

TECNOLOGÍAS REMOTAS NO INVASIVAS UTILIZADAS DURANTE LA PANDEMIA COVID-19 COMO APOYO EN EL PROCESO DE REGISTRO DE SEÑALES CARDIORRESPIRATORIAS

NON-INVASIVE REMOTE TECHNOLOGIES USED DURING THE COVID-19 PANDEMIC TO SUPPORT THE CARDIORESPIRATORY SIGNAL RECORDING PROCESS

Fecha de recibido: 06 de junio de 2023

Fecha de aceptado: 26 de junio de 2023

Autores:

LUIS ESTRADA PETROCELLI

Universidad Latina de Panamá, Carrera de Ingeniería Biomédica e Instrumentación.
Ciudad de Panamá, Panamá.

Correo: lestrada@ulatina.edu.pa

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4126-4462>

JOSÉ SÁNCHEZ

Universidad Latina de Panamá, Carrera de Ingeniería Biomédica e Instrumentación.
Ciudad de Panamá, Panamá.

Correo: joga2607@gmail.com

RAMIRO GÓMEZ

Universidad Latina de Panamá, Carrera de Ingeniería Biomédica e Instrumentación.
Ciudad de Panamá, Panamá.

Correo: gomezramiro470@gmail.com



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Tecnologías remotas no invasivas utilizadas durante la pandemia COVID-19 como apoyo en el proceso de registro de señales cardiorrespiratorias

Luis Estrada Petrocelli
Universidad Latina de Panamá

José Sánchez
Universidad Latina de Panamá

Ramiro Gómez
Universidad Latina de Panamá

Resumen— El principal objetivo de esta investigación documental, es dar a conocer las tecnologías remotas no invasivas, utilizadas durante la pandemia de la COVID-19, como apoyo en el registro de señales cardiorrespiratorias. Esta enfermedad ha causado efectos negativos en los sistemas de salud, haciendo que se tenga que reestructurar la forma de atención a los pacientes. En el difícil momento, la rápida propagación llevó a cambiar el estilo de vida, quedando en aislamiento por seguridad propia y la de seres queridos. El sistema cardiorrespiratorio fue el más afectado por la enfermedad COVID-19, causando dificultades respiratorias, cardíacas, fatiga, disnea entre otras. Donde parámetros como la Frecuencia cardíaca (FC) y Frecuencia respiratoria (FR) fueron fundamentales, para determinar la condición de un paciente COVID-19. Para esto se optó un método investigativo documental, retrospectivo donde se obtuvo información de publicaciones científicas, datos bibliográficos y buscadores relacionados al área de salud e ingeniería. En la actualidad se han desarrollado muchas soluciones de tecnologías remotas, sin embargo, su participación activa fue en la pandemia.

Palabras claves—COVID-19, tecnologías, señales cardiorrespiratorias, no invasivo, registro, remoto.

Abstract— The main objective of this documentary research is to publicize the non-invasive remote technologies, used during the COVID-19 pandemic, as support in the recording of cardiorespiratory signals. This disease has caused negative effects on health systems, making it necessary to restructure the way of caring for patients. In the difficult moment, the rapid spread led us to change our lifestyle, staying in isolation for our own safety and that of our loved ones. The cardiorespiratory system was the most affected by the COVID-19 disease, causing respiratory and cardiac difficulties, fatigue, dyspnea, among others. Where parameters such as HR and FR were essential to determine the condition of a COVID-19 patient. For this, a retrospective documentary research method was chosen, where scientific publication information, bibliographic data and search engines related to the area of health and engineering were obtained. Currently, many remote technology solutions have been developed, however, their active participation was in the pandemic. Among the most relevant teams is; Pulse oximeter, smartphones, tables, others among which will be mentioned in the writing of the document.

Keywords—COVID-19, technology, signal, cardiorespiratory, no invasive, register, remote.

I. INTRODUCCIÓN

Desde marzo de 2020, el mundo ha sufrido los efectos causados por la pandemia COVID-19 originada en Wuhan, China, y que rápidamente se extendió a nivel mundial. Según la OMS el agente viral responsable de la enfermedad es el SARS-CoV-2. Entre los síntomas más relevantes tenemos: fatiga, disnea, fiebre, tos entre otros [1].

Los estudios científicos indican que la probabilidad de contraer el virus, es por medio del contacto, pero también puede transmitirse en distancias menores a 1,5m [2].

Aunque la letalidad y los contagios han disminuido, la incidencia de nuevos casos continúa siendo significativa, limitando de manera directa el uso de los recursos destinados al cuidado del paciente.

Los servicios de atención médica han tenido que reestructurarse y adaptarse a esta nueva situación, con el objetivo de controlar y reducir los contagios, tanto en pacientes como en el personal de la salud. El impacto de esta pandemia, condujo a gran parte de la población se mantuviera en estado de cuarentena, a través del aislamiento domiciliario. Aquellas personas con sintomatología cardiorrespiratorias, se les brinda una vigilancia médica, sin necesidad de hospitalización [3].

Un aporte significativo a los sistemas de salud, ha sido la inclusión de las tecnologías biomédicas, para efectuar un registro no invasivo continuo y remoto de pacientes con complicaciones cardiorrespiratorias, causadas por la COVID-19 [4].

Los dispositivos médicos, para el registro remoto junto al uso de tecnologías de la comunicación (TIC), han ayudado a que el personal clínico pueda registrar parámetros fisiológicos de un paciente en domicilio, evitando aglomeraciones y reduciendo contagios adicionales por la COVID-19 [5].

El registro remoto no invasivo representa una herramienta de apoyo, para conocer la condición actual de un paciente COVID-19, así como su evolución ante la enfermedad durante aislamiento domiciliario[6].

Tecnologías remotas no invasivas utilizadas durante la pandemia COVID-19 como apoyo en el proceso de registro de señales cardiorrespiratorias

El uso de sistemas de internet de las cosas médicas (IoMT), son cada vez más diversos y proporcionan vigilancia en tiempo real. Su utilidad brinda apoyo al envío de información clínica sobre el registro de señales cardiorrespiratorias, que en su mayoría son las más afectadas por la COVID-19 [7].

El presente estudio tiene como objetivo, realizar una revisión documental acerca de las tecnologías remotas no invasivas utilizadas durante la pandemia COVID-19, como apoyo al registro de señales cardiorrespiratorias.

II. DESARROLLO

A. Tecnologías remotas existentes en cuidados de la salud

La COVID-19, obligó a todas las autoridades de diferentes países, a optar por implementar medidas de restricción, con la finalidad de evitar la propagación de contagios. Entre las medidas impuestas podemos mencionar: cierres de escuelas, sitios públicos, cuarentena y también toque de queda[8].

Para mejorar la calidad de atención médica, se han incluido soluciones tecnológicas, evitando el contagio clínico-paciente [5]. El registro remoto ha tenido relevancia durante la pandemia, donde el principal reto es el seguimiento de parámetros cardiorrespiratorios. El uso de estas tecnologías, se ha expandido de manera dramática por todo el mundo, permitiendo la atención médica fuera del entorno clínico [6].

En el año 2017, los avances tecnológicos en ingeniería aplicada al sector salud, han contribuido en el avance del registro y monitoreo de señales clínicas, a través del uso de teléfonos inteligentes, tabletas electrónicas, variedad de dispositivos remotos y aplicaciones [9].

Los sistemas de comunicación inalámbrica han evolucionado al pasar de los años, de manera que los pacientes pueden estar conectados a una red, en cualquier lugar, permitiendo el registro remoto [10]. Con el desarrollo de aplicaciones basadas en el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), comenzaron a ser utilizadas para la captura de datos médicos y seguimiento continuo en tiempo real, con propósitos de detectar cambios en la condición de los pacientes [11].

Según un diseño integrado de vigilancia en el año 2014, las Wireless Body Sensor Networks (WBSN), utilizan la red inalámbrica y sensores portátiles para la aplicación al cuerpo humano [12]. De igual forma se vio implicado un sistema de red que es nombrado IoMT, tiene como propósito comunicar entre si los servicios y aplicaciones de atención médica [13].

Las WBSN, pueden trabajar en conjunto con tecnologías ya existentes, como smartphones, brindando registro y monitoreo de señales fisiológicas en pacientes con COVID-19[14], [15].

Este manejo de información tuvo un gran desarrollo durante la COVID-19 en pacientes aislados [7]. En la actualidad el progreso de estos avances tecnológicos, han

contribuido al desarrollo de dispositivos médicos de naturaleza no invasiva.

El desarrollo de estas tecnologías existentes logró suplir un registro de diferentes signos vitales para el estudio de los sistemas cardiorrespiratorios como lo son la frecuencia respiratoria (FR), frecuencia cardiaca (FC), entre otros [4].

La necesidad de poder registrar la frecuencia de este sistema, ayuda detectar problemas de salud. En ese sentido, estas tecnologías apoyan el registro de señales cardiorrespiratorias, al hablar del sistema respiratorio, el cual cumple una función vital para el ser humano, la oxigenación en la sangre juega un rol importante y la interrelación entre su estructura y función permiten que este objetivo se cumpla [6].

El sistema cardiorrespiratorio está formado por estructuras que realizan el intercambio de gases entre la atmósfera y la sangre[16]. El oxígeno (O2) es introducido dentro del cuerpo para su posterior distribución a los tejidos y el dióxido de carbono (CO2) producido por el metabolismo celular, es eliminado al exterior [17].

El sistema cardiaco, tiene como principal función; el aporte, remoción de gases, nutrientes, hormonas, etc. de los diferentes órganos y tejidos del cuerpo [18].

Según el análisis de estos términos, se mencionan tecnologías existentes como se muestran en la tabla 1, que por condiciones de la COVID-19 fueron adaptadas para el apoyo en el registro y monitoreo de señales cardiorrespiratorias.



Fig. 1 Esquema visual entre la comunicación de dispositivos entre sí para el registro y monitoreo de señales cardiorrespiratorias.

B. Tecnologías remotas no invasivas utilizadas en pandemia Covid-19

Actualmente el mercado tiene una gran variedad de dispositivos para la monitorización, todos basados en términos de salud asistida por el móvil o mHealth [19].



Tecnologías remotas no invasivas utilizadas durante la pandemia COVID-19 como apoyo en el proceso de registro de señales cardiorrespiratorias 70

- Oxímetro de pulso: Este dispositivo tiene una gran ventaja, registra de manera continua y no invasiva los cambios de spO_2 en la sangre, mediante el funcionamiento de dos partes: Hardware y software [20]. Los métodos de medición están basados en espectrofotometrías que consiste en la absorción óptica de desoxihemoglobina que consiste en la pérdida de oxígeno en sangre (Hb) y oxihemoglobina que es sangre oxigenada (HbO₂) [20]. El otro método es la fotopleletismografía, consiste en la obtención de señales producidas por la variación del torrente sanguíneo arterial, que van asociadas con las contracciones y relajaciones del corazón [20]. Se detectan gracias a dos longitudes de ondas, normalmente de 660nm (rojo) y 940nm (infrarrojo) iluminando una parte de la piel humana [21].
- Espirómetro portátil: De acuerdo a la organización global Initiative For Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) los pacientes con EPOC, han sido los más afectados por la COVID-19 [22]. Como apoyo a estos casos clínicos, se han desarrollados espirómetros portátiles para llevar un control de la capacidad pulmonar diario y a nivel de domicilio. Este equipo pertenece a las pruebas de función pulmonar (PFP), su principal característica es permitir el registro de las curvas volumen-flujo de la respiración, brindando parámetros específicos de la función pulmonar [23]. Esta modalidad ha superado al espirómetro convencional en características de portabilidad, costo de hardware y software [24].
- Dispositivo de bioimpedancia portátil: Puede proporcionar, un estudio cuantitativo, especial de la función respiratoria y otras señales como el ECG [25]. Este dispositivo capta señales de bioimpedancia, que consisten en ruidos de alta frecuencia obtenidos de cavidad torácica y provenientes del corazón. Estos ruidos son captados mediante electrodos ECG, adheren al cuerpo.
- ECG Portátil (Kardia Mobile): Se caracteriza por ser cómodo, por ser reusable con otras personas y monitoriza en tiempo real el ritmo cardiaco. Posee 2 tipos de medición tales como de seis y dos derivaciones. La actividad eléctrica del corazón es recogida por tres electrodos que se encuentran distribuido de la siguiente manera; parte superior tiene 2 y en la parte inferior 1 del dispositivo [26]. La información procesada por los electrodos es enviada mediante bluetooth a una aplicación de celular.
- Reloj inteligente: Presenta un sensor óptico, que puede registrar y monitorizar la FC todo el día. El reloj utiliza el método de fotopleletismografía, PPG, para medir la FC [27].
- Smartmattress: Estos colchones, están provistos de múltiples tramos capaces de doblarse entre sí, incluye una cantidad de sensores capaces de medir la fuerza inicial sobre el punto en el cual está dispuesto el correspondiente sensor, los sensores están interconectados entre sí, y asociados a una unidad de

control de servo-motores, para movimientos de partes del bastidor superior, de modo cuando un sensor detecta en tiempo real el movimiento del usuario, acciona un servomotor que corresponde a un grupo de sensores donde mueve al menos una de las partes móviles [28].

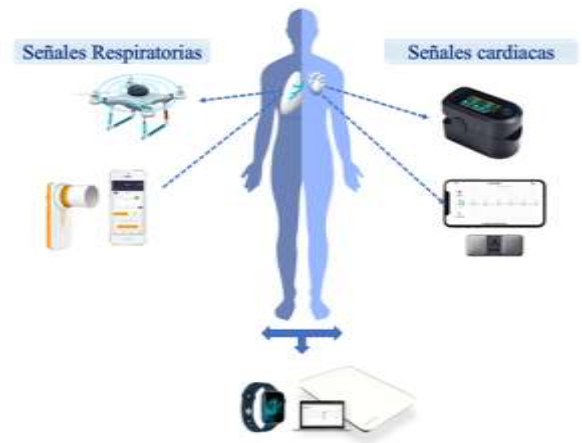


Fig.2 Ejemplo de tecnologías para registro cardiorrespiratorio.

C. Medidas que se registran en el sistema cardiorrespiratorio mediante tecnologías

El cuerpo humano emite diferentes señales, por lo que es importante conocer su morfología, para posteriormente encontrar el tipo de parámetro fisiológicos [29]. Las principales medidas del sistema cardiorrespiratorio son; frecuencia cardíaca (FC) y frecuencia respiratoria (FR), mediante múltiples dispositivos portátiles permiten el registro en tiempo real los cambios de frecuencia que determinaran el estado de salud del individuo.

- Frecuencia cardíaca (FC): proporciona información clínica de análisis, para determinar el bombeo adecuado del corazón [30]. Tendrá variaciones de acuerdo a diferentes edades y condiciones físicas de las personas, se estima un 60% o 80% de su valor máximo [31]. En un adulto es de 60 a 100 latidos por minuto (lpm), mientras que la de un neonato es de 100 a 205 lpm. Su variabilidad deduce la interacción del sistema autónomo, mecanismos reflejos, factores mecánicos y cambios dinámico del nodo sinusal [32].
- Frecuencia respiratoria (FR): Permite conocer la inspiración/exhalación pulmonar en un tiempo determinado. Este parámetro indica la información, sobre la capacidad de los pulmones en la obtención de oxígeno y liberación de CO₂, esta puede variar de acuerdo a la condición física [20]. En adultos debe ser entre 12 y 20 rpm, en cambio la de los niños debe estar entre el rango de 12 y 22 respiraciones por minuto (rpm), si está por debajo o por encima de estos rangos, son indicios que existen alteraciones en el sistema cardiorrespiratorio.

Tecnologías remotas no invasivas utilizadas durante la pandemia COVID-19 como apoyo en el proceso de registro de señales cardiorrespiratorias

III. SOLUCIONES TECNOLOGICAS NO INVASIVAS Y SUS CARACTERISTICAS EN EL REGISTRO DE INFORMACION CARDIORRESPIRATORIA

Las tecnologías utilizadas durante la pandemia, han contribuido a mejoras de servicios de salud en diferentes especialidades médicas, como lo es la cardiorrespiratoria. Los dispositivos de registro y monitoreo inalámbrico, son fundamentales en principio de funcionamiento para establecer un marco de seguimiento para el análisis de la atención médica [33]. El registro remoto de los signos vitales, ha ganado pasos significativos, en el abordaje de soluciones, a secuelas dejadas por la COVID-19 [25].

TABLA 1 SOLUCIONES TECNOLOGICAS NO INVASIVAS Y SUS CARACTERISTICAS EN EL REGISTRO DE INFORMACION CARDIOREESPIRATORIA.

Dispositivo Cardiorespiratorios	Principios de funcionamiento	Aplicación clínica	Tipos de sensores	Conectividad.	Ref.
Smart Mattress	Registro de movimiento de la pared torácica mediante conjunto de sensores de presión.	•Registro de la FR y FC.	sensor de presión	• Bluetooth Wifi.	[34]
Smartwatch	Principio de la fotopletimografía y detección de cambios en la regularidad del ritmo cardíaco.	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de frecuencia cardíaca. • Monitoreo respiratorio. • Monitoreo de temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fotodetector (sensor de luz). • Acelerómetro (sensor de movimiento). • GPS 	Bluetooth, wifi	[35], [36]
Ballistocardiografo (BCG).	Técnica sin contacto, para el registro de movimientos sutiles del cuerpo humano, causado por la eyección cardíaca y respiración.	Monitoreo de sistema cardiopulmonar.	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor hidráulico. • Sensor de tensión. • Sensor Bragg de fibra. 	Tecnología inalámbrica Bluetooth	[37], [38]
Radar por drones	Técnica Doppler de onda continua electromagnética.	Detección, diagnóstico y monitoreo de problemas cardiorrespiratorios	Sensor radar	Tecnología Wifi.	[39]
Oxímetro de pulso	Análisis del torrente sanguíneo por medio de rayos de luz que atraviesan la sangre.	Registro de frecuencia cardíaca (FC). Registro de saturación de O2 (SPO2).	Diodos emisores de luz.	Tecnología Bluetooth.	[40], [41]
ECG Portatil (Kardia Mobile 6L)	Conjunto de tres electrodos para el registro ECG	Registro de ECG de seis derivadas. I, II, III, aVF, aVR y aVL	Electrodos	Tecnología inalámbrica Bluetooth	[26], [36]
Espirómetro portátil	Principio de funcionamiento por mecanismo de transductores de turbina registrando el volumen en litros.	Monitoreo constante d afecciones Pulmonares. Capacidad vital forzada (FVC), el volumen espiratorio forzado (FEV)1, lecturas de medición de flujo espiratorio máximo (PEF) y FEV1/FVC. Investigación y seguimiento de patologías respiratorias.	Sensor de Flujo.	Tecnología inalámbrica Bluetooth. Aplicaciones en teléfonos inteligentes	[33], [42]
Dispositivo portátil, para bioimpedancia (Shimmer3)	Utilización de sensores ECG y de Bioimpedancia torácica para el registro de señales de alta frecuencia.	Evaluar amplia gama de síntomas como fiebre, tos, fatiga, dificultad respiratoria. Registro de señales cardiacas.	Electrodos de ECG Bioimpedancia. Acelerómetro Magnetómetro Giroscopio	Conexión inalámbrica a través de bluetooth.	[43]
Smartphones & tablets	Funcionamiento por micrófono adquiriendo el sonido acústico de la respiración, y uso de la cámara para detectar el movimiento del tórax.	Apps para la detección de COVID-19 Monitoreo frecuencia cardíaca Monitoreo frecuencia respiratoria.	Sensor acústico Sensor de movimiento	Wifi Bluetooth.	[44], [45] [15]

Tecnologías remotas no invasivas utilizadas durante la pandemia COVID-19 como apoyo en el proceso de registro de señales cardiorrespiratorias

IV. APOYO DE LAS TECNOLOGÍAS REMOTAS NO INVASIVAS EN LA ESPECIALIDAD CARDIORRESPIRATORIA

El procedimiento común utilizado en diagnóstico cardiaco, es escuchar los latidos del corazón, este permite a los especialistas cardiacos, saber con efectividad la actividad cardiovascular de un paciente. Según la OMS, las complicaciones cardiovasculares se han vuelto tendencia. Sin embargo, el uso de dispositivos portátiles ha logrado potencialmente la detección y diagnóstico temprano de la salud cardíaca[33]. En los últimos años se ha generado muchísimo interés por el registro y procesamiento de señales cardiacas, lo que permite saber la medición de varias características de la señal del corazón, reduciendo la subjetividad y aumentando la confiabilidad en el diagnóstico del corazón [45].

La FR es un parámetro muy utilizado para controlar el estado del paciente. Gracias a ella, se logra medir una amplia gama de escenarios clínicos, como lo son saturación de oxígeno(SpO₂), temperatura, presión arterial pulso/frecuencia cardiaca [15]. La especialidad respiratoria se ha visto afectada de forma directa, por la COVID-19. La variación de la frecuencia respiratoria es el primer indicio de mal funcionamiento, cuando nuestro cuerpo intenta mantener el suministro de oxígeno en los tejidos [15].

Con la ayuda de dispositivos portátiles, el seguimiento de pacientes domiciliarios, permite el diagnóstico y seguimiento de enfermedades crónicas como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) [29], [31].

V. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TECNOLOGÍAS REMOTAS NO INVASIVAS UTILIZADAS DURANTE LA PANDEMIA COVID-19

Las tecnologías remotas no invasivas durante la pandemia fueron de gran ayuda ya que muchas de estas son tecnología portátil. Demostraron un gran cambio a nivel clínico, ofreciendo atención domiciliaria la comodidad del registro remoto, principalmente en los pacientes con COVID-19. El principal propósito de estas soluciones es el registro remoto no invasivo, objetivamente en domicilio

Las tecnologías remotas no invasivas poseen ventajas y desventajas para cumplir este propósito tales como se muestra en la Fig.3 a continuación tenemos:

Ventajas

-  Actualizaciones
-  Peso / Tamaño
-  Menor propagación de virus
-  No invasivos
-  Fácil adaptación al usuario
-  Inalámbricas
-  Registros cardiorrespiratorios

Desventajas





-  Tercera edad
-  Batería
-  Falso contacto
-  Costo
-  Menos precisión
-  No todas son en tiempo real
-  Pequeña interfase

Fig.3 Análisis de ventajas y desventajas de las tecnologías remotas durante la COVID-19.

TABLA II COMPARACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS NO INVASIVOS.

Dispositivos	Contacto	No contacto	Batería	Capacidad de Registro		Ref.
				Cardíaco	Respiratorio	
Smart Mattres	✓		✓	✓	✓	[34], [46]
Smartwatch	✓		✓	✓	✓	[35], [36]
Sistema IoMT basado en Ballistocardiografía (BCG).		✓		✓	✓	[37], [38]
Radar por drones UAV		✓	✓		✓	[39]
Oxímetro de pulso	✓			✓	✓	[40], [41]
Kardia Mobile 6L	✓		✓	✓		[26], [36]
Espirómetro Portátil	✓		✓		✓	[33], [42]
Ebio Sensor Shimmer3	✓		✓	✓	✓	[25]
Smartphones & tablets		✓	✓	✓	✓	[44], [45][15]



Tecnologías remotas no invasivas utilizadas durante la pandemia COVID-19 como apoyo en el proceso de registro de señales cardiorrespiratorias

VI. METODOLOGÍA

Los criterios escogidos para este estudio documental retrospectivo fueron: (1) Publicaciones teóricas y/o experimentales aplicados al uso de tecnologías remotas no invasivas preferiblemente usadas durante la pandemia por la COVID-19. (2) Estos datos bibliográficos fueron sacados de las siguientes bases de datos: Biomed Central, Elsevier, Google Académico, PubMed, SpringerLink e IEEE Xplore. (3) Manuales de servicio de los dispositivos mencionados. (4) Las principales palabras fueron registros, dispositivos, no invasivos, monitorear, remoto y usados durante la covid-19. (5) Los idiomas usados para estas búsquedas fueron español e inglés.

Comenzamos la búsqueda de las primeras publicaciones científicas, el 21 de junio de 2022, y así mismo la fecha de la última búsqueda realizada fue el 5 de septiembre de 2022. Se escogieron un total de 112 publicaciones, que cumplieron con nuestros criterios de búsqueda, de los cuales 51 fueron seleccionados por su información tan precisa.

VII. DISCUSIÓN

Es que la pandemia por la COVID-19 afectó de manera significativa al mundo que conocemos. Hoy, sus mecanismos de contagios y sus manifestaciones clínicas son mejor entendidos, sin embargo, hasta ahora solo nos ha servido para defendernos, por lo que se adoptaron diferentes medidas de aislamiento como el domiciliario, lo que a su vez dificultó el trabajo de los médicos, dada la limitación de herramientas para utilizar. Las tecnologías remotas han tomado mayor protagonismo demostrando su eficacia en esta situación, permitiendo a su vez proteger al personal clínico y al paciente [47].

En este artículo se llevó un análisis de las tecnologías remotas no invasivas utilizadas durante la COVID-19, algunas de las cuales ya han sido desarrolladas (comerciales) y otras son prototipos (no comerciales). Ejemplos significativos de las tecnologías utilizadas están los relojes inteligentes, ECG portátil, oxímetro de pulso, teléfonos y colchones inteligentes. Entre los equipos en desarrollo podemos mencionar aquellos basados en medidas de bioimpedancia, radar por drones y sistema de ballistocardiografía.

Aunque muchas de estas soluciones tecnológicas de naturaleza no invasiva ya existían antes de la pandemia, durante el inicio de ésta, estas tecnologías fueron de gran ayuda debido a sus características y principio de funcionamiento para el registro de información clínica. Se implementaron potencialmente para ser utilizadas en tiempo oportuno, brindando confianza y capacidad en el registro de información cardiorrespiratoria. De la misma forma, la gran variedad de sensores, ayudan a contribuir el registro cardiorrespiratorio, pero también apoyan en la obtención de otros parámetros fisiológicos del cuerpo humano siendo un gran beneficio para la práctica médica.

Por otra parte, para lograr adquirir datos clínicos de forma efectiva, es necesario la seguridad en el uso de los dispositivos, apoyado por una docencia en su aplicación. Sin embargo, uno de los principales retos es la inversión en tecnologías sanitarias ya que no todas las personas tienen la capacidad económica para su adquisición [48].

Las limitaciones de las tecnologías remotas, en especial las de contacto, en ocasiones se ve afectada debido a varios factores; los que son generados de forma fisiológica por el cuerpo humano y los externos. Entre los factores fisiológicos podemos mencionar; el sudor que es una sustancia secretada por la piel, ocasionando una barrera entre el sensor y la señal que se debe registrar. Por otro lado, los factores externos son causados por errores humanos, en el caso de que un individuo no esté capacitado en el uso de un equipo, además de errores de calidad en la producción en fábrica, teniendo como consecuencia problemas como falsos contactos, interferencia que en consecuencia reducen la precisión de las medidas. También es importante señalar que muchas de estas tecnologías poseen el inconveniente de tener un tiempo limitado de vida útil de sus batería.

Con el desarrollo de las tecnologías remotas, se pudo evidenciar que los dispositivos mencionados son fundamentales para su incorporación en los sistemas de salud. Los beneficios que proporcionan están aumentando, gracias a ellos se ha logrado mejorar el seguimiento, diagnóstico de enfermedades cardiorrespiratorias. La fabricación, evaluación y adquisición están abalados por la FDA (Administración de los Medicamentos de los Estados Unidos), para lograr un estándar de calidad, seguridad y compatibilidad con el paciente en comparación a los equipos biomédicos utilizados de manera más tradicional [49]. La actividad cardiorrespiratoria es variante, se recomiendan dispositivos aprobado por la FDA, para garantizar una medición correcta de señales cardiorrespiratorias[50].

Es necesario resaltar que los dispositivos utilizados en aislamiento domiciliario, contribuyeron a la disminución de contagios del virus a nivel mundial. Estudios recientes han identificado que la pandemia por la COVID-19 ha afectado considerablemente a las personas adultas [28]. Se ha demostrado que el registro remoto de datos clínicos ha tenido grandes beneficios en la población adulta. De hecho, el 87% de los pacientes y sus familiares evaluaron estas tecnologías como fáciles de utilizar, lo cual es un aspecto importante a considerar debido a que el manejo de estos dispositivos lo harán personas mayores [51].

El análisis realizado en el presente documento revela que los dispositivos destacados por su facilidad adquisición está el oxímetro de pulso y los relojes inteligentes, en cambio, uno de los dispositivos de más difícil de obtener por su alto costo y por su poco auge en el mercado es el colchón inteligente.

Los dispositivos remotos que tienen una mejor precisión a la hora de realizar un registro son los de contacto, además tienen una gran ventaja porque se pueden conectar de manera automática a sus aplicaciones permitiéndole al personal médico monitorear la actividad cardiorrespiratoria diariamente. Por otra parte, los dispositivos de no contacto, proporcionan mayor comodidad al paciente, además, una



Tecnologías remotas no invasivas utilizadas durante la pandemia COVID-19 como apoyo en el proceso de registro de señales cardiorrespiratorias 74

limitante sería la actividad involuntaria del paciente, porque afecta el registro remoto de los parámetros fundamentales.

Finalmente, las tecnologías remotas buscan posicionarse en el campo de la medicina, como soluciones novedosas de alta gama, para mejorar los registros de señales cardiorrespiratorias mejorando a su vez la atención sanitaria de manera remota. En conclusión, muchas de estas soluciones tecnológicas aportan una gran colaboración en el campo investigativo científico del sector salud, como muestra del estudio de radar por vehículo no tripulado (UAV) se considera como método oportuno en futuras investigaciones para la detección de trastornos respiratorios. De forma similar, el ballistocardiografo presenta características similares, con mayor periodo probatorio, teniendo como reto una verificación médica y una futura innovación en el registro remoto cardiopulmonar contribuyendo a la obtención de información clínica.

REFERENCIAS

- [1] X. Y. Zhang *et al.*, “Biological, clinical and epidemiological features of COVID-19, SARS and MERS and AutoDock simulation of ACE2,” *Infectious Diseases of Poverty*, vol. 9, no. 1. BioMed Central, Jul. 20, 2020. doi: 10.1186/s40249-020-00691-6.
- [2] A. Trilla, “One world, one health: The novel coronavirus COVID-19 epidemic,” *Med Clin (Barc)*, vol. 154, no. 5, pp. 175–177, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.medcli.2020.02.002.
- [3] Vaigai College of Engineering and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS 2020) : 13-15 May, 2020*.
- [4] C. Massaroni, A. Nicolò, E. Schena, and M. Sacchetti, “Remote Respiratory Monitoring in the Time of COVID-19,” *Front Physiol*, vol. 11, May 2020, doi: 10.3389/fphys.2020.00635.
- [5] S. Majumder, T. Mondal, and M. J. Deen, “Wearable sensors for remote health monitoring,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 1. MDPI AG, Jan. 12, 2017. doi: 10.3390/s17010130.
- [6] F. Zhao, M. Li, and J. Z. Tsien, “Technology platforms for remote monitoring of vital signs in the new era of telemedicine,” *Expert Review of Medical Devices*, vol. 12, no. 4. Expert Reviews Ltd., pp. 411–429, Jul. 01, 2015. doi: 10.1586/17434440.2015.1050957.
- [7] A. H. Mohd Aman, W. H. Hassan, S. Sameen, Z. S. Attarbashi, M. Alizadeh, and L. A. Latiff, “IoMT amid COVID-19 pandemic: Application, architecture, technology, and security,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 174. Academic Press, Jan. 15, 2021. doi: 10.1016/j.jnca.2020.102886.
- [8] K. Bouabida *et al.*, “Healthcare Professional Perspectives on the Use of Remote Patient-Monitoring Platforms during the COVID-19 Pandemic: A Cross-Sectional Study,” *J Pers Med*, vol. 12, no. 4, Apr. 2022, doi: 10.3390/jpm12040529.
- [9] F. Michard, “Smartphones and e-tablets in perioperative medicine,” *Korean Journal of Anesthesiology*, vol. 70, no. 5. Korean Society of Anesthesiologists, pp. 493–499, Oct. 01, 2017. doi: 10.4097/kjae.2017.70.5.493.
- [10] V. Manuel *et al.*, “Monitoreo Remoto de Pacientes con Diabetes Utilizando Tecnologías Móviles Inalámbricas Remote Monitoring Using Diabetes Patients Wireless Mobile Technologies,” 2012.
- [11] M. Niurka and V. Vidal, “Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones: un desafío para la Gestión del Cuidado Information and communication technologies: a challenge for care management,” 2016. [Online]. Available: <http://scielo.sld.cu>
- [12] H. K. Cárcamo and J. P. Bahamondes, “Ubiquitous health monitoring in real-time with WBSN,” 2014.
- [13] D. D. Sanchez-Gallegos *et al.*, “On the Continuous Processing of Health Data in Edge-Fog-Cloud Computing by Using Micro/Nanoservice Composition,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 120255–120281, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3006037.
- [14] S. Sakphrom, T. Limpiti, K. Funsian, S. Chandhaket, R. Haiges, and K. Thinsurat, “Intelligent medical system with low-cost wearable monitoring devices to measure basic vital signals of admitted patients,” *Micromachines (Basel)*, vol. 12, no. 8, Aug. 2021, doi: 10.3390/mi12080918.
- [15] Á. Troncoso, J. A. Ortega, R. Seepold, and N. M. Madrid, “Non-invasive devices for respiratory sound monitoring,” in *Procedia Computer Science*, 2021, vol. 192, pp. 3040–3048. doi: 10.1016/j.procs.2021.09.076.
- [16] “Sistema respiratorio 2”.



Tecnologías remotas no invasivas utilizadas durante la pandemia COVID-19 como apoyo en el proceso de registro de señales cardiorrespiratorias 75

- [17] “ESTRUCTURA Y FUNCIONES DEL SISTEMA RESPIRATORIO STRUCTURE AND FUNCTION OF THE RESPIRATORY SYSTEM.”
- [18] “TEMA 1. FISILOGIA CARDIOVASCULAR 1.1 Función general del sistema cardiocirculatorio 1.2 Mecánica de la contracción cardiaca y fases del ciclocardiaco 1.3 El corazón acoplado a la circulación arterial y venosa. 1.1-Función general del sistema cardiocirculatorio.”
- [19] “TRABAJO FIN DE GRADO FISIOTERAPIA.”
- [20] D. Buonanno Profesor Asesor and A. Leonardo González Mancera Ing, “Desarrollo de un sistema de medición de frecuencia respiratoria de bajo costo Proyecto individual Autor.”
- [21] A. Bella, R. Latif, A. Saddik, and L. Jamad, “Review and evaluation of heart rate monitoring based vital signs, a case Study: Covid-19 Pandemic,” in *Colloquium in Information Science and Technology, CIST*, Jun. 2020, vol. 2020-June, pp. 79–83. doi: 10.1109/CiSt49399.2021.9357302.
- [22] V. Millette and N. Baddour, “INVESTIGAR Acceso abierto Procesamiento de señales de señales cardíacas para la cuantificación de eventos no deterministas,” 2011. [Online]. Available: <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/10/1/10www.onlinedoctranslator.com>
- [23] M. Ali, A. Elsayed, A. Mendez, Y. Savaria, and M. Sawan, “Contact and Remote Breathing Rate Monitoring Techniques: A Review,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 13. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 14569–14586, Jul. 01, 2021. doi: 10.1109/JSEN.2021.3072607.
- [24] M. A. F. Pimentel, P. H. Charlton, and D. A. Clifton, “Probabilistic estimation of respiratory rate from wearable sensors,” in *Smart Sensors, Measurement and Instrumentation*, vol. 15, Springer International Publishing, 2015, pp. 241–262. doi: 10.1007/978-3-319-18191-2_10.
- [25] “HOME [Company address],” 2020.
- [26] “Instructions for Use (IFU) for KardiaMobile 6L (AC-019) Instructions for Use for KardiaMobile 6L System.” [Online]. Available: www.alivecor.com/compatibility.
- [27] “Índice Introducción.”
- [28] “rnc20629i”.
- [29] A. Ukil and S. Bandyopadhyay, “Automated cardiac health screening using smartphone and wearable sensors through anomaly analytics,” in *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2019, pp. 145–172. doi: 10.1007/978-3-319-93491-4_8.
- [30] J. Felipe and R. Villegas, “ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA INTEGRANDO LA SEÑAL DE LA FRECUENCIA RESPIRATORIA,” 2009.
- [31] “rehabilitacion_manual”.
- [32] I. Rodríguez-Núñez, N. Rodríguez-Romero, A. Álvarez, L. Zambrano, G. L. da Veiga, and F. Romero, “Heart rate variability in children: methodological issues and clinical applications,” *Arch Cardiol Mex*, vol. 92, no. 2, pp. 242–252, Apr. 2022, doi: 10.24875/ACM.20000473.
- [33] A. M. Russell *et al.*, “Daily home spirometry: An effective tool for detecting progression in idiopathic pulmonary fibrosis,” *Am J Respir Crit Care Med*, vol. 194, no. 8, pp. 989–997, Oct. 2016, doi: 10.1164/rccm.201511-2152OC.
- [34] “SmartMat Quick Start Manual SmartMat (SM-W32/SM-W42) Quick Start Manual.”
- [35] T. Zhu, P. Watkinson, and D. A. Clifton, “Smartwatch data help detect COVID-19,” *Nature Biomedical Engineering*, vol. 4, no. 12. Nature Research, pp. 1125–1127, Dec. 01, 2020. doi: 10.1038/s41551-020-00659-9.
- [36] A. E. Tondas, R. A. Halim, and M. Guyanto, “Minimal or No Touch Electrocardiography Recording and Remote Heart Rhythm Monitoring during COVID-19 Pandemic Era,” *Indonesian Journal of Cardiology*, Jun. 2020, doi: 10.30701/ijc.1010.
- [37] J. Liu, F. Miao, L. Yin, Z. Pang, and Y. Li, “A Noncontact Ballistocardiography-Based IoMT System for Cardiopulmonary Health Monitoring of Discharged COVID-19 Patients,” *IEEE Internet Things J*, vol. 8, no. 21, pp. 15807–15817, Nov. 2021, doi: 10.1109/JIOT.2021.3063549.
- [38] I. Starr, “The Relation of the Ballistocardiogram to Cardiac Function*.”
- [39] S. M. M. Islam, C. Grado, V. Lubecke, and L. C. Lubecke, “UAV Radar Sensing of Respiratory Variations for COVID-Type Disorders,” in *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, APMC*,



Tecnologías remotas no invasivas utilizadas durante la pandemia COVID-19 como apoyo en el proceso de registro de señales cardiorrespiratorias

76

- Dec. 2020, vol. 2020-December, pp. 737–739. doi: 10.1109/APMC47863.2020.9331613.
- [40] A. M. Luks and E. R. Swenson, “Pulse oximetry for monitoring patients with COVID-19 at home potential pitfalls and practical guidance,” *Annals of the American Thoracic Society*, vol. 17, no. 9. American Thoracic Society, pp. 1040–1046, Sep. 01, 2020. doi: 10.1513/AnnalsATS.202005-418FR.
- [41] A. Mbbch *et al.*, “Effectiveness and safety of pulse oximetry in remote patient monitoring of patients with COVID-19: a systematic review,” 2022. [Online]. Available: www.thelancet.com/
- [42] P. Shinde, R. Kulkarni, and G. Kulkarni, “Validation of portable Bluetooth enabled smart spirometer (Alveoair™) for the measurement of various lung functions in healthy subjects,” *Natl J Physiol Pharm Pharmacol*, no. 0, p. 1, 2021, doi: 10.5455/njppp.2021.11.04129202127052021.
- [43] “HOME [Company address],” 2020.
- [44] A. Angelucci, D. Kuller, and A. Aliverti, “A home telemedicine system for continuous respiratory monitoring,” *IEEE J Biomed Health Inform*, vol. 25, no. 4, pp. 1247–1256, Apr. 2021, doi: 10.1109/JBHI.2020.3012621.
- [45] “admin-gestora-de-la-revista-cnib-id12”.
- [46] “SMART MATTRESS”.
- [47] “Efectos colaterales positivos de la pandemia (I),” *Revista Uruguaya de cardiología*, vol. 35, no. 2, Jul. 2020, doi: 10.29277/cardio.35.2.6.
- [48] “Lindsay Ariadna Concha-Mora (@lindsayconcha), Kathia Gutiérrez-Juárez (@katgtz), Sofía Aideé Rojas-Prettel (@sofprettel).”
- [49] N. E. Linarez-Ochoa, K. P. Cerrato-Varela, R. M. Durón, and E. F. Herrera-Paz, “Linarez-Ochoa et al / Rev Fed Arg Cardiol,” 2020. [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0001-9437-6620a>.
- [50] O. O. Alcázar-Aguilar, J. E. Castro-Yanahida, M. C. Rodríguez-Vargas, S. L. Gil-Cueva, and E. L. Cebrian-Centeno, “Recomendaciones dirigidas a los familiares responsables del cuidado domiciliario de un paciente diagnosticado con Covid-19,” *Revista Peruana de Investigación en Salud*, vol. 5, no. 1, pp. 40–49, Jan. 2021, doi: 10.35839/repis.5.1.790.

