

IoMT: Rinku's Clinical Kit Applied to Collect Information Related to COVID-19 Through Medical Sensors

Francisco Rodríguez, Sebastián Gutiérrez, Bersain A. Reyes, Viridiana Rosas,
Martha V. Silva Rubio, Aldo Mejía Rodríguez, Ricardo Marcelín Jiménez,
Francisco J. Hernández Olvera, Oscar Sosa Hernández

Abstract—COVID-19 healthcare professionals recommend the general population staying at home and remote contacting the authorities, e.g. via SMS messages, if they show symptoms like cough, body pain, fever, and breathing difficulties. Although this approach considers the patient self-report, it is not supported by physiological data, i.e. medical personnel does not have a remote mechanism to validate such symptoms. This paper proposes a system, called Rinku, to address the abovementioned scenario. Rinku integrates an electronic system (ClinicalKit) comprising biomedical sensors for body temperature, pulse rate, and oxygen saturation, as well as a digital platform for storing and displaying the collected data. Rinku system aims to provide health professionals with relevant information to remotely validate COVID-19 symptoms. Rinku can handle simultaneous information from multiple patients and provide valuable data related to the severity of the reported symptoms, which in turn could help healthcare professionals to make management decisions to optimize their clinical resources. In this paper, the functionality of the ClinicalKit, communication between the IoT architecture and the cloud, and the monitoring of physiological parameters were tested. The results showed that the enclosure design is convenient, IoT architecture is functional and the tracking of temperature, heart rate, and blood oxygen levels from subjects is promising. We consider that the Rinku system has the potential to provide an accurate forecast regarding the demand for clinical resources and take prompt actions related to this pandemic.

Index Terms—COVID-19, e-Health, Embedded System, Inter-

Francisco Rodríguez (correo electrónico: demuxdigital@hotmail.com)

Sebastián Gutiérrez está con la Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana, Rústicos Calpulli 101, Aguascalientes, México, 20290, (correo electrónico: jsgutierrez@up.edu.mx)

Bersain A. Reyes está con la Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Chapultepec 1570, San Luis Potosí, México, 78295, (correo electrónico: bersain.reyes@uaslp.mx)

Viridiana Rosas (correo electrónico: psicologa.viridiana.rosas@gmail.com)

Martha V. Silva Rubio está con el Centro de Ciencias del Diseño y la Construcción, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad 940, Aguascalientes, México, 20130, (correo electrónico: marthasilvarubio@gmail.com)

Aldo Mejía Rodríguez está con la Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Chapultepec 1570, San Luis Potosí, México, 78295, (correo electrónico: aldo.mejia@uaslp.mx)

Ricardo Marcelín Jiménez está con el Departamento de Ing. Eléctrica, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, Ciudad de México, México, 09340, (correo electrónico: calu@xanum.uam.mx)

Francisco J. Hernández Olvera está con el Departamento de Ing. Eléctrica, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, Ciudad de México, México, 09340, (correo electrónico: jhernandez@alephitlabs.com)

Oscar Sosa Hernández está con el Hospital General de Zona 2, Instituto Mexicano del Seguro Social, Benigno Arriaga Y Melchor Ocampo S/n, San Luis Potosí, México, 78000, (correo electrónico: dr.oscar.sh@gmail.com)

net of Things, Internet of Medical Things, Medical Sensors.

I. INTRODUCTION

La organización mundial de la salud (OMS) ha definido al COVID-19 como una enfermedad infecciosa causada por el coronavirus que se ha descubierto recientemente. Esta enfermedad puede propagarse de persona a persona a través de las gotículas procedentes de la nariz o la boca que salen despedidas cuando una persona infectada tose o exhala. Según Jinnong Zhang [1] la presencia de síntomas como: escalofríos, dolor de garganta, tos, disnea y fiebre están asociados a la infección por COVID-19. Sin embargo, no todos los pacientes infectados requieren respiración asistida o cuidado intra hospitalario. Como refiere Rafa Golpe [2] las personas infectadas que son asintomáticas pueden tratarse desde casa mientras monitoreen su saturación de oxígeno en la sangre que, de acuerdo al mismo autor debe ser mayor a 95%, de lo contrario es necesario su ingreso al hospital. En esos casos, los pacientes pueden presentar taquicardia de acuerdo con Gimeno Costa [3].

Actualmente la tecnología, aplicada a una gran variedad de sensores y dispositivos inteligentes conectados a redes inalámbricas o alámbricas, ha permitido que el Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT) vaya creciendo a un ritmo acelerado y está desempeñando un papel cada vez más importante en prevenir una mayor propagación del COVID-19. El Internet de las Cosas permite interactuar con gran cantidad de dispositivos de entrada y salida como sensores y actuadores. Esta gran variedad de sensores y dispositivos inteligentes conectados hacen que IoT sea un paradigma esencial en distintas áreas de aplicación [4] [5]. Con base en lo anterior, el IoT proporciona soluciones adecuadas para una amplia gama de problemáticas, e.g. ciudades inteligentes, movilidad ciudadana, gestión de residuos, seguridad, servicios de emergencias, logística, control industrial y cuidado de la salud [6] [7], siendo esta última una de las áreas con mayor demanda de investigación en la actualidad.

De esta forma, con el desarrollo de las tecnologías de la información, el auge de la medicina electrónica y la aparición del Internet de las cosas, el Internet de las Cosas Médicas (Internet of Medical Things, IoMT), se ha ido integrando gradualmente en la vida de las personas [8]. La también llamada Internet Médica de los Objetos, es un tipo de tecnología que incorpora

sensores alámbricos e inalámbricos con salida a Internet en el equipo médico y, a través de su incorporación a hospitales y hogares, hace posible llevar a cabo un monitoreo constante de la actividad del cuerpo humano, permitiendo realizar diagnósticos tempranos de algunos tipos de padecimiento, así como implementar tratamientos que permitan controlar o mitigar síntomas con base en el historial clínico del paciente.

En la actualidad existen dispositivos que, a través del IoT, permiten realizar el monitoreo de variables fisiológicas o signos vitales del cuerpo humano. Éste es el caso de Natarasan [9] quien propone el desarrollo de un sistema electrónico que grafica la medición en una APP (aplicación de celular) de tres variables fisiológicas (SPo2, pulso cardíaco y la señal de oximetría del paciente) y al mismo tiempo los transmite a la nube para que un especialista de la salud pueda consultar la información o video llamar al paciente mediante la misma App si lo considera necesario. Con el mismo objetivo Borade [10] plantea la construcción de un sistema electrónico basado en el módulo Esp32 Wroom para el monitoreo remoto mediante el protocolo MQTT de variables fisiológicas como temperatura, SpO2, movimiento del cuerpo y frecuencia de pulso. Asimismo Haoyu *et al.* [11] desarrollaron un dispositivo para estimar la frecuencia cardíaca y el nivel de oxígeno en la sangre de personas; las señales fueron obtenidas a través de un sistema basado en la nube. En la misma línea, Nayyar *et al.* [12] propusieron un sistema de monitoreo de salud, llamado BioSenHealth 1.0, que permite monitorear signos vitales en tiempo real de pacientes, como el nivel de oxígeno, pulso, frecuencia cardíaca y temperatura corporal. Además, los datos son enviados directamente a los médicos a través de la plataforma abierta thingspeak.com [13]. El dispositivo fue probado en más de cincuenta pacientes vivos en varios hogares de ancianos y hospitales. Por otra parte, el uso de sensores portátiles ha permitido visualizar y monitorear parámetros de signos vitales en cualquier dispositivo remoto con conexión a internet, como ejemplo, Polu *et al.* [14] propusieron un dispositivo para obtener datos de pacientes como el ritmo cardíaco, temperatura corporal y presión arterial. Este prototipo utiliza sensores corporales que obtienen datos de cada uno de los parámetros fisiológicos y son enviados a un servidor en la nube, donde pueden ser analizados por médicos.

Así pues, en la literatura existen trabajos, como los citados anteriormente, que demuestran satisfactoriamente la opción de monitoreo remoto de variables fisiológicas. Sin embargo, no son dispositivos finales sino prototipos sin carcasa. Es decir, una persona (paciente enfermo) al manipular los sensores compromete la señal adquirida debido a la descarga electrostática generada por el contacto.

Ahora bien, Hongki [15] supera este reto al proponer el uso de un sistema comercial de la empresa Libelium llamado MySignal [16] que obtiene información de variables fisiológicas y las envía a la nube. Sin embargo, su sistema es alámbrico, costoso y no está avalado por las autoridades mexicanas.

Con base en lo anterior, en este trabajo se propone el diseño e implementación de un sistema de monitoreo de bajo costo basado en el IoT, tomando como punto de partida los trabajos descritos anteriormente.

Este documento propone una solución para validar cuantitativamente los síntomas de COVID-19 en las personas sospechosas del padecimiento, desde sus hogares, llamado Kit Clínico. Es un sistema embebido que permite medir la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y los niveles de oxígeno en la sangre de forma remota y que puede ser manipulado por el paciente sin comprometer la señales fisiológicas. El presente está organizado de la siguiente manera: la Sección 2 describe la arquitectura IoT del sistema Rinku; la sección 3 la arquitectura de hardware del prototipo Kit Clínico; en la Sección 4 se describen la adquisición de datos, y su análisis, obtenidos durante las pruebas experimentales del prototipo. En la Sección 5 se presentan los resultados. En la sección 6 se discuten los resultados de los experimentos. Finalmente, las conclusiones y el trabajo futuro se presentan en la Sección 7.

II. ARQUITECTURA IOMT RINKU

Conceptualmente el sistema Rinku contempla: uno o varios sujetos que estarán realizando mediciones (en su persona o en otros), uno o varios Kits Clínicos que recolectan información del o los sujetos, uno o múltiples enrutadores que permitan la conexión del o los Kits Clínicos a Internet, el servidor que almacena los datos (nube) provenientes del o los Kits Clínicos, una plataforma web, el o los dispositivos de consulta y uno o varios profesionales de la salud que reciben y evalúan la información provista por el sistema y proceden a dar las indicaciones pertinentes. La Fig. 1 muestra la arquitectura IoT del sistema Rinku.

El Kit Clínico es una caja de cartón que incluye en su interior una fuente de alimentación universal para celular que convierte 120Vac-5Vdc a 1 Amp, un cable Usb tipo A con entrada micro Usb B, un oxímetro de pulso Bluetooth comercial en México, y un rinoceronte de cartón que mide la temperatura del paciente y además hace la función de Gateway Bluetooth entre el oxímetro de pulso y la red WiFi.

El enrutador es el sistema que dota de WiFi a la casa (puede ser de cualquier compañía telefónica), hospital, o lugar donde se encuentre el paciente que recibe el Kit Clínico.

El servidor es una computadora conectada a Internet con una IP pública a la que hace referencia el Gateway incluido en el rinoceronte y que además tiene instalada la plataforma web a la que se conectarán, mediante peticiones (http request) los dispositivos finales que utilizan los médicos especialistas.

III. ARQUITECTURA DEL KIT CLÍNICO

Los requerimientos funcionales para el diseño y desarrollo del Kit Clínico incluyen:

- El sistema debe ser práctico de construir, utilizando elementos que ya se encuentren en el mercado mexicano,
- medir la temperatura corporal,
- obtener los niveles de oxigenación de la sangre,
- enviar los datos a la nube,
- ser portátil, y
- fácil de configurar.

Con esto en mente, el hardware considera dos componentes de entrada: 1) termómetro infrarrojo (IR), y 2) oxímetro de

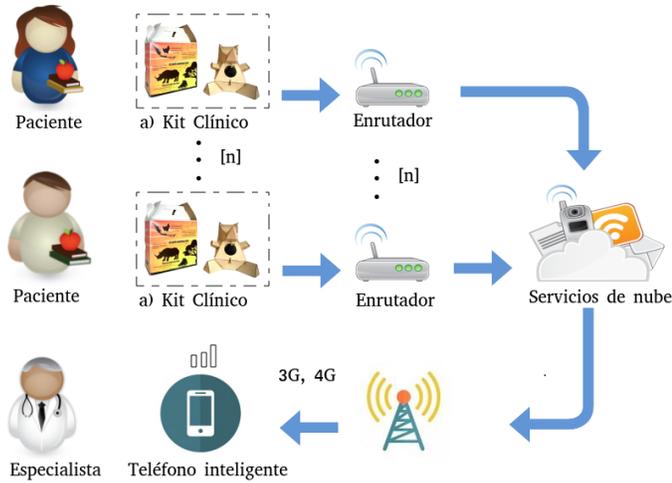


Fig. 1. Arquitectura del sistema Rinku. El sistema incluye múltiples (n) Kits Clínicos que envían información a una plataforma web, para su almacenamiento, consulta y análisis por algún especialista de la salud.

pulso. El primero consiste de un sensor IR MLX90614, modelo GY-906-BAA que utiliza el protocolo I2C (Inter Integrated Circuits) para envío de datos [17]. El segundo, el oxímetro de pulso (JPD-500F, Jumper), se comunica a través de Bluetooth [18]. El esquema general del proceso se presenta en la Fig. 2. La tarjeta principal recibe ambas señales de entrada; tiene una conexión alámbrica para el termómetro IR y un receptor Bluetooth para el oxímetro de pulso. La unidad de procesamiento convierte ambos a una salida wifi y envía la información a la nube.

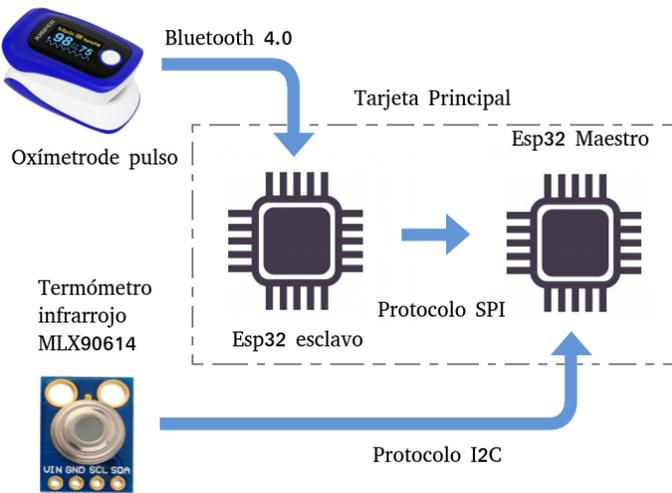


Fig. 2. Esquema de la electrónica (sistema embebido) incluido en el Kit Clínico. El Esp32 esclavo funciona como receptor Bluetooth. El Esp32 maestro realiza la conexión WiFi y la gestión del Esp32 esclavo.

La tarjeta principal cuenta con dos módulos ESP32 [19], uno actúa como esclavo del otro, maneja la interfaz con el oxímetro de pulso y envía la información al ESP32 maestro utilizando el protocolo SPI (Serial Peripheral Interface). El otro, actúa como maestro y recupera la información enviada por el esclavo, a su vez hace la lectura correspondiente al

termómetro a través del protocolo I2C y envía la información a la nube.

Antes de describir la arquitectura del programa en sí, es relevante considerar algunas de las características del oxímetro de pulso Jumper JPD-500F. Como se estableció antes, éste es un dispositivo comercial diseñado para enviar una señal continua por medio de Bluetooth, usualmente a una aplicación móvil. Sus lecturas incluyen información de tres variables diferentes: la frecuencia de pulso (PR) (mostrando el valor numérico en latidos por minuto (BPM, beats-per-minute)), el nivel de saturación de oxígeno en la sangre arterial (SpO2) (en porcentaje y forma de onda) y la intensidad del pulso (PI) (en gráfica de barra). Además, se apaga automáticamente cuando no tiene señal/entrada.

En relación con el software embebido, fue diseñado para seguir los siguientes pasos:

- 1) Tan pronto como la tarjeta principal es activada, el ESP32 esclavo solicita información al oxímetro; lo hace reiteradamente hasta que la recibe. De no ser así, permanecerá en esa operación indefinidamente.
- 2) Una vez que recibe input lo envía al ESP32 maestro por medio del protocolo SPI.
- 3) Sólo cuando éste ha recibido el input, tomará la lectura del termómetro, en este caso a partir del protocolo I2C.
- 4) Una vez que el maestro tiene datos de ambas fuentes, enviará la información al servidor, utilizando por su parte el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [20].
- 5) Al terminar las operaciones anteriores, el ciclo empieza nuevamente.

La arquitectura IoT esta basada en el broker MQTT. El Esp32 Maestro, incluido en la tarjeta principal, crea tres tópicos (Temperatura, SpO2 and PR), y al momento en que el oxímetro de pulso captura la medición del paciente, el Esp32 Maestro publica la información correspondiente a cada tópico. La Fig. 3 muestra el esquema MQTT utilizado que, por practicidad, incluye tres suscriptores.

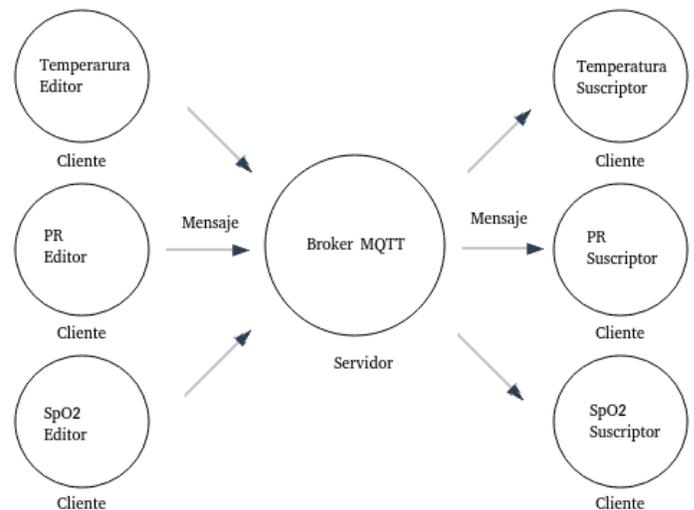


Fig. 3. Arquitectura IoT. Considera 3 tópicos: temperatura, frecuencia de pulso (Bpm) y nivel de oxigenación (SpO2).

Para el diseño de la carcasa del Kit Clínico se consideró que tendrá uso en interiores, en espacios comunes a múltiples usuarios, como una casa u oficina. Los usuarios interactuarán con el dispositivo varias veces al día, por lo que presumiblemente estará ubicado en un lugar visible y de fácil alcance. Su uso, sin embargo, requiere mínima manipulación física. El cartón fue el material de construcción seleccionado debido a que es ecológico, durable y resistente en las condiciones de uso prospectadas. Como valor agregado, puede ser fácilmente personalizable al gusto del usuario, quien puede pintarlo según su preferencia o para adaptarlo a la estética de su espacio. La forma del rinoceronte se escogió puesto que remite a la naturaleza y es éste un animal que simboliza fortaleza y protección como se muestra la Fig.4. Por dentro, la carcasa contiene la tarjeta principal, el termómetro infrarojo y una batería marca Honeywell con capacidad de 2200mAh, entrada:5V/1A, Salida: 5V/1A .



Fig. 4. La imagen muestra la carcasa del Kit Clínico, y su respectiva envoltura. La misma caja incluye el oxímetro de pulso.

IV. DATOS EXPERIMENTALES

A. Comunicación

Para verificar el funcionamiento del Kit Clínico en el contexto de IoMT Rinku, se realizaron dos tipos de experimentos. El primero en relación con la conectividad del sistema y dos más en cuanto a la medición de las variables fisiológicas.

1) *Experimento 1. Conectividad:* Específicamente el concepto completo de la comunicación vía internet de los datos recolectados; se probó construyendo el servidor, diseñando y montando la página web, y corriéndola en la misma red del Kit Clínico. La conversión (implícita en este diseño), de la información obtenida vía bluetooth a Internet es la variable clave para acceder a la información de forma remota pues la pone al alcance de dispositivos conectados potencialmente en redes diferentes (separados por cualquier distancia), a diferencia de la conexión bluetooth primaria (disponible en los dispositivos comerciales), que tiene la limitante de que requiere proximidad física. Para lograrlo, se instaló un servidor MQTT (Mosquitto) [21] y el software Node-Red [22] en la Raspberry Pi3B+ (embebida en la tarjeta principal con el

sistema operativo Raspbian-Linux [23]), y se programó la página web. En este ejercicio, el kit y el dispositivo de consulta se ubicaron en la misma red.

B. Adquisición de Datos

En cuanto a la obtención de las variables orgánicas, se adquirieron datos fisiológicos de dos sujetos voluntarios sanos: el primero masculino, 39 años de edad, 77.5 kg, 1.75 mts, nivel de actividad física moderada; el segundo femenino, 33 años de edad, 56.5 kg, 1.70 mts, nivel de actividad física moderada. Previo a la adquisición de los datos, ambos voluntarios dieron su consentimiento informado de acuerdo con los protocolos de la Declaración de Helsinki. A continuación, se describen los experimentos realizados.

1) *Experimento 2. Mediciones de Temperatura:* El segundo experimento se realizó para comparar las mediciones del sensor IR de temperatura con aquellas de un termómetro digital (MT-101, Benesta) considerado como referencia. Para ello, se solicitó al primer voluntario que colocara el termómetro digital en su axila y el sensor IR del Kit Clínico se ubicó a 1 cm de su frente. Se adquirieron 30 mediciones simultáneas con ambos termómetros, a razón de 1 muestra cada 10 segundos, debido al funcionamiento del termómetro de referencia. Las lecturas del Kit Clínico correspondieron al valor adquirido en el instante en que el termómetro de referencia reportaba una medición.

2) *Experimento 3. Maniobra de Apnea Respiratoria:* El tercer experimento se realizó para probar la adquisición durante cambios fisiológicos esperados al realizar una maniobra fisiológica que involucre variaciones en los otros dos parámetros adquiridos por el Kit Clínico, i.e. la frecuencia del pulso (PR) y la saturación de oxígeno en la sangre (SpO₂). Para ello, se instruyó al segundo voluntario para que respirara de forma espontánea durante 1 minuto y posteriormente detuviera su respiración (apnea) tanto como le fuera posible antes de sentirse incómodo, para continuar respirando espontáneamente hasta finalizar la adquisición. El oxímetro de pulso se colocó en el dedo índice izquierdo del voluntario y se le solicitó ubicar su frente a una distancia de 1 cm del sensor IR de temperatura. La duración de la adquisición fue de 5 min, a una frecuencia de muestreo de 1 Hz.

C. Análisis de Datos

Los datos fisiológicos de ambos experimentos fueron descargados del sistema Rinku y almacenados en una hoja de datos para su posterior análisis en MATLAB®. Para el primer experimento, los datos del termómetro de contacto (referencia) también fueron almacenados en una hoja de datos. Se empleó un análisis de Bland-Altman para evaluar la concordancia entre el termómetro IR y el termómetro de contacto. Para el segundo experimento, solo se realizó una interpretación visual de las series de tiempo debido a que, con las condiciones de confinamiento por la pandemia generada por la enfermedad COVID-19, no fue posible tener acceso a instrumentos biomédicos especializados de referencia para la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno.

V. RESULTADOS

La efectividad de la comunicación queda en evidencia puesto que toda la información obtenida de los sujetos experimentales fue recuperada en un Ipad. En lo referente a la carcasa, resulta rápida y fácil de armar, es apta para el nivel de manipulación al que se somete y es amigable con el medio ambiente.

El esquema general del proceso para obtención de los datos se muestra en la Fig.5. La raspberry pi 3 B+ hace la función de servidor remoto, y por cada tópico creado en el servidor MQTT genera un documento de texto donde almacena las mediciones realizadas por los sensores.

Es importante resaltar que el médico puede descargar en formato excel la información de los pacientes. El servidor tiene un Dashboard donde se puede observar rápidamente la evolución del paciente como lo muestra la figura 6.



Fig. 5. Diseño de prueba del sistema Rinku. a) Kit Clínico, b) Enrutador, c) Servidor MQTT Mosquitto y Node-Red en Raspberry pi, d) Dispositivo final puede hacer una petición https Request mediante Safari o Chrome a la plataforma web diseñada en Node-Red.

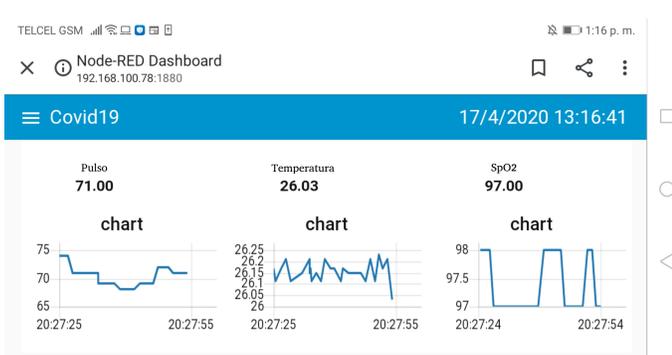


Fig. 6. Captura de pantalla del Dashboard embebido en el servidor. La captura de pantalla fue realizada desde un teléfono con sistema operativo Android y un Browser Chrome. Es la imagen que ve el especialista desde su dispositivo móvil.

En la Fig. 7 se muestra la gráfica resultante del análisis de Bland-Altman para el segundo experimento. Se encontró que las mediciones del termómetro de temperatura IR del Kit Clínico produce un sesgo de $-0.98\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una desviación estándar de las diferencias igual a $0.297\text{ }^{\circ}\text{C}$. El sesgo fue estadísticamente diferente de un sesgo nulo. No se observó

una tendencia en la gráfica de Bland-Altman por lo que el sistema no presenta un sesgo proporcional adicional al sesgo constante (error sistemático) que puede ser compensado. Los límites de concordancia al 9 % fueron de -1.56 y $-0.395\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la Fig. 7 se muestran las series de tiempo de las mediciones de temperatura con ambos termómetros. Para el caso del Kit Clínico, las mediciones se presentan con el sesgo constante ya compensado a partir del análisis de Bland-Altman. Se observa que las mediciones con el Kit Clínico presentan mayor variación ($SD= 0.282\text{ }^{\circ}\text{C}$) comparada con la referencia ($SD=0.206\text{ }^{\circ}\text{C}$). Sin embargo, cabe mencionar que no se está realizando ningún promediado temporal a los datos de temperatura del Kit Clínico.

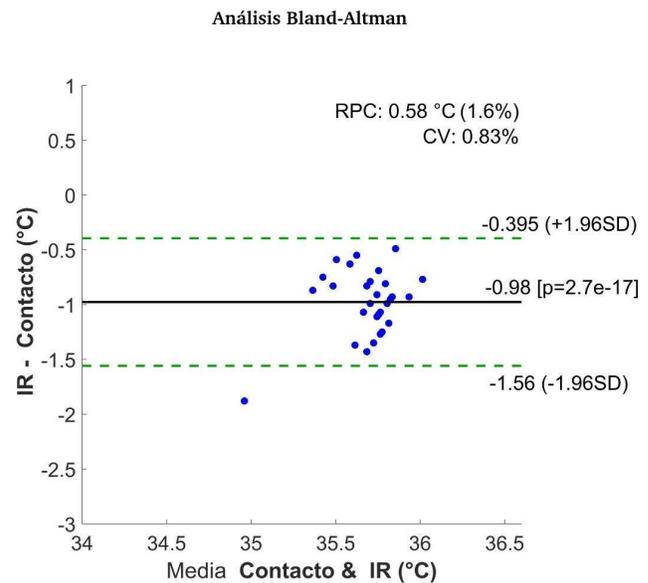


Fig. 7. Análisis de Bland-Altman de los datos de temperatura obtenidos con termómetro IR del Kit Clínico y el termómetro de contacto (referencia). La línea negra sólida representa el sesgo y las líneas verdes punteadas indican los límites de concordancia entre ambos instrumentos.

Con respecto a las mediciones realizadas durante la maniobra de apnea respiratoria, en la Fig. 9 se muestran las series de tiempo de la frecuencia de pulso, la saturación de oxígeno y la temperatura, en las gráficas superior, media e inferior, respectivamente, para un intervalo de dos minutos de adquisición. Durante el primer minuto de adquisición correspondiente a una respiración espontánea, el PR oscila alrededor de los 87 BPM y la SpO2 se mantiene constante en 99 %, lo cual concuerda con lo esperado en condiciones de reposo. Iniciada la apnea, se observa una disminución en ambos parámetros hasta alcanzar una PR de 75 BPM y una SpO2 de 81 %, lo cual concuerda con lo esperado para estos parámetros fisiológicos, i.e. una disminución en la frecuencia cardíaca y en el nivel de oxígeno en la sangre debido al cese de la respiración. Posteriormente, reiniciada la respiración, ambos parámetros fisiológicos muestran una recuperación hacia los niveles basales que se estabilizan alrededor de los 120 s. Los valores de temperatura oscilaron mínimamente ($SD= 0.11$

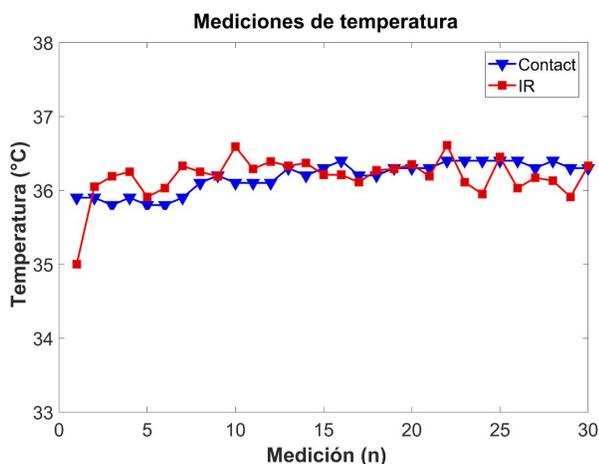


Fig. 8. Series de tiempo de las mediciones de temperatura del primer experimento obtenidas por ambos instrumentos de medición. Los datos del sensor IR de temperatura fueron compensación por el sesgo constante encontrado durante el análisis de Bland-Altman.

°C) alrededor de un valor promedio de 35.86 °C, lo cual se encuentra dentro del rango esperado para un sujeto sano.

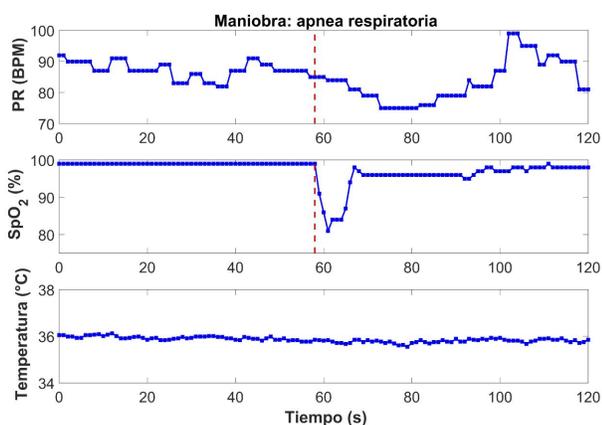


Fig. 9. Datos obtenidos con el Kit Clínico durante la maniobra respiratoria del segundo experimento. La línea roja punteada indica el instante donde el sujeto voluntario dejó de respirar espontáneamente e inició una apnea.

La Fig. 10 muestra el Kit clínico completo, personalizado de acuerdo al usuario.

VI. DISCUSIÓN

El artículo publicado por R.Golpe (2020) menciona que pacientes COVID19 asintomáticos pueden ser tratados desde casa, si se les entrega un equipo de telemedicina para monitoreo. En el presente trabajo se desarrolló un kit clínico que monitorea remotamente la temperatura, el nivel de oxígeno en la sangre, y el BpM de la persona que lo tiene para ese propósito. Su importancia radica en que permite un mejor seguimiento a pacientes diagnosticados de COVID19.

Existen varios trabajos que describen herramientas destinadas a ese propósito, cuyos detalles se describen en la introducción. Sin embargo no tienen carcasa, lo que dificulta su uso por el paciente común. Nuestra propuesta se desarrolló con el

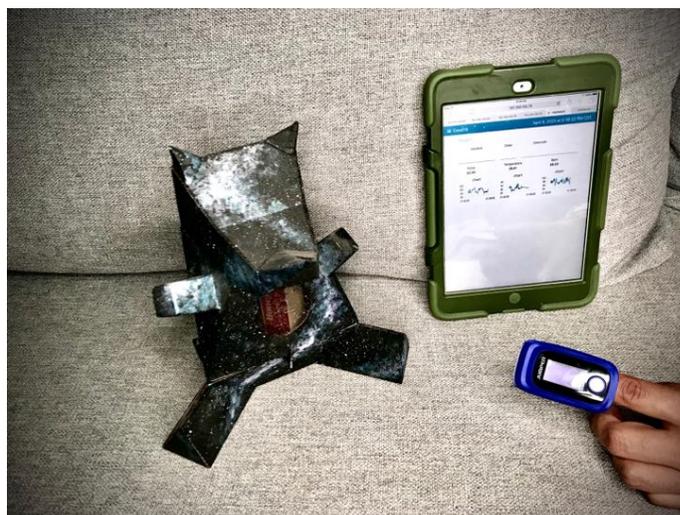


Fig. 10. Kit Clínico personalizado e iPad para consulta.

objetivo de que los pacientes pudieran utilizar el kit clínico sin asistencia especializada. Por esa razón se escogieron productos de fácil acceso en el mercado mexicano, caracterizados bajo los parámetros de la Norma Oficial Mexicana correspondiente y a un precio accesible.

Los productos disponibles en este mercado incluyen opciones alámbricas e inalámbricas. Los últimos, son más cómodos por su fácil manejo y esta característica no requiere que el usuario tenga contacto físico directo con el Gateway. Con esto en mente, llegamos al oxímetro Jumper, que envía datos cada segundo mediante bluetooth (pulso cardíaco y nivel de oxígeno en la sangre) a la aplicación llamada Jumper Health. La app muestra en el dispositivo de elección los mismos datos que se despliegan en la pantalla del oxímetro. Nuestra aportación consiste en proyectar la misma información mediante un Gateway a un servidor remoto para que se cumpla la función de telemedicina que sugiere R. Golpe (2020).

Considerando que el oxímetro ya está caracterizado de acuerdo con la norma oficial mexicana, nuestra comprobación se enfocó en contrastar la información disponible en la plataforma web diseñada para este fin, contra la desplegada en la pantalla del oxímetro/aplicación. Como medida adicional se realizó la maniobra de apnea respiratoria para comprobar que los datos siguen el patrón esperado representado en la figura 9.

En lo referente al termómetro; no se encontró uno comercial infrarrojo, con salida bluetooth o inalámbrico en el mercado mexicano. Por esa razón, fue necesario diseñar el propio con el sensor MLX90614 y caracterizarlo, para lo que utilizamos un termómetro de referencia MT-101, Benesta como lo muestran las gráficas 7 y 8.

El brote y subsecuente pandemia de COVID19 representan una crisis de salud de calibre global. En una situación tan apremiante, el sentido de urgencia es fundamental. Sin tiempo para importaciones o autorizaciones de COFEPRIS y los laboratorios cerrados, se trabajó en una propuesta, económicamente viable y rápidamente escalable, que contribuyera los esfuerzos para mitigar los efectos negativos de la pandemia.

La siguiente fase de este proyecto plantea el desarrollo de nuevos experimentos que permitan comparar las herramientas desarrolladas con modelos de referencia, en cuanto se reestablezca el acceso a los recursos de investigación disponibles en los laboratorios.

VII. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mostraron la viabilidad de realizar un monitoreo adecuado de las variables fisiológicas adquiridas a través del Kit Clínico propuesto. Sin embargo, hubo variación significativa en las mediciones de la temperatura. En la siguiente etapa se plantea sustituir el termómetro infrarrojo por uno de contacto con salida Bluetooth, con la finalidad de mejorar la confiabilidad de esta medición en particular y la relación entre la persona y el sensor, facilitando la recolección de datos en pacientes con síntomas de diferentes niveles de evolución. Respecto a la carcasa, resulta muy conveniente en el contexto de la pandemia de COVID-19 pues la materia prima es barata, se encuentra disponible en cualquier parte del país, la producción es muy rápida y el armado también. En el trabajo futuro agregará una pantalla que indicará al o los usuarios el estado del sistema electrónico.

Consideramos que el Kit Clínico, como parte del sistema Rinku, podría contribuir a que los pacientes sospechosos de infección por COVID-19 sean monitoreados mientras permanecen en casa. Por ende, mitigar el riesgo de contagio y la sobrecarga innecesaria de los servicios de salud. La implementación de este sistema también podría contribuir a proporcionar mejores estadísticas en relación con el número de contagios, la evolución del padecimiento y, potencialmente la localización de los pacientes identificados.

Como se mencionó antes, un Kit Clínico, puede recolectar información de varias personas que comparten un espacio, e.g. una familia, o los trabajadores de una empresa. Igualmente, Kits Clínicos, ubicados en diferentes lugares pueden ser conectados al mismo servidor, estableciendo una red. De esta forma, el sistema Rinku se plantea como una herramienta que permita a los profesionales de la salud monitorear múltiples pacientes efectivamente y determinar el momento adecuado para solicitar el siguiente nivel de atención médica, de ser necesario.

Su aplicación también puede extenderse para incluir diversos tipos de pacientes y monitorear variables relacionadas con otros padecimientos, como la diabetes mellitus o la hipertensión arterial, sólo con agregar los sensores pertinentes, que en este ejemplo corresponden a un glucómetro y/o un baumanómetro. El médico a cargo o incluso algún familiar del paciente podría recibir las lecturas proporcionadas por el sistema, en tiempo real en su dispositivo móvil, desde cualquier lugar y tomar decisiones mejor informadas y en menor tiempo.

REFERENCES

- [1] J. Zhang, L. Zhou, Y. Yang, W. Peng, W. Wang, and X. Chen, "Therapeutic and triage strategies for 2019 novel coronavirus disease in fever clinics," *The Lancet Respiratory Medicine*, 2020, doi: 10.1016/S2213-2600(20)30071-0.
- [2] R. Golpe et al., "Factores asociados al ingreso hospitalario en un protocolo asistencial en COVID-19," *Arch. Bronconeumol.*, 2020, doi: 10.1016/j.arbres.2020.05.038.
- [3] R. Gimeno-Costa, M. Barrios, T. Heredia, C. García, and L. de Hevia, "COVID-19 respiratory failure: ECMO support for children and young adult patients," *J. Clean. Prod.*, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.05.007.
- [4] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013, doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.
- [5] I. Lee and K. Lee, "The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises," *Bus. Horiz.*, vol. 58, no. 4, pp. 431–440, 2015, doi: 10.1016/j.bushor.2015.03.008.
- [6] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini, and I. Chlamtac, "Internet of things: Vision, applications and research challenges," *Ad Hoc Networks*, vol. 10, no. 7, pp. 1497–1516, 2012, doi: 10.1016/j.adhoc.2012.02.016.
- [7] I. Yaqoob et al., "Internet of Things Architecture: Recent Advances, Taxonomy, Requirements, and Open Challenges," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 10–16, 2017, doi: 10.1109/MWC.2017.1600421.
- [8] D. Shin and Y. Hwang, "Integrated acceptance and sustainability evaluation of Internet of Medical Things: A dual-level analysis," *Internet Res.*, 2017, doi: 10.1108/IntR-07-2016-0200.
- [9] S. Natarasan and P. Sekar, "Design and Implementation of Heartbeat Rate and SpO2 Detector by Using IoT for Patients," 2020, doi: 10.1109/ficesc48915.2020.9155925.
- [10] B. S. Sarjerao and A. Prakasharao, "Smart Healthcare Monitoring System Using MQTT Protocol," in 2018 3rd International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2018, 2018, doi: 10.1109/I2CT.2018.8529764.
- [11] L. Haoyu, L. Jianxing, N. Arunkumar, A. F. Hussein, and M. M. Jaber, "An IoMT cloud-based real time sleep apnea detection scheme by using the SpO2 estimation supported by heart rate variability," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, 2019, doi: 10.1016/j.future.2018.12.001.
- [12] A. Nayyar, V. Puri, and N. G. Nguyen, "BioSenHealth 1.0: A Novel Internet of Medical Things (IoMT)-Based Patient Health Monitoring System," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2019.
- [13] ThingSpeak, "Open IoT platform," [Online]. Available: <https://thingspeak.com/>. [Accessed: 20-April-2020].
- [14] S. K. Polu, "IoMT Based Smart Health Care Monitoring System," *Int. J. Innov. Res. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 11, pp. 58–64, [Online]. Available: <http://www.ijrst.org/articles/IJRSTV5I11014.pdf>.
- [15] H. Cha and J. Jeon, "OCF Healthcare Proof of Concept (PoC) on Libelium MySignals," 2017 European Conference on Electrical Engineering and Computer Science (EECS), Bern, 2017, pp. 356–364, doi: 10.1109/EECS.2017.73.
- [16] MySignals, "Official Web site," [Online]. Available: <http://www.my-signals.com/>. [Accessed: 02-September-2020]
- [17] Infra Red Thermometer, "MLX90614 family," [Online]. Available: <https://bit.ly/2WvgS6o>. [Accessed: 14-March-2020]
- [18] JUMPER JPD-500F, "Official Web site," [Online]. Available: <https://bit.ly/2zxwXiW>. [Accessed: 19-March-2020]
- [19] ESP32, "Official Web site," [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32/overview>. [Accessed: 11-April-2020]
- [20] MQTT, "Official Web site," [Online]. Available: <http://mqtt.org/>. [Accessed: 10-April-2020]
- [21] Eclipse Mosquitto, "Official Web site," [Online]. Available: <https://mosquitto.org/>. [Accessed: 11-April-2020]
- [22] Node-RED, "Official Web site," [Online]. Available: <https://nodered.org/>. [Accessed: 11-April-2020]
- [23] Raspberry Pi, "Official Web site," [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>. [Accessed: 12-April-2020]



Francisco Rodríguez En 2009 ganó el primer lugar a la innovación en CdmX, por el desarrollo de un microscopio para cirugía ocular, y en 2010 obtuvo el tercer lugar a la innovación en la misma ciudad por el desarrollo de un sistema embebido que analiza el daño genético. Se desempeñó por 7 años como coordinador del área de sistemas embebidos de INFOTEC, Centro de Público de Investigación (CPI) adscrito a CONACYT, donde desarrollo Proyectos de Estímulo a la Innovación (PEI) para la industria; diseñó y construyó el Laboratorio de Sistemas Embebidos (LabSE); fundó el grupo de investigación y desarrollo Embedded Thinking; cofundador y posteriormente coordinador del Posgrado Nacional de Calidad "Maestría en Sistemas Embebidos" (MSE). Es reconocido como inventor por el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI) y actualmente es diseñador de sistemas embebidos orientados al Internet de las Cosas (IoT).



Sebastián Gutiérrez nació en Aguascalientes, México en 1981. Recibió su doctorado en la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Navarra en San Sebastián, España en el año 2012 y la Maestría en Ciencias por la Universidad Panamericana, México en el año 2007. Actualmente es miembro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Panamericana. Sus principales líneas de investigación incluyen las siguientes áreas de electrónica, mecatrónica, energía solar, domótica, edificios inteligentes e internet de las cosas. Ha participado

en 10 proyectos industriales, es autor/coautor de 12 revistas científicas y ha realizado 40 contribuciones en congresos internacionales. SNI: I, Universidad Panamericana.



Bersain Reyes Bersain A. Reyes Recibió los grados de Ing. Biomédico y Maestro en Ciencias (Ing. Biomédica) con honores por la Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa (UAM-I), Ciudad de México, en 2006 y 2010, respectivamente. Estudió el Doctorado en Ing. Biomédica en la University of Connecticut (UConn), donde se graduó en 2015. Fue profesor de tiempo completo en UAM-I durante el 2016. En el 2017 se incorporó al Sistema Nacional de Investigadores de México con el nivel I, mismo que mantiene hasta la fecha. Desde el 2017

se desempeña como profesor de tiempo completo en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) en México. Ha publicado 16 artículos de investigación en revistas indexadas por el Journal Citation Reports. Sus principales intereses de investigación incluyen el análisis espectral variante en el tiempo de señales biomédicas y el empleo de sensores ópticos y acústicos de un smartphone en aplicaciones móviles para la salud.



Viridiana Rosas Titulada de la Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en el 2012, con uno de los mejores promedios de su generación. Gracias a patrocinio de la Academia Mexicana de Ciencias participó en el XXI Verano de la Investigación Científica bajo la asesoría del Dr. Genaro Alfonso Coria Ávila. Los resultados de dicha estancia se publicaron en el *Pharmacology, Biochemistry and Behavior Journal* en el 2012. Cuenta con más de 8 años de experiencia clínica que incluyen trabajo en hospitales del Instituto de

Seguridad y Servicios Sociales de Trabajadores del Estado (ISSSTE), clínicas públicas y privadas, consultoría particular y se ha desempeñado como docente en instituciones privadas.



Verónica Silva Diploma de Bachillerato Internacional por el International Baccalaureate Organization y graduada del Centro de Educación Media de la Universidad Autónoma de Aguascalientes; ambas en el 2015. Egresada de la Licenciatura en Diseño Industrial por la Universidad Autónoma de Aguascalientes. En el 2018, durante su estancia en la Universidad Católica de Temuco (Chile), participó en investigaciones sobre el control de la calidad del aire en Chile. Ha participado en múltiples proyectos relacionados con el fomento de la seguridad y la

higiene dentro de las empresas del estado de Aguascalientes. Realizó su segunda estadía en el 2019, esta vez en el Centro de Investigación e Innovación en TIC (Infotec). Actualmente se encuentra estudiando la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, en la Universidad Tecnológica Metropolitana de Aguascalientes.



Aldo Mejía Actualmente el Dr. Mejía es coordinador del programa de Ingeniería Biomédica de la UASLP, y miembro de la comisión curricular del Posgrado en Ingeniería Electrónica (PNPC) de la Facultad de Ciencias de la UASLP. Ha dirigido proyectos de titulación de más de 15 estudiantes de Ingeniería Biomédica a nivel Licenciatura y Posgrado, cuenta con más de 40 trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales y 13 artículos publicados en revistas indizadas abarcando temas de procesamiento de imágenes médicas, procesamiento

de señales biomédicas e instrumentación biomédica.



Ricardo Marcelin Doctor en computación con especialidad en sistemas distribuidos, miembro nivel I del SNI. Experiencia en la dirección de proyectos de desarrollo orientados a la construcción de este tipo de sistemas, pensados para almacenar volúmenes masivos de información. Su trabajo con el Instituto Nacional de Rehabilitación sirvió para demostrar la viabilidad de este enfoque en cuanto al almacenamiento de datos sensibles sobre hardware no especializado (commodity hardware). SNI: I, Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa



Javier Licenciado en computación con mención honorífica al mérito universitario por la Universidad Autónoma Metropolitana, nacido en la ciudad de México. Es académico en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México en el colegio de Ciencia y Tecnología. En la actividad docente ha sido profesor de la academia de informática impartiendo cursos de programación y matemáticas en el tronco básico e intermedio profesional. En el ejercicio particular de la profesión se desempeña como consultor y jefe de proyectos de desarrollo de software. Es actual jefe de proyecto en la rectoría general de la Universidad Autónoma Metropolitana.



Oscar Sosa Médico Especialista en Epidemiología. Alta especialidad en Epidemiología Hospitalaria. (2012-2014) Médico adscrito de Epidemiología Hospitalaria. Hospital General "Dr. Manuel Gea González". Ciudad de México. (2017-2019) Jefe de la Unidad de Vigilancia Epidemiológica Hospitalaria. Hospital Juárez de México. Ciudad de México 2020 Médico adscrito a Epidemiología. Hospital General de Zona 2. Instituto Mexicano del Seguro Social. San Luis Potosí.