



Since January 2020 Elsevier has created a COVID-19 resource centre with free information in English and Mandarin on the novel coronavirus COVID-19. The COVID-19 resource centre is hosted on Elsevier Connect, the company's public news and information website.

Elsevier hereby grants permission to make all its COVID-19-related research that is available on the COVID-19 resource centre - including this research content - immediately available in PubMed Central and other publicly funded repositories, such as the WHO COVID database with rights for unrestricted research re-use and analyses in any form or by any means with acknowledgement of the original source. These permissions are granted for free by Elsevier for as long as the COVID-19 resource centre remains active.



Vacunas

www.elsevier.es/vac



Estrategias vacunales

Vacunaciones masivas contra el COVID-19 mediante el uso de las tecnologías para la gestión de programación de citas y de datos de grandes volúmenes de vacunados



Alicia K. Rodas-Martinez y Josue R. Altamirano-Yupanqui*

Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 16 de noviembre de 2021

Aceptado el 4 de julio de 2022

On-line el 19 de julio de 2022

Palabras clave:

COVID-19

Vacunación

Código QR

Cloud Computing

R E S U M E N

Las vacunaciones masivas son un desafío al que se enfrentan las autoridades sanitarias, debido al alto volumen de ciudadanos que deben de ser vacunados en un corto tiempo. Los procesos manuales en los centros de vacunación para el registro y control de las vacunas donde se emplea el papel como elemento repositario de los datos, generan retrasos en la entrega oportuna de la información procesada y el proceso de vacunación se vuelve ineficiente. El prototipo propuesto como estrategia de vacunación masiva contra el COVID-19 para la generación de citas, registro y control del ingreso a los centros de vacunación utiliza las tecnologías móviles, código QR y Cloud Computing, para la automatización de estos procesos basados en datos. Los procesos apoyados en la tecnología ayudan al ciudadano por la flexibilidad de elegir el centro de vacunación más conveniente a su realidad y permiten a las autoridades sanitarias disponer de herramientas basadas en datos para la gestión, el control y la toma de decisiones en tiempo real.

© 2022 Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Mass vaccinations against COVID-19 through the use of technologies for the management of appointment scheduling and data of large volumes of vaccinated

A B S T R A C T

Mass vaccination against COVID-19 using technologies to manage appointment scheduling and data in large volumes of vaccinated people Abstract Mass vaccination poses a challenge for health authorities due to the high volume of people who need to be vaccinated in a short period of time. Manual processes in vaccination centres to record and control vaccinations where the data is entered on paper result in delays in the timely input of information rendering the vaccination process inefficient. The proposed prototype, as a strategy for mass COVID-19 vaccination, to generate appointments, record, and control entry to

Keywords:

Covid-19

Vaccination

QR code

Cloud Computing

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: alicia_rodas@hotmail.com (A.K. Rodas-Martinez), ruben.altamirano@hotmail.com (J.R. Altamirano-Yupanqui).
<https://doi.org/10.1016/j.vacun.2022.07.003>

1576-9887/© 2022 Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

vaccination centres, uses mobile technology, QR codes, and cloud computing to automate these data-driven processes. Technology-based processes help people by giving them the flexibility to choose the most convenient vaccination centre and provide health authorities with data-driven tools for management, control, and real-time decision-making.

© 2022 Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Es sabido que las vacunaciones masivas contra el COVID-19, por el gran número de ciudadanos a vacunarse, son complejas¹ y desafiantes^{2,3}, requieren una eficiente administración interdisciplinaria entre los diferentes actores, como la cadena de suministro, la logística para el transporte y la conservación de las vacunas^{4,5}, la administración de los centros de vacunación, la distribución de las dosis, los horarios y la asignación del personal encargado de la seguridad perimetral, la verificación, el control y la vacunación, entre otros. Un estudio de servicios de salud en la Ciudad del Vaticano⁶ concluye que la ejecución exitosa de una campaña de vacunación masiva entre los residentes, los trabajadores, los jubilados y sus familias es de suma importancia para el control de la propagación de la infección, sin embargo, no existe un único enfoque de vacunación^{7,8} y el retraso en las nuevas estrategias de vacunación entre los países no es nuevo, por ejemplo, países como Israel, Reino Unido y Estados Unidos avanzaron a gran ritmo en los programas de vacunación contra el COVID-19 en contraste con otros países del hemisferio sur que apenas comenzaban⁹. El apoyo de la tecnología juega un rol importante en las soluciones de muchos campos del conocimiento, y las vacunaciones masivas contra el COVID-19 no son una excepción¹⁰.

Se prevén nuevas variantes del virus a pesar de que se han empezado vacunaciones masivas contra el COVID-19, por lo que una de las estrategias para la vacunación sería el incremento del número de dosis¹¹. Este incremento de dosis conlleva a que se mantengan los esquemas de vacunaciones masivas. Sin embargo, cuando las actividades de registro y control de ingreso a los centros de vacunación son realizadas a través de procesos manuales tienen un impacto negativo en el proceso de vacunación debido a que por la complejidad del proceso¹² o la presión asistencial, se aumentan las probabilidades de error humano y se generan equivocaciones, riesgos y altos costos asociados por tareas rutinarias¹³, o son demasiados lentos¹⁴.

La automatización utilizando la tecnología como ventaja para ahorrar el trabajo humano y darle un uso más productivo, suele reducir errores, actividades repetitivas, tiempos de procesamiento, entre otros^{13,15}. Automatizar los procesos y digitalizar los datos para la gestión y el control en tiempo real para la optimización de los recursos involucrados permite esbozar esquemas predictivos. La integración, la homogeneización y la sincronización de las soluciones digitales a través de un marco y unas políticas¹⁶, permite monitorear el impacto del proceso de vacunación para acelerar el despliegue y optimizar la estrategia de la cadena de suministro a través de la gestión y el análisis de datos⁹ en

una única base de datos centralizada para que los diferentes procesos actualicen o consulten, y sobre todo compartan los mismos datos. Eliminando los silos de información que generan ineficiencia en las organizaciones por la dificultad de compartir los datos con todos los que los necesitan¹⁴, que en nuestro caso particular sería eliminar los silos de información de un programa de vacunación masiva, tal como se muestra en la figura 1. Por ejemplo, en el caso chileno, para la vacunación contra el COVID-19¹⁷ disponían de la infraestructura, el personal de salud, entre otros elementos, pero resaltaron que el éxito se debió a su registro electrónico de vacunas que fue clave para el despliegue, la monitorización y el seguimiento, permitiéndoles sustentar la estrategia, aumentar la eficiencia, minimizar los errores por la existencia de diferentes centros de vacunación, diferentes pautas vacunales para diferentes grupos de vacunas que requirieron 2 dosis y la presencia de varias vacunas diferentes al mismo tiempo en el mismo lugar. Es decir, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) se convierten en herramientas de apoyo estratégicas para el personal de salud: el médico y las enfermeras, entre otras especialidades que facilitarían el ejercicio de sus actividades según el rol que desempeñen. Por ejemplo, La Universidad de Miami, EE. UU., utilizó las TIC para la automatización de los procesos clave de vacunación contra el COVID-19 logrando administrar 19.000 vacunas en los primeros 37 días, lo que representó el 100% de la asignación de vacunas sin desperdiciar una sola dosis¹⁸. Otra experiencia exitosa del uso de TIC es la de Inova Health System, EE. UU., que vacunó a más de 12.000 personas en 3 semanas desde que se aprobó la primera vacuna contra el COVID-19, señalando que en los siguientes pasos en sus programas de vacunación es necesario el aprovechamiento de las tecnologías para optimizar el flujo de los pacientes¹⁹.

En una pandemia, el tiempo juega un papel fundamental para anticipar la propagación. Se requerirán enfoques ágiles en I+D que se adapten con la rapidez con que evolucionan las epidemias y contra nuevas amenazas de enfermedades infecciosas, aprovechando el potencial de los datos sobre inmunización, que orienten las intervenciones de los programas²⁰. En ese sentido, la generación y la disponibilidad de los datos en tiempo real en el proceso de vacunación masiva incrementarán la eficiencia del control, el seguimiento y la monitorización, todo en tiempo real. Los beneficios de disponer de datos digitales resultan en explotarlos a través de diferentes técnicas de *Big Data*, *Machine Learning*, *Deep Learning*, entre otras. Sin embargo, disponer de datos digitales asíncronos, es decir con retrasos de horas, días, semanas o meses, tiene grandes desventajas. Sofisticados modelos predictivos de inteligencia artificial podrían ser

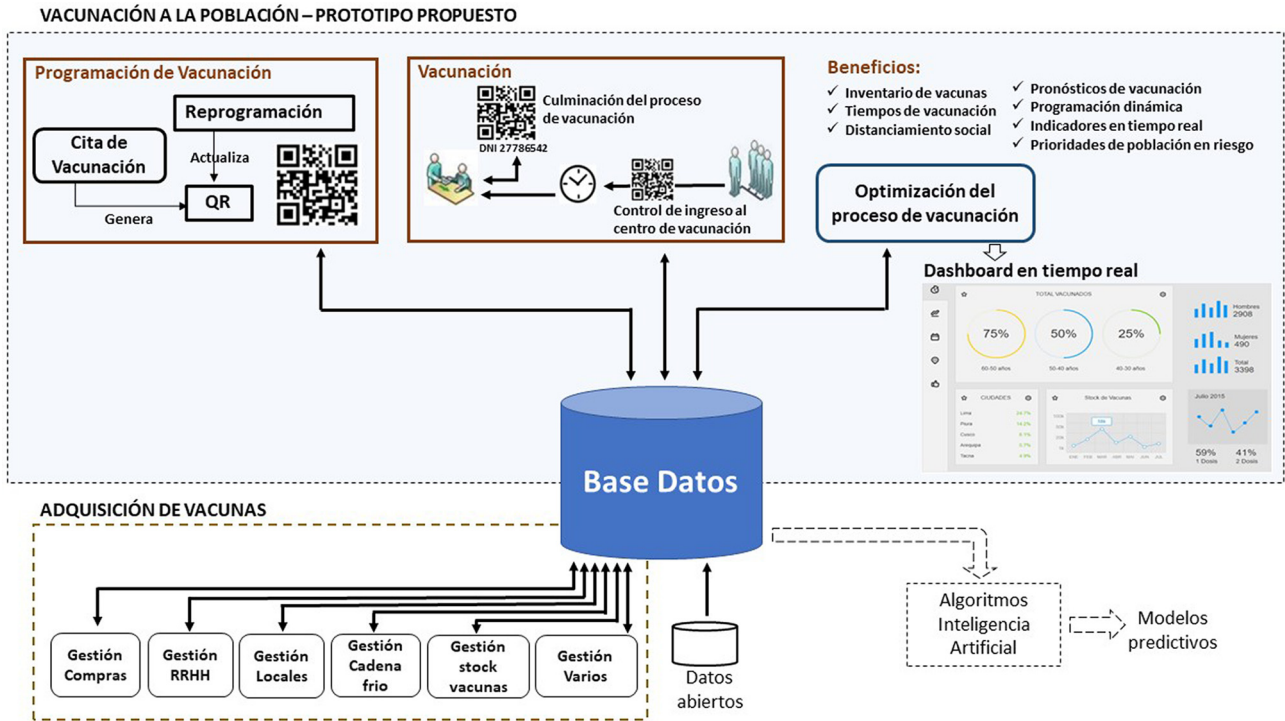


Figura 1 – Prototipo para vacunación a la población, arquitectura de la propuesta.

inútiles por no disponer de los datos en tiempo real. La toma de decisiones sobre políticas públicas o de sanidad deben darse en el menor tiempo posible para frenar o anticipar la propagación del COVID-19 por tanto, acceder a datos en tiempo real es una necesidad.

En la presente investigación proponemos un prototipo para los centros de vacunación para la generación de citas, el registro y el control de ingreso basados en una plataforma digital móvil que permita la descentralización, el balanceo de los centros de vacunación y la disponibilidad en tiempo real del registro de vacunados. La descentralización brindará flexibilidad al ciudadano en la selección del centro de vacunación cercano a él, que no necesariamente será el más próximo a su domicilio. El prototipo tiene como objetivo 3 propósitos: el primero, que el ciudadano disponga de una herramienta que le permita flexibilidad en los procesos de registro y control de vacunación; el segundo, que el personal ejecutivo responsable de la salud pública disponga de un *dashboard* para la toma de decisiones basado en los datos sobre las políticas públicas o sanitarias; y tercero, que se disponga de una única base de datos centralizada y actualizada en tiempo real para su uso en diferentes modelos detectores o predictivos que los investigadores pudieran proponer y combinar con otras bases de datos o fuentes de información.

El problema de los centros de vacunación en su contexto

El despliegue efectivo de las vacunas y la vacunación dependerá de la gestión de las actividades y los procesos

planificados a nivel nacional, regional, distrital y local, esta planificación es compleja pues debe contemplar desde la gestión presupuestal, la gestión de vacunas, la demanda por la aceptación y la adopción de la vacuna, la vigilancia de la seguridad de la vacuna, y el seguimiento y control^{21,22}. Asimismo, los centros de vacunación deben establecerse con base en un público objetivo y al área geográfica, lo que determina la distribución equitativa. Esto estimaría las proyecciones del aforo del público que pueden soportar, del personal que necesita ser involucrado, del número de vacunas que deben ser asignadas, entre otros aspectos. Es decir, los centros de vacunación deben tener estimaciones de la máxima demanda que atenderán según la proporción de la población por área geográfica con el fin de conseguir la distribución equitativa en todo el país. Bajo dicho contexto, el éxito de los centros de vacunación contra el COVID-19, se fundamenta²³ en la planificación segura y eficaz de la demanda y la capacidad. El equilibrio entre las personas a vacunarse y la capacidad de los centros de vacunación evitarán la formación de grandes colas originadas por sobredemandas o desperdiciar la capacidad instalada originadas por una subdemanda.

Las vacunaciones masivas contra el COVID-19, en el contexto peruano evidencia una serie de situaciones que ocurren antes, durante y después del proceso de vacunación. Estos afectan directamente la eficiencia en la distribución, en la utilización de los recursos humanos, en la gestión, en los datos generados y en el control de las vacunas. En la *tabla 1* se describe la problemática de las vacunaciones masivas.

Actualmente los centros de vacunación tienen 3 frentes que mejorar: primero, optimizar el recurso humano para las tareas de control, registro y digitalización de los datos registrados en papel²⁴; segundo, minimizar las probabilidades

Tabla 1 – Los problemas de las vacunaciones masivas en el contexto peruano.

Antes	Durante	Después
<ul style="list-style-type: none"> ● Para cada ciudadano, la distribución de los centros de vacunación, fecha y horario es rígida y estática. Estas son impuestas por el sector salud^{17,48} 	<ul style="list-style-type: none"> ● El ciudadano se apersona a cualquier centro de vacunación. No cumple con dirigirse al centro de vacunación, fecha y horario asignado, provocando un desbalance en la capacidad de los centros de vacunación. Un centro de vacunación puede estar saturado, mientras que otro no⁴⁹ ● El control y registro en los centros de vacunación se realiza de forma manual y en papel físico (incluyendo el consentimiento informado de vacunación). El contacto físico a través de papeles y/o lapiceros, entre el personal de control que valida las citas y el ciudadano, es inevitable²⁵. ● No existe un control centralizado en tiempo real entre los centros de vacunación. Podría darse el caso que un ciudadano sea vacunado en más de 2 centros de vacunación^{27,49} 	<ul style="list-style-type: none"> ● Retrasos en la disponibilidad de la información del registro de vacunados. Está supeditado al tiempo empleado en la digitalización de los datos registrados en papel a las bases de datos electrónicas de vacunados²⁷ ● No se garantiza la integridad y autenticidad de los certificados de vacunación en papel que son entregados a las personas vacunadas. Las probabilidades de falsificación y/o alteración de la información contenida en ella es proporcional al tiempo que demora en digitalizar la información^{50,51} ● No se aprovechan los datos que se generan en el proceso de vacunación para temas de análisis, predicciones o combinaciones con otras bases de datos

de contagio de los ciudadanos de a pie que acuden a los centros de vacunación, que se originan por los controles y registros manuales²⁵, por las aglomeraciones ocasionadas por las grandes colas^{23,26} o por el uso del transporte público (las altas probabilidades de contagio representarían un retroceso en la lucha contra el COVID-19) y tercero, las cifras oficiales sobre el proceso de vacunación no están disponibles en tiempo real²⁷, pudiendo tomar días en su publicación. El ciudadano carece de información oportuna que le permita seleccionar el centro de vacunación en tiempo real con menor afluencia de público y cercano a su domicilio.

Prototipo propuesto

Un plan de vacunación masivo que realiza un país puede ser explicado como 2 grandes actividades no necesariamente secuenciales: primero, la adquisición de las vacunas y segundo, la vacunación a la población realizada en los centros de vacunación. En consecuencia, los sistemas de logística, distribución y almacenamiento a diferentes niveles dentro del país deben organizarse sistemáticamente y prepararse al mismo tiempo³, a través de diferentes profesionales que desempeñan un rol o tarea específica. En el caso de los centros de vacunación, es fundamental la planificación segura y eficaz de la demanda y la capacidad²³, es decir, la demanda del centro de vacunación debe atender a los ciudadanos planificados para evitar aglomeraciones y la capacidad del centro de vacunación debe asegurar que tanto la infraestructura del local como el personal de salud sea suficiente para atender la demanda planificada. Dentro del personal de salud que participa en los centros de vacunación, las (os) enfermeras (os) tienen un papel fundamental debido a

su rol característico de cuidado en la cadena de frío, manipulación, administración, educación y vigilancia de eventos y reacciones^{24,29,30}, y entre otras funciones, el registro del proceso de vacunación. Según Eggertson³¹ es preocupación de los médicos la carencia de un registro nacional de vacunación debido a que ni los profesionales sanitarios ni los pacientes pueden hacer un seguimiento de las personas cuando se trasladan de una jurisdicción a otra, lo ideal sería que tanto los médicos como los pacientes pudieran acceder a los registros a través de una base de datos electrónica de principio a fin, que les permita determinar qué vacunas se han perdido, cuáles requieren refuerzos y qué nuevas vacunas están disponibles. La integración de las TIC con los procesos de las vacunaciones masivas es necesaria y obligatoria. Asimismo, Uwabor et al.³² resaltan el valor del acceso digital a los registros de inmunización para los médicos y la importancia de la centralización y la transferibilidad de los datos en los repositorios digitales para apoyar la educación de los pacientes y la planificación y evaluación de los programas de salud pública.

Bajo el contexto señalado, el prototipo propuesto como estrategia de vacunación masiva contra el COVID-19 para la generación de citas, el registro y el control de ingreso en los centros de vacunación toma experiencias de investigaciones^{17,23,33}, recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS)³⁰ y de EsSalud²⁴. En ese sentido, el prototipo propuesto integra 3 tecnologías: la telefonía móvil, el código QR y el Cloud Computing, para lograr los objetivos del presente estudio y asegurar que las dosis de vacuna se distribuyan rápidamente a las poblaciones prioritarias junto con un enfoque renovado para la lucha contra el COVID-19³⁴.

Los sistemas móviles cada vez están más integrados en la cadena de producción y el Cloud Computing o comúnmente llamada nube, desempeña un papel cada vez más importante en el futuro inmediato por la gestión de los procesos

generales^{35,36}. La telefonía móvil a través de equipos terminales como smartphones, tablets o laptops resulta ser una tecnología de uso cotidiano en los ciudadanos, el 89,3% de la población peruana mayor de 6 años los utiliza³⁷, esta servirá como terminal de interfaz con el usuario. Otras tecnologías como el código QR y Cloud Computing tienen ventajas cuando se les une a la tecnología móvil, debido a que el uso de teléfonos inteligentes creció de un 10% en 2014 a un 36% en 2018, el Internet móvil de alta velocidad pasó de tener una penetración del 48% en 2014 a un 61% en 2018, y hoy muchos de los smartphones traen de fábrica un lector de códigos QR, por lo que hay más personas con la capacidad de escanear un código en la calle³⁸. El código QR no es otra cosa que una matriz de puntos gráfica que almacena información y su fortaleza radica que a través de la cámara del teléfono móvil se obtiene información sin tener contacto físico. Por otro lado, la tecnología Cloud ofrece servicios a través de Internet como el almacenar, acceder a datos y su fortaleza radica en tener los datos almacenados disponibles y en tiempo real desde cualquier dispositivo conectado a Internet.

Se había comentado que en los centros de vacunación empleaban procesos manuales con el registro de los datos en papel y luego eran ingresados a una base de datos digital. En dicho contexto, el prototipo considera estos datos para la transición de pasar al proceso automatizado de vacunación. Los datos estarán disponibles en tiempo real a través del prototipo que proponemos mediante una base de datos alojada en Internet, Cloud Computing, que hemos denominado «Registro Vacunación online QR». Dicha base de datos contendrá la información histórica de los *dataset* del actual proceso manual: «establecimiento de salud», «vacunas», «centros de vacunación», «programación de vacunas»³⁹, y los datos futuros generados por el nuevo proceso automatizado de vacunación que corresponde a nuestro prototipo de solución.

Componentes del prototipo

En la [figura 1](#) se muestra el prototipo propuesto dentro de un complejo sistema de vacunación masiva. Se aprecia en el prototipo que el nivel de interacción entre el usuario, el software instalado en el terminal móvil y la base de datos se produce en tiempo real. La interacción del ciudadano, el personal de control y el personal de salud, con el software instalado en los dispositivos móviles, según el rol que desempeñen permitirán la escritura, la lectura o la actualización en tiempo real en la base de datos alojado en la nube, Cloud Computing. La fortaleza del prototipo radica en disponer de la base de datos digital y centralizada que constantemente se actualiza en tiempo real por los procesos del registro de vacunados en los centros de vacunación, así como por otros procesos que no forman parte del prototipo como la adquisición de las vacunas, la distribución y el dimensionamiento máximo del centro de vacunación según la capacidad del local para el aforo de público, los equipos médicos, el stock de vacunas, las cadenas en frío, el personal involucrado, el personal no médico necesario para el proceso de la vacunación, entre otros. En la [tabla 2](#) se describen los módulos que componen el prototipo desde la perspectiva del tiempo, es decir, el papel que desempeñan desde antes, durante y después del proceso de vacunación.

Módulo de la Programación de la Vacunación: tiene como objetivo que el ciudadano disponga de una herramienta en su terminal móvil que le permita flexibilidad en los procesos de registro, la selección del centro de vacunación y el acceso a su certificado de vacunación. Todo en tiempo real. En la [figura 2](#) se describe gráficamente, el ingreso al sistema, la generación del código QR que se crea como resultado de que el ciudadano ha elegido el local de la vacunación teniendo información en tiempo real sobre la cantidad de vacunas disponibles por

Tabla 2 – Prototipo para vacunaciones masivas, módulos de la arquitectura según el contexto peruano.

Antes	Durante	Después
<p><i>Módulo de la Programación de la vacunación</i> La aplicación que instalará el ciudadano en su teléfono móvil, tendrá por funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Selección del centro de vacunación según necesidades particulares de cada ciudadano - Reprogramación de citas - Generación del código QR - Brindar información en tiempo real de cantidad de vacunas por centros de vacunación, entre otras personalizadas a través del código de programación del servidor de aplicaciones 	<p><i>Módulo de la Vacunación</i> La aplicación que instalará el personal de salud de los centros de vacunación en sus dispositivos móviles que desempeñan el rol de seguridad, control de los ciudadanos y registro de la vacuna aplicada, interactuará con el código QR que generó el ciudadano, tendrá por funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Control de ingreso verificado al centro de vacunación, consentimiento informado, selección y el registro en la base de datos centralizada - Registro de la vacuna administrada, registrará en la base de datos centralizada el lote de la vacuna, tipo de vacuna aplicada, número de dosis. La dirección del centro de vacunación, la fecha y hora se adicionarán en forma automática 	<p><i>Módulo de la Optimización del proceso de vacunación</i> Aplicación que instalará el personal ejecutivo de salud en sus dispositivos móviles, como responsable del programa de vacunación, tendrá por funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Brindar información en tiempo real del movimiento de las dosis administradas en los centros de vacunación, de los centros de vacunación saturados y los centros de vacunación vacíos

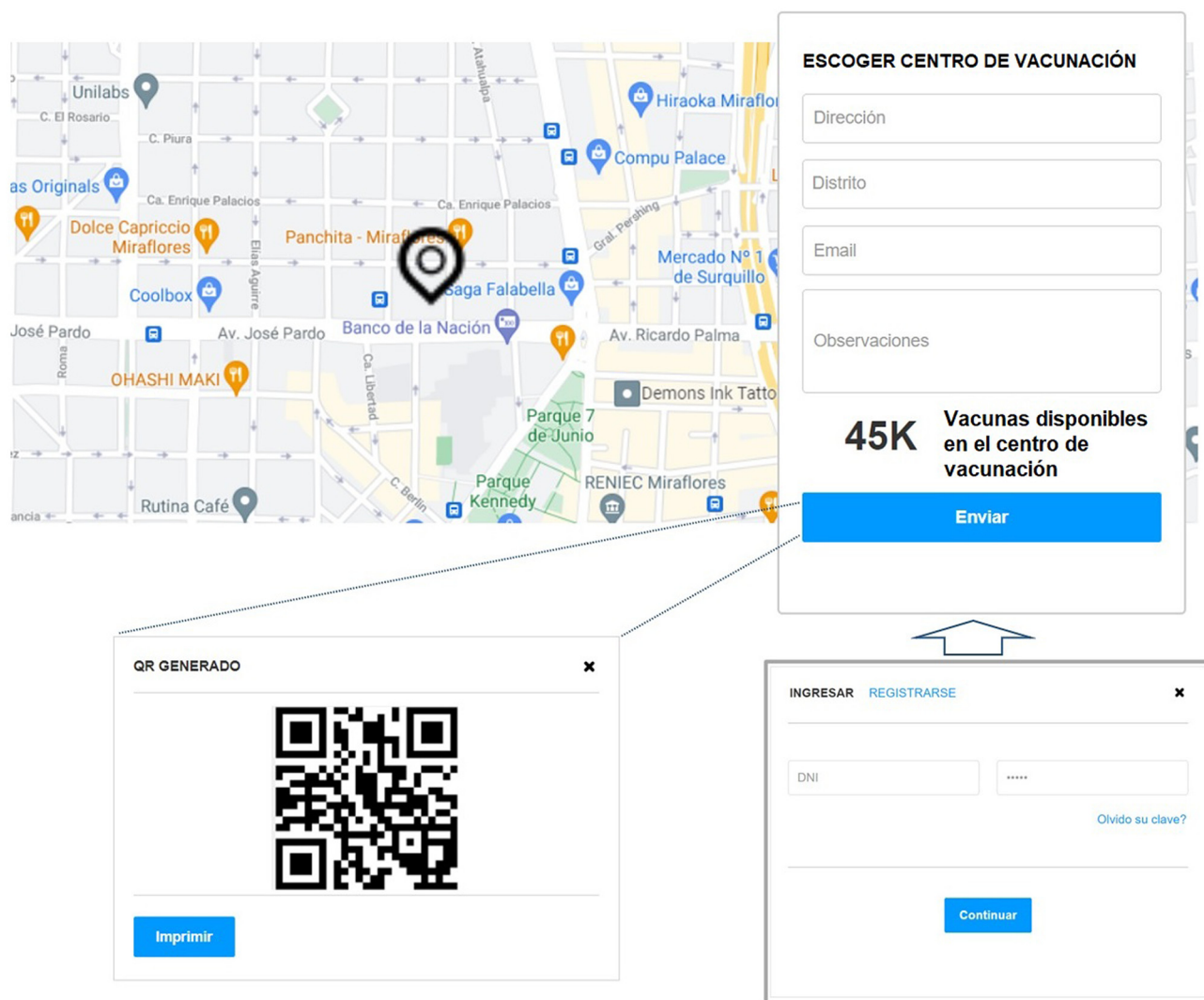


Figura 2 – Selección del centro de vacunación y generación del código QR.

centro de vacunación. Considerando los datos sensibles y de alta seguridad que contendrá la base de datos centralizada, el ingreso al sistema se realizará a través de los protocolos de seguridad como el doble factor de autenticación y las soluciones en la nube que ofrecen dichas empresas como la gestión de accesos e identidades (en inglés: Identity Access Management [IAM]), la encriptación de los datos en tránsito debido a las comunicaciones a través de Internet, y la encriptación de los datos en reposo para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los datos. La base de datos digital y centralizada, además de permitir al ciudadano la flexibilidad en la selección del centro de vacunación, también mostraría información adicional relevante para los gestores a través de la ventana «observaciones», como por ejemplo: la cantidad de enfermeras en el centro de vacunación, el aforo disponible, la velocidad promedio de vacunación, el tiempo de espera entre vacunaciones, el tipo de vacuna, entre otros, debido a que los datos están centralizados y en constante actualización en tiempo real (fig. 1), los cuales son seleccionados y enviados a las interfaces de usuario por

medio de los códigos de programación, en forma transparente para el usuario.

Módulo de Vacunación: tiene como objetivos, primero, que el personal de seguridad y apoyo en los centros de vacunación disponga de una herramienta para el control de ingreso de los ciudadanos a vacunarse; segundo, que el personal de salud disponga de una herramienta para la confirmación que la vacuna fue administrada al ciudadano. Para ambos casos se eliminará el uso del papel y se daría paso a la generación, la actualización y el almacenamiento de la data digital en la nube.

Módulo de Optimización del Proceso de Vacunación: tiene 2 objetivos principales, primero, que el personal ejecutivo responsable disponga de un tablero de control y mando en tiempo real, *dashboard*, para la toma de decisiones basada en datos que les permitan el direccionamiento adecuado de las políticas públicas o sanitarias; segundo, que se disponga de una base de datos actualizada en tiempo real que permitirá su explotación para aplicaciones que los diferentes investigadores pudieran proponer como modelos predictivos o detectores, en combinación con otras bases de datos.

Resultados del prototipo

Como se había comentado, la plataforma móvil permitirá la descentralización, el balanceo de los centros de vacunación y la disponibilidad en tiempo real del registro de vacunados. Información importante y necesaria debido a que según Zachreson et al.⁴⁰ la vacunación no puede proporcionar inmunidad al rebaño sin una cobertura masiva de la población, surgiendo las interrogantes de la cantidad mínima de personas vacunadas para conseguir tal objetivo. En el Perú se logrará alcanzar la inmunidad del rebaño solo cuando sea vacunada entre el 75 y 80% de la población⁴¹. La automatización de los procesos de vacunación masiva permitirá cuantificar en tiempo real el número de personas vacunadas. Sin embargo, un aspecto para tener en cuenta es que la inmunidad del rebaño no dependería únicamente de la cobertura vacunal, sino también si la vacuna tiene la capacidad de producirla, situación que no está dentro del alcance del prototipo propuesto.

Se utilizó el software Axure RP, como la herramienta para diseñar y construir el prototipo funcional y realista. Los resultados del prototipo se encuentran publicados en Internet²⁸.

El prototipo inicia con el proceso de la selección del local de vacunación por parte del ciudadano (fig. 2), el cual genera un código QR. Dicho código QR es utilizado hasta la culminación de la vacunación, permitiendo una experiencia fácil e innovadora al usuario debido a la flexibilidad que representa escanear un código QR con la cámara del teléfono móvil. Esto

evitará la ineficiencia que se presenta en el tradicional método del registro y el control de vacunación a través de papel.

El *dashboard* presenta la información en tiempo real, ya no es necesario esperar horas, días o tal vez semanas para tener oportunamente los datos de un proceso de vacunación masivo. En la figura 3 se presenta el *dashboard* del prototipo donde la información mostrada es en tiempo real. Esta característica de disponer de los datos en tiempo real permite la toma de decisiones y la mejora continua del proceso de vacunación masiva, es decir, la toma de decisiones basada en datos.

Limitaciones del prototipo

La presente propuesta requiere que los ciudadanos y el personal de salud tengan equipos móviles *smartphone* o *tablet* con acceso a Internet con el fin de mantener actualizados los datos en tiempo real. Según INEI⁴², la brecha digital en el Perú en el cuarto trimestre del 2020, el 87,7% de la población que usa Internet lo hace a través de un teléfono móvil. Por área de residencia, el 88,8% de la población usuaria de 6 y más años residente en Lima metropolitana y accede a Internet a través del teléfono móvil, el 87,1% en el Resto urbano y el 86,5% en el Área rural. Sin embargo, la carencia de estos equipos o servicios, que generalmente ocurre en las

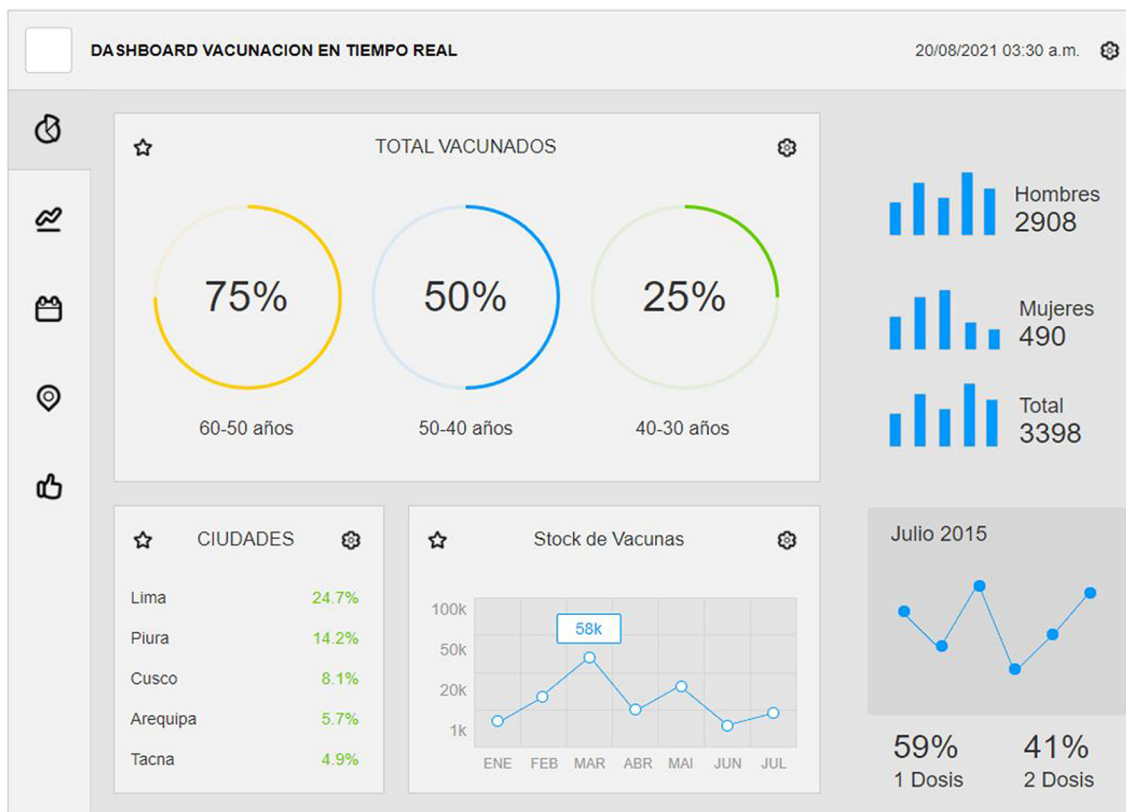


Figura 3 – Dashboard en tiempo real, visualiza el proceso de la vacunación masiva.

zonas rurales donde no existe acceso a los servicios de telefonía móvil terrestres, no debería ser una limitante para utilizar la solución propuesta, dado que podría ser empleado bajo los siguientes considerandos: primero, para el caso del ciudadano, se podrían instalar módulos de registro con acceso a Internet satelital, atendidos por personal de apoyo del gobierno local o regional, tal que a través de estos sean generadas las citas y el respectivo código QR impreso en papel; segundo, para el caso del personal de salud, se podría utilizar acceso a Internet satelital para el control y el registro de la vacunación, y el escaneo de los códigos QR impresos en papel.

Estudios futuros

El prototipo presentado no ha incluido un rasgo común de los sistemas de vacunación, la voluntariedad del ciudadano en que la vacuna no se impone a nadie⁴³. Las dudas sobre la efectividad de las vacunas son un reto importante que supondrá una carga adicional para el programa de inmunización⁴⁴, debido a que es necesario neutralizar las noticias falsas que circulan en las redes sociales contra las vacunas, que crean en la población el efecto de rechazo y desconfianza. Por consiguiente, los esfuerzos por disponer de centros de vacunación adecuadamente dimensionados en demanda, capacidad e información en tiempo real se verán desaprovechados por la inasistencia del ciudadano. Esta situación se deja al lector como estudios futuros para afrontar la percepción de riesgos, hesitación y crisis de comunicación que deberían ser considerados en todos los programas de vacunaciones masivas.

Se ha señalado que la fortaleza del prototipo radica en la base de datos centralizado específicamente para el programa de vacunación (fig. 1), sin embargo, no podemos dejar de lado que existen otras fuentes de datos sanitarios las cuales no están integradas ante la carencia de marcos y herramientas sistemáticas, por lo que su integración para promover la interoperabilidad es un reto⁴⁵, provocando los silos de información que se ha comentado. Este escenario plantea la necesidad de nuevos estudios futuros para diseños de arquitecturas tecnológicas para la creación de una historia clínica del paciente, mediante la integración de diferentes fuentes de datos sanitarios, tal que desde cualquier ámbito sanitario con legalidad puedan acceder a los datos para consultas. Esto tendría una utilidad tanto para los programas de vacunación como para los profesionales de la salud, los pacientes y sus familias, para que entiendan cómo y por qué se tomó o sugirió una decisión o recomendación médica crítica⁴⁶.

Conclusiones

Se sabe que los procesos manuales resultan ineficientes, están propensos a errores y generan gastos innecesarios, no solo por la ocupación y el desgaste de los recursos humanos sino también por los recursos logísticos que se emplean. Afrontar la actual coyuntura de la pandemia del COVID-19,

específicamente en los procesos de vacunación que se realizan en los centros de vacunación, requiere se doten de agilidad en los procesos de citas y de registro, el control de ingreso y la disponibilidad en tiempo real de la información del proceso de vacunación.

La propuesta del presente proyecto tiene como pilar conseguir esta eficiencia empleando la tecnología de la telefonía móvil de uso cotidiano en la población con tecnología Cloud Computing y el código QR. Los resultados en el prototipo muestran resultados prometedores que permitirán eficiencia, control del proceso de vacunación de los centros de vacunación y la monitorización en tiempo real debido a la fortaleza de disponer de una base de datos digital y centralizada, no solo porque es actualizada en tiempo real en el proceso de los centros de vacunación, sino también porque permitirá ser el complemento de datos para otros procesos diferentes a los centros de vacunación y que podrán ser utilizadas por diferentes aplicaciones para mostrar otro tipo de información con esos datos o explotarlos a través de técnicas de inteligencia artificial para generar modelos predictivos.

Sin embargo, existen otras variables como la disposición del ciudadano de estar decidido a ser vacunado o la ética en el tratamiento de sus datos que garanticen su confidencialidad y que no han sido considerados, al menos en esta primera versión del prototipo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Financiación

La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

BIBLIOGRAFÍA

1. Da Fonseca EM, Shadlen KC, Bastos FI. The politics of COVID-19 vaccination in middle-income countries: lessons from Brazil. *Soc Sci Med.* 2021;281, 114093. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.114093>.
2. Chand AA. COVID-19 and vaccination rollout in Fiji: challenges caused by digital platform. *Int J Surg.* 2021;91, 106001. <https://doi.org/10.1016/j.ijisu.2021.106001>.
3. Sah R, Khatriwada AP, Shrestha S, Bhuvan KC, Tiwari R, Mohapatra RK, et al. COVID-19 vaccination campaign in Nepal, emerging UK variant and futuristic vaccination strategies to combat the ongoing pandemic. *Travel Med Infect Dis.* 2021;41 (102037):1-4. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2021.102037>.
4. Casas I, Mena G. The COVID-19 vaccination. *Med Clin (Barc).* 2021;156(10):500-2. <https://doi.org/10.1016/j.medcle.2021.03.006>.
5. Alam ST, Ahmed S, Ali SM, Sarker S, Kabir G, Ul-Islam A. Challenges to COVID-19 vaccine supply chain: implications for sustainable development goals. *Int J Prod Econ.* 2021;239, 108193. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108193>.

6. Ralli M, De-Giorgio F, Soave PM, Ercoli L, Arcangeli A. Mass vaccination campaign for residents and workers and assistance to vulnerable populations during COVID-19 pandemic: the experience of the healthcare services of the Vatican City. *Lancet Reg Heal - Eur.* 2021;2(100053):1-2. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2021.100053>.
7. Sheikh S, Biundo E, Courcier S, Damm O, Launay O, Maes E, et al. A report on the status of vaccination in Europe. *Vaccine.* 2018;36:4979-4992. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.06.044> 0264-410X/Ó.
8. Al-Tammemi AB, Tarhini Z. Beyond equity: advocating theory-based health promotion in parallel with COVID-19 mass vaccination campaigns. *Public Heal Pract.* 2021;2, 100142. <https://doi.org/10.1016/j.puhip.2021.100142>.
9. Mesa-Vieira C, Botero-Rodríguez F, Padilla-Muñoz A, Franco OH, Gómez-Restrepo C. The Dark Side of the Moon: global challenges in the distribution of vaccines and implementation of vaccination plans against COVID-19. *Maturitas.* 2021;149:37-9. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2021.05.003>.
10. Mohamed Suliman D, Nawaz FA, Mohanan P, Modber MAK, Musa MK, Musa MB, et al. UAE efforts in promoting COVID-19 vaccination and building vaccine confidence. *Vaccine.* 2021;5:6341-5. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2021.09.015>.
11. Pérez-Abeledo M, Sanz Moreno JC. Variantes de SARS-CoV-2, una historia todavía inacabada. *Vacunas.* 2021;22(3):173-9. <https://doi.org/10.1016/j.vacun.2021.06.003>.
12. Torres-Medina Y. El análisis del error humano en la manufactura: un elemento clave para mejorar la calidad de la producción. *Rev UIS Ing.* 2020;19(4):53-62. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020005>.
13. Redhat. The Automated Enterprise. 2020 consultado 18 feb 2022. Disponible en: <https://www.redhat.com/cms/managed-files/ma-automated-enterprise-e-book-f21603-202002-en.pdf>.
14. DELL. The Data Paradox - Research Findings. 2020 consultado 18 feb 2022. Disponible en: <https://www.dell.com/en-us/dt/perspectives/data-paradox.htm>.
15. IBM. Guía Práctica y Rápida Para La Automatización Empresarial Digital. 2019 consultado 18 feb 2022. Disponible en: <https://www.ibm.com/downloads/cas/EMJPDJWM>.
16. Mbunge E, Dzinamarira T, Fashoto SG, Batani J. Emerging technologies and COVID-19 digital vaccination certificates and passports. *Public Heal Pract.* 2021;2(100136):1-2. <https://doi.org/10.1016/j.puhip.2021.100136>.
17. Castillo C, Villalobos Dintrans P, Maddaleno M. The successful COVID-19 vaccine rollout in Chile: factors and challenges. *Vaccine X.* 2021;9, 100114. <https://doi.org/10.1016/j.jvacx.2021.100114>.
18. Suarez M, Botwinick A, Akkiraju R, Pebanco G, Franceschi D, Ruiz J, et al. Automation of Mass Vaccination against COVID-19 at an Academic Health Center. *JAMIA Open.* 2021;4:1-6. <https://doi.org/10.1093/jamiaopen/ooab102>.
19. Venkatesan C, Vassallo M, Massiah-White M, Brittain A, Puhl J, Ardabell T, et al. Rapid operationalization of a large-scale COVID-19 vaccination program in an integrated community health system. *NEJ. Catal Innov Care Deliv.* 2021;1-10 <https://doi.org/10.1056/CAT.21.0005>.
20. OMS. *Informe de Evaluación de 2018 acerca del Plan de Acción Mundial sobre vacunas.* 2018 [consultado 18 feb 2022]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/277486>.
21. OPS. Guía para elaborar un plan nacional de despliegue y vacunación para las vacunas contra la COVID-19. *Organ Panam la Salud.* 2021 consultado 18 feb 2022. Disponible en: <https://www.paho.org/es/documentos/guia-para-desarrollo-plan-nacional-despliegue-vacunacion-para-vacunas-contra-covid-19>.
22. OMS, UNICEF. Monitoreo de la vacunación contra COVID-19. Recomendaciones sobre recopilación y uso de datos de vacunación. Organización Mundial de la Salud. 2021 consultado 18 feb 2022. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/340450/WHO-2019-nCoV-vaccination-monitoring-2021.1-spa.pdf>.
23. Wood RM, Murch BJ, Moss SJ, Tyler JMB, Thompson AL, Vasilakis C. Operational research for the safe and effective design of COVID-19 mass vaccination centres. *Vaccine.* 2021;39 (27):3537-40. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2021.05.024>.
24. EsSalud. *Manual de Vacunación Segura Contra COVID-19 En El Seguro Social de Salud - EsSalud V.5.* Vol RGC N° 33. 2021 [consultada 18 feb 2022]. Disponible en: http://www.essalud.gob.pe/downloads/Manual_Vacunac_Segura_contra_COVID_19.pdf.
25. Minsa. Formato de consentimiento informado para la vacunación contra la COVID-19 - Gobierno del Perú. Ministerio de Salud del Perú; 2021 [consultado 19 feb 2022]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/informes-publicaciones/1860894-consentimiento-informado>.
26. Gestión. COVID-19 Largas colas, aglomeración y malestar de personas en reinicio de vacunación en el Campo de Marte. Diario Gestión: Empresa Editora El Comercio S.A.; 2021. consultado 19 feb 2022. Disponible en: <https://gestion.pe/peru/covid-19-largas-colas-aglomeracion-y-malestar-de-personas-en-reinicio-de-vacunacion-en-el-campo-de-marte-fotos-cercado-de-lima-nndc-noticia/?ref=gesr>.
27. Minsa. Minsa: cómo obtener el certificado virtual de vacunación contra la COVID-19 - Gobierno del Perú. Ministerio de Salud del Perú; 2022. consultado 19 feb 2022. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/557809-minsa-como-obtener-el-certificado-virtual-de-vacunacion-contra-la-covid-19>.
28. Prototipo de vacunación, 2022 [Consultado 18 feb 2022]. Disponible en: https://lef40b.axshare.com/#id=y6b6vz&p=login__registro&g=1; A. 2022.
29. Arévalo-Ipanaque J. Rol de enfermería durante la vacunación contra la COVID-19. *Rev Peru Ciencias la Salud.* 2021;3(2):79-81. <https://doi.org/10.37711/rpcs.2021.3.2.300>.
30. OMS, Unicef. *Vacunación Frente a La COVID 19: Guía de Suministro y Logística.* 2021 [consultado 18 feb 2022]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/340088/WHO-2019-nCoV-vaccine-deployment-logistics-2021.1-spa.pdf>.
31. Eggertson L. Experts call for national immunization registry, coordinated schedules. *CMAJ.* 2011;183(3):E143-4. <https://doi.org/10.1503/cmaj.109-3778>.
32. Uwabor E, Chau V, Romanin C, Loh LC. Digital tools for vaccine reporting: a perspective from the province of Ontario. *Vaccine.* 2021;39:3311-2. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2021.05.007>.
33. Muhsen K, Cohen D. COVID-19 vaccination in Israel. *Clinical Microbiology and Infection.* 2021;27:1570-4. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2021.07.041>.
34. Abecassis A. Five priorities for universal COVID-19 vaccination. *Lancet.* 2021;398(10297):285-6. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01371-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01371-4) Tafadzwa.
35. SICK. *La Inteligencia de sensores como base de la industria 4.0.* 2019 [consultado 20 feb 2022]. Disponible en: https://cdn.sick.com/media/docs/6/86/786/Special_information_INDUSTRY_4.0_DRIVING_YOUR_INDUSTRY_FORWARD_en_IM0071786.PDF.
36. IBM. Cómo las tecnologías de la Industria 4.0 están cambiando la manufactura. IBM. [consultado 18 feb 2022]. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/topics/industry-4-0>.
37. INEI. [Consultado 20 feb 2022]. Nota de Prensa. 2021;98.
38. Kaspersky. Qué es y cómo se escanea un código QR. Kaspersky Lab; 2022. consultado 20 feb 2022. Disponible en: <https://latam.kaspersky.com/resource-center/definitions/what-is-a-qr-code-how-to-scan>.
39. PCM. Plataforma Nacional de Datos Abiertos. Presidencia del Consejo de Ministros - Gobierno del Perú; 2021. consultado 3 nov 2021. Disponible en: <https://www.datosabiertos.gob.pe/>.
40. Zachreson C, Chang SL, Cliff OM, Prokopenko M. How will mass-vaccination change COVID-19 lockdown requirements

- in Australia? *Lancet Reg Heal - West Pacific*. 2021;14, 100224. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2021.100224>.
41. Andina. Ugarte: Perú alcanzará inmunidad de rebaño cuando el 75% de la población se vacune. Agencia Peruana de Noticias Andina; 2021. consultado 20 feb 2022. Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-ugarte-peru-alcanzara-inmunidad-rebano-cuando-75-de-poblacion-se-vacune-844481.aspx>.
 42. INEI. Estadísticas de las tecnologías de información y comunicación en los hogares. 4; 2020. consultado 20 feb 2022. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/04-informe-tecnico-tic-iii-trimestre2020.pdf>.
 43. Cierco Seira C. The vaccine-condition or vaccination passport and its eventual fit into a broad recommended vaccination framework agains. *Vacunas*. 2021;22(2):82-8. <https://doi.org/10.1016/j.vacun.2021.02.001>.
 44. Essar MY, Wara UU, Mohan A, et al. Challenges of COVID-19 vaccination in Afghanistan: a rising concern. *Ethics, Med Public Heal*. 2021;19, 100703. <https://doi.org/10.1016/j.jemep.2021.100703>.
 45. He W, Justin Z, Li W. Information technology solutions, challenges, and suggestions for tackling the COVID-19 pandemic. *International Journal of Information Management*. 2021;57. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102287>.
 46. Bardhan I, Chen H, Karahanna E. Connecting systems, data, and people: a multidisciplinary research roadmap for chronic disease management. *MIS Q Manag Inf Syst*. 2020;44(1):185-200. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2020/14644>.
 47. Minsa. Pongo el hombro: plataforma digital para que adultos mayores conozcan lugar de vacunación. Ministerio de Salud del Perú; 2022. consultado 19 feb 2022. Disponible en: <https://www.minsa.gob.pe/newsletter/2021/edicion-60/nota1/index.html>.
 48. El Peruano. Minsa aprueba protocolo de vacunación contra el covid-19 para menores de 12 a 17 años. *El Peruano*; diario oficial del bicentenario; 2021. consultado 19 feb 2022. Disponible en: <https://elperuano.pe/noticia/131019-minsa-aprueba-protocolo-de-vacunacion-contra-el-covid-19-para-menores-de-12-a-17-anos>.
 49. El Peruano. Minsa: Ahora te puedes vacunar cerca de tu casa o de tu trabajo, siempre que estés programado. *El Peruano*, diario oficial del bicentenario; 2021. consultado 19 de feb 2022. Disponible en: <https://elperuano.pe/noticia/123683-minsa-ahora-te-puedes-vacunar-cerca-a-tu-casa-o-a-tu-trabajo-siempre-que-estes-programado>.
 50. Andina. Carnet de vacunación: Contraloría y Fiscalía hacen auditoría informática en el Minsa. Agencia Peruana de Noticias Andina; 2021. consultado 19 feb 2022. Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-carnet-vacunacion-contraloria-y-fiscalia-hacen-auditoria-informatica-el-minsa-873588.aspx>.
 51. CEP. Falsificadores ofrecen carnets de vacunación COVID-19 en el centro de Lima – Colegio de Enfermeros del Perú. Colegio de Enfermeras del Perú; 2021. consultado 19 feb 2022. Disponible en: <https://www.cep.org.pe/falsificadores-ofrecen-carnets-de-vacunacion-covid-19-en-el-centro-de-lima/>.