

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO PARA EL RASTREO DE PERSONAS EXPUESTAS A CONTAGIO DE COVID-19 EN UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA

*DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TESTBED
SYSTEM FOR TRACING OF INDIVIDUALS
EXPOSED TO COVID-19 INFECTION
IN AN EDUCATION INSTITUTION*

Saúl Obed Magaña Cruz

Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa, México
cbi2173010549@titlani.uam.mx

Miguel López Guerrero

Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa, México
milo@xanum.uam.mx

Recepción: 24/noviembre/2023

Aceptación: 29/abril/2024

Resumen

La pandemia de COVID-19 generó preocupación mundial debido a su alta contagiosidad y mortalidad. Como parte de las medidas de contención de este problema, en años recientes se han ideado sistemas de rastreo de personas en riesgo de haber sufrido un contagio. En este trabajo se describe una de tales propuestas que, a diferencia de otras, es de muy bajo costo y está pensada para utilizarse en un entorno educativo. La solución que se presenta tiene como base la combinación de tecnología RFID, Arduino, comunicaciones por Internet y software libre. Se describe en detalle el diseño e implementación de un prototipo. La efectividad de la propuesta se demuestra con una serie de pruebas realizadas en el sistema prototipo. Este enfoque innovador tiene el potencial de mejorar la seguridad y respuesta ante futuras amenazas sanitarias, siendo una valiosa herramienta para la comunidad educativa y la sociedad en general.

Palabras Clave: Arduino, COVID-19, Método GET, Método POST, Rastreo de contactos.

Abstract

The COVID-19 pandemic raised global concern due to its high contagiousness and mortality. As part of the contention measures that have been developed to contend with this problem, in recent years various solutions have appeared. They are intended to trace individuals at risk of having been infected. In this work one of such proposals is described. Differently from others, the solution herein described has a very low cost and is intended to be used in an education institution. The solution is based on the combination of RFID technology, Arduino, Internet communications and free software. The design and implementation of a testbed system are described. The effectiveness of the proposal is demonstrated with a series of tests carried out in the testbed system. This innovative approach has the potential to enhance safety and response to future health threats, serving as a valuable tool for the educational community and society at large.

Keywords: *Arduino, Contact tracing, COVID-19, GET method, POST method.*

1. Introducción

El SARS-COV2, virus causante de la enfermedad llamada COVID-19 y de la pandemia que inició el 11 de marzo del año 2020, se convirtió en el problema más grave que la humanidad ha enfrentado en años recientes. Tan solo entre el 2020 y el 2021 la enfermedad ocasionó alrededor de 14.9 millones de decesos [ONU Noticias, 2022] además de innumerables afectaciones en prácticamente todos los ámbitos de convivencia de las personas. El 5 de mayo del presente año [OPS, 2023], se declaró el fin de la emergencia de salud pública por COVID-19 sin que ello implique que la enfermedad se haya erradicado. El virus se transmite más fácilmente por contacto con personas infectadas en lugares cerrados. Por lo tanto, es necesario desarrollar la capacidad de detectar y contener brotes infecciosos en estos entornos a fin de salvaguardar la salud de la población.

El trabajo que aquí se reporta plantea que es posible llevar a cabo el rastreo de personas [OMS, 2021] que estuvieron en contacto con un caso positivo a COVID-19 dentro de una institución educativa usando como base principal la tecnología RFID (*Radio Frequency Identification*). El sistema ayudará a detectar e informar a

las personas que están en un potencial riesgo de salud por COVID-19. De esta forma, se pretende contribuir en la prevención de contagios en las aulas.

Es importante destacar que el rastreo de personas usando la tecnología RFID ya se realizaba antes de la pandemia por COVID-19. Por ejemplo, en el estudio [Hutabarat, 2016] se proponía el uso del GPS (*Global Positioning System*) en combinación con RFID para la localización de niños extraviados en entornos tanto exteriores como interiores (p. ej., museos, áreas deportivas y espacios abiertos). Sin embargo, durante el desarrollo de la pandemia se desarrollaron y mejoraron diversos métodos para el rastreo de personas potencialmente contagiadas de COVID-19. Por ejemplo, en el estudio [Malekmohammadi, 2022] se describe una solución que utiliza tecnología RFID en un campus universitario. Sin embargo, esta propuesta hace uso de tarjetas activas RFID que son relativamente caras. Otra solución se presenta en [Anantharajah, 2021], en donde, se propone que cada persona presente una tarjeta RFID pasiva al ingresar a un espacio. El seguimiento se realizaría a través de las claves asociadas a las tarjetas. Adicionalmente, la propuesta indica que opcionalmente se podría utilizar BLE (*Bluetooth Low Energy*) para mejorar las capacidades de detección de un contacto. Esta propuesta comparte algunas similitudes con el trabajo que aquí se presenta, en cuanto al uso de tarjetas pasivas RFID, pero difiere en que no reporta una implementación y pruebas en un sistema real como es el caso del presente trabajo. Su estudio describe algunas estimaciones de desempeño utilizando datos de otros estudios.

Dentro de la Ciudad de México, la técnica que ha llegado a utilizarse consiste en que las personas que ingresan a algún sitio cerrado (p. ej., restaurantes, centros comerciales, cines y museos) deben usar su teléfono celular para leer un código QR o bien tener una aplicación que haga uso del GPS o WiFi. Con esta acción se envía la información de contacto requerida a fin de notificar a aquellas personas que hayan asistido al mismo sitio que alguien posteriormente resultó positivo a COVID-19. A pesar de la simplicidad de este esquema, esta estrategia tiene varias deficiencias. La primera es que asume que todas las personas que asisten a algún lugar cerrado cuentan con un teléfono celular tipo *smartphone*. Esta suposición da lugar a prácticas discriminatorias. La segunda es la reticencia de la población a usar un

sistema así debido a la falta de confianza en las instituciones a las que se les envían datos personales. Por último, los códigos QR al ser de lectura óptica, pueden ser fácilmente vandalizados e inutilizados.

A diferencia de un sistema de naturaleza óptica, como la descrita anteriormente (que utiliza códigos QR y *smartphones*), en este trabajo se plantea la utilización de tarjetas de acceso de tecnología RFID. Un cambio en apariencia sencillo, pero que evita muchos de los problemas listados anteriormente. Usando RFID dentro de las aulas educativas se ofrece una solución en interiores (*indoors*) para un rastreo de contactos efectivo y de bajo costo.

Como se describe en el documento, el sistema aprovecha la amplia disponibilidad de componentes para la implementación de dispositivos del IoT (*Internet of Things*) así como software libre. Con todo ello, y como se mostrará en una sección subsecuente, se tiene la posibilidad de realizar un rastreo efectivo de contactos en caso de la aparición de un caso positivo a COVID-19. El resto del trabajo se estructura de la siguiente forma. En la siguiente sección (Métodos) se describe la propuesta del sistema y se explica el diseño de un prototipo que cumpla con los requerimientos. En la sección 3 (Resultados) se reportan pruebas llevadas a cabo con el prototipo. Las secciones 4 (Discusión) y 5 (Conclusiones) proporcionan algunas reflexiones y comentarios finales respecto del sistema creado.

2. Métodos

Asumiendo que el entorno en el cual el sistema entra en operación es una institución de educación superior:

- La escuela debe proporcionar a cada miembro de la comunidad (i.e., alumnos y profesores) una tarjeta de acceso de tecnología RFID. Cabe mencionar que cada tarjeta, desde su fabricación, cuenta con un identificador numérico único.
- Cada usuario del sistema (aquél que recibe una tarjeta) se debe registrar en el sistema indicando el identificador de la tarjeta, algunos datos personales y la forma en la que desea ser contactado (p. ej., correo electrónico).
- A la entrada de cada aula de la institución se deben instalar lectores de tarjetas RFID de modo que cada persona que ingrese pueda registrar su acceso

simplemente presentando su tarjeta RFID (Figura 1a). Todos los lectores tendrán integrada una interfaz de red inalámbrica de modo que la información de los accesos se podrá enviar y registrar en una base de datos almacenada en un servidor remoto (Figura 1b). En este paso se asume que las aulas cuentan con cobertura de red inalámbrica (i.e., WiFi), lo cual es actualmente un caso común en instituciones educativas.

- En el caso de que alguien presente síntomas o dé positivo a la prueba COVID-19, la persona en cuestión deberá ponerse en contacto con alguna autoridad de la institución. Se propone que ésta sea una persona que conozca a los estudiantes (puede ser un coordinador de estudios o equivalente según la institución) para que pueda hacer el rastreo de contactos (Figura 1c). En el caso de la institución de adscripción de los autores, la persona que podría asumir este rol se denomina un Coordinador de licenciatura.
- A través del sistema desarrollado, el Coordinador de la licenciatura hará la consulta a la base de datos para conocer los lugares y horarios en los que estuvo la persona contagiada. El sistema automáticamente enviará una notificación a los contactos para que tomen debidas precauciones (Figura 1d).



Fuente: elaboración propia.

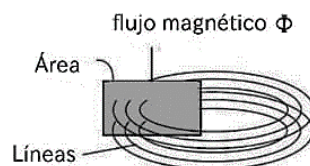
Figura 1 Rastreo de contactos por COVID-19 utilizando el sistema propuesto.

Como se puede observar, en la descripción del sistema propuesto se conjugan varios elementos: políticas de uso, componentes electrónicos y herramientas de

software. En las secciones siguientes se describen los componentes de mayor interés desde el punto de vista tecnológico.

Tarjetas RFID

Para leer el identificador numérico de una tarjeta (UID o *User Identification*) se usa la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), que permite la comunicación sin contacto entre lector y la tarjeta. Los sistemas RFID se clasifican en dos tipos dependiendo del método de lectura de tarjetas: inductivo, basado en acoplamiento electromagnético, y de propagación, basado en la propagación de ondas electromagnéticas [Dowla, 2004]. En este reporte, se utilizó la comunicación inductiva. La tarjeta se coloca en la cercanía de un dispositivo lector (Figura 2) que genera un campo electromagnético para energizar la tarjeta [Want, 2006]. De esta manera, la transmisión de datos de la tarjeta al lector se realiza utilizando la misma energía provista por el lector. Existen tres frecuencias de operación de RFID: baja, alta y ultraalta. En este trabajo, se utilizó la alta frecuencia (HF) que comúnmente funciona a 13.56 MHz y tiene rangos de lectura entre 10 cm y 1 m. En específico, se utilizó el estándar NFC (*Near Field Communication*) que es parte de la familia RFID de alta frecuencia. Esta tecnología permite la comunicación sin contacto entre dos dispositivos cercanos. Este estándar se adhiere a normas como la ISO 14443 que definen el funcionamiento de las tarjetas inteligentes sin contacto, o tarjetas de proximidad, que incorporan una antena.



Fuente: elaboración propia.

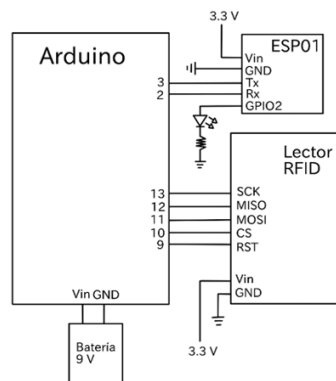
Figura 2 Acoplamiento inductivo en una tarjeta RFID.

Diseño del prototipo

Como ya se mencionó, el sistema propuesto emplea comunicación de campo cercano (NFC) para la lectura de los UID almacenados en las tarjetas RFID de los usuarios. Esta tarea se lleva a cabo mediante un módulo Arduino Uno en conjunto

con una placa lectora RFID del tipo RC522 de MIFARE, permitiendo la lectura de los UID de las tarjetas cada vez que los usuarios ingresan a un aula de clases. Además, el módulo lector incluye una placa de comunicación WiFi ESP8266, concretamente el encapsulado ESP01, que ofrece una solución económica para dotar de conectividad a los módulos Arduino. Este módulo SOC (*system on a chip*) autónomo se programó para recibir el UID leído de una tarjeta RFID a través de la UART del Arduino Uno y transmitirlo al servidor remoto para su posterior registro en una base de datos gestionada por MySQL.

El diseño del prototipo se muestra en la figura 3, que muestra un módulo lector completo. Cada prototipo instalado en las aulas está compuesto por la placa Arduino, el lector RFID y el ESP01. Además, se incorpora un indicador visual en el diseño que se activa cuando el ESP01 se encuentra con algún problema al subir un UID a la base de datos. La situación de error se indica mediante el encendido de un LED color rojo.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3 Sistema prototipo de un módulo lector.

Gestión de los datos

La capacidad de programación del ESP8266 se aprovechó para establecer una conexión por HTTP hacia el servidor remoto que se encarga de recibir y almacenar los datos. Como el UID de las tarjetas es un arreglo de caracteres de tipo alfanumérico, se decidió usar el protocolo HTTP para llevar a cabo la comunicación cliente-servidor. Así, el UID de una tarjeta y el aula a la que se ingresa se transportan como elementos dentro de una URL. Cabe enfatizar que para registrar un acceso

no se mandan datos sensibles a través de Internet (p.ej., nombre del estudiante), únicamente el UID leído de la tarjeta de acceso y la sala donde se registraron los datos.

En el servidor remoto se creó una aplicación utilizando PHP, la cual registra el UID recibido, la sala y el momento en el que se recibieron los datos. La tabla de accesos (Figura 4a) en la base de datos es gestionada por MySQL. Éste es el sistema de gestión de bases de datos relacionales (RDBMS, *relational database management system*) más extendido en la actualidad al estar basado en código abierto.

Un requisito inicial para el rastreo de contactos es que el usuario debe registrarse previamente en el servidor central. Cuando los usuarios se registran en el sistema se crea un catálogo de usuarios (Figura 4b), el cual es una tabla que contiene, para cada UID, el medio de contacto preferido y el nombre de la persona correspondiente. El catálogo de usuarios difiere de la tabla de accesos en que, el catálogo de usuarios sí necesita el ingreso de datos sensibles. Para salvaguardar los datos de registro de usuario, éstos se mandan mediante el uso del método POST para cifrar los datos, mientras que los datos de acceso a un aula provenientes de los módulos lectores se mandan mediante el método GET en la misma URL. La figura 4 ilustra las dos tablas que almacenan la información descrita en esta sección.

UID	fecha	aula
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—

UID	nombre	contacto
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	—

a) Tabla de accesos.

b) Catálogo de usuarios.

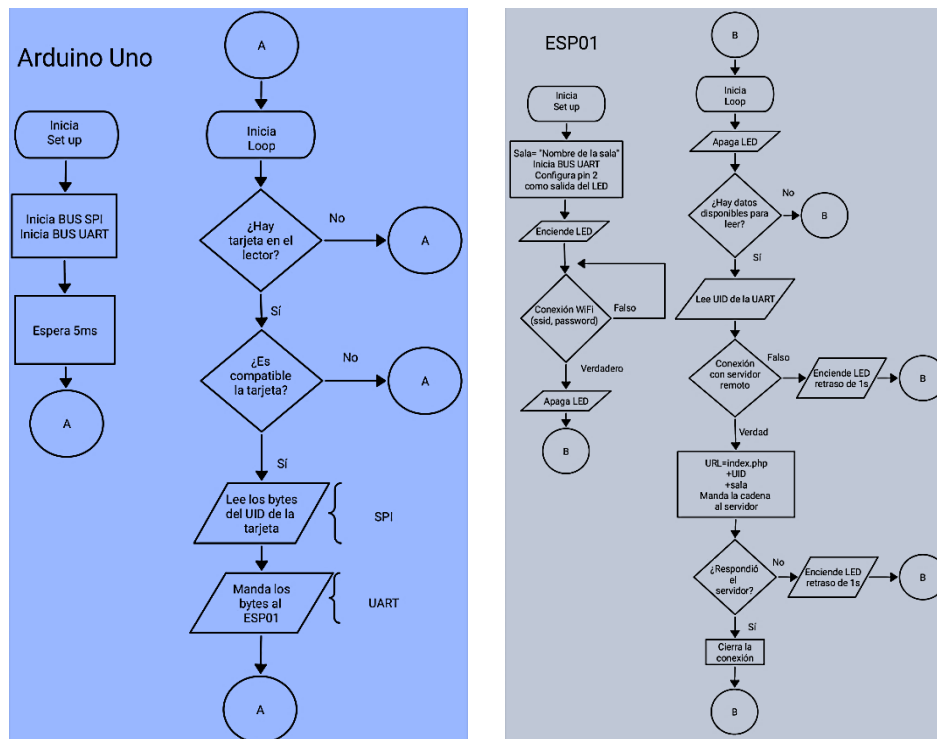
Fuente: elaboración propia.

Figura 4 Tablas creadas en la base de datos.

Descripción del software para el rastreo de contactos

Se desarrolló un programa cuyo propósito es leer el UID contenido en una tarjeta RFID y posteriormente transferirlo al módulo ESP01. Todo esto lo realiza un

programa escrito para el módulo Arduino cuyo correspondiente diagrama de flujo se muestra en la figura 5a. Una vez que Arduino transmite el UID al ESP01, mediante la comunicación UART, el código que se ejecuta en el ESP01 recibe el UID leído y lo envía al servidor remoto a través de Internet. El diagrama de flujo correspondiente a este programa se muestra en la figura 5b. Más adelante, en la sección de resultados, se presenta un ejemplo del registro de varios UID usando el *software* que implementa estos códigos.



a) Diagrama de flujo del Arduino.

b) Diagrama de flujo del ESP01.

Fuente: elaboración propia.

Figura 5 Diagramas de flujo para los componentes del prototipo (Arduino y ESP01).

El UID de una tarjeta, así como el aula en donde se realizó la lectura, se envían al servidor remoto, mediante el ESP01. En el servidor, esta información se registra en la tabla de accesos. Para realizar el registro de accesos se escribió un programa en PHP. El diagrama de flujo de este código se presenta en la figura 6b. En la figura 6a, se muestra un ejemplo de prueba en el que se registra un UID ficticio (i.e., F3F3F3F3) Este UID, se asume haberse leído al ingresar al aula B-111 en la fecha y hora indicados por el campo “fecha” en la tabla de esta figura.

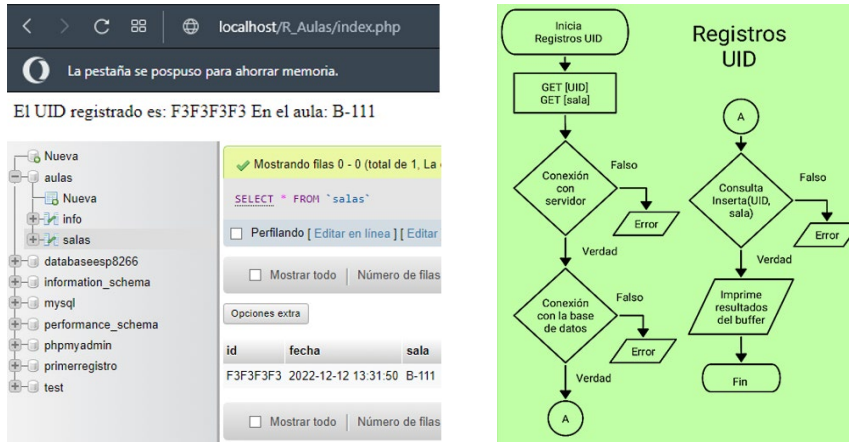


Figura 6 Registro de un ID ficticio en la base de datos.

El registro de accesos está completo. Para el caso del catálogo de usuarios, se creó otra aplicación en el servidor para que cada usuario pueda registrar sus datos de contacto mediante el uso de un navegador. La figura 7a muestra la aplicación que se usa para registrar los datos de usuario en el catálogo de usuarios vista desde el navegador. La figura 7b presenta el diagrama de flujo que usa el código programado en el servidor remoto.

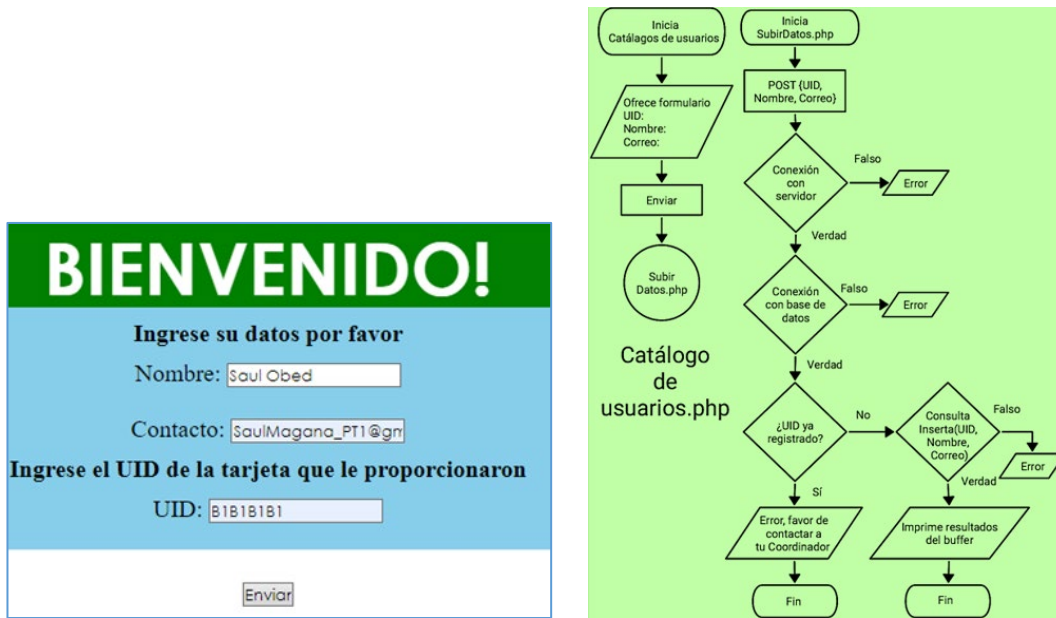
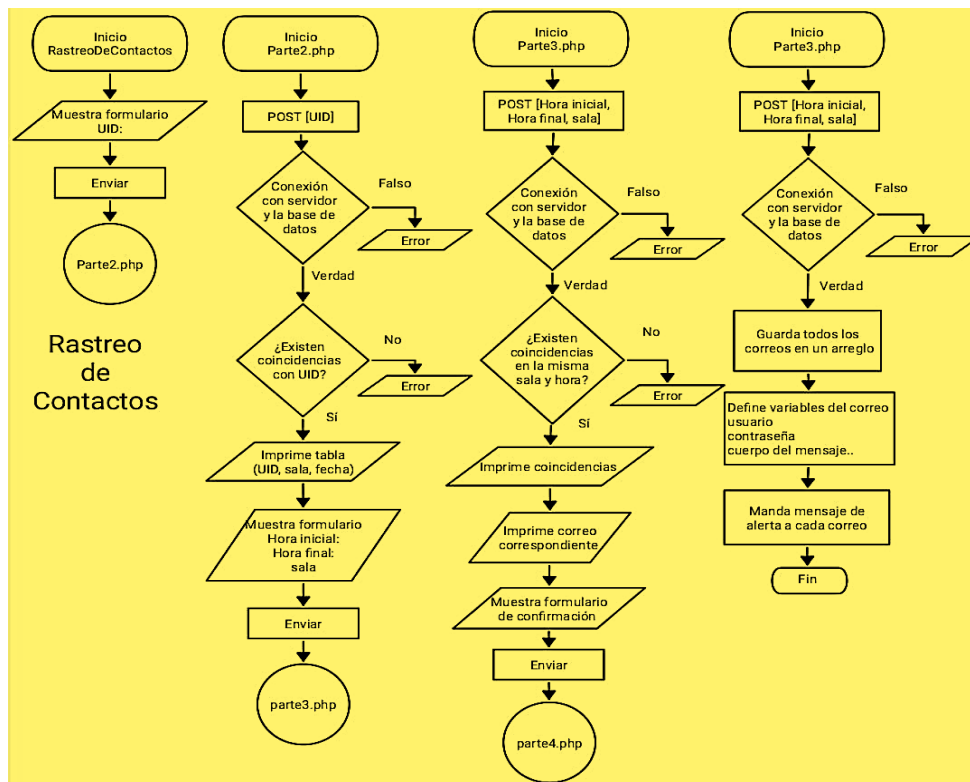


Figura 7 Aplicación usada para el registro de usuarios.

Con los datos del registro de accesos y el catálogo de usuarios, finalmente se puede utilizar el sistema de rastreo de contactos. Este sistema rastrea a personas infectadas por COVID-19 y a aquellos que compartieron tiempo y lugar con ellas. Comienza una búsqueda de lugares y horarios de la persona infectada, comparando estos datos con los registros de accesos. Luego, se envían correos de alerta. Se incluye un diagrama de flujo en la figura 8 que muestra cómo se realiza esta búsqueda usando un código de PHP. En la siguiente sección se ilustra la operación del sistema y se reportan algunas pruebas.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8 Diagrama de flujo del sistema de rastreo de contactos.

3. Resultados

Prueba piloto

Una prueba del sistema se realizó a través de la implementación de tres módulos lectores, usando como referencia la figura 3 (sistema prototipo de un módulo lector). Con estos módulos se construyó una maqueta en donde se realizaron las pruebas.

Para las pruebas realizadas, a cada placa se le asignó un número para simular que se encontraban instaladas a la entrada de las aulas B-114, B-115 y B-116. Posteriormente se realizó la lectura de varias tarjetas, las cuales simulaban alumnos entrando a dichas aulas. Al realizar las pruebas en los módulos, la figura 9a muestra el catálogo de usuarios y en la figura 9b se muestra el registro de múltiples accesos en el sistema utilizando diferentes tarjetas en los tres módulos implementados.

id	nombre	contacto
53CB41B7	Fernando Cruz	FerCruz_PT@gmail.com
90113620	Jose Perez	JoseP_PT@gmail.com
9057C520	Jess Castillo	JessC_PT@gmail.com
9076B420	Carlos Castillo	CarlosC_PT@gmail.com
90B30A20	Angel Lopez	AngelO_PT@gmail.com
9EE602D9	Ismael Lopez	Ismael_PT@gmail.com
AEE3A5D5	Saul Magana	cbi2173010549.izt.uam.mx
C33953B7	Laura Basilio	LauraB_PT@gmail.com
D3B441B7	Ana Estrada	AnaE_PT@gmail.com
F33C0EB7	lizbeth Ortiz	LizOrtiz_PT@gmail.com

id	fecha	sala
AEE3A5D5	2023-05-29 11:41:14	B-114
90113620	2023-05-29 11:42:11	B-114
9EE602D9	2023-05-29 11:42:18	B-114
9076B420	2023-05-29 11:42:23	B-114
D3B441B7	2023-05-29 11:43:02	B-116
F33C0EB7	2023-05-29 11:43:19	B-116
53CB41B7	2023-05-29 11:44:10	B-116
C33953B7	2023-05-29 11:44:15	B-116
90B30A20	2023-05-29 11:45:05	B-115
9057C520	2023-05-29 11:45:11	B-115

a) Catálogo de usuarios.

b) Registro de accesos.

Fuente: elaboración propia.

Figura 9 Tablas de la base de datos en operación.

Gracias a la estable conexión de Internet con la que se cuenta, todas las lecturas se completaron con éxito. Sin embargo, si se hubiera producido algún error durante la lectura de la tarjeta, el sistema habría notificado el problema a través del LED rojo incorporado en el diseño, lo que habría alertado sobre cualquier fallo al cargar los datos en la base de datos.

Supóngase ahora que un usuario da positivo a COVID-19, entonces sería su obligación notificar esta situación al Coordinador de su carrera. Cuando el Coordinador sea informado de algún caso confirmado dentro de la institución podrá realizar una consulta. Para ello se le debe proporcionar al Coordinador el UID de la persona con el caso confirmado y a continuación se despliega un listado de las personas involucradas que pueden estar en riesgo de contagio por Covid-19. Gracias a estas consultas se agilizará la manera de informar a los contactos para que tomen precauciones y así contener la propagación de la enfermedad.

La serie de imágenes incluidas a continuación ilustran el proceso de seguimiento de una persona contagiada con el SARS-COV2. Se detalla todo el proceso que el usuario del sistema debe seguir para llegar finalmente al envío de una alerta por correo electrónico a las personas en riesgo de contagio por Covid-19. Como ejemplo se supone que el usuario cuyo UID es AEE3A5D5 da positivo a COVID-19. La figura 10 muestra la pantalla que se despliega iniciar el seguimiento. El sistema desplegará todos los registros que coincidan con el UID proporcionado, pero la búsqueda se puede acotar en tiempo y espacio, figura 11.

¡Hola bienvenido!
Vamos a comenzar a rastrear un caso positivo a covid-19
Ingrese el UID de la tarjeta
UID:

Fuente: elaboración propia.

Figura 10 Rastreo parte 1.

Parte 2: Rastreo por tiempo y espacio
Te muestro el horario y aulas en las que fue registrado el UID proporcionado
la tarjeta AEE3A5D5 estuvo en los siguientes horarios
2023-05-29 11:41:14 en el aula: B-114
Para buscar por horarios y aula ingrese las fechas y aula en los campos siguientes:
Ingrese el horario inicial (AAAA-MM-DD hh:mm:ss)
inicial:
Ingrese el horario final (AAAA-MM-DD hh:mm:ss)
final:
Agregar un aula para buscar las coincidencias
Aula:

Fuente: elaboración propia.

Figura 11 Rastreo parte 2.

Como resultado, el sistema mostrará los contactos que cumplen el criterio de búsqueda (Figura 12), es decir, aquellas personas que estuvieron a la misma hora, en la misma sala que la persona que dio positivo a COVID-19. En este paso el sistema permite el envío de un correo electrónico a los contactos detectados. Una vez que el sistema envía la notificación, se despliega la imagen de la figura 13.

Parte 3: Buscando coincidencias con el caso positivo

Por favor asegurese de que todos serán informados

Personas que coinciden con el horario entre 2023-05-29 11:00:00 y 2023-05-29 12:00:00, y que estuvieron en el aula: B-114

UID	Fecha	Aula
AEE3A5D3	2023-05-29 11:41:14	B-114
90113420	2023-05-29 11:42:11	B-114
9EE602D9	2023-05-29 11:42:18	B-114
9076B420	2023-05-29 11:42:23	B-114

favor de ponerse en contacto con las personas:

chi2173010549.irt.uam.mx, JoseP_PT@gmail.com, Iamuel_PT@gmail.com, CarlosC_PT@gmail.com,

chi2173010549.irt.uam.mx, JoseP_PT@gmail.com, Iamuel_PT@gmail.com, CarlosC_PT@gmail.com,

Retraso el horario inicial

inicial:

Retraso el horario final

final:

Fuente: elaboración propia.

Figura 12 Rastreo parte 3.

Parte 4: Envío de correo

Correos enviados a:
chi2173010549@irt.uam.mx, JoseP_PT@gmail.com, Iamuel_PT@gmail.com, CarlosC_PT@gmail.com,
Correos enviados de manera correcta

Fuente: elaboración propia.

Figura 13 Rastreo parte 4.

En el marco de este estudio, se implementó un sistema de rastreo de contactos que sigue una arquitectura centralizada para la recopilación de datos. Esto se basa en las investigaciones previas, como los estudios [Ahmed, 2020] y [Min-Allah, 2021], en donde el servidor se encargó de la mayoría de las tareas complejas de rastreo, reduciendo la intervención del usuario a fin de preservar la confidencialidad de los datos. Aunque es importante destacar que las pruebas se llevaron a cabo en un entorno simulado, los resultados fueron prometedores. El sistema demostró una precisa detección de entrada y salida de usuarios ficticios en las salas de clases simuladas, así como el correcto rastreo de un caso positivo y el aviso oportuno a los afectados. Estos hallazgos respaldan la viabilidad del sistema que hace uso de RFID en un entorno controlado (simulado), validando su eficacia en el rastreo de contactos por COVID-19. Con estos resultados, se considera la posibilidad de preparar el sistema para futuras implementaciones cubriendo completamente una institución educativa con este sistema.

4. Discusión

El rastreo de contactos de COVID-19 usando la tecnología RFID es una solución simple pero más adecuada que las alternativas que tienen como obligación el uso

de un *smartphone*. Aunque muchas personas tienen teléfonos con cámara en la actualidad, hacer obligatorio el registro de ingresos a un aula de clases mediante códigos QR es equivalente a hacer obligatorios la posesión y uso de teléfonos celulares tipo *smartphone*. En el contexto de una universidad pública, esto puede encarecer el servicio educativo generando malestar y discriminación. A pesar de lo evidente que esto parece, frecuentemente se pierde de vista en la implementación de políticas públicas. No es de extrañar que en noviembre del 2020 el Gobierno de la Ciudad de México decidiera suspender la obligatoriedad de la utilización de un sistema de rastreo basado en códigos QR, tan solo cuatro días después haberlo hecho obligatorio [Martínez, 2020].

En contraste, en la propuesta que aquí se presenta lo que se le requiere a cada miembro de la comunidad (i.e., profesores y alumnos) es que cada uno de ellos porte una tarjeta de acceso RFID que la misma institución educativa podría proporcionar debido a su muy bajo costo. El portar una tarjeta así para ingresar es usual hoy en día en muchas instituciones. Además, los componentes de *software* y *hardware* usados en el diseño del prototipo pueden actualizarse o mejorarse. El sistema se podría combinar con otro tipo de tecnologías, como por ejemplo BLE que ofrece una posible solución para detectar un contacto como se sugiere en [Anantharajah, 2021]. Se enfatiza que la propuesta que aquí se presenta no se limita al rastreo de contactos por COVID-19 y puede ser útil en otras situaciones en donde se desee controlar la propagación de enfermedades.

5. Conclusiones

En una universidad, donde varias personas conviven en espacios cerrados, es necesario no perder de vista que el virus causante de la COVID-19 seguramente se presentará de manera recurrente. Aun cuando los métodos de prevención y tratamiento de la enfermedad han mejorado, el virus sigue siendo altamente contagioso y peligroso. Los mecanismos de prevención como el distanciamiento social y la sanidad han demostrado ser efectivos para evitar la propagación de la enfermedad, pero deben ir acompañados de acciones efectivas de reacción que coadyuven a contener los brotes de la enfermedad.

El rastreo de contactos por COVID–19 utilizando RFID puede ser una herramienta valiosa en las instituciones educativas ya que puede dar lugar a soluciones accesibles y no discriminatorias. Sin embargo, el prototipo propuesto no sólo es funcional y susceptible de ser implementado en una institución de educación, sino que puede ser adaptado a cualquier otro entorno en donde se desee dar seguimiento a los contagios entre los miembros de su personal. Más aún, puede ser utilizado para rastrear cadenas de posibles contagios de otras enfermedades respiratorias ya que muchas de ellas comparten los mismos mecanismos de contagio. Es decir, la convivencia con personas infectadas dentro de espacios cerrados.

Con una futura implementación de la propuesta, se espera que el número de contagios disminuya, pues lo que se busca es que las personas contagiadas o en riesgo de un contagio sean informados a tiempo y así cortar la cadena de contagios. Esto brindaría una mayor seguridad en las instituciones de enseñanza.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Ahmed N., Michelin R. A., Xue W., Ruj S., Malaney R., Kanhere S. S., Seneviratne A., Hu. W., Janicke H., & Jha S. K. A, (2020). Survey of COVID-19 Contact Tracing Apps, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 134577-134601, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3010226.
- [2] Anantharajah H., Harika K., Jayasinghe A., & Aibin M., (2021). COVID-19 Contact Tracing Using BLE and RFID for Data Protection and Integrity, 2021 IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), New York, NY, USA pp. 0190-0196, doi: 10.1109/UEMCON53757.2021.9666565.
- [3] Dowla F. The Basics of Radio frequency Identification (RFID)Technology. En Automatic Identification Manufacturers (AIM) Organization (Eds.), *Handbook of RF and wireless technologies* pag. 417-436. 200 Wheeler Road, Burlington, MA 01803, USA, Elsevier, 2004.
- [4] Hutabarat D.P., Hendry H., Pranoto J. A., & Kurniawan A., (2016). Human tracking in certain indoor and outdoor area by combining the use of RFID and

- GPS, IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob), Bandung, Indonesia, 2016, pp. 59-62, doi: 10.1109/APWiMob.2016.7811433.
- [5] Malekmohammadi A, Bautista R. R., & Hernandez R., (2022). The use of RFID technology in university classrooms: Covid-19 related, California State University, CA, USA. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/361944665>.
- [6] Martínez L., Contact Tracing and Personal Data Protection Face Off in Mexico Cit, noviembre 23 de 2020. Future Tense. <https://slate.com/technology/2020/11/mexico-city-qr-code-contact-tracing-program-coronavirus.html>.
- [7] Min-Allah, N., Alahmed B. A., Albreek E. M., Alghamid L. S., Alawad D. A., Alharbi A. S., Al-Akkas N., Musleh D., & Alrashed S., (2021). A survey of COVID-19 contact-tracing apps, *Computers in Biology and Medicine*, volumen 137, <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2021.104787>.
- [8] OMS, (2021). Organización Mundial de la Salud. Enfermedad por coronavirus (COVID-19): Rastreo de contactos. <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-covid-19-contact-tracing>.
- [9] ONU Noticias, (2022). Las muertes por COVID-19 sumarían 15 millones entre 2020 y 2021, Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. <https://www.un.org/es/desa/las-muertes-por-covid-19-sumar%C3%ADan-15-millones-entre-2020-y-2021>.
- [10] OPS, (2023). Organización Panamericana de la Salud. Se acaba la emergencia por pandemia, pero la COVID-19 continúa. <https://www.paho.org/es/noticias/6-5-2023-se-acaba-emergencia-por-pandemia-pero-covid-19-continua#:~:text=La%20Organizaci%C3%B3n%20Mundial%20de%20la,Mundial%20de%20la%20Salud%2C%20OMS>.
- [11] Want R., An Introduction to RFID Technology, *IEEE Pervasive Computing*, vol. 5, núm. 1, pp. 25-33, enero-marzo de 2006.