se identifican las zonas que prevalecían bacterias (manchas pseudo-sucias) posterior al lavado de manos, y su evaluación era realizada de manera cuantitativa y cualitativa (Yamamoto, et al., 2018).

A partir de lo anterior, se puede observar que existen diferentes tipos de aproximaciones para el correcto lavado de manos. Sin embargo, no se tienen desarrollos centrados en el monitoreo del lavado de manos al ingresar en un área clínica específica. Por tal motivo, el objetivo de este proyecto fue desarrollar un sistema de monitoreo del lavado de manos en personal de la salud por medio del paradigma de Internet de las cosas (IoT).

2. Metodología

Se buscó diseñar un dispositivo que fuera de fácil uso, que no complejizara los procesos de ingreso o lavado de manos al personal de la salud, y que permitiera enviar la información por medio de internet para poder observar desde cualquier dispositivo el proceso del lavado de manos del personal en un hospital, clínica o centro de salud. Para ello se diseñó un dispositivo bajo tecnología RFID (Radio Frequency Identification) que adquiera el UID (Unique Identifier) de una etiqueta de dicha tecnología cada vez que se haga el lavado de manos y se ingrese a un área específica. Además, el sistema envía a una base de datos en la nube el identificador y la fecha para tener una trazabilidad de cada persona. En esta investigación se hizo uso de dos dispositivos, el primero de ellos en la estación de lavado de manos y la segunda al lado de la puerta del ingreso a la zona determinada (ver figura 1).

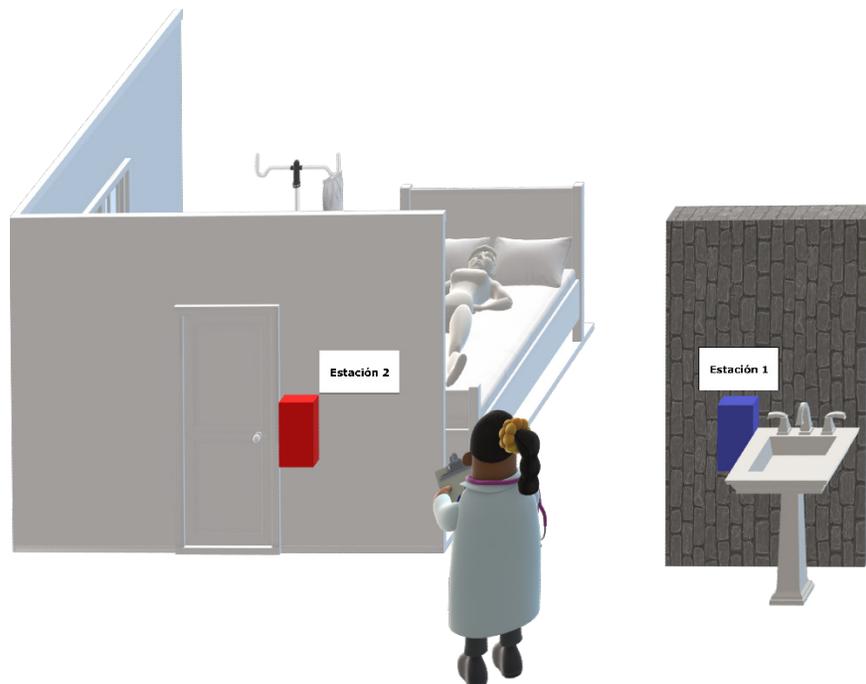


Figura 1. Ubicación del dispositivo en las dos estaciones.

2.1. Construcción del dispositivo

El dispositivo se diseñó bajo el paradigma de IoT bajo una arquitectura distribuida, donde se envía la información directamente del dispositivo a la nube, sin pasar por un broker intermedio. El diseño está compuesto por un módulo de lectura RFID-MFRC522, el cual lee y extrae el UID de cada tarjeta para su posterior transmisión. Este módulo de lectura se comunica con el Arduino UNO mediante un bus de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface). Después de la lectura, se envía por protocolo serial la información del UID a la tarjeta Sparkfun ESP8266 que envía los datos por medio del protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) a la plataforma Node-Red. En la plataforma Node-Red se crea una simple interfaz para poder observar los datos que están llegando de las estaciones y se genera un sistema REST-API para guardar la información en la base

de datos no relacional Firebase Realtime Database. En la figura 2 se puede observar el diagrama de bloques del dispositivo.

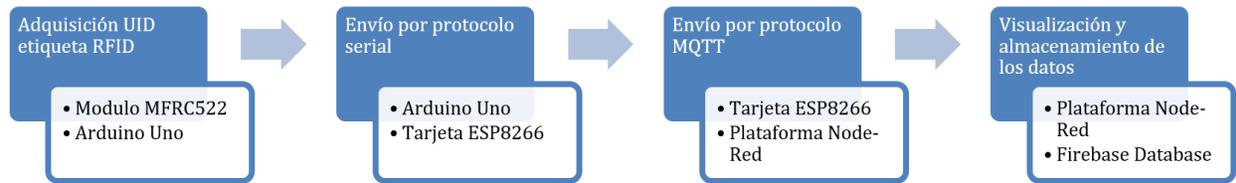


Figura 2. Diagrama de bloques del sistema

2.2. Alarmas

Se implementó una alarma auditiva y una visual para el control del acceso a las áreas clínicas, en este caso cada vez que el personal de la salud registraba su etiqueta RFID en el dispositivo, este le indicaba si estaba en condiciones de ingresar o no al área clínica. En caso de que no, debería dirigirse a la estación de lavado de manos y hacer el procedimiento de higienización y luego si ingresar al área determinada.

2.3. Protocolo de pruebas

Para evaluar el funcionamiento del dispositivo, se construyó un protocolo con 7 pasos. Este protocolo busca identificar que el envío de los datos al sistema en la nube este correcto y permita identificar cuando el personal de la salud ha hecho el procedimiento de lavado de manos o ha ingresado a un área clínica. El protocolo fue el siguiente:

1. El miembro del personal de salud se debe desplazar hasta la estación de higiene (lavamanos o dispensador de preparación alcohólica).
2. Debe acercarse la tarjeta al módulo lector MFRC-522, ubicado junto a la estación de higiene de manos.
3. Debe realizar el proceso de higiene de manos.
4. Se debe desplazar hasta la estación 2, donde se encuentra un segundo módulo lector MFRC-522, ubicado en la puerta de acceso a un área hospitalaria (UCI, habitación de paciente, etc.).
5. Debe acercarse la tarjeta al módulo.
6. Esperar por mensaje de audio y texto desplegados en la interfaz.
7. Realizar acción correspondiente al mensaje desplegado.

Por otra parte, se diseñó otro protocolo para verificar el proceso de ingreso a las áreas clínicas sin haber realizado el proceso de lavado de manos. Este protocolo que consta de 12 puntos buscaba comprobar el funcionamiento de las alarmas programadas en el dispositivo. Los pasos fueron los siguientes:

1. El miembro del personal de salud se debe desplazar hasta la estación de higiene (lavamanos o dispensador de preparación alcohólica).

2. Debe acercarse la tarjeta al módulo lector MFRC-522, ubicado junto a la estación de higiene de manos.
3. Debe realizar el proceso de higiene de manos.
4. Se debe desplazarse hasta la estación 2, donde se encuentra un segundo módulo lector MFRC-522, ubicado en la puerta de acceso a un área hospitalaria (UCI, habitación de paciente, etc.).
5. Debe acercarse la tarjeta al módulo.
6. Esperar por mensaje de audio y texto desplegados en la interfaz.
7. Realizar acción correspondiente al mensaje desplegado.
8. Si se obtuvo un mensaje de aprobación de ingreso, realizar ingreso al área seleccionada.
9. Retirarse del área seleccionada
10. Desplazarse hasta la estación 2, donde se encuentra un módulo lector MFRC-522, ubicado en la puerta de acceso a un área hospitalaria (UCI, habitación de paciente, etc.).
11. Debe acercarse la tarjeta al módulo.
12. Esperar por mensaje de audio y texto desplegados en la interfaz.

3. Resultados

3.1. Construcción del dispositivo

En la figura 3 y 4 se pueden observar los dispositivos ubicados en dos estaciones de prueba donde se realizó la validación de los protocolos mencionados anteriormente. En la figura 3.a se observa que el dispositivo se encontraba al lado de la estación de lavado de manos, sin interferir en el proceso de Higienización. Por otro lado, en la figura 4.a se ve el dispositivo al lado de la manija de la puerta, para que de esta manera no se omita el paso de identificarse por medio de su etiqueta RFID.

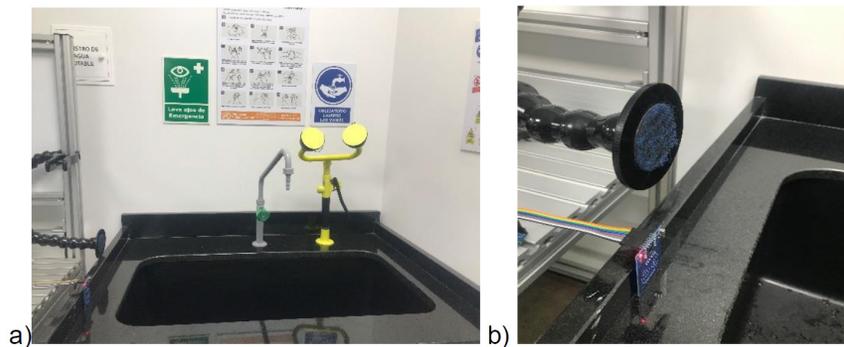


Figura 3. Estación 1 en modelo de prueba. a) Vista general estación 1. b) Ubicación módulo lector RFID.

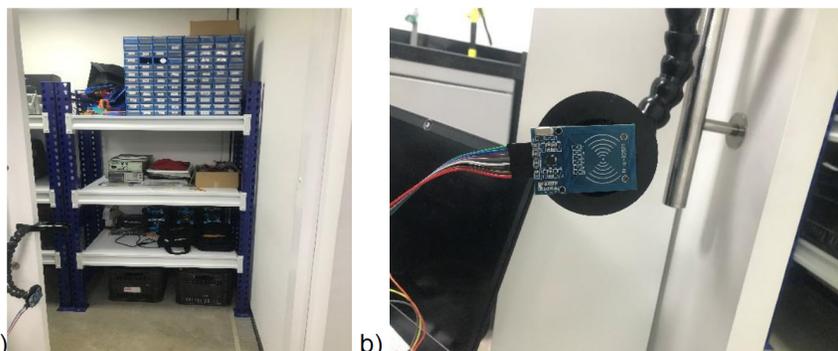


Figura 4. Estación 2 en modelo de prueba. a) Vista general estación 1. b) Ubicación módulo lector RFID.

El protocolo de verificación del funcionamiento se realizó 100 veces en cada uno de los dispositivos de las estaciones para verificar su funcionamiento. En la tabla 1 se puede ver los resultados en cada una de las estaciones encontrando que por lo menos se tiene un 90% de lecturas correctas en el sistema. De igual manera, se evaluó los mensajes de las alarmas emitidas por el dispositivo, contando con un 89% de mensajes correctos (ver tabla 2).

Tabla 1. Resultados pruebas de funcionamiento.

Estación	Lecturas efectivas
1	95
2	90

Tabla 2. Resultados mensajes desplegados en pruebas de funcionamiento.

Mensaje desplegado (visual y auditivo)	Número de despliegues
Admitido	86
Lávese las manos	3
Mensaje nulo	11

Adicionalmente, se realizaron 50 pruebas para el protocolo de verificación de alarmas cuando se ingresa a una zona sin haber realizado el procedimiento del lavado de manos. Se obtuvo un 88% (44 lecturas) de mensajes correctos tal como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados pruebas funcionamiento bajo escenario específico.

Estación	Lecturas efectivas	Reingreso
2	44	No
2	44	Si

4. Discusión

Durante las pruebas realizadas al sistema en la estación 1 obtuvo un rendimiento del 95% en lecturas efectivas y registros almacenados respecto al total de las 100 pruebas realizadas. Lo anterior permite dar garantía de que esta estación fue diseñada correctamente, presentando tan solo 5 fallas. En el segundo componente del sistema, estación 2, se obtuvo un rendimiento de 90 lecturas efectivas y registros almacenados respecto al total de las 100 pruebas realizadas. Esto es

equivalente a un muy buen desempeño, presentando tan solo 10 fallas (Pineles, et al., 2014). Estas fallas pudieron presentarse debido a que el alcance de los módulos lectores es muy reducido, por lo que se requiere que en cada prueba se deba tratar de obtener la menor distancia posible entre la etiqueta RFID y el módulo lector. Esto con lleva a que el usuario desplace la etiqueta lo más cerca posible y deslice en su totalidad la etiqueta RFID por el módulo lector.

En la tabla 2, se muestran el número de resultados obtenidos durante la realización de las pruebas. Estos resultados se representan en porcentaje de la siguiente manera: 86% de "Admitido", donde solo se debía desplegar este mensaje si la etiqueta RFID se registrada en la estación 1 y se desplazaba hacia la estación 2, es decir, el miembro del personal de salud realizaba el procedimiento de lavado de manos y luego se desplazaba a un área hospitalaria o clínica. 3% de "Lávese las manos", donde solo se debía desplegar este mensaje si la etiqueta RFID leída en la estación 2 no correspondía con la etiqueta RFID registrada en la estación 1 o si no se tenía registro de alguna etiqueta RFID en la estación 1. 11% de mensaje de nulo, donde no se debía desplegar ningún mensaje ya que no se había logrado una lectura efectiva en la segunda estación, por lo tanto, no se cumplía con uno de los requisitos necesarios para poder desplegar un mensaje como resultado.

Las infecciones relacionadas con la atención sanitaria han sido el mayor problema para las instituciones de salud. Por tal razón, el cumplimiento de la higiene de las manos se ha tornado en el método más efectivo para hacer frente a esta problemática y reducir la transmisión de infecciones. Debido a esto, se debe llevar un control y seguimiento del cumplimiento de higienización de las manos, para lo cual se requiere de una constante vigilancia al personal de salud en el momento de cumplir con dicho procedimiento, lo que a su vez genera un cambio en el comportamiento del personal al saber que está siendo monitorizado u observado. Esto se denomina el efecto Hawthorne, lo que se conoce como una forma de reactividad psicológica por la que los miembros participantes de un experimento o prueba, presentan cambios en la conducta natural de la ejecución de un proceso a raíz del hecho de saber que están siendo monitorizados, más no por iniciativa de cumplir a cabalidad con la reglamentación necesaria dentro de dicho proceso (Cherry, 2018).

5. Conclusiones

Se realizó de manera satisfactoria un sistema de control de lavado de manos mediante tecnología RFID para un ambiente clínico, junto con un protocolo de prueba y manejo del sistema para ser empleado. Este sistema de control cuenta con una estación de higiene de manos para la detección oportuna de desinfección de manos en áreas clínicas a partir de tecnología RFID y una segunda estación de higiene de manos para realizar el control de entrada del personal médico que se encuentran en áreas clínicas como hospitalización y unidad de cuidados intensivos. Todo el sistema se encuentra bajo un modelo de comunicación entre diferentes dispositivos a través del paradigma de IoT permitiendo la visualización y almacenamiento de registros correspondientes a la higienización de manos y eventos adversos como no higienización de manos. A su vez, este modelo se complementa con un sistema que permita la notificación de un evento adverso para así poder

establecer la trazabilidad de este tipo de eventos y ejercer un control de acceso a áreas hospitalarias en base a estos.

6. Referencias

- Cherry, K. (2018). *The Hawthorne Effect and Behavioral Studies*. Recuperado el 10 de diciembre de 2018, de <https://www.verywellmind.com/what-is-the-hawthorne-effect-2795234>
- Hospital de Pediatría Garrahan. (2016). *La importancia de los 5 momentos del lavado de manos para evitar infecciones*. Recuperado el 10 de diciembre de 2019, de <https://www.garrahan.gov.ar/noticias-octubre-2016/octubre/la-importancia-de-los-5-momentos-del-lavado-de-manos-para-evitar-infecciones>
- Karreman, J., Berendsen, F., Pol, B., & Dorman, H. (2015). Health care workers' compliance with hand hygiene regulations: Positive effects of a poster. *IEEE International Professional Communication Conference (IPCC)* (págs. 1-7). Limerick: IEEE. doi:10.1109/IPCC.2015.7235830
- Levchenko, A. I., Boscart, V. M., Ibbett, J. P., & Fernie, G. R. (2009). Distributed IR based technology to monitor hand hygiene of healthcare staff. *IEEE Toronto International Conference Science and Technology for Humanity (TIC-STH)* (págs. 252-255). Toronto: IEEE. doi:10.1109/TIC-STH.2009.5444496
- Organización Mundial de la Salud. (2005). *Directrices de la OMS sobre higiene de las manos en la atención sanitaria (Borrador avanzado): Resumen*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 10 de diciembre de 2019, de https://www.who.int/patientsafety/information_centre/Spanish_HH_Guidelines.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Una atención más limpia es una atención más segura*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2019, de <https://www.who.int/gpsc/background/es/>
- Pineles, L. L., Morgan, D. J., Limper, H. M., Weber, S. G., Thom, K. A., Perencevich, E. N., . . . Landon, E. (2014). Accuracy of a Radiofrequency Identification (RFID) Badge System to Monitor Hand Hygiene Behavior During Routine Clinical Activities. *Am J Infect Control*, 42(2), 144-147. doi:10.1016/j.ajic.2013.07.014
- Yamamoto, K., Miyanaga, K., Miyahara, H., Yoshii, M., Kinoshita, F., & Touyama, H. (2018). Toward the Evaluation of Handwashing Skills Based on Image Processing. *Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS)* (pp. 855-858). Toyama: IEEE. doi:10.1109/SCIS-ISIS.2018.00141

Sobre los autores

- **Daniel Alejandro Quiroga Torres:** Ingeniero Biomédico y Electrónico. Profesor Auxiliar de Carrera del programa de Ingeniería Biomédica, Universidad del Rosario. daniel.quiroga@urosario.edu.co

- **Juan Camilo Vargas Blanco:** Estudiante de Ingeniería Biomédica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y Universidad del Rosario. diego.castelblanco-a@mail.escuelaing.edu.co
- **Jefferson Sarmiento Rojas:** Ingeniero electrónico, Magíster en Ingeniería Electrónica. Instructor de prácticas del programa de Ingeniería Biomédica, Universidad del Rosario. jefferson.sarmiento@urosario.edu.co
- **Pedro Antonio Aya Parra:** Ingeniero Biomédico, Magíster en Ingeniería Electrónica. Instructor de prácticas del programa de Ingeniería Biomédica, Universidad del Rosario. pedro.aya@urosario.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)