

**SISTEMA DE CONTROL DE HIGIENE DE MANOS EN PERSONAL MÉDICO EN  
ÁREAS DE HOSPITALIZACIÓN Y UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS A PARTIR DE  
TECNOLOGÍA RFID.**

**JUAN CAMILO VARGAS BLANCO**

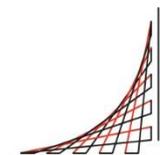
**Trabajo Dirigido**

**Tutor**

**Ing. DANIEL ALEJANDRO QUIROGA TORRES**



**Universidad del  
Rosario**



**ESCUELA  
COLOMBIANA  
DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO  
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO  
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA  
BOGOTÁ D.C  
2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme dado la bendición de poder estudiar y el privilegio de poder culminar esta etapa de mi vida, permitiéndome formar como un profesional dispuesto ayudar a su país.

Quiero agradecer a mis padres y familia que siempre han sido mi mayor motivación de vida. Les agradezco por el esfuerzo tan inmenso que han tenido que hacer en sus vidas para darme la oportunidad de educarme y formarme. También, por su constante e indispensable compañía, paciencia y apoyo. De igual manera, le doy las gracias a la familia Villavicencio, que me brindo su apoyo en todo momento y me tendió su mano en momentos difíciles. Gracias

Agradezco al ingeniero Daniel Alejandro Quiroga Torres por su asesoría y apoyo en el desarrollo de este trabajo dirigido, ya que fue de gran importancia para lograr la culminación de este. Adicionalmente, le agradezco a todos los compañeros que estuvieron conmigo y me brindaron su respaldo en el transcurso de esta carrera profesional. Especialmente, gracias a mi compañero Alejandro Muñoz por su ayuda en el desarrollo de este trabajo dirigido.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	8
2.1. Transmisión de infecciones nosocomiales.....	8
2.2. Infecciones asociadas a la atención sanitaria.....	9
2.2.1. Datos Globales.....	9
2.2.2. Datos Nacionales .....	11
2.3. Participación de organización mundial de la salud.....	12
2.4. Momentos para higiene de las manos .....	13
2.5. Evidencia de mejora de higiene de manos .....	15
2.6. Impacto de la mejora de higiene de manos .....	18
2.7. Antecedentes tecnológicos.....	19
2.8. Tecnología RFID .....	19
2.9. Internet de las cosas.....	21
3. OBJETIVOS .....	23
3.1. General.....	23
3.2. Específicos.....	23
4. METODOLOGÍA.....	24
4.1. Construcción del dispositivo (hardware) .....	27
4.2. Construcción del dispositivo (software).....	28
4.3. Diagramas de bloques del sistema.....	30
4.4. Protocolos de pruebas.....	32
5. RESULTADOS .....	34
6. DISCUSIÓN.....	38
7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	41
8. CONCLUSIONES.....	42
REFERENCIAS .....	43
ANEXOS.....	45

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Prevalencia de infecciones asociadas a la atención sanitaria en países desarrollados.

Figura 2. Prevalencia de infecciones asociadas a la atención sanitaria en países en vía de desarrollo.

Figura 3. Representación de los conceptos zona del paciente y área de asistencia.

Figura 4. Componentes y estructura de un sistema RFID.

Figura 5. Diagrama de Gantt. Parte 1

Figura 6. Diagrama de Gantt. Parte 2

Figura 7. Diagrama de Gantt. Parte 3

Figura 8. Diagrama de Gantt. Parte 4

Figura 9. Diagrama de Gantt. Parte 5

Figura 10. Estación 1. Ubicación y materiales empleados en construcción de estación 1.

Figura 11. Estación 2. Ubicación y materiales empleados en construcción de estación 2.

Figura 12. Conexión Módulo MFRC522-Arduino UNO-Sparkfun 8266.

Figura 13. Diagrama de bloques estación 1.

Figura 14. Diagrama de bloques estación 2.

Figura 15. Diagrama de bloques del sistema general.

Figura 16. Visualización de interfaz en el momento de pruebas.

Figura 17. Estación 1 en modelo de prueba. a) Vista general estación 1. b) Ubicación módulo lector RFID.

Figura 18. Estación 2 en modelo de prueba. a) Vista general estación 2. b) Ubicación módulo lector RFID.

Figura 19. Porcentaje de detección en pruebas de funcionamiento.

Figura 20. Porcentaje de detección en pruebas de funcionamiento bajo escenario específico.

Figura 21. Ubicación módulo lector RFID-MFRC522 junto patrón de referencia de distancia.

Figura 22. Porcentaje de detección en pruebas de alcance de lectura.

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de índices de infecciones relacionadas con dispositivos de unidad de terapia intensiva entre países en vía de desarrollo y países desarrollados.

Tabla 2. Relación entre intervención para una mejora de higiene de las manos e índices asociados a la atención de salud entre los años 1997-2008.

Tabla 3. Clasificación sistemas RFID.

Tabla 4. Resultados pruebas de funcionamiento.

Tabla 5. Resultados mensajes desplegados en pruebas de funcionamiento.

Tabla 6. Resultados pruebas de funcionamiento bajo escenario específico.

Tabla 7. Resultados alcance de lectura módulo RFID-MFRC522

## 1. INTRODUCCIÓN

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 de los pacientes en los centros de salud (en promedio de 3 a 20 días), a su vez menor disponibilidad de atención de estos [1] [2]. Así mismo, representan un gasto económico mayor para el sistema de salud (costo sanitario) lo que causa limitantes. No obstante, la transmisión de las infecciones relacionadas con la atención sanitaria puede ocasionar afecciones o discapacidades de larga duración [2] [3].

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.) [2].

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 a duplicarse [2]. 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. Los países que cuentan con bajos recursos deben afrontar la falta de recursos humanos y técnicos, por lo cual, 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 [2].

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 afectan la salud de los pacientes [1].

Existen situaciones o momentos fundamentales en donde se debe realizar el lavado o limpieza de manos por parte del personal médico para evitar la colonización y propagación de gérmenes perjudiciales tanto en pacientes, personal médico como en instalaciones de los centros de salud [4]. Estos serán expuestos y desarrollados más adelante.

En la actualidad, existen distintas soluciones a la problemática del lavado de manos. En algunos artículos de las bases de datos PubMed e IEEE Explorer, se sugiere 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 lavado de manos sea de mayor importancia, es decir, áreas donde se dé contacto con el paciente [5]. 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" [6].

La campaña tiene como método de solución fomentar la adopción de medidas en lugares de consulta o interacción del paciente para así demostrar que la higiene de las manos es un factor significativo para lograr una mayor reducción de las infecciones asociadas a la atención sanitaria (IAAS), como también, mejorar de la seguridad del paciente. Finalmente, uno de sus principales objetivos es dar a conocer el compromiso significativo con la higiene de la atención de salud [6]. La OMS propone diferentes maneras relevantes para que los entes prestadores de salud puedan mejorar la higiene de manos de su personal, y a su vez, apaciguar la colonización y propagación de gérmenes, enfermedad, bacterias, etc. [2]

En cuanto a términos tecnológicos 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 [7]. 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 [8].

A partir de lo anterior, se puede observar que existen diferentes tipos de solución a la problemática de IAAS. Una solución es el control de IAAS basado en el desarrollo de sistemas de control de lavado de manos. El sistema de control de lavado de manos en personal médico en áreas de hospitalización y unidad de cuidados intensivos mediante tecnología RFID tiene como objetivo brindar una herramienta que ayude a la reducción de propagación de bacterias, gérmenes e infecciones asociadas a la atención de pacientes.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Transmisión de infecciones nosocomiales

La razón u origen de este tipo de infecciones relacionadas a la atención sanitaria es de tipo multifacética, lo que significa que se origina por diferentes medios tales como: contacto directo e indirecto, aire, fluidos o un transportador común [2] [9]. Durante la transmisión de infecciones asociadas a la atención sanitaria existe un factor denominado contaminación cruzada al cual se le atribuye la mayor responsabilidad de este fenómeno. La contaminación cruzada consiste en la transmisión de microorganismos desde pacientes u objetos ubicados en sus inmediaciones, los cuales pueden estar posiblemente contaminados, hacia otros pacientes o personal del sector de la salud. Generalmente, esta transmisión se da a través de un transportador común como lo son las manos de profesionales del sector de la salud [10]. El medio de transmisión de agentes patógenos más común en la atención sanitaria obedece a manos contaminadas de los profesionales de la salud, las cuales producen un contagio en diferentes momentos [9]:

- 1) La piel del paciente se encuentra colonizada por agentes patógenos o en su defecto estos se encuentran diseminados en las inmediaciones u objetos aledaños al paciente.
- 2) Los organismos deben transferirse a las manos de los trabajadores de la salud.
- 3) Los organismos depositados en las manos deben ser capaces de sobrevivir por un periodo de tiempo considerable en las manos de los trabajadores de la salud.
- 4) La higienización o antisepsia de las manos debe realizarse de manera inadecuada, no realizarse o emplear agentes de desinfección no idóneos.
- 5) Las manos colonizadas o infectadas deben entrar en contacto directo con otro paciente o con el medio en el que éste se encuentre inmerso, incluidos objetos cercanos con los cuales puede llegar a tener contacto.

Posterior a un contacto de las manos con fuentes proveedoras de infecciones asociadas a la atención sanitaria, los microorganismos depositados en estas llegan a sobrevivir por periodos de tiempo comprendidos entre 2 y 60 minutos. Las manos de los profesionales de la salud llegan a ser colonizados de forma gradual con flora comensal, como también con patógenos potenciales posterior a la atención o cuidado del paciente. Existe una relación directamente proporcional entre el tiempo de atención y el grado de colonización o contaminación de las manos, pues entre mayor tiempo se esté en contacto con el paciente, mayor será la afectación. Esta relación se ve afectada por la higienización de las manos debido a que si esta se realiza de manera correcta los microorganismos tienen una probabilidad nula de sobrevivir, aunque una higienización deficiente con lleva a una descontaminación incompleta y una transferencia microbiana efectiva, dando lugar a que las manos se asocien a las infecciones relacionadas con la atención sanitaria [1] [4] [9].

Además del tiempo de contacto o atención existe una variable de consideración en la transmisión y colonización de agentes patógenos por medio de las manos, la cual corresponde al número de contactos o exposiciones de los profesionales sanitarios en los

centros de atención de salud, ya que ésta puede llegar a ser del orden de miles por día. Durante cada atención se produce un contacto de las manos con diferentes elementos o superficies el cual produce un intercambio bidireccional de microorganismos transitorios desde las manos hacia el paciente u objetos [10].

## **2.2. Infecciones asociadas a la atención sanitaria.**

### *2.2.1. Datos Globales*

Una encuesta realizada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 55 hospitales de 14 países reveló que, en promedio 8,7% de los pacientes en hospitalización contraen una o más infecciones de tipo nosocomial. Esto equivale a que más de 1,4 millones de personas en el mundo contraen o sufren de una infección relacionada a la atención sanitaria. Las infecciones de este tipo afectan mucho más a los pacientes críticamente enfermos, pues entre más débil se encuentre el mismo, mayor probabilidad existe de que contraiga una infección relacionada a la atención sanitaria. Afectando de esta manera a pacientes de todo tipo de edad, desde pacientes neonatos hasta adultos mayores [2].

Algunas estadísticas otorgadas por la Organización Mundial de la Salud argumentan que, en países desarrollados, del 5 al 15% de los pacientes hospitalizados en centros de salud por enfermedades agudas contraen una o más infecciones que no padecían al momento del ingreso. En Europa y Estados Unidos se evaluaron los índices de prevalencia de infecciones contraídas por parte de pacientes internados en unidades de cuidados intensivos o atención crítica, los cuales oscilan entre el 9 al 37%, con índices de mortalidad que están entre 12 al 80% [2] [9].

En países desarrollados como Inglaterra, aproximadamente se presentan 100.000 casos de infecciones relacionadas a la atención en salud llegan a costar al National Health Service (NHS) un valor de 1.000 millones de libras por año. 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.). En la Unión Europea, alrededor de 3,2 millones de pacientes adquieren una infección asociada a la atención sanitaria, de los cuales 37.000 pacientes mueren por consecuencia directa de dicha adquisición [11]. En el caso de la Federación de Rusia, en una unidad de cuidados intensivos neonatales una infección de tipo nosocomial hemática alcanza un costo \$1.100 US [2].

Estudios realizados por la OMS en algunos países desarrollados permiten observar el índice de prevalencia hospitalaria de pacientes afectados por infecciones asociadas a la atención sanitaria, principalmente oscila entre 4,6% al 9,3% como se ve en la figura 1 [9]. En el caso de países en vía de desarrollo existen diferentes factores desfavorables para el control de infecciones atribuibles a limitados recursos económicos, tales como escasez de personal, medidas de sanidad e higiene deficientes, baja disponibilidad de equipamiento básico, baja calidad de estructuras y saturación (hacinamiento) del sistema de salud [9]. Por ejemplo, en este tipo de países como Colombia el porcentaje de pacientes hospitalizados en centros de salud para enfermedades agudas contraen una o más

infecciones que no padecían al momento del ingreso, este tiende a ser igual o superior al 20% [2]. En el caso de México, se presentan aproximadamente 450.000 infecciones, causando 35 muertes por cada 100.000 ingresos en áreas de neonatología, causando una tasa de mortalidad entre 4 y 5%. Los costos de las infecciones relacionadas con la atención sanitaria en este país logran abarcar aproximadamente el 70% del presupuesto Nacional del Ministerio de Salud [2].

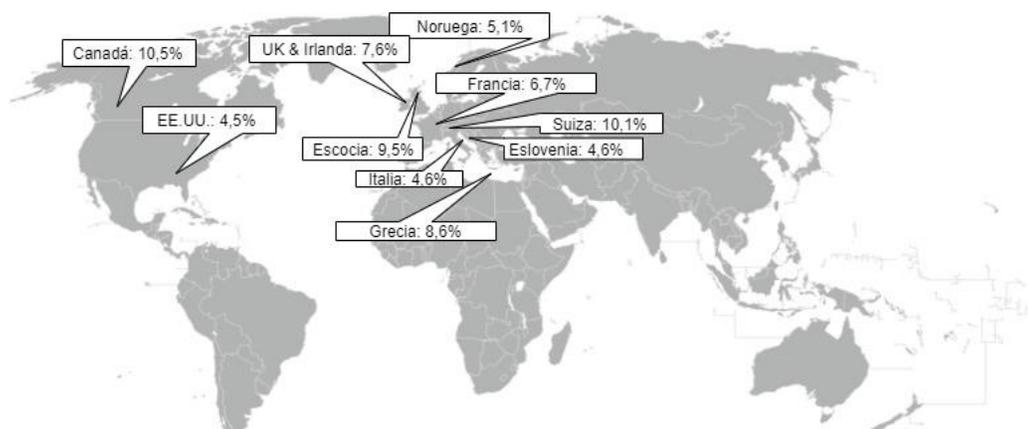


Figura 1. Prevalencia de infecciones asociadas a la atención sanitaria en países desarrollados [9].

En investigaciones relacionadas a la prevalencia diaria de infecciones asociadas a la atención sanitaria llevadas a cabo en hospitales de diferentes países como Albania, Marruecos, Túnez y República Unida de Tanzania, se obtuvieron índices de prevalencia entre 14,8 y 19,1% como se ve en la figura 2 [9].

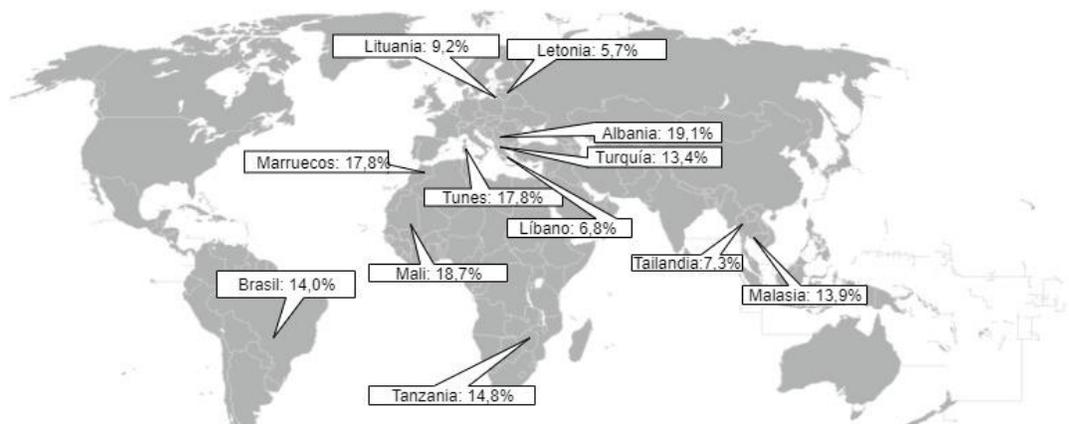


Figura 2. Prevalencia de infecciones asociadas a la atención sanitaria en países en vía de desarrollo [9].

A partir de diferentes estudios multicéntricos realizados en unidades de terapia intensiva pediátricas y adultos, se logran obtener índices de infección asociados a dispositivos empleados en estas áreas, infección del flujo sanguíneo asociada con línea central (IFS-ALC), neumonía asociada a ventilador (NAV) e infección del tracto urinario relacionado con

catéter (ITU-RC). La periodicidad de estos estudios en los países en desarrollo y países desarrollados es de 2002-2007 y 2006-2007, respectivamente [9].

Como se puede observar en la tabla 1, los índices en los tres tipos de infecciones evaluadas tanto en áreas de pediatría y adultos en los países en vía de desarrollo es significativamente alto en comparación con los países desarrollados. Esto permite afirmar que el control de infecciones relacionadas al momento de atención sanitaria en países en vía de desarrollo es de menor calidad y exigencia. Se debe resaltar que estos índices son establecidos con respecto a un grupo de 18 países en vía de desarrollo en los que se incluye Colombia.

Tabla 1. Comparación de índices de infecciones relacionadas con dispositivos de unidad de terapia intensiva entre países en vía de desarrollo y países desarrollados [9].

Red de vigilancia, periodo de estudio, país	Área de intervención	NC. de pacientes	IFS-ALC*	NAV*	ITU-RC*
INICC, 2002-2007, 18 países en desarrollo °	UCI pediatría	1.808	6,9	7,8	4,0
NHSN, 2006-2007, EE. UU.	UCI pediatría	—	2,9	2,1	5,0
INICC, 2002-2007, 18 países en desarrollo °	UCI adultos	26.155	8,9	20,0	6,6
NHSN, 2006-2007, EE. UU.	UCI adultos	—	1,5	2,3	3,1

\* Índices de infecciones totales (media encuestada) /1000 días-dispositivo.

INICC = International Nosocomial Infection Control Consortium (Consortio Internacional de Control de Infecciones Hospitalarias); NHSN = National Healthcare Safety Network (Red Nacional de Seguridad en la atención de la Salud)

Siendo esta problemática de tipo mundial, es decir, que afecta tanto a países desarrollados y en vía de desarrollo. Un estudio reciente realizado por la OMS asegura que, de cada 100 pacientes hospitalizados en cierto momento, 7 de ellos adquirirán algún tipo de infección asociada a la atención sanitaria en países de altos ingresos, y en el caso de países de bajos y medianos ingresos 10 pacientes adquieren algún tipo de infección asociada a la atención sanitaria [6]. Se estima que, más de 1'400.000 personas en todo el mundo sufre de infecciones contraídas en hospitales [2].

Un escenario perfecto para la proliferación y contracción de infecciones nosocomiales son los servicios de salud saturados, es decir, servicios que cuentan con una alta demanda, pero también con bajos recursos y ausencia de personal. Esto genera que el uso de tecnología e insumos médicos se dé de manera incorrecta e incrementa el riesgo de infecciones al momento de la atención médica. A su vez, la ausencia de medidas de prevención y control de infecciones favorece la propagación de microorganismos patógenos, lo cual llega a ser un elemento que fortalece la existencia de estos, convirtiendo así los establecimientos sanitarios en lugares adecuados para que dichos microorganismos se multipliquen y logren un mayor alcance, generando afectaciones en el personal hospitalario y comunidad en general [2].

### 2.2.2. Datos Nacionales

En términos nacionales las estadísticas para el periodo 2002-2006 revelaron una de tasa

de infecciones asociadas a la atención sanitaria de 13,9% por 1000 días/estancia. Puntualmente, en Bogotá el índice global de este tipo de infecciones fue de aproximadamente 2,4 por cada 100 ingresos hospitalarios. Durante el año 2013 la tasa de infecciones nosocomiales fue de 1,25 en todo el país, en donde las regiones con mayores índices fueron Antioquia, Valle del Cauca, Santander, Tolima y Bogotá con valores de 2.02, 1.77, 1.58, 1,4 y 1.37, respectivamente [12].

Según datos proporcionados por el sistema de vigilancia de epidemiología de la Secretaria de Salud de Bogotá D.C en el año 2007, los servicios con mayor porcentaje de infecciones asociadas a la atención de salud por microorganismos resistentes fueron Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), Cirugía general, pediatría y UCI neonatales con valores de 48,6%, 35%, 22,4% y 7 a 24,5%, respectivamente. Estos servicios presentan índices de frecuencia mucho más elevados, aproximadamente entre 5 a 10 veces mayor en comparación con otras unidades, por lo que generan una fuerte afectación de insumos y presupuesto al sistema de salud distrital [12].

Un estudio realizado por la Secretaria Distrital de Salud de Bogotá, en el año 2003 arrojó que el 62.4% de las infecciones reportadas por unidades notificadoras correspondían a microorganismos sensibles y el 37.6% correspondían a microorganismos resistentes. Los microorganismos de mayor participación en las infecciones reportadas fueron: *Staphylococcus aureus* (65.8%), *Pseudomona aeruginosa* (55,9%), *Klebsiella pneumoniae* (28,8%) y *E. Coli* (9,24%). De igual manera, se lograron identificar las zonas donde las infecciones reportadas se localizaban en un alto porcentaje: Sistema respiratorio bajo, herida quirúrgica, herida sanguínea y sistema urinario, con valores de 44.7%, 42.7%, 42% y 26.2%, respectivamente [12].

Un estudio realizado por el Ministerio de Salud de Colombia, entre los años 2006 y 2010 con el objetivo de evaluar el impacto económico de infección por el microorganismo *Acinetobacter baumannii*, reveló que en costos directos se produjo un gasto de 13 a 15 millones de pesos aproximadamente por cada paciente. Así mismo, se logró identificar que la inversión total para el manejo de pacientes con infecciones asociadas a la atención de salud por este microorganismo alcanzó la cifra de 727 millones de pesos. Los gastos indirectos, los cuales son asumidos por la familia del paciente, alcanzan un valor de 75.000 pesos para un paciente hospitalizado 14 días, este valor aumenta proporcionalmente con el número de días que perdure la hospitalización de este [12].

### **2.3. Participación de organización mundial de la salud**

En 2004, la Organización Mundial de la Salud (OMS) puso en marcha la propuesta de “La Alianza Mundial para la Seguridad del Paciente” la cual identificó seis principales campos de acción. A partir de esta alianza, era la primera vez que directores de organismos, planificadores de políticas y grupos de pacientes provenientes de diferentes partes del mundo confluyeran para establecer el objetivo de seguridad del paciente, plasmado en el principio “ante todo, no dañar” y así, reducir consecuencias sanitarias y sociales negativas de la atención sanitaria no segura [2].

Esta Alianza Mundial tiene objetivo principal coordinar, difundir y acelerar mejoras o soluciones relacionadas a la seguridad del paciente a nivel mundial. Entiéndase como Solución para la seguridad del paciente de la siguiente manera: “Todo diseño o intervención de sistema que haya demostrado la capacidad de prevenir o mitigar el daño al paciente, proveniente de los procesos de atención sanitaria.” [13]. Dentro de esta alianza se establecieron diferentes aspectos a evaluar, principalmente los de mayor impacto en la seguridad del paciente. Uno de ellos es: la mejora de higiene de las manos para prevenir las infecciones asociadas a la atención de salud. En este marco, la higiene de las manos realizada de forma correcta y oportuna es una acción necesaria para poder argumentar la mayor seguridad del paciente en el proceso de atención sanitaria. Por tanto, el no cumplimiento de un debido proceso de higiene contribuye a la proliferación y transmisión de gérmenes, bacterias y microbios depositados en las manos capaces de causar diferentes tipos de infecciones relacionadas a la atención sanitaria [2] [13].

En complemento a la Alianza Mundial, se desarrolló el Reto Mundial por la seguridad del paciente 2005-2006: “Una atención limpia es una atención más segura”, el cual enfoca su atención en mejorar las normas y prácticas de higiene de las manos en la atención sanitaria y aplicar los controles e intervenciones requeridas. A su vez, este reto mundial afirma que una atención más limpia es una atención más segura es un derecho básico de los pacientes a recibir una atención sanitaria de calidad [2].

En 2009, se inauguró la campaña mundial “Salve vidas: límpiense las manos” encabezada por la OMS con el propósito de mejorar la higiene de las manos en la atención sanitaria. Esta campaña de igual manera es un respaldo al Reto Mundial por la Seguridad del Paciente: “Una atención limpia es una atención más segura”. Esta campaña se centra en promover la captación de medidas para la higiene de las manos en los lugares de consulta para así demostrar una mejora en la seguridad del paciente y reducción de la tasa de infecciones asociadas a la atención sanitaria [6].

#### **2.4. Momentos para higiene de las manos**

En promedio, el 61% de los trabajadores sanitarios no se lava las manos cuando es necesario, y 1 de cada 2 miembros del personal quirúrgico no se lava las manos cuando estas lo requieren [3]. Vale la pena recalcar, que el no realizar un proceso correcto de lavado de manos en todos los momentos e instancias requeridos bajo los estándares de calidad establecidos puede considerarse como un error médico y acarrear graves consecuencias tanto a las instituciones prestadores de salud como al personal médico profesional [1]. Los 5 momentos más importantes en donde se debe realizar el lavado de manos por parte de los profesionales sanitarios al momento de la atención sanitaria según la OMS son [2] [9] [14]:

1. Antes de tocar al paciente o ingresar al área en donde éste se encuentre. Esto se debe realizar con el objetivo de proteger al paciente de la colonización o infección endógena/exógena de gérmenes o bacterias presentes en manos del personal médico. Se debe hacer un lavado de manos antes de tocar al paciente o cuando se acerque al mismo [9] [14].

2. Antes de realizar una tarea limpia o aséptica. Esto se debe realizar con el objetivo de evitar que virus, gérmenes o bacterias perjudiciales que se encuentren dentro o en el mismo paciente, se propaguen o infecten diferentes zonas del organismo de este. El momento en el que se debe realizar es antes de realizar alguna tarea limpia o aséptica, a su vez, también se debe realizar después haber tocado algún elemento que genere un riesgo grave de infección (dispositivo médico invasivo, elemento de supuración, tejido necrótico) [9] [14].
3. Después del riesgo de exposición a líquidos corporales. Esto se hace con el objetivo de proteger al personal médico que se encuentre tratando al paciente, para así evitar que este contraiga virus, bacterias o gérmenes que se encuentren depositados en el paciente, y a su vez no lo propaguen en las instalaciones de la institución prestadora de salud. Se debe realizar inmediatamente en el momento que se haya tenido riesgo de contacto a líquidos corporales tales como: vomito, sangre, excremento, etc. [9] [14].
4. Después de tocar al paciente. Esto se hace con el objetivo de proteger al personal médico que se encuentre tratando al paciente, para así evitar que este contraiga virus, bacterias o gérmenes que se encuentren depositados en el paciente, y a su vez evitar la propagación en las instalaciones de la institución prestadora de salud. Se debe realizar cuando se termine de examinar o visitar al paciente, cuando deje la cabecera del paciente [9] [14].
5. Después de interactuar con el medio en el que se encuentra el paciente. Esto se debe realizar con el objetivo de protegerse de la colonización de gérmenes o bacterias provenientes del paciente, los cuales pueden estar depositados en elementos, superficies o dispositivos médicos que se encuentren en contacto o inmediaciones del paciente, incluso así no se haya tocado al paciente. De esta forma se logra evitar la propagación de gérmenes o bacterias en los demás elementos o instalaciones de la institución prestadora de salud en las que el diferente personal médico pueda interactuar [9] [14].

Para lograr una mejor comprensión y aplicación del modelo en el anexo 1, es necesario tener en claro los conceptos de: zona del paciente, área de asistencia, puntos críticos y puntos de atención, debido a que cada uno de los momentos se ve influenciado por estos y se definen por los contactos continuos con las superficies contenidas en y entre estas áreas [14]. Véase figura 3.

- Zona del paciente: Se define como la zona en la que se encuentre inmerso el paciente, las superficies y objetos (incluso personales) aledaños al paciente asignados a éste de forma temporal y exclusiva. La especificidad de la zona del paciente se ve caracterizada por la microflora del paciente.
- Puntos críticos: Son puntos específicos que se encuentran dentro de la zona del paciente y corresponden a zonas del cuerpo o dispositivos médicos que deben protegerse de riesgos de infección o exposición para el paciente, ya sea por agentes patógenos o por exposición a fluidos corporales, respectivamente.
- Área de asistencia: Se define como toda superficie que se encuentre fuera de la zona del paciente.
- Puntos de atención: Se define como el lugar donde se requiera el contacto con el

paciente, es decir, se da la interacción entre el profesional de salud, el paciente y el momento de tratamiento/atención.



Figura 3. Representación de los conceptos zona del paciente y área de asistencia [14].

## 2.5. Evidencia de mejora de higiene de manos

A continuación, en la Tabla 2 se expone una tabla resumen de 20 estudios realizados entre 1977 y junio del 2008 en hospitales acerca del impacto de campañas relacionadas a la mejora de la higiene de las manos en el riesgo de las infecciones asociadas a la atención sanitaria. La mayoría de los estudios reflejan resultados significativos permitiendo establecer una relación entre la promoción de prácticas de higienización de las manos y los índices reducidos de transmisión cruzada y frecuencia de infecciones [9].

Tabla 2. Relación entre intervención para una mejora de higiene de las manos e índices asociados a la atención de salud entre los años 1997-2008 [9].

<b>Autores (Año)</b>	<b>Área de intervención</b>	<b>Resultados</b>	<b>Tiempo de seguimiento</b>
Casewell & Phillips (1977)	UCI Adultos	Representativa reducción en el número de pacientes colonizados o infectados por <i>Klebsiella</i> spp.	2 años
Conly et al. (1989)	UCI Adultos	Posterior a campañas de promoción de higiene de las manos se obtuvo una representativa reducción en los índices de infecciones asociadas a la atención sanitaria, pasando de 33% a 12% y de 33% a 9%, en 2 intervalos de tiempo con intervención.	6 años
Simmons et al. (1990)	UCI Adultos	Ningún efecto representativo en los índices de infecciones asociadas a la atención sanitaria en relación con la mejora de la higiene de las manos.	N/A
Doebbeling et al. (1992)	UCI Adultos	Diferencia representativa en los índices de infecciones asociadas a la atención sanitaria	8 meses

		empleando 2 productos diferentes para la mejora de la higiene de las manos. Supresión de <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la metilicina mediante la combinación con técnicas de control de infecciones. Disminución del uso de vancomicina. Representativa reducción de bacteriemia intrahospitalaria, de 2.6% a 1.1%, empleando triclosán en comparación con el lavado de manos haciendo uso de clorhexidina	9 meses
Webster et al. (1994)	UCI Neonatales		
Zafar et al. (1995)	Sala Neonatal	Control de pandemia de <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la metilicina empleando una preparación de triclosán para el lavado de manos, junto con otras medidas de control de infecciones. Representativa reducción relativa (85%) de los índices de <i>Enterococcus</i> resistentes a vancomicina en la entidad de salud intervenida.	3.5 años
Larson et al. (2000)	UCI Adultos y Neonatal	Reducción relativa estadísticamente no representativa (44%) en la entidad de salud de control. Ningún efecto significativo en los índices de <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la metilicina. Representativa reducción del predominio general anual de las tasas de infecciones asociadas a la atención sanitaria (41,5%) y las tasas de transmisión cruzada de <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la metilicina (87%). Paralelamente, se estableció un monitoreo activo a través de precauciones de contacto y cultivos.	8 meses
Pittet et al. (2000)	Todo el hospital	Una evaluación de seguimiento evidenció un incremento en el frotado de manos, índices estables de infecciones asociadas a la atención sanitaria y ahorro económico en relación con la aplicación de estrategia.	8 años
Hilburn et al. (2003)	Unidad de cirugía Ortopédica	Disminución del 36% en índices de infección del tracto urinario. Reducción de índices de infecciones en sitios quirúrgicos de 8,2% a 5,3%. Representativa reducción de 1,9% a 0,9% en los índices de infecciones asociadas a la atención sanitaria provocadas por <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la metilicina.	10 meses
MacDonald et al. (2004)	Todo el hospital		1 año
Swoboda et al. (2004)	Unidad de cuidados intermedios Adultos	Disminución de índices de infecciones asociadas a la atención sanitaria. (estadísticamente no representativo)	2.5 meses
Lam et al. (2004)	UCI Neonatal	Disminución (no significativa estadísticamente) en índices de infecciones asociadas a la atención sanitaria, de 11,3 cada 1000 paciente/día a 6,2 cada 1000 paciente/día.	6 meses
Won et al. (2004)	UCI Neonatal	Representativa reducción de los índices de infecciones asociadas a la atención sanitaria, de	2 años

		15,1 cada 1000 paciente/día a 10,7 cada 1000 paciente/día, mayor influencia en infecciones respiratorias.	
Zerr et al. (2005)	Todo el hospital	Representativa reducción en índices de infecciones intrahospitalarias provocadas por rotavirus.	4 años
Rosenthal et al. (2005)	UCI de adultos	Representativa reducción en índices de infección asociadas a la atención sanitaria, de 47,5 cada 1000 paciente/día a 27,9 cada 1000 paciente/día.	21 meses
Johnson et al. (2005)	Todo el hospital	Representativa reducción (57%) de los índices de bacteriemia por <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la metilicina. Reducción no representativa estadísticamente (54%) de la incidencia de infecciones en sitios quirúrgicos.	3 años
Thi Anh Thu et al. (2007)	Neurocirugía	Representativa reducción (100%) de las infecciones superficiales del sitio quirúrgico. Incidencia de infecciones en sitios quirúrgicos representativamente menor en sala intervenida en comparación con sala de control. Reducción general de los índices de infecciones asociadas a la atención sanitaria, de 11 a 8,2 infecciones cada 1000 paciente/día, y reducción del 60% de riesgo en infecciones asociadas a la atención sanitaria en recién nacidos de muy bajo peso, de 15,5 a 8,8 episodios por 1000 paciente/día.	2 años
Passoa-Silva et al. (2007)	Unidad neonatal	No hay impacto representativo en las infecciones asociadas a dispositivos y tampoco en las infecciones por patógenos multirresistentes.	27 meses
Rupp et al. (2008)	UCI Adultos	1. Representativa reducción de bacteriemias por <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la metilicina, de 0,05 altas-paciente a 0,02 cada 100 altas por mes, y del total de aislamiento clínicos por <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la metilicina.	2 años
Grayson et al. (2008)	1. 6 hospitales piloto. 2. Todos los hospitales del estado de Victoria (Australia)	2. Representativa reducción de bacteriemias por <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la metilicina, de 0,03 altas-paciente a 0,01 cada 100 altas por mes, y del total de aislamiento clínicos por <i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la metilicina.	1. 2 años 2. 1 año

En la Tabla 2, se puede establecer evidencia que permite afirmar que la implementación de campañas enfocadas a la promoción de la higiene de manos mediante estrategias multimodales en las infecciones asociadas a la atención sanitaria tiene un impacto considerable, debido a que logra una gran disminución del índice de colonización y afectación en pacientes de las infecciones nosocomiales y aislados bacterianos resistentes a los fármacos. Adicionalmente, se puede observar que la mejora de las prácticas de higiene de manos permite controlar las epidemias en las instalaciones de centros de atención de la salud y disminuir los riesgos de transmisión cruzada en centros de atención y comunidad general. Así mismo, estas campañas logran reducir las tasas de incidencia de infección de diferentes patologías (infección pulmonar respiratoria superior, diarrea e impétigo) en los niños que habitan países en vías de desarrollo, produciendo así una mejora

en su salud [9].

En 2004 el autor MacDonald y colaboradores realizaron una campaña de higiene en todo un hospital durante 1 año en donde establecieron que el uso de una preparación de base alcohólica para manos para mejorar la higiene de manos junto con sesiones educativas y retroalimentación del desempeño laboral del personal de salud lograron reducir la tasa incidencia de infecciones por staphylococcus aureus resistente a la metilicina (SARM) de 1,9 a 0,9%, y los gastos de teicoplanina, medicina empleada en el control de este tipo de infecciones. En términos económicos, lograron establecer una relación de por £1 invertida en la preparación de base alcohólica se ahorran de £9 a 20 correspondientes a gastos de teicoplanina [9].

En el año 2000, el autor Pittet y colegas realizaron un seguimiento durante 8 años a estrategias de promoción de higiene en todo un hospital en donde lograron una reducción significativa en la prevalencia anual de índices de infecciones asociadas a la atención y transmisión cruzada de SARM correspondiente al 42 % y 87%, respectivamente. Así mismo, se evidenció un incremento en el frotado de manos, índices estables de infecciones asociadas a la atención sanitaria y beneficios económicos causados por la aplicación de dichas estrategias. Estos beneficios económicos son considerados ahorros para el hospital debido a que los costos directos e indirectos de implementación de estrategias para la promoción de higiene de manos son de US \$57.000 por año para un hospital de 2600 camas, un promedio de US \$1.42 por pacientes internado. Debido a esta relación, los autores del estudio lograron concluir que el beneficio de ahorro para los hospitales atribuible a este tipo de estrategias para la mejora de práctica de higiene de las manos es bastante significativo incluso si solo se produjera una disminución del índice de infecciones del 1% [9].

## **2.6. Impacto de la mejora de higiene de manos**

Al contar con una mejor higiene de las manos se logra un descenso significativo en 2 factores de gran importancia: la frecuencia de las infecciones relacionadas a la atención sanitaria y la propagación de microorganismos multirresistentes. Se ha demostrado que una mayor adherencia a las pautas y normas sobre higiene de las manos disminuye la propagación y frecuencia de infecciones asociadas a la atención sanitaria [14] [15]. Adicionalmente, el fomento de higiene en manos junto con medidas de prevención permite brindar una ayuda al control de epidemias y brotes en establecimientos de salud, lo cual podrían reducir la frecuencia de las infecciones asociadas a la atención sanitaria en más del 50% [11].

La fomentación y promoción de hábitos de higiene en manos permite tener un menor número de incidencia/frecuencia de infecciones contraídas en el momento de atención a la salud lo que genera incidencias en los aspectos económicos de hospital. Los recursos económicos equivalentes al control de tan sólo 4 o 5 infecciones de tipo nosocomial de gravedad intermedia llega a ser equivalente al presupuesto anual de productos de higiene de manos empleados en zonas de hospitalización [2]. Se calcula que en promedio una sola infección nosocomial grave en un sitio quirúrgico, de las vías respiratorias inferiores o de la

sangre en un hospital llegaría a tener un costo superior al presupuesto anual de antisépticos para la higiene de las manos [2].

El ahorro generado por el control de infecciones bacterianas multirresistentes es significativamente superior a la inversión realizada en programas e insumos que promuevan la higiene de las manos. Lo anteriormente mencionado se puede justificar a partir de 2 campañas seleccionadas, las cuales fueron realizadas con el objetivo de fomentar la higiene de las manos. La primera de ellas realizada en un hospital de la Universidad de Ginebra (Suiza), en donde se reportó que una mejora sostenida del cumplimiento de la higiene de las manos llevo a un descenso de las infecciones nosocomiales y de la transmisión cruzada de *Staphylococcus aureus* multirresistente. Esta campaña obtuvo un resultado económico rentable, pues el costo total del fomento de la higiene de las manos representó menos del 1% de los costos que acarrear las infecciones nosocomiales. La segunda campaña realizada fue la campaña nacional británica “clean your hands”, la cual tenía como objetivo fomentar la higiene de las manos. En esta campaña de igual manera se obtuvo un resultado económico rentable, y a su vez, se logró una reducción en las tasas de infección nosocomial [2].

## **2.7. Antecedentes tecnológicos**

Como se mencionó anteriormente, existen desarrollos tecnológicos que se han empleado con el objetivo de darle solución a la problemática de higiene de manos de los profesionales de la salud. Un estudio realizado en 2 hospitales y un entorno de validación simulado empleó sistemas automatizados con el objetivo de monitorear el lavado de manos en personal médico, al igual que, su ingreso y salida de las habitaciones de los pacientes. Específicamente se implementó un sistema de seguimiento de identificación por radiofrecuencia (RFID) que se compone de etiquetas para cada individuo y módulos lectores ubicados dentro y fuera de las habitaciones, justamente al lado de dispensadores de jabón y preparaciones alcohólicas. Como resultados principales se obtuvo que en el entorno de validación simulado la precisión para identificar los eventos de lavado de manos, ingreso y salida de las habitaciones de los pacientes fue alta y en el entorno hospitalario se presentó una precisión menor en todos los aspectos evaluados [16].

En un segundo estudio, se empleó un sistema electrónico pasivo basado en RFID capaz de monitorear el lavado de manos que se compone de una etiqueta RFID pasiva (pulsera), dispensadores de gel en paredes (estación de higiene) ubicados cerca a la camilla del paciente y en la entrada de la habitación del paciente; dentro de estos dispensadores se encontraba el lector RFID. Finalmente, un software para evaluar la tasa de cumplimiento de lavado de manos [17].

## **2.8. Tecnología RFID**

La identificación por radiofrecuencia (RFID, Radio Frequency Identification) es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos, el cual se basa en tecnologías que emplean ondas de radio para identificar de forma inalámbrica la identidad (número de serie único) de objetos o personas [18] [19]. Esta identificación se logra a través de dispositivos

conocidos como etiquetas, tags o transpondedores RFID los cuales llevan incorporada un microchip y una antena para la transmisión y recepción de datos por medio de radio frecuencia con un lector RFID o transceptor, estos dispositivos pueden ser adheridos o incorporados en cualquier tipo de superficie [20].

Un sistema RFID generalmente se compone de 3 principales elementos: Etiqueta RFID, Lector RFID y Middleware RFID.

- Etiqueta RFID: También denominado transpondedor se compone de una antena y chip. La información referente a la identificación de cada objeto es depositada en el chip, la cual es transmitida mediante la antena incorporada dentro de la etiqueta hacia el lector RFID. Existen diferentes modelos de chip los cuales contiene un tamaño diferente de memoria lo cual limita su función, los tipos de memoria: lectura, lectura/escritura y anticollision [20]. Actualmente en aplicaciones RFID se emplean 3 tipos de etiquetas: Pasivas, Activas y Semi activas. Cada tipo de etiqueta cuenta con múltiples características lo que permite que se acoplen a diferentes aplicaciones [20].
- Lector RFID: También denominado transceptor se compone de una antena y transceptor. La función del lector es enviar constantemente señales en busca de presencia de etiquetas con el fin de establecer una comunicación con ella, y así lograr obtener la información almacenada en esta para ser transmitida al middleware RFID. El tipo de comunicación dependerá de la clase de etiqueta [19] [20].
- Middleware RFID: También denominado sistema de información es el encargo del procesamiento y almacenamiento de la información.

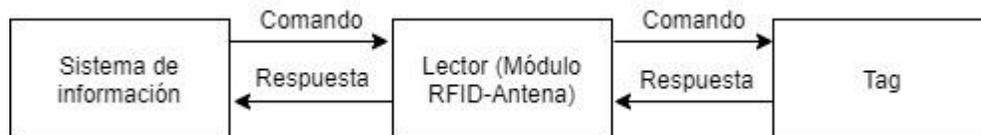


Figura 4. Componentes y estructura de un sistema RFID [19].

Como se ve en la figura 4, el funcionamiento de un sistema RFID inicia cuando el lector envía una señal en busca de etiquetas, aquellas que se encuentren dentro del rango de operación. En el momento que se establece la comunicación el lector extrae la información del tag y la envía al middleware, quien se encarga de procesar y almacenar los datos en la base de datos o sistema de almacenamiento [20, 19].

Los sistemas RFID se clasifican de acuerdo con la frecuencia en que las etiquetas y lectores se encuentren sintonizados para poder comunicarse (requisito de funcionamiento). Principalmente se clasifican en 4 tipos (ver tabla 3) [21].

Vale la pena mencionar que los alcances especificados dependen de diferentes factores tales como el tipo de etiqueta con el cual se esté trabajando, interferencia de otros dispositivos y medio. Actualmente, para el uso de tecnología RFID existen normas estandarizadas establecidas por la Organización Internacional para la Estandarización

(ISO). Las normas ISO 14434 e ISO 15693 son normas estandarizadas para el trabajo de alta frecuencia (HF) [20].

Tabla 3. Clasificación sistemas RFID [21].

Tipo	Frecuencia	Alcance
Baja Frecuencia (LF)	125 kHz	50 cm
Alta Frecuencia (HF)	13,56 MHz	1 m
Ultra alta Frecuencia (UHF)	400 MHz – 1000 MHz	3 a 10 m
Microondas	2.45 GHz – 5.4 GHz	10 m o más

## 2.9. Internet de las cosas

El concepto de Internet de las cosas (IoT-Internet of Things) se define como el proceso por el cual los objetos se encuentran conectados entre sí, con el objetivo de recolectar datos sobre algún fenómeno, variable, cambio, estado, etc. Permitiendo acceder a estos para genera un tratamiento en específico (predicciones, trazabilidad, mejora de procesos y demás) [22].

Actualmente, existen una amplia cantidad de áreas a las cuales es posible aplicar IoT y las tecnologías asociadas o requeridas. Algunas de estas áreas son: cuidado de salud, gestión de recursos, seguimiento de activos, transporte, industria, mercadeo, etc. Sin importar el área de aplicación, los objetos involucrados siempre comparten un mismo tipo de arquitectura, la cual consiste en: los datos deben transportarse, almacenarse, procesarse y ponerse a disposición del usuario. Toda arquitectura de IoT se compone de 4 capas genéricas: Capa de censado (objetos hardware encargados de detectar el estado de las cosas); capa de conexión (conexión inalámbrica o alámbrica entre objetos o dispositivos); capa de servicio (almacenamiento y minería de datos) y capa de interfaz (acceso a datos a través de APIs o GUIs) [22].

Para la transmisión de datos en IoT se utiliza el método de comunicación MQTT (Message Queue Telemetry Transport). Este método se caracteriza por transportar diversos tipos de información, ser el protocolo estándar de internet de las cosas, contar con un protocolo de conectividad máquina a máquina y basarse en un protocolo de mensajería publicación/suscripción. A su vez, la transmisión de datos bajo este método es mucho más rápido que en otros métodos de comunicación [23].

Es de gran importancia resaltar el método de almacenamiento empleado en el desarrollo del sistema de control de higiene de manos, el cual se basa en bases de datos no relacionales. Las bases de datos no relacionales se encuentran diseñadas específicamente para modelos de datos específicos y cuentan con esquemas flexibles. Se caracterizan por su fácil desarrollo y funcionalidad. Este tipo de bases de datos emplean diferentes tipos de datos como: documentos, gráficos, clave-valor, en-memoria y búsqueda [24]. La principal diferencia entre bases de datos relacionales y no relacionales radica en que las no relacionales (NoSQL) no cuentan con un identificador que cumpla con la función de relacionar datos de un conjunto a otro. La información se organiza mediante documentos lo que genera una gran ventaja cuando la información a almacenar es cambiante o no maneja una estructura específica. A diferencia de las bases de datos relacionales, las bases

de datos no relacionales cuentan con un esquema dinámico, es decir, no se requiere de un lenguaje de consulta estructurado para la manipulación de datos. Esto permite que, al momento de cambiar la estructura de uno de los datos, el resto de los datos almacenados no se vean afectados, problema que sí ocurre en las bases de datos relacionales [24]. A su vez, otra ventaja de las bases de datos NoSQL es que están permiten la transmisión de datos en tiempo real y documentos en formato JSON. Lo cual es ideal para este sistema en desarrollo ya que se requiere de un formato ligero de datos que permita la visualización y autenticación de los registros realizados en el menor tiempo posible.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. General**

Implementar un sistema de control de higiene de manos mediante tecnología RFID en un ambiente clínico.

#### **3.2. Específicos**

- a) Diseñar una estación de higiene de manos para la detección oportuna de desinfección de manos en áreas clínicas a partir de tecnología RFID.
- b) Realizar el control de entrada del personal médico que se encuentran en áreas clínicas como hospitalización y unidad de cuidados intensivos.
- c) Establecer un modelo de comunicación entre diferentes dispositivos a través del concepto de IoT (Internet of things) para el almacenamiento y procesamiento de registros de higienización de manos.
- d) Crear un sistema que permita la notificación de un evento adverso (no higiene de manos) para así poder establecer la trazabilidad de este tipo de eventos.
- e) Realizar pruebas de validación del sistema de control de higiene de manos en un ambiente clínico simulado para comprobar su empleabilidad

## 4. METODOLOGÍA

Con el fin de llevar acabo la gestión del sistema mencionado, se diseñó un diagrama de Gantt para realizar cada fase del sistema como, propuesta anteproyecto, revisión literatura, escogencia de materiales, construcción del sistema, diseño de protocolos, pruebas, elaboración documento. Este diagrama permite visualizar el cronograma de actividades establecido y la duración de cada uno de los componentes. El software empleado en el desarrollo de este diagrama fue GanttProject.

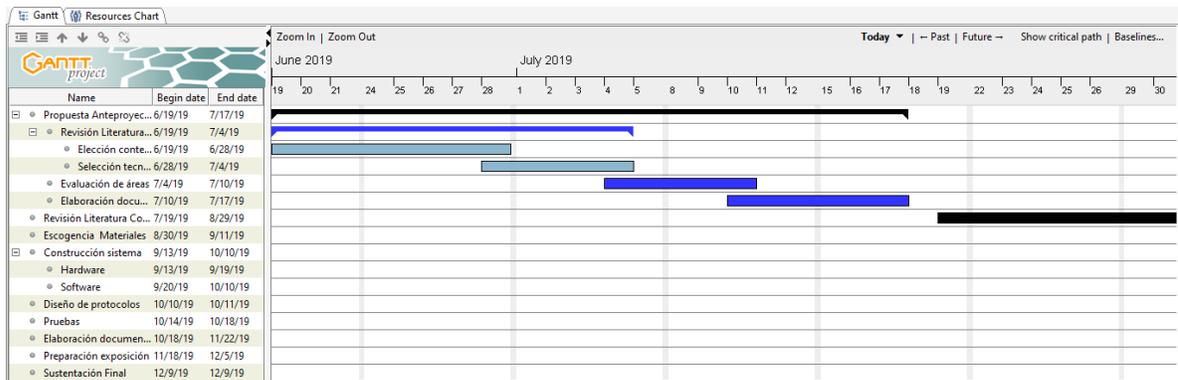


Figura 5. Diagrama de Gantt. Parte 1

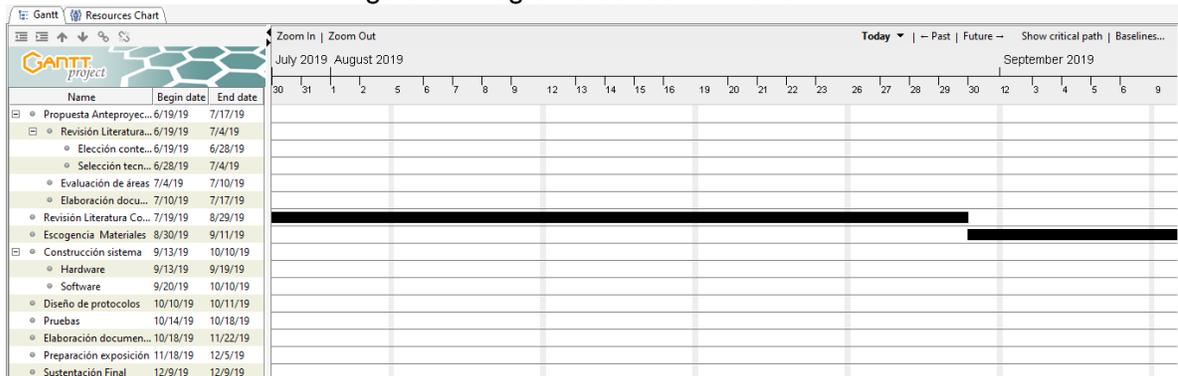


Figura 6. Diagrama de Gantt. Parte 2.

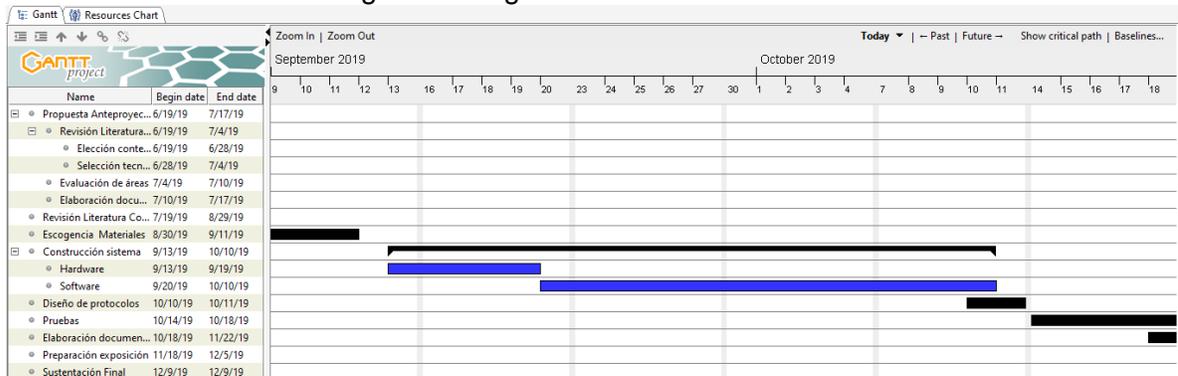


Figura 7. Diagrama de Gantt. Parte 3

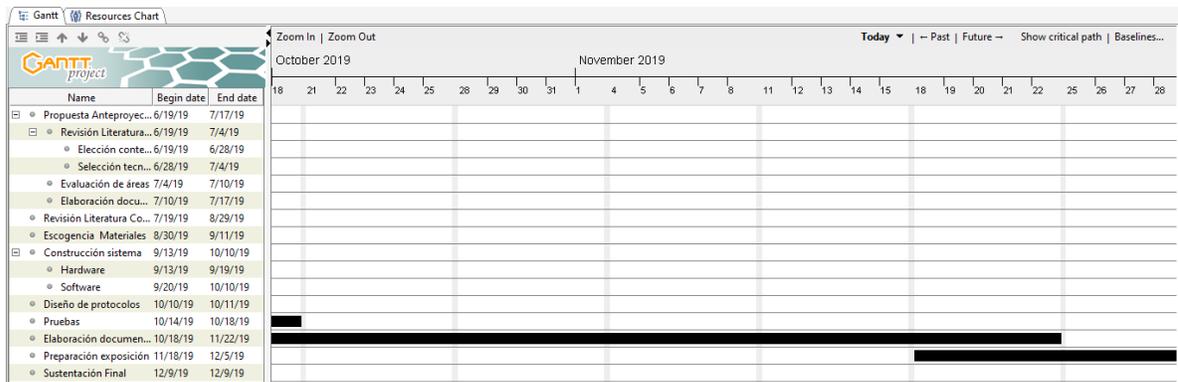


Figura 8. Diagrama de Gantt. Parte 4

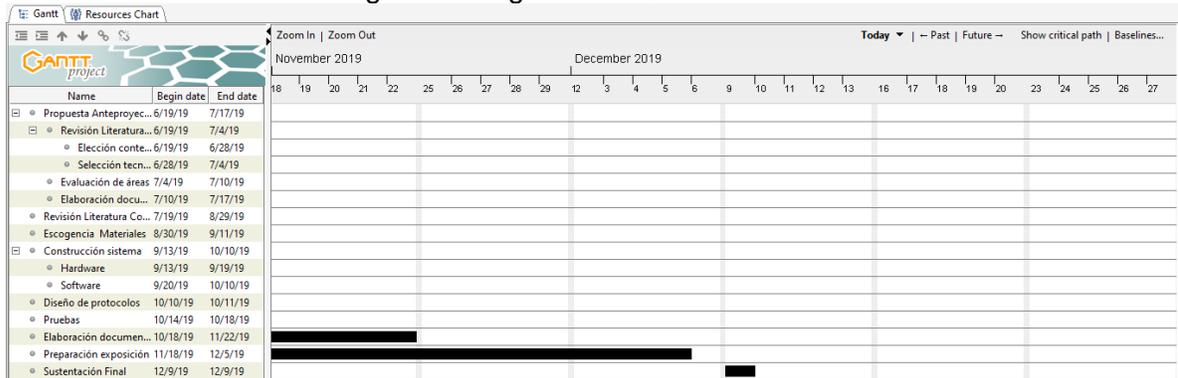


Figura 9. Diagrama de Gantt. Parte 5

Siguiendo el cronograma de actividades previamente establecido se logró cumplir con cada una de las fases propuestas dentro de los tiempos estipulados sin ninguna modificación o extensión. En el anexo número 4 se puede observar la fecha de inicio y fecha de fin de cada uno de las fases y actividades establecidas en el diagrama de Gantt.

Con el fin de construir un prototipo del sistema de control de higiene de manos se seleccionaron diferentes elementos a partir de 3 principales criterios: disponibilidad, costo y accesibilidad. Es de gran importancia resaltar estos criterios de selección debido a que durante el proceso de desarrollo se tuvieron múltiples opciones, pero al momento de evaluar cada uno de estos se presentaban obstáculos los cuales generaban retrasos. Actualmente, aunque la tecnología RFID se encuentra en un gran auge y cuenta con diferentes aplicaciones, en países como Colombia se cuenta con un catálogo limitado de elementos, altos costos y tiempo de adquisición prolongados, lo que significa que los recursos disponibles en relación con este tipo de tecnología son pocos. Después de aplicar los criterios mencionados los dispositivos seleccionados para la construcción de este sistema son mostrados a continuación en su debida distribución.

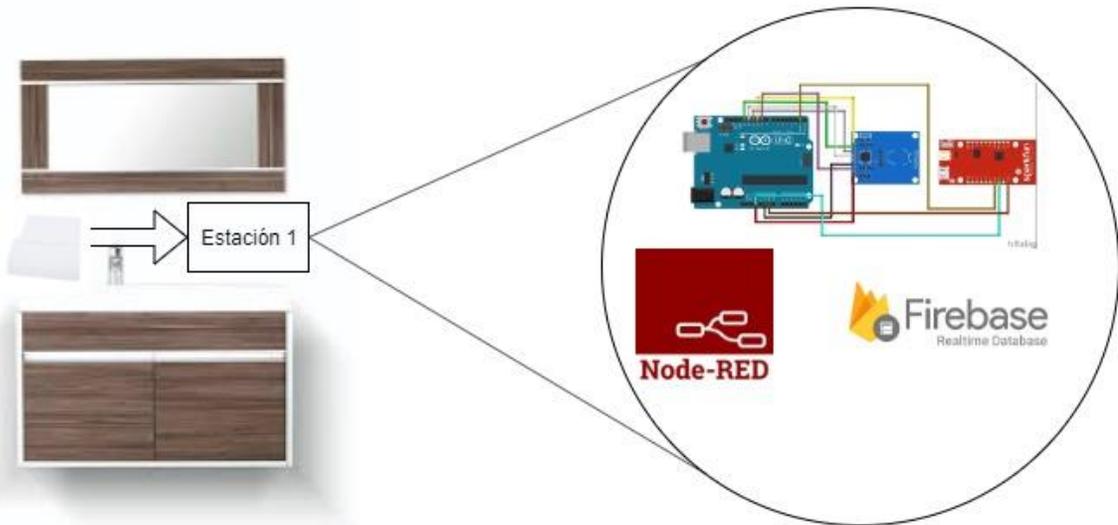


Figura 10. Estación 1. Ubicación y materiales empleados en construcción de estación 1.

La distribución de elementos requeridos para la construcción del sistema de control de higienización de manos en el primer componente se puede ver reflejada en la figura 10. La ubicación de la estación 1 fue establecida de manera estratégica para lograr adquirir la lectura de las etiquetas RFID en el momento que algún miembro del personal de salud se acerque a la estación de higienización, esta lectura se puede efectuar en el momento en que el sujeto acerque sus manos hacia la llave de agua, dosificador de preparación alcohólica o jabón.

Elementos empleados en la construcción de las estaciones del sistema de control de higienización de manos:

- Etiquetas RFID (13.56 MHz) tipo tarjeta y llavero.<sup>1</sup>
- Modulo RFID-MFRC522 (13.56MHz)<sup>2</sup>
- Arduino UNO<sup>3</sup>
- Tarjeta Sparkfun ESP8266<sup>4</sup>
- Node-RED<sup>5</sup>
- Firebase (Realtime Database)<sup>6</sup>

<sup>1</sup> <https://www.sigmaelectronica.net/producto/llavero13-56mh/>

<sup>2</sup> <https://www.sigmaelectronica.net/producto/rfid-rc522/>

<sup>3</sup> <https://www.sigmaelectronica.net/producto/a000073/>

<sup>4</sup> <https://www.sparkfun.com/products/13231>

<sup>5</sup> <https://nodered.org/>

<sup>6</sup> <https://firebase.google.com/>

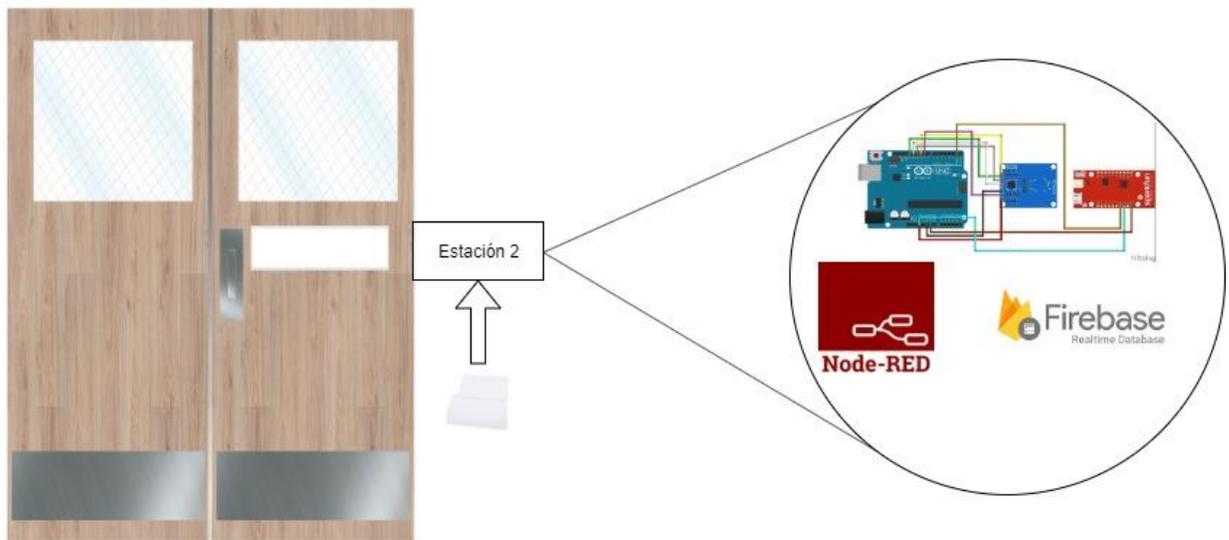


Figura 11. Estación 2. Ubicación y materiales empleados en construcción de estación 2.

En la figura 11, se puede observar la ubicación del segundo componente del sistema de control de higienización de manos. La ubicación de la estación 2 fue establecida en la puerta de acceso de un área para así validar el acceso a esta. Es de gran importancia mencionar que esta estación en un ambiente clínico debe ser ubicada en la puerta de acceso de diferentes áreas hospitalarias como lo pueden ser puerta de ingreso a habitaciones de pacientes, UCI, salas de tratamiento, entre otras.

#### 4.1. Construcción del dispositivo (hardware)

La etapa inicial (construcción del hardware) del sistema en estudio se compone por la adquisición del UID (Unique Identifier- Identificador Único) el cual es un número serial único existente en cada etiqueta RFID, en este caso se utilizaron etiquetas tipo tarjeta. Para la lectura de las etiquetas se empleó 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). Esta tarjeta electrónica basada en el microcontrolador ATmega328 permite el procesamiento y transmisión de datos, cabe destacar que para la lectura de etiquetas se emplea la librería MFRC522<sup>7</sup> disponible en el IDE Arduino.

Una vez leídas las etiquetas y extraído el UID, este último se envía desde el Arduino UNO a la tarjeta Sparkfun ESP8266 por puerto serial, es decir, el pin Tx (pin1) de Arduino se conecta al pin Rx de la tarjeta ESP8266. Después de haber recibido el UID, la tarjeta Sparkfun, al estar conectada a una red wifi, transmite este dato mediante el protocolo MQTT.

Este conjunto de elementos se denominó estación 1, la cual se ubica cerca de un lavamanos, dispensador de preparación alcohólica o módulo de higiene de las manos. Esto

<sup>7</sup> <https://github.com/miguelbalboa/rfid>

se realiza con el objetivo de que el sistema pueda detectar la presencia de una etiqueta RFID justo en el momento de higiene de manos. Este mismo sistema se replica en una segunda estación, la cual se ubica en puertas de acceso a diferentes zonas hospitalarias (habitaciones, UCI...etc.).

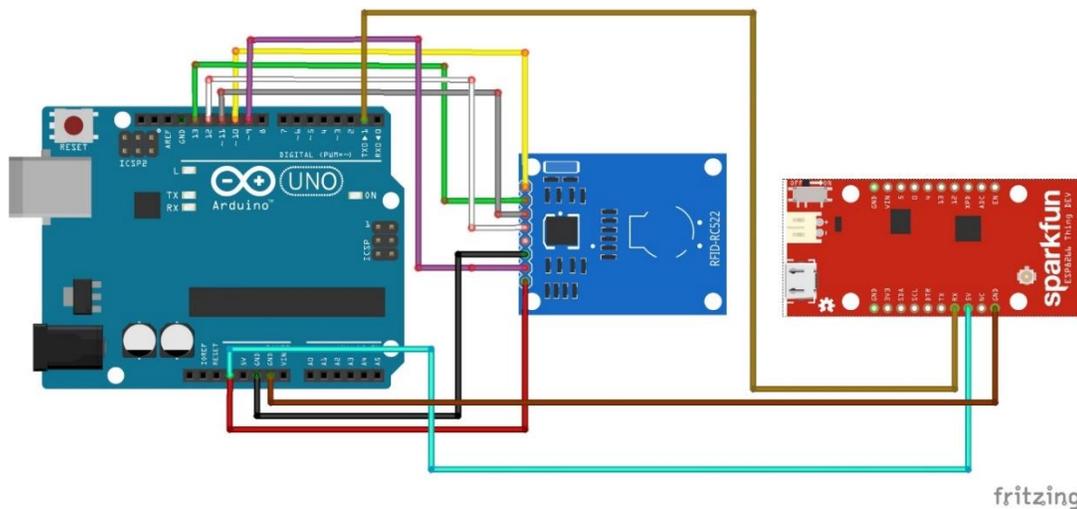


Figura 12. Conexión Módulo MFRC522-Arduino UNO-Sparkfun 8266.

#### 4.2. Construcción del dispositivo (software)

La etapa inicial del sistema en términos de software inicia con el código implementado en el IDE Arduino para lograr la lectura de las tarjetas y la extracción del UID. La librería MFRC522 es el elemento principal de esta etapa, ya que gracias a esta se logra obtener el UID en una serie de números en un sistema de numeración decimal. Esta serie de números se almacenaron en una variable tipo String, la cual contiene la concatenación de cada uno de los números que conforman el UID. Posteriormente, esta variable se envió por puerto serial para su recepción en la tarjeta Sparkfun ESP8266. En el anexo 5, se muestra el diagrama de flujo elaborado de acuerdo con el código implementado para la lectura de etiquetas y extracción de UID.

Después de que el UID ha sido enviado por la placa Arduino, este es recibido por la tarjeta ESP8266. El código implementado en esta tarjeta requiere de la importación de librerías diseñadas para la transmisión de datos vía Wi-Fi, las cuales son ESP8266Wifi<sup>8</sup> y PubSubClient<sup>9</sup>. Para la implementación de este código se requiere definir variables y parámetros iniciales que permiten el desarrollo de este. Inicialmente, se definieron las credenciales de la Red Wi-Fi a la cual se conecta la tarjeta y la dirección IP del Broker MQTT. Después, fue necesario definir: variables y valores iniciales para el cliente Wi-Fi, variables en las cuales se recibía y se publicaba la información.

De manera continua, se ejecuta la función "setup" en donde se inicializa la comunicación

<sup>8</sup> <https://github.com/esp8266/Arduino>

<sup>9</sup> <https://github.com/knolleary/pubsubclient>

por monitor serie, se configura la conexión a la red wifi, y se establecen los detalles del servidor (dirección IP y puerto). Posteriormente, se ejecuta la función loop, la cual es la función principal del programa. Primero, se evalúa si la tarjeta está conectada al Broker (MQTT) de no ser así se llama la función "Reconectar", encargada de reconectar la tarjeta hasta que la conexión sea satisfactoria. Cuando la tarjeta está conectada al Broker se llama la función "LeerSensor", la cual solo se ejecuta si se recibe información del puerto serial. Dentro de esta función se define una variable que almacena la información proveniente del puerto serial, es decir, el UID enviado desde la placa Arduino. Esta variable funciona como parámetro de la función "CrearJson", encargada de crear un formato Json con esta variable para su posterior transmisión. Finalmente, se emplea la función "PublicarMensaje" la cual envía el formato Json previamente creado al nodo MQTT de entrada de la plataforma Node-RED, este nodo contiene un tópico específico establecido dentro de esta función, para la estación uno se manejó el tópico "Estacion1" y para la estación dos "Estación2". En el anexo 6, se muestra el diagrama de flujo elaborado de acuerdo con el código implementado para la recepción y transmisión del UID en formato Json.

En la plataforma Node-RED se manejaron 3 principales secciones: Estación 1, Estación 2 e Interfaz (Véase anexo 7). La estación 1 inicia con un nodo MQTT de entrada, el cual maneja un tópico denominado "Estacion1", este nodo se encarga de recibir los datos enviados desde la tarjeta ESP8266. Después de este se encuentra un nodo Json encargado de convertir la cadena Json (mensaje recibido) a un objeto JavaScript. La función "Estado1/Guardar\_LecturaE1" recibe este objeto y lo incluye en el atributo UID de una variable, la cual contiene el formato bajo el cual se almacenará en las bases de datos, en esta misma función la variable global "Estado1" se coloca en 1. Posteriormente, se encuentran los nodos "Trazabilidad" y "Validación" encargados de almacenar en las bases de datos de trazabilidad y validación, respectivamente. Vale la pena aclarar que la base de datos trazabilidad está configurada bajo la operación de escritura "push", lo cual indica que se almacenan todos los datos registrados, caso contrario de la base de datos validación que se encuentra configurada bajo la operación de escritura "set", lo cual indica que se reescribe cada vez que hay un ingreso de un dato. Esto se hace con el objetivo de garantizar que el registro realizado sea el único y último para poder hacer la validación de lavado de manos.

La estación 2 inicia con un nodo MQTT de entrada, el cual maneja un tópico denominado "Estacion1", este nodo se encarga de recibir los datos enviados desde la tarjeta ESP8266. Después de este se encuentra un nodo Json encargado de convertir la cadena Json (mensaje recibido) a un objeto JavaScript. De manera continua se encuentra la función "Estado2" encargada de recibir la salida del nodo Json y colocar la variable global "Estado2" en 1, lo que indica que se realizó una lectura en la estación 2. Después, encontramos la función "Estado3/Guardar\_LecturaE2" en la cual se valida el valor de la variable "Estado1" y "Estado2", los cuales deben ser 0 y 1, respectivamente, para poder incluir el objeto recibido en el atributo UID de una variable, la cual contiene el formato bajo el cual se almacenará en las bases de datos. En caso tal que la validación no sea correcta se coloca la variable "Estado3" en 0 para deshabilitar una posterior comparación. En esta misma línea, se encuentra el nodo "Trazabilidad" encargado de almacenar en la base de datos trazabilidad.

De la función "Estado2" también se desprende la función "Mensaje2" donde se valida el valor de la variable global "Estado2" y "Estado1", los cuales deben ser 1 y 0, respectivamente, lo que permite garantizar que la lectura se dé primero en la estación 1. Si esta validación es correcta se cambia el valor de la variable global "Estado1" a 1 y se retorna el valor UID de la tarjeta que acabo de pasar por la estación 2. Posteriormente, se emplea un nodo tipo Join el cual une secuencias de mensajes en un solo mensaje, estas secuencias de mensaje provienen de 2 nodos tipo change quienes se encargan de establecer el mensaje recibido por partes. Para poder ejecutarse este nodo se requiere que reciba 2 mensajes (cada uno de rutas diferentes). El primer mensaje proviene de la función "Mensaje1", encargada de recibir el contenido del nodo "ExtraccionValidacion" quien extrae el valor actual de la base de datos validación. El segundo mensaje proviene de la ruta mencionada. Vale la pena aclarar, que fue necesario aplicar estos nodos para poder realizar la validación de los UID registrados en cada estación en diferentes instantes diferentes de tiempo.

La salida del nodo tipo Json se conecta con la función "Estado4/Comparación", en donde se valida el valor de las variables globales "Estado1", "Estado3" y que la etiqueta que se registró en la estación 1 haya sido la misma que está en la estación 2. Si este conjunto de validaciones es correcto se retorna un mensaje de admitido, se cambia el valor de las variables "Estado1" y "Estado2" en 0, con el fin de que el sistema quede en disposición de recibir información. En caso contrario, que alguna de las condiciones anteriormente mencionadas no se cumpla se retorna un mensaje de "Rechazado", es decir, el ingreso no es permitido, y se cambia el valor de las variables "Estado1" y "Estado2" en 0, con el fin de que el sistema quede en disposición de recibir información. Después, se encuentra la funcione "Formato\_Reset", en donde se valida si la respuesta de la función anterior es rechazada, de ser así envía un formato de reinicio a la base de datos de validación, es decir, un formato con atributos vacíos. De la función "Estado4/Comparación" también se despliega la función "Respuesta", encargada de validar si la respuesta de la función anteriormente mencionada es "Admitido" para así desplegar un texto y audio en la interfaz.

Por último, la sección interfaz comienza con el nodo "ExtraccionTrazabilidad" encargado de extraer todos los datos contenidos en la base de datos trazabilidad. Este se conecta con la función "Segmentación" la cual se encarga de retornar la información contenida en cada uno de los objetos de la base de datos. Finalmente, se encuentra el nodo "Formato\_Dashboard" el cual se encarga de la visualización en el dashboard de cada uno de los datos arrojados en la anterior función.

### **4.3. Diagramas de bloques del sistema**

En la figura 13, se puede observar el procedimiento ejecutado en la estación 1, el cual comienza con la lectura de las etiquetas que se aproximen al lector y finaliza con el almacenamiento de datos en las bases de datos Validación y Trazabilidad.

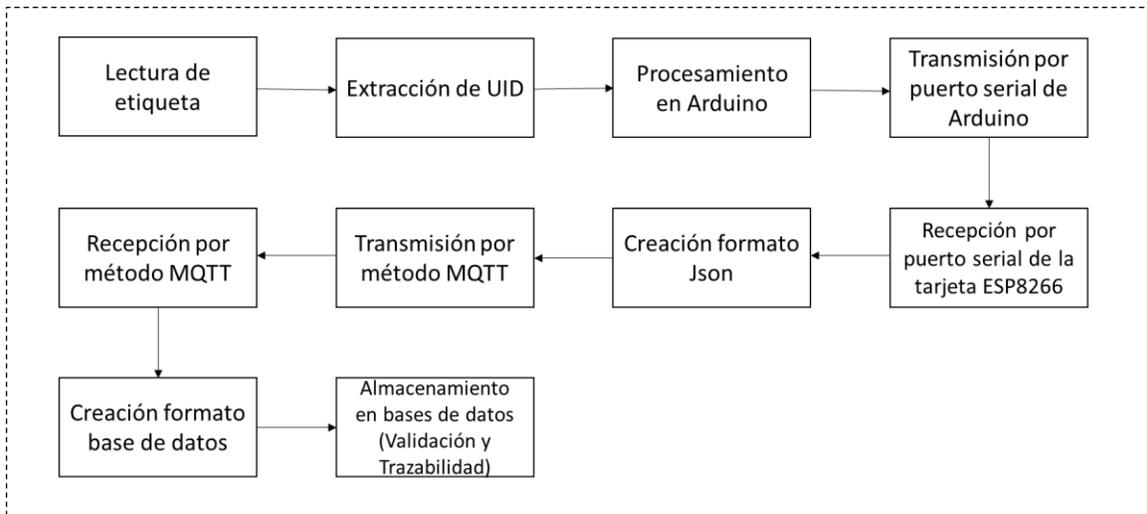


Figura 13. Diagrama de bloques estación 1.

En la figura 14, se puede observar el procedimiento ejecutado en la estación 2, el cual es similar a la estación 1 con la excepción de que esta estación únicamente almacena datos en la base de datos Validación.

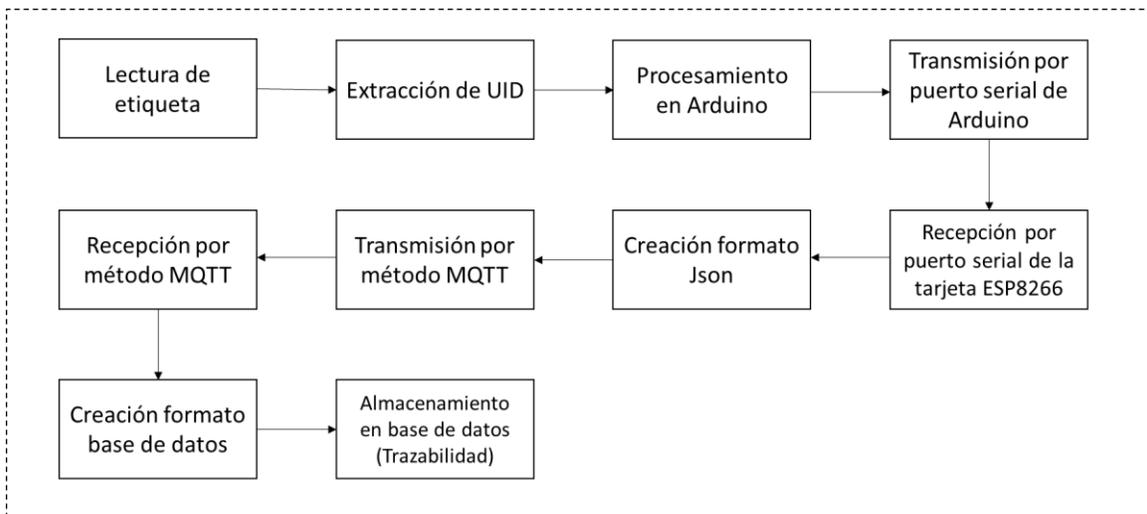


Figura 14. Diagrama de bloques estación 2.

En la figura 15, se muestra el diagrama de bloques de todo el sistema, en el que se retoman los 2 diagramas mostrados anteriormente, se realiza la extracción de los registros de las bases de datos, se comparan los datos de interés, y se publica en la interfaz.

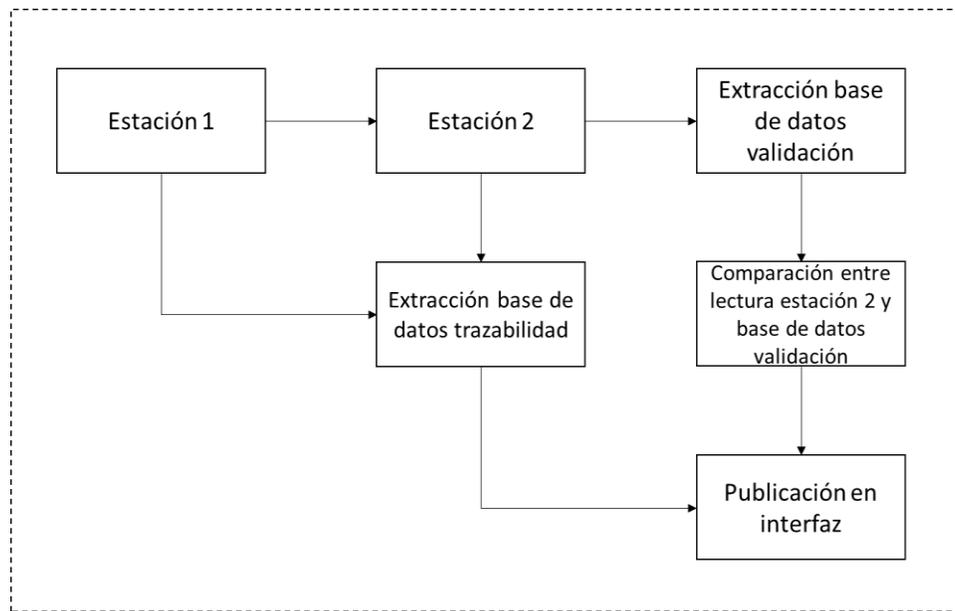


Figura 15. Diagrama de bloques del sistema general.

#### 4.4. Protocolos de pruebas

Con el fin de corroborar el funcionamiento del sistema se diseñó un protocolo de prueba el cual se implementó en el momento de poner el sistema en funcionamiento. Este se describe a continuación:

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.

Se diseñó un protocolo de prueba que se ajusta a un escenario específico identificado, el cual consistía en que un miembro del personal de salud después de haber ingresado a un área seleccionada y retirarse de la misma, intentara ingresar nuevamente sin haber realizado la higienización de las manos. Este se describe a continuación:

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 acerca 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 acerca la tarjeta al módulo.
12. Esperar por mensaje de audio y texto desplegados en la interfaz.

Con el fin de comprobar la distancia de lectura efectiva del módulo RFID MFRC-522 con las etiquetas RFID seleccionadas se diseñó un protocolo de prueba que permitiera conocer la mayor distancia de lectura:

1. Se ubica el módulo lector MFRC-522 en una superficie plana.
2. Se establece un patrón de referencia de distancia, en este caso una regla en centímetros.
3. Se ubica la etiqueta RFID (tarjeta o llavero) a una distancia de 5 cm como valor inicial.
4. Se registra si hay o no lectura efectiva de tarjeta.

Nota: Se decrementa la distancia en un factor de 1 cm, cada que se complementen 20 pruebas con cada tipo de tarjeta.

## 5. RESULTADOS

A continuación, se describirán y expondrán los resultados obtenidos a partir de la implementación del prototipo diseñado. Se realizaron diferentes pruebas con el fin de corroborar la efectividad del sistema y su rendimiento en un ambiente simulado. En primera instancia, el mayor resultado de este estudio fue el haber logrado diseñar de manera satisfactoria y funcional un sistema de control de higienización de las manos a partir de tecnología RFID. Este sistema se sometió a un número determinado de pruebas, 100 en cada estación, para un total de 200 pruebas realizadas.

En la figura 16, se puede observar un fragmento de la interfaz implementada para la visualización de los datos registrados en las diferentes bases de datos. En la parte izquierda de la interfaz se observa un mensaje desplegado inmediatamente después de que el usuario se desplace a la segunda estación y deslice su identificador (etiqueta RFID) por el lector para su validación. Esta validación puede arrojar 2 tipos de resultados: “Admitido” como se puede ver la figura 16, lo cual significa que el usuario ya realizó el lavado de manos correspondiente. El segundo resultado puede ser “Lávese las manos”, lo que hace referencia a que el usuario no ha realizado el lavado de manos correspondiente. Por otra parte, en la interfaz también se puede visualizar una tabla generada a partir de cada lectura ejercida en las diferentes estaciones. Los índices de esta tabla hacen referencia a: Estación, Id, UID (Etiqueta RFID) y Fecha|Hora del momento en que se realizó el registro.



The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying "No seguro | 34.203.1.178:1893/ui/#!/0?socketid=2miPLpor6qIk2fZIAAAo". The page has a blue header with the word "Principal". Below the header, there are two main sections: "Mensaje Validación" on the left and "Base de datos Trazabilidad" on the right. The "Mensaje Validación" section displays the word "Admitido". The "Base de datos Trazabilidad" section contains a table with the following data:

Estación	Id	UID	Fecha Hora
1	1	2026014726	11/8/2019, 6:42:27 PM
2	2	2026014726	11/8/2019, 6:42:50 PM

Figura 16. Visualización de interfaz en el momento de pruebas.

En la figura 17, se puede observar la ubicación de la estación 1 junto con el módulo lector RFID en el ambiente simulado seleccionado para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema de higienización de manos. La ubicación de esta estación debe ser cercana a un dispensador de base alcohólica o lavamanos, como se recreó en este modelo de prueba. Por otra parte, se puede observar en la figura 18, la ubicación de la estación 2 junto con el módulo lector RFID. Vale la pena destacar, que en el modelo de prueba se seleccionó la ubicación de la estación 2 en una puerta de acceso a un área, lo cual corresponde al lugar en donde esta debe ser ubicada en un ambiente clínico.

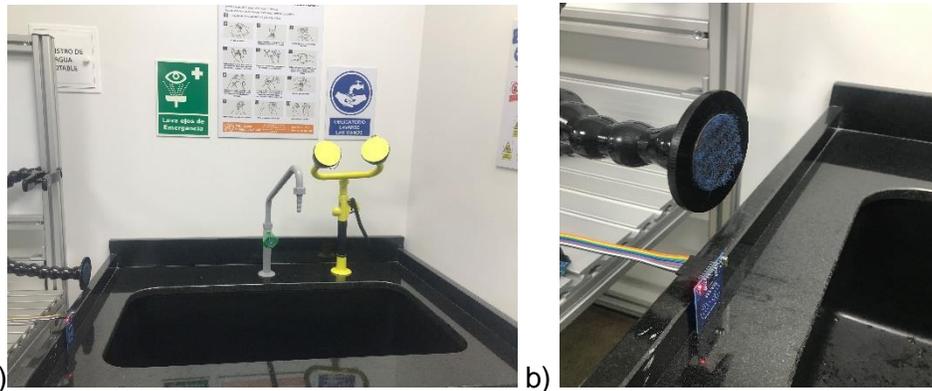


Figura 17. Estación 1 en modelo de prueba. a) Vista general estación 1. b) Ubicación módulo lector RFID.

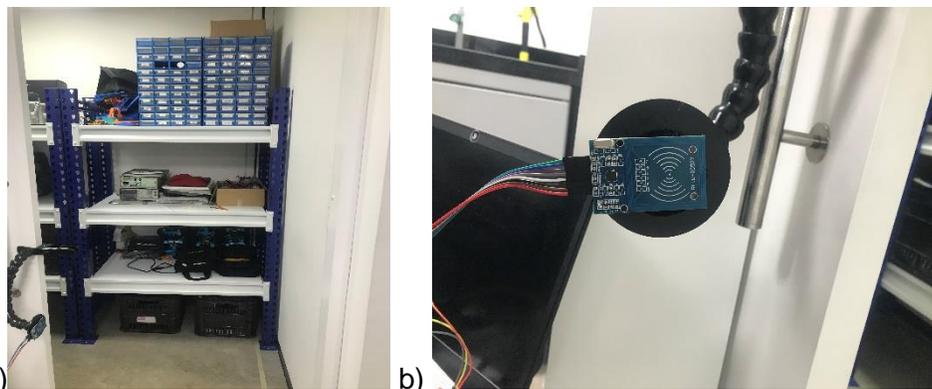


Figura 18. Estación 2 en modelo de prueba. a) Vista general estación 2. b) Ubicación módulo lector RFID.

A partir de las 200 pruebas realizadas al sistema en sus 2 principales componentes, se obtuvieron 95 lecturas efectivas en la estación 1 y 90 lecturas efectivas en la estación 2, tal como se ve en la tabla 4 y en la figura 19. Vale la pena aclarar que en cada prueba realizada se comprobada el almacenamiento del registro en la base de datos y la visualización de este mediante la interfaz diseñada.

Tabla 4. Resultados pruebas de funcionamiento.

Estación	Lecturas efectivas	Almacenamientos registrados
1	95	95
2	90	90

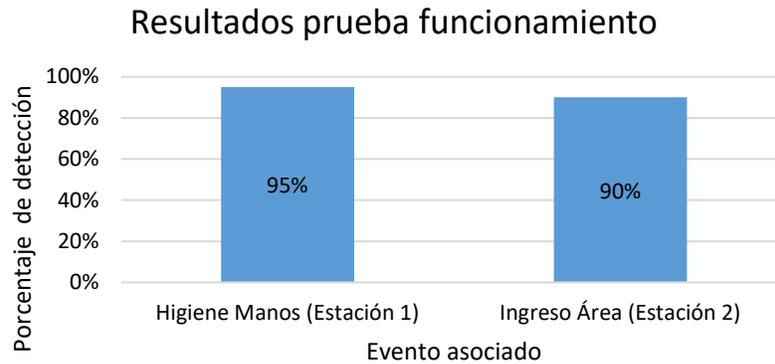


Figura 19. Porcentaje de detección en pruebas de funcionamiento.

Tabla 5. Resultados mensajes desplegados en pruebas de funcionamiento.

Mensaje desplegado (Visual y Audio)	No. de despliegues	Total
Admitido	86	86 %
Lávese las manos	3	3 %
Mensaje Nulo	11	11 %

Se realizaron 50 pruebas al sistema bajo la simulación de un escenario específico identificado, en las cuales se obtuvieron 46 lecturas efectivas en la estación 1, 44 lecturas efectivas en la estación 2 como primer ingreso y 44 lecturas efectivas en la estación 2 como reingreso, tal como se puede ver en la tabla 6 y figura 20.

Tabla 6. Resultados pruebas de funcionamiento bajo escenario específico.

Estación	Lecturas efectivas	Almacenamientos registrados	Reingreso
1	46	46	N/A
2	44	44	No
2	44	44	Sí

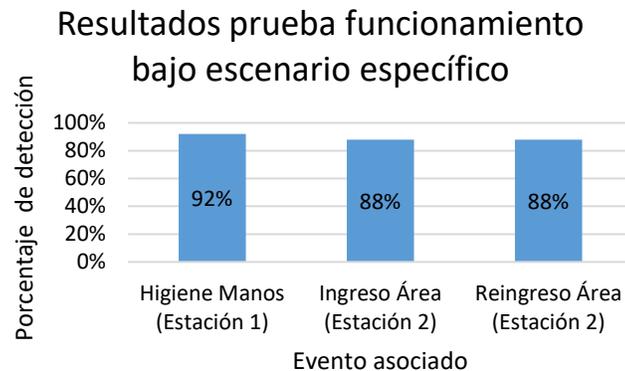


Figura 20. Porcentaje de detección en pruebas de funcionamiento bajo escenario específico.

Con el fin de comprobar la distancia máxima de lectura del módulo lector RFID-MFRC522 se realizó una prueba con 2 diferentes tipos de etiquetas (llavero, tarjeta), con cada etiqueta se realizaron 20 pruebas a diferentes distancias (5cm, 4cm, 3cm, 2cm, 1cm). A partir de las pruebas ejecutadas se registraron los siguientes resultados:



Figura 21. Ubicación módulo lector RFID-MFRC522 junto patrón de referencia de distancia.

Tabla 7. Resultados alcance de lectura módulo RFID-MFRC522

Etiqueta	Distancia (cm)	Lecturas Efectivas
Tarjeta	5	0
Llavero	5	0
Tarjeta	4	0
Llavero	4	0
Tarjeta	3	19
Llavero	3	0
Tarjeta	2	19
Llavero	2	20
Tarjeta	1	20
Llavero	1	20

Porcentaje de detección en pruebas de alcance de lectura

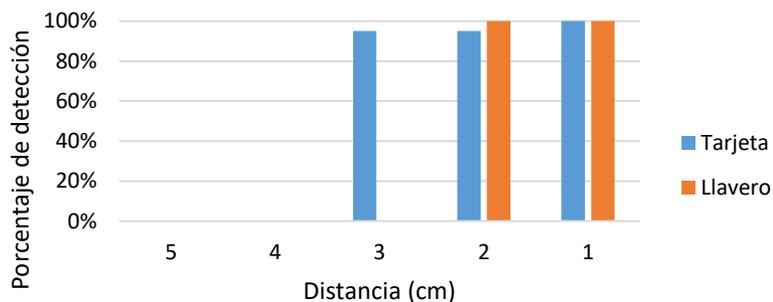


Figura 22. Porcentaje de detección en pruebas de alcance de lectura.

## 6. DISCUSIÓN

La interfaz diseñada para visualizar los registros generados por el sistema de control de higiene de manos se logró implementar de manera correcta ya que esta presentó un desempeño y funcionamiento óptimo. El objetivo principal de esta interfaz consistió en permitir la visualización de cada registro con sus respectivos componentes, y a su vez, desplegar un resultado a partir de un proceso de toma de decisiones y requerimientos solicitados. Durante las pruebas realizadas con el fin de comprobar el funcionamiento de esta se obtuvo un rendimiento del 100% de efectividad, es decir, la interfaz permitió la visualización de cada una de las lecturas efectivas realizadas y desplegó el resultado final (alerta visual y de audio) cuando se cumplían los requisitos necesarios para obtener un resultado específico.

Esta interfaz podría ser mejorada en el sentido de que no solo permita al usuario la visualización de los datos, además de esto que le permita la interacción con los mismos y darle un tratamiento deseado o específico. Esto significa que el usuario pueda diseñar y aplica un tipo de filtro específico, es decir, poder seleccionar un periodo específico de tiempo para ser visualizado, filtrar por estación, UID, resultado obtenido y múltiples opciones. A su vez, podría añadirse un contador por tipo de resultado desplegado vinculado a cada UID.

Durante las pruebas realizadas al sistema en el primer componente, es decir, en la estación 1 se obtuvo un rendimiento del 95% en lecturas efectivas y registro 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, presentado tan solo 10 fallas [25]. 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 5, se muestran el número de resultados obtenidos durante la realización de las pruebas de funcionamiento. 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 registraba 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. Al momento de verificar el número total de resultados y el porcentaje respectivo, se obtuvo un valor del 100%, lo que significa que en las 100 pruebas realizadas

se obtuvo un resultado y este era acorde a las condiciones bajo el cual se desplegaba.

En la tabla 6, podemos observar los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento bajo un escenario específico. Los cuales corresponden a 46 lecturas efectivas en la estación 1 bajo las 50 pruebas en total que se realizaron, arrojando un porcentaje de efectividad del 92%. En la estación 2 se obtuvieron 44 lecturas efectivas bajo, permitiendo obtener un porcentaje de efectividad del 88%. Vale la pena aclarar, que este primer registro correspondía al primer ingreso. Después de que el usuario cumpliera con el protocolo establecido, este se desplazaba en una segunda oportunidad a la estación 2, generando así un reingreso al área sin haber estado en la estación de higienización de manos. En esta parte de las pruebas se obtuvieron 44 lecturas efectivas, permitiendo obtener un porcentaje de efectividad del 88%. Esto permite concluir que el sistema a pesar de ser sometido a un escenario de error o una situación de falla en el momento de su implementación tiene un rendimiento óptimo y realiza una validación adecuada/correspondiente al escenario planteado.

Con el fin de comprobar la distancia máxima de lectura de los módulos lectores se realizaron 20 pruebas a una distancia diferente con 2 diferentes tipos de etiqueta RFID. Lo cual permitió observar que las etiquetas RFID tipo tarjeta obtuvieron una distancia máxima de lectura de 3 centímetros con un valor de 95% de pruebas registradas en el total de pruebas realizadas. Las etiquetas RFID tipo llavero obtuvieron una distancia máxima de lectura de 2 centímetros con un valor de 100% de pruebas registradas en el total de pruebas realizadas. Esto permite concluir que las etiquetas tipo RFID estas deberían ser las etiquetas empleadas en un modelo escalable a un ambiente hospitalario real. La razón de esta diferencia en cuanto al rango de lectura entre los 2 tipos de etiquetas obedece al tamaño de estas, pues las etiquetas tipo carne al tener un mayor tamaño cuentan con una antena proporcional a su tamaño y esto les permite tener un mayor rango de alcance de lectura.

Vale la pena mencionar que una limitación de este prototipo es el costo elevado de la tecnología RFID, pues los elementos requeridos (lectores, antenas y etiquetas) para lograr un mayor alcance y rendimiento del sistema tienen un alto precio, por lo que se emplearon los elementos seleccionados debido a su bajo costo y fácil adquisición.

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 [26].

El impacto social generado por el desarrollo de este proyecto es comprendido como un aporte o ayuda a la solución de transmisión de infecciones relacionadas con la atención sanitaria en instituciones de salud ya que permite monitorizar el cumplimiento de la higiene de las manos por parte del personal de salud. Este a su vez, es conocido como el método de mayor efectividad al abordar esta problemática, lo que permite inferir que se está brindando una herramienta de mejora al proceso de higienización de las manos [13].

## 7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

A partir del proceso desarrollado en la construcción del prototipo y de las pruebas realizadas al mismo se sugieren recomendaciones:

- Lograr incrementar el rango de lectura de los módulos lectores ubicados en cada estación, lo cual requiere de una evaluación de adquisición de los dispositivos disponibles en el mercado.
- Diseñar una interfaz de búsqueda y tratamiento de datos almacenados en la base de datos, es decir, que permita una mayor interacción con el usuario que desee revisar los registros realizados.
- Implementar etiquetas RFID discretas que permiten el desarrollo natural del proceso de higienización de las manos del personal de salud.
- Diseñar una estación de higienización que condense la estación de lectura de etiquetas juntos con el agente de higiene seleccionado (Preparación alcohólica, jabón).
- Se debe realizar un estudio clínico observacional para validar la viabilidad de implementación en un ambiente clínico real. A su vez, evaluar la capacidad de lectura de etiquetas RFID en términos de distancia para una mejor implementación y facilidad de uso.
- Este sistema de higienización puede ser escalable a otras áreas en donde se requiera de un proceso de higiene de manos y el registro de este, como lo es la industria de producción y comercialización de alimentos.

## 8. CONCLUSIONES

Se realizó de manera satisfactoria un sistema de control de higiene de manos mediante tecnología RFID para un ambiente clínico, junto con un protocolo de prueba y manejo del sistema para ser empleado.

Se logró diseñar 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.

Se logró establecer un modelo de comunicación entre diferentes dispositivos a través del concepto de IoT (Internet of things) para 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.

Se implementaron protocolos de pruebas para la validación del sistema de control de higiene de manos en un ambiente clínico simulado con el fin de comprobar su empleabilidad.

Las etiquetas RFID tipo carné tienen un mayor alcance de lectura lo cual sugiere que su implementación debe ser mucho más viable, aunque su grande estructura dificulta su aplicación en un modelo escalable a un ámbito real. Se sugiere un cambio en las etiquetas RFID implementadas en este sistema, para lo cual podrían emplearse etiquetas RFID tipo banda (pulsera), haciendo referencia a un accesorio, permitiendo mayor comodidad y no afectando la naturalidad del proceso de higienización de las manos, es decir, reduciendo el efecto Hawthorne.

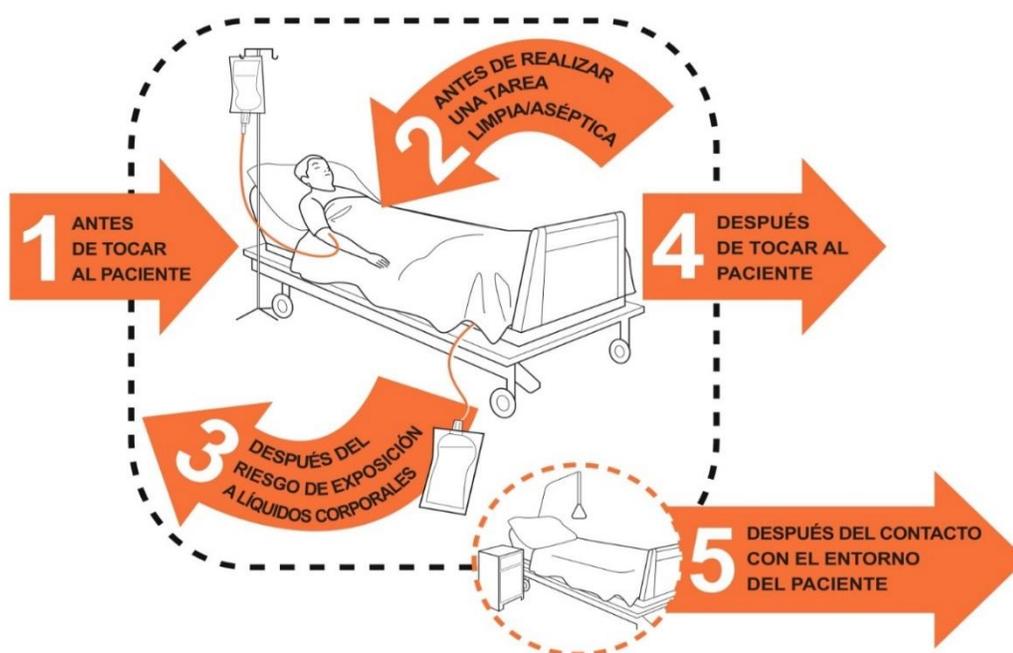
## REFERENCIAS

- [1] J. P. Garrahan, «LA IMPORTANCIA DE LOS 5 MOMENTOS DEL LAVADO DE MANOS PARA EVITAR INFECCIONES,» Hospital de Pedriatría Garrahan, 14 10 2016. [En línea]. Available: <http://www.garrahan.gov.ar/noticias-octubre-2016/octubre/la-importancia-de-los-5-momentos-del-lavado-de-manos-para-evitar-infecciones>. [Último acceso: 19 Julio 2019].
- [2] Organización Mundial de la Salud, «DIRECTRICES DE LA OMS SOBRE HIGIENE DE LAS MANOS EN LA ATENCIÓN SANITARIA (BORRADOR AVANZADO): RESUMEN,» Didier Pittet, Francia, 2005.
- [3] Organización Mundial de la salud, «LA HIGIENE DE MANOS Y EL RECORRIDO DEL PACIENTE QUIRÚRGICO,» Organización Mundial de la Salud, 2016.
- [4] Y. N. Hernández, «La importancia del lavado de las manos en la atención sanitaria,» *Medisur*, vol. 12, nº 6, p. 1, 2014.
- [5] J. Karreman, F. Berendsen, B. Pol y H. Dorman, «Health care workers' compliance with hand hygiene regulations: Positive effects of a poster,» de *IEEE International Professional Communication Conference (IPCC)*., Limerick, 2015.
- [6] Organización Mundial de la Salud, «Una atención limpia es una atención más segura,» Organización Mundial de la Salud , [En línea]. Available: <https://www.who.int/gpsc/5may/background/es/>. [Último acceso: 17 Julio 2019].
- [7] A. Levchenko, V. Boscart, J. Ibbett y G. Fernie, «Distributed IR based technology to monitor hand hygiene of healthcare staff,» de *Science and Technology for Humanity (TIC-STH), IEEE Toronto International Conference*, Toronto, 2009.
- [8] K. Yamamoto, K. Miyanaga, H. Miyahara, M. Yoshii, F. Kinoshita y H. Touyama, «Toward the Evaluation of Handwashing Skills Based on Image Processing,» de *2018 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS)*, Toyama, 2018.
- [9] Organización Mundial de la Salud, «Guía de la OMS sobre Higiene de Manos en la Atención de la Salud: Resumen,» Didier Pittet, Ginebra, 2009.
- [10] R. T. Felipe, «Higiene de manos en los centros sanitarios,» Consejería de sanidad y Dependencia , Plasencia.
- [11] World Health Organization, «Patient Safety,» 9 March 2018. [En línea]. Available: <https://www.who.int/news-room/facts-in-pictures/detail/patient-safety>. [Último acceso: 12 9 2019].
- [12] Ministerio de salud de la Republica de Colombia, «GUÍA TÉCNICA "BUENAS PRÁCTICAS PARA LA SEGURIDAD DEL PACIENTE EN LA ATENCIÓN EN SALUD",» Diana Carolina Vásquez Vélez, Bogotá, 2015.
- [13] World Health Organization, «Mejorar la higiene de las manos para prevenir las infecciones asociadas a la atención de salud,» *Joint Comission International*, vol. 1, nº 9, pp. 33-36, 2007.
- [14] Organización Mundial de la Salud, «La higiene de las manos en la asistencia ambulatoria y domiciliaria y en los cuidados de larga duración,» Common Sense, Grecia, 2013.

- [15] W. Harrison, «Bacterial transfer and cross-contamination potential associated with paper-towel dispensing,» *American Journal of Infection Control*, vol. 31, pp. 387-391, 2003.
- [16] L. Pineles, D. Morgan, H. Limper, S. Weber, K. Thom, E. Perencevich, A. Harris y E. Landon, «Accuracy of a radiofrequency identification (RFID) badge system to monitor hand hygiene behavior during routine clinical activities,» *American Journal of Infection Control*, vol. 42, nº 2, pp. 144-147, 2014.
- [17] M. Meydanci, C. Adali, M. Ertas y M. Dizbay, «RFID based hand hygiene compliance monitoring station,» de *IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering.*, Mindeb, 2013.
- [18] RFID Journal, «What is RFID?,» RFID Journal, 16 January 2005. [En línea]. Available: <https://www-rfidjournal-com.ez.urosario.edu.co/articles/view?1339>. [Último acceso: 15 September 2019].
- [19] J. D. O. Cuadros, «RFID: Aplicaciones, retos y oportunidades,» *Revista Colombiana de Computación*, vol. 17, pp. 42-60, 2016.
- [20] RFID Journal Español, «Preguntas frecuentes RFID,» RFID Journal, [En línea]. Available: <https://espanol.rfidjournal.com/preguntas-frecuentes>. [Último acceso: 18 September 2019].
- [21] NUO PLANET, «¿Qué es RFID?,» [En línea]. Available: <https://nuoplanet.com/blog/que-es-rfid/>. [Último acceso: 18 September 2019].
- [22] B. Dorsemayne, J. P. Gaulier, J. P. Wary, N. Kheir y P. Urien, «Internet of Things: A Definition & Taxonomy,» de *2015 9th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*, Cambridge, 2015.
- [23] MQTT, «MQTT,» [En línea]. Available: <http://mqtt.org/faq>. [Último acceso: 12 Noviembre 2019].
- [24] Y. A. Rendón, «Academia Pragma,» 28 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.pragma.com.co/academia/lecciones/bases-de-datos-relacionales-vs.-no-relacionales>. [Último acceso: 20 Septiembre 2019].
- [25] L. L. Pineles, D. J. Morgan, H. M. Limper, S. G. Weber, K. A. Thom, E. N. Perencevich, A. D. Harris y E. Landon, «Accuracy of a radiofrequency identification (RFID) badge system to monitor hand hygiene behavior during routine clinical activities,» *American Journal of Infection Control*, vol. 42, nº 2, pp. 144-147, 2014.
- [26] K. Cherry, «veryweelmind,» 11 November 2018. [En línea]. Available: <https://www.verywellmind.com/what-is-the-hawthorne-effect-2795234>. [Último acceso: 11 November 2019].

## ANEXOS

# Sus 5 Momentos para la Higiene de las Manos



<b>1</b>	<b>ANTES DE TOCAR AL PACIENTE</b>	<b>¿CUÁNDO?</b>	Lávese las manos antes de tocar al paciente cuando se acerque a él.
		<b>¿POR QUÉ?</b>	Para proteger al paciente de los gérmenes dañinos que tiene usted en las manos.
<b>2</b>	<b>ANTES DE REALIZAR UNA TAREA LIMPIA/ASÉPTICA</b>	<b>¿CUÁNDO?</b>	Lávese las manos inmediatamente antes de realizar una tarea limpia/aséptica.
		<b>¿POR QUÉ?</b>	Para proteger al paciente de los gérmenes dañinos que podrían entrar en su cuerpo, incluidos los gérmenes del propio paciente.
<b>3</b>	<b>DESPUÉS DEL RIESGO DE EXPOSICIÓN A LÍQUIDOS CORPORALES</b>	<b>¿CUÁNDO?</b>	Lávese las manos inmediatamente después de un riesgo de exposición a líquidos corporales (y tras quitarse los guantes).
		<b>¿POR QUÉ?</b>	Para protegerse y proteger el entorno de atención de salud de los gérmenes dañinos del paciente.
<b>4</b>	<b>DESPUÉS DE TOCAR AL PACIENTE</b>	<b>¿CUÁNDO?</b>	Lávese las manos después de tocar a un paciente y la zona que lo rodea, cuando deje la cabecera del paciente.
		<b>¿POR QUÉ?</b>	Para protegerse y proteger el entorno de atención de salud de los gérmenes dañinos del paciente.
<b>5</b>	<b>DESPUÉS DEL CONTACTO CON EL ENTORNO DEL PACIENTE</b>	<b>¿CUÁNDO?</b>	Lávese las manos después de tocar cualquier objeto o mueble del entorno inmediato del paciente, cuando lo deje (incluso aunque no haya tocado al paciente).
		<b>¿POR QUÉ?</b>	Para protegerse y proteger el entorno de atención de salud de los gérmenes dañinos del paciente.



Organización  
Mundial de la Salud

Seguridad del Paciente

UNA ALIANZA MUNDIAL PARA UNA ATENCIÓN MÁS SEGURA

SAVE LIVES  
Clean Your Hands

La Organización Mundial de la Salud ha tomado todas las precauciones razonables para comprobar la información contenida en este documento. Sin embargo, el material publicado se distribuye sin garantía de ningún tipo, ya sea expresa o implícita. Compete al lector la responsabilidad de la interpretación y del uso del material. La organización Mundial de la Salud no podrá ser considerada responsable de los daños que pudiere ocasionar su utilización. La OMS agradece a los Hospitales Universitarios de Ginebra (HUG), en particular a los miembros del Programa de Control de Infecciones, su participación activa en la redacción de este material.

Organización Mundial de la Salud, Octubre 2010

Anexo 1. Cinco momentos para realizar higiene de las manos.

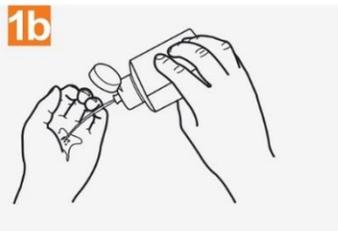
# ¿Cómo desinfectarse las manos?

¡Desinfectese las manos por higiene! Lávese las manos solo cuando estén visiblemente sucias

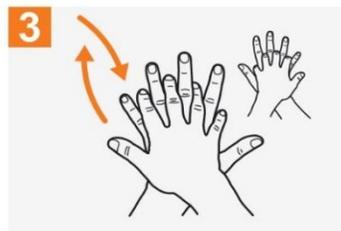
 Duración de todo el procedimiento: 20-30 segundos



**1a** Deposite en la palma de la mano una dosis de producto suficiente para cubrir todas las superficies;



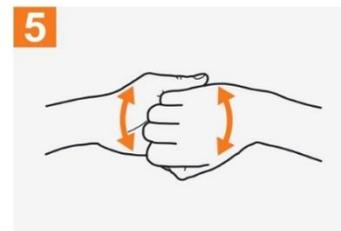
**2** Frótese las palmas de las manos entre sí;



**3** Frótese la palma de la mano derecha contra el dorso de la mano izquierda entrelazando los dedos y viceversa;



**4** Frótese las palmas de las manos entre sí, con los dedos entrelazados;



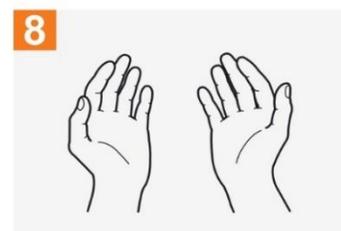
**5** Frótese el dorso de los dedos de una mano con la palma de la mano opuesta, agarrándose los dedos;



**6** Frótese con un movimiento de rotación el pulgar izquierdo, atrapándolo con la palma de la mano derecha y viceversa;



**7** Frótese la punta de los dedos de la mano derecha contra la palma de la mano izquierda, haciendo un movimiento de rotación y viceversa;



**8** Una vez secas, sus manos son seguras.



Organización  
Mundial de la Salud

Seguridad del Paciente

UNA ALIANZA MUNDIAL PARA UNA ATENCIÓN MÁS SEGURA

SAVE LIVES

Clean Your Hands

La Organización Mundial de la Salud ha tomado todas las precauciones razonables para comprobar la información contenida en este documento. Sin embargo, el material publicado se distribuye sin garantía de ningún tipo, ya sea expresa o implícita. Compete al lector la responsabilidad de la interpretación y del uso del material. La organización Mundial de la Salud no podrá ser considerada responsable de los daños que pudiere ocasionar su utilización. La OMS agradece a los Hospitales Universitarios de Ginebra (HUG), en particular a los miembros del Programa de Control de Infecciones, su participación activa en la redacción de este material.

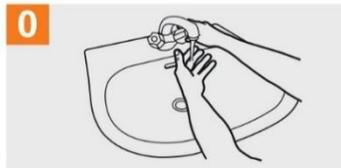
Organización Mundial de la Salud, Octubre 2010

Anexo 2. Procedimiento adecuado para higiene de las manos con una preparación de base alcohólica.

# ¿Cómo lavarse las manos?

¡Lávese las manos solo cuando estén visiblemente sucias! Si no, utilice la solución alcohólica

 Duración de todo el procedimiento: 40-60 segundos



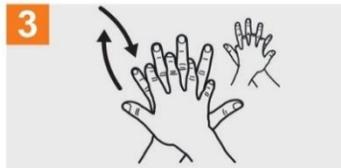
**0** Mójese las manos con agua;



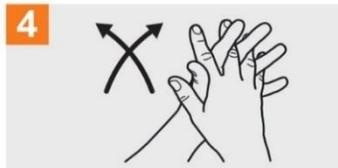
**1** Deposite en la palma de la mano una cantidad de jabón suficiente para cubrir todas las superficies de las manos;



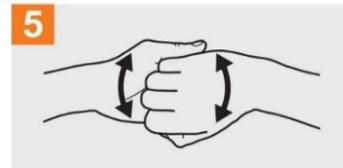
**2** Frótese las palmas de las manos entre sí;



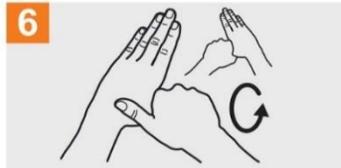
**3** Frótese la palma de la mano derecha contra el dorso de la mano izquierda entrelazando los dedos y viceversa;



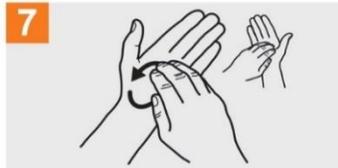
**4** Frótese las palmas de las manos entre sí, con los dedos entrelazados;



**5** Frótese el dorso de los dedos de una mano con la palma de la mano opuesta, agarrándose los dedos;



**6** Frótese con un movimiento de rotación el pulgar izquierdo, atrapándolo con la palma de la mano derecha y viceversa;



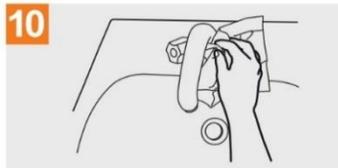
**7** Frótese la punta de los dedos de la mano derecha contra la palma de la mano izquierda, haciendo un movimiento de rotación y viceversa;



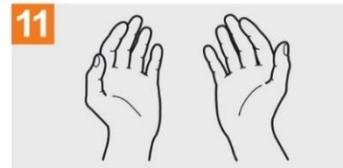
**8** Enjuáguese las manos con agua;



**9** Séquese con una toalla desechable;



**10** Sírvese de la toalla para cerrar el grifo;



**11** Sus manos son seguras.



Organización  
Mundial de la Salud

Seguridad del Paciente

UNA ALIANZA MUNDIAL PARA UNA ATENCION MÁS SEGURA

SAVE LIVES

Clean Your Hands

La Organización Mundial de la Salud ha tomado todas las precauciones razonables para comprobar la información contenida en este documento. Sin embargo, el material publicado se distribuye sin garantía de ningún tipo, ya sea expresa o implícita. Compete al lector la responsabilidad de la interpretación y del uso del material. La Organización Mundial de la Salud no podrá ser considerada responsable de los daños que pudiere ocasionar su utilización. La OMS agradece a los Hospitales Universitarios de Ginebra (HUG), en particular a los miembros del Programa de Control de Infecciones, su participación activa en la redacción de este material.

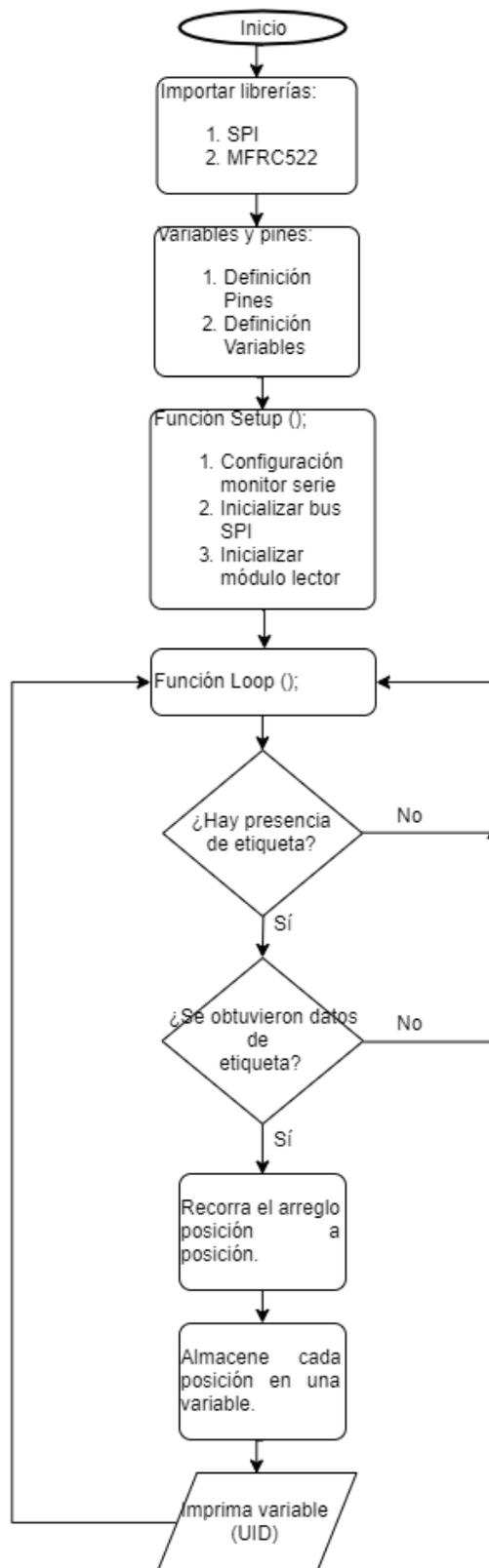
Organización Mundial de la Salud, Octubre 2010

Anexo 3. Procedimiento adecuado para la higiene de las manos a partir de lavado de las manos.

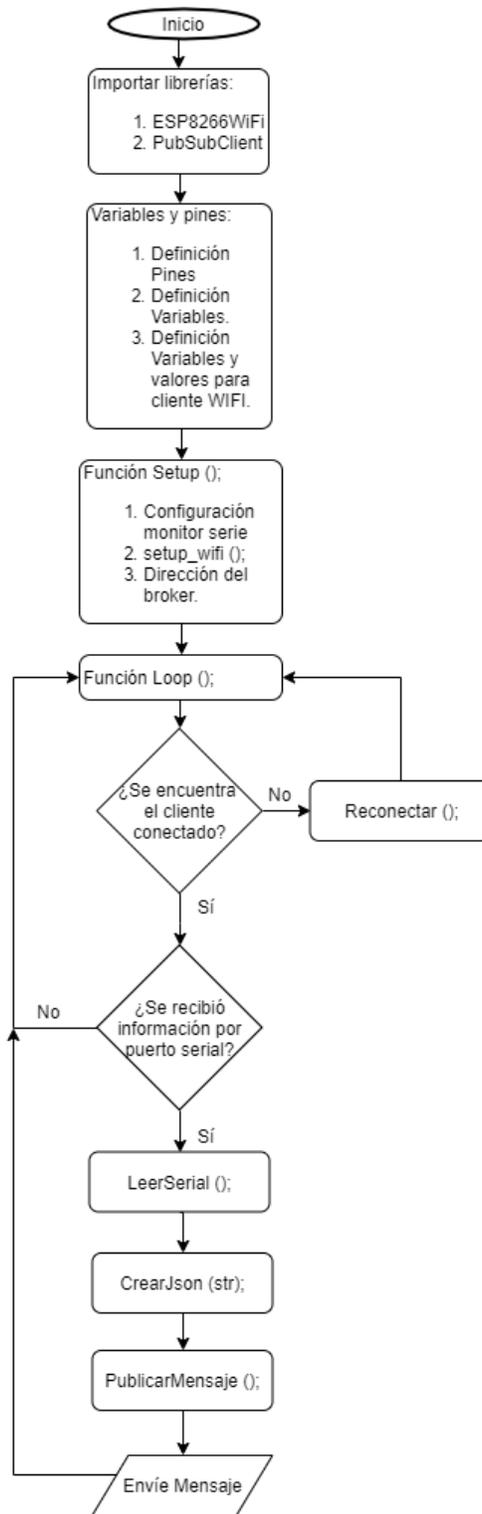
## Tasks

Name	Begin date	End date
Propuesta Anteproyecto	6/19/19	7/17/19
Revisión Literatura Inicial	6/19/19	7/4/19
Elección contenido	6/19/19	6/28/19
Selección tecnología	6/28/19	7/4/19
Evaluación de áreas	7/4/19	7/10/19
Elaboración documento anteproyecto	7/10/19	7/17/19
Revisión Literatura Complementaria	7/19/19	8/29/19
Escogencia Materiales	8/30/19	9/11/19
Construcción sistema	9/13/19	10/10/19
Hardware	9/13/19	9/19/19
Software	9/20/19	10/10/19
Diseño de protocolos	10/10/19	10/11/19
Pruebas	10/14/19	10/18/19
Elaboración documento Final	10/18/19	11/22/19
Preparación exposición	11/18/19	12/5/19
Sustentación Final	12/9/19	12/9/19

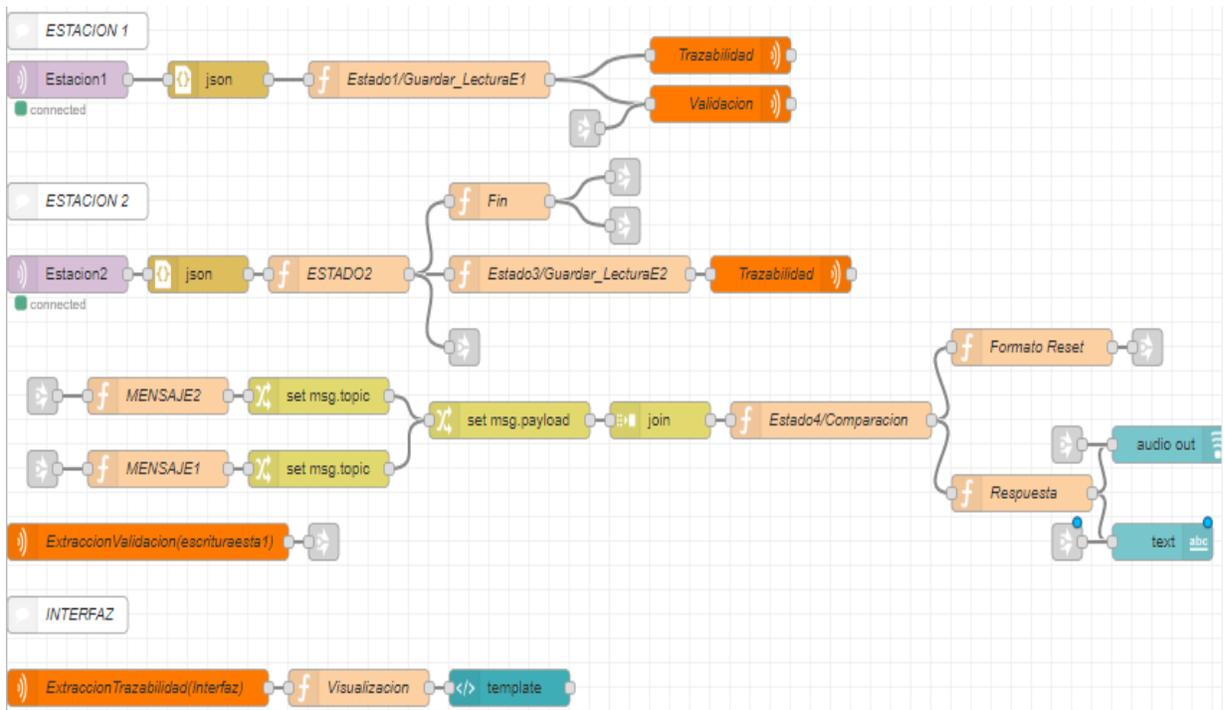
Anexo 4. Duración fases y actividades de Diagrama de Gantt.



Anexo 5. Diagrama de flujo de código de lectura de etiquetas y extracción de UID



Anexo 6. Diagrama de flujo de código implementado para la recepción y transmisión del UID en formato Json.



Anexo 7. Distribución de nodos en Node-RED