



ARTÍCULO REVISIÓN

Interoperabilidad en el ámbito sanitario: integración de dispositivos médicos y sistemas de información

Interoperability in the health field: integration of medical devices and information systems

José Carlos Pérez-López¹ , Mayté Medina-López² , Osniel Morejón-Rodríguez³ ,
Fabián Pérez-Hernández⁴ , Arlenis Moreno-Velázquez³ , Lázaro Pablo Linares-
Cánovas⁵  

¹Universidad de Ciencias Médicas de Pinar del Río. Facultad de Ciencias Médicas Dr. Ernesto Guevara de la Serna. Bloque Docente Simón Bolívar. Pinar del Río, Cuba.

²Unión de Informáticos de Cuba. Pinar del Río, Cuba.

³Universidad de Ciencias Médicas de Pinar del Río. Policlínico Docente Universitario Pedro Borrás Astorga. Pinar del Río, Cuba.

⁴Universidad de Ciencias Médicas de Pinar del Río. Centro Municipal de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Pinar del Río, Cuba.

⁵Universidad de Ciencias Médicas de Pinar del Río. Policlínico Docente Universitario Luis Augusto Turcios Lima. Pinar del Río, Cuba.

Recibido: 17 de abril de 2024

Aceptado: 28 de agosto de 2024

Publicado: 29 de agosto de 2024

Citar como: Pérez-López JC, Medina-López M, Morejón-Rodríguez O, Pérez-Hernández F, Moreno-Velázquez A, Linares-Cánovas LP. Interoperabilidad en el ámbito sanitario: integración de dispositivos médicos y sistemas de información. Rev Ciencias Médicas [Internet]. 2024 [citado: fecha de acceso]; 28(2024): e6381. Disponible en: <http://revcmpinar.sld.cu/index.php/publicaciones/article/view/6381>

RESUMEN

Introducción: el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones, en el campo de las ciencias médicas, ha provocado un incremento exponencial, de los datos ofrecidos por los dispositivos médicos.

Objetivo: describir las características de la interoperabilidad entre dispositivos médicos y sistemas de información.

Métodos: para la realización se consultaron 97 artículos científicos, obtenidos de las bases de datos EBSCO, Medline, Pubmed, Scopus y Scielo, predominando los publicados en el último lustro, lo que complementado con la revisión de reportes internacionales y tesis sobre el tema. Fueron seleccionadas para la realización de la revisión 52 fuentes teniendo en consideración su relevancia científica.

Desarrollo: la interoperabilidad entre dispositivos médicos y sistemas de información, surge en un contexto matizado por una gran diversidad de dichos dispositivos empleados en el entorno de la atención médica. Para su correcta implementación en este ámbito, es necesario comprender las arquitecturas y tecnologías necesarias en los sistemas usados, lo que garantiza en sí, un correcto flujo de información entre estos dispositivos y los sistemas de información, para su ulterior procesamiento y análisis, para un adecuado manejo clínico del paciente. A ello se suma la necesidad de garantizar condiciones de seguridad que permitan un adecuado intercambio de datos.

Conclusiones: la interoperabilidad es fundamental para garantizar en el entorno sanitario, una adecuada comunicación entre los sistemas de información y los dispositivos médicos, permitiendo mejorar la coordinación de la atención médica y el estado de salud del paciente.

Palabras clave: Interoperabilidad de la Información En Salud; Registros Electrónicos de Salud; Sistemas de Información.

ABSTRACT

Introduction: the use of information and communications technologies, in the field of medical sciences, has caused an exponential increase in the data offered by medical devices.

Objective: describe the characteristics of interoperability between medical devices and information systems.

Methods: for the realization, 97 scientific articles were consulted, obtained from the EBSCO, Medline, Pubmed, Scopus and Scielo databases, predominating those published in the last five years, which was complemented by the review of international reports and theses on the subject. 52 sources were selected to carry out the review, taking into consideration their scientific relevance.

Development: interoperability between medical devices and information systems arises in a context nuanced by a great diversity of said devices used in the medical care environment. For its correct implementation in this area, it is necessary to understand the architectures and technologies necessary in the systems used, which in itself guarantees a correct flow of information between these devices and the information systems, for subsequent processing and analysis, for an adequate clinical management of the patient. Added to this is the need to guarantee security conditions that allow adequate data exchange.

Conclusions: the review allowed us to conclude that interoperability is essential to guarantee adequate communication between information systems and medical devices in the healthcare environment, allowing for improved coordination of medical care and the patient's health status.

Keywords: Health Information Interoperability; Electronic Health Records; Information Systems.

INTRODUCCIÓN

La transformación digital, definida como el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para cambiar las reglas de participación, las formas de trabajar e interactuar y la manera de pensar de una organización o sector. Se configura como una estrategia para avanzar hacia el afianzamiento de las funciones esenciales de la salud pública en los sistemas de salud de la Región de las Américas, dada su capacidad para aumentar la accesibilidad y

mejorar los resultados en salud.^(1,2) Para llevarla a cabo, es necesario una planificación detallada, una inversión considerable de recursos y la coordinación de los actores involucrados, para obtener el máximo provecho de las oportunidades que ofrecen las TIC en los servicios de salud.⁽³⁾

Hoy en día, una gran cantidad de información relacionada con la salud está oculta en silos de datos aislados y sistemas incompatibles, lo que dificulta el acceso y el uso de esta información.⁽⁴⁾ Ante ello, la atención al paciente requiere que la información se intercambie de forma rápida y segura entre sistemas. Para que esta interacción funcione adecuadamente, diferentes dispositivos y aplicaciones deben ser interoperables; deben acceder, intercambiar y utilizar información de manera predecible y estandarizada.^(5,6) En este sentido, la interoperabilidad ha recibido recientemente una mayor atención debido a la necesidad de descubrir todo el potencial de los macrodatos y mejorar la salud digital.

Con las rápidas innovaciones tecnológicas, la situación en torno a los dispositivos y sistemas médicos ha ido cambiando. Se han desarrollado dispositivos médicos interoperables (dispositivos médicos capaces de interoperar de manera clínicamente significativa con otros dispositivos médicos) y en entornos clínicos se están utilizando sistemas médicos interoperables que consisten en dos o más dispositivos médicos interoperables interconectados.⁽⁷⁾ Y es que un aspecto fundamental identificado en la actualidad, ha sido la necesidad de gestionar el intercambio de datos e información entre dispositivos médicos interoperables y sistemas de información.

Este fenómeno ha tenido lugar en un contexto matizado por los avances en tecnología inalámbrica, inteligencia artificial y tecnología de sensores, que han permitido el uso de la monitorización remota de pacientes como método para prevenir y detectar afecciones médicas.⁽⁸⁾ Y es que el empleo de estos medios permite aumentar la seguridad del paciente, reducir los costos de atención médica y optimizar los procesos y flujos de trabajo en la atención domiciliaria y prehospitalaria.^(9,10)

Además, la combinación de varios dispositivos, seguida de una adecuada fusión de datos, puede resultar ventajosa en términos de precisión del sistema. No obstante, para maximizar su eficacia y garantizar un adecuado aprovechamiento de esas bondades, se requiere una conexión entre dichos dispositivos, y sistemas informatizados que garanticen el almacenamiento y reproducibilidad de la información obtenida, que a la postre luego de un detallado análisis, permitirá establecer diagnósticos médicos, o establecer evaluaciones periódicas del paciente.⁽¹¹⁾ Teniendo en cuenta lo indicado se realiza la presente revisión que tuvo por objetivo describir las características de la interoperabilidad entre dispositivos médicos y sistemas de información.

MÉTODOS

Para la realización del presente trabajo se revisó la literatura científica en función de recopilar información acerca de la temática abordada, consultando para ello las bases de datos EBSCO, Medline, Pubmed, Scopus y Scielo. Ello fue complementado con la revisión de reportes internacionales, actas de congreso y tesis, para lo que se utilizó el motor de búsqueda de Google Académico.

De los 97 artículos consultados, luego de una lectura crítica fueron seleccionados 52 como referencias bibliográficas, predominando las publicaciones realizadas durante los últimos cinco años y otras previas según su relevancia, publicados en inglés o español. Se cumplió con los principios de la ética, respetando los criterios y aportes de las investigaciones revisadas.

DESARROLLO

La interoperabilidad entre dispositivos médicos y sistemas de información, surge en un contexto matizado por una gran diversidad de dispositivos médicos empleados en el entorno de la atención médica, los cuales van desde monitores de signos vitales y bombas de infusión hasta dispositivos de imagenología médica y dispositivos implantables.^(12,13) Estos dispositivos son fabricados por diferentes compañías y utilizados en diversos entornos clínicos, lo que presenta un desafío para lograr que todos estos dispositivos se comuniquen de manera efectiva entre sí y con los sistemas de información de salud.

A lo anterior se suma que los sistemas de información en el ámbito de la salud son diversos y complejos, pues incluyen registros médicos electrónicos, sistemas de gestión de imágenes, de información de laboratorio, de información de farmacia, entre otros. Estos sistemas están diseñados para diferentes propósitos y a menudo no están integrados entre sí, lo que dificulta la interoperabilidad de datos. Por ello, lograr una interoperabilidad efectiva entre dispositivos médicos y sistemas de información presenta una serie de desafíos técnicos y organizacionales. Esto incluye la necesidad de desarrollar interfaces de comunicación estándar, garantizar la seguridad y privacidad de los datos, abordar diferencias en la semántica y la estructura de los datos, y superar barreras organizacionales y culturales para la colaboración entre diferentes proveedores de atención médica y fabricantes de dispositivos.^(14,15)

Definición de interoperabilidad de datos

Un primer acercamiento al concepto de interoperabilidad lo ofrece la definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que la concibe en el contexto sanitario como la capacidad de diferentes sistemas de información y software para comunicarse, intercambiar datos y usar la información de manera coherente, sin problemas y efectiva, en el entorno de atención de salud y más allá, dentro y entre organizaciones, a nivel nacional e internacional.⁽¹⁶⁾

Sin embargo, la definición ampliamente utilizada a nivel global, tanto por académicos como por organizaciones, corresponde a la realizada por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), quien indica que es la capacidad de dos o más sistemas o componentes de compartir y utilizar datos entre sí, incluso si los sistemas están hechos por diferentes fabricantes, están escritos en diferentes lenguajes de programación o se ejecutan en diferentes plataformas de hardware.⁽¹⁷⁾

Otro concepto, dado por Health Level Seven International (HL7), organización internacional que establece estándares para el intercambio, gestión y uso de información de salud, define la interoperabilidad de datos como la capacidad de diferentes sistemas de información de salud para trabajar juntos dentro y a través de las fronteras organizativas en un proceso coordinado para intercambiar, compartir y usar datos de manera coherente y útil con el fin de optimizar la salud y el suministro de atención médica.⁽¹⁸⁾

Estas definiciones guardan todas similitudes, y reflejan la importancia de la interoperabilidad de datos en diversos campos, desde la tecnología de la información hasta la atención médica, y destacan la necesidad de que los sistemas y componentes puedan compartir y utilizar datos de manera efectiva y coherente.

La interoperabilidad de datos tiene numerosas aplicaciones prácticas en la salud. Entre ellas se pueden citar su capacidad para integrar diferentes sistemas de registros médicos electrónicos, facilitando a los proveedores de atención médica acceder a la historia clínica del paciente. Se suma a ello la capacidad de transmitir de forma eficiente resultados de pruebas de laboratorio, lo que facilita el diagnóstico y el tratamiento. De igual manera, la interoperabilidad entre dispositivos médicos conectados, como monitores de signos vitales y glucómetros, permite el monitoreo remoto de pacientes en tiempo real, y la transmisión a los sistemas de información clínica para su revisión por parte de los proveedores de atención médica.^(19,20)

Las plataformas de salud digital que integran datos de dispositivos médicos, registros médicos electrónicos y aplicaciones móviles pueden a su vez, proporcionar una visión holística de la salud de un paciente. Esto permite a los proveedores de atención médica realizar un seguimiento continuo de la salud de los pacientes y tomar decisiones informadas sobre el manejo de enfermedades crónicas. Así como se crean las bases para llevar a cabo consultas médicas de manera remota (virtual), al disponerse de datos clínicos, como imágenes de diagnóstico y resultados de pruebas, los cuales pueden ser compartidos de manera segura y eficiente.⁽²¹⁾

Arquitecturas y tecnologías para interoperabilidad

En entornos médicos, la interoperabilidad de los sistemas de información es fundamental para garantizar que los datos clínicos se puedan compartir de manera efectiva y segura entre diferentes sistemas y dispositivos. Para ello se requiere de una arquitectura y tecnologías que permitan y de soporte a este flujo de información.

Una arquitectura de sistemas de información, es un conjunto estructurado de componentes, tanto físicos como lógicos, que interactúan entre sí para facilitar el procesamiento, almacenamiento, transmisión y manejo de la información dentro de una organización. La misma, proporciona un marco para diseñar, integrar y gestionar sistemas de información de manera coherente y eficiente. O sea, la misma aporta un mapa detallado de cómo los diferentes componentes tecnológicos se integran y operan juntos para satisfacer las necesidades de información de una organización.^(22,23)

Entre los modelos más empleados en entornos médicos se pueden citar:^(24,25,26,27)

Arquitectura de capa de interoperabilidad: esta se basa en la creación de una capa de interoperabilidad entre los diferentes sistemas de información médica. Dicha capa actúa como un intermediario que facilita el intercambio de datos entre sistemas heterogéneos al convertir los datos de un formato a otro, aplicar transformaciones semánticas y gestionar la seguridad y el control de acceso.

Arquitectura orientada a servicios (SOA, por sus siglas en inglés): en ella, los sistemas de información médica se descomponen en servicios independientes y autónomos que realizan funciones específicas. Estos servicios se exponen a través de interfaces estandarizadas y pueden ser consumidos por otros sistemas y aplicaciones a través de una red.

Arquitectura de microservicios: es una evolución de la arquitectura SOA que se centra en la creación de servicios pequeños, independientes y especializados, conocidos como microservicios. Cada microservicio se enfoca en una tarea específica y se comunica con otros microservicios a través de interfaces bien definidas.

Arquitectura de nube híbrida: en ella, los sistemas de información médica pueden estar distribuidos en diferentes ubicaciones, incluidas instalaciones locales y servicios en la nube. La interoperabilidad se logra mediante la integración de sistemas locales y servicios en la nube para permitir el intercambio de datos entre ellos.

Arquitectura de federación de datos: los datos clínicos se mantienen localmente en diferentes sistemas de información médica, pero se pueden acceder de manera federada a través de una capa de federación de datos. Esta capa utiliza metadatos y reglas de acceso para permitir que los usuarios accedan y consulten datos de múltiples fuentes de manera transparente. La interoperabilidad se logra mediante la federación de datos y la normalización de los metadatos para garantizar la coherencia y la integridad de los datos consultados desde diferentes sistemas.

Estas son algunas de las arquitecturas de sistemas de información comúnmente utilizadas en entornos médicos para lograr la interoperabilidad de datos. La elección de la arquitectura adecuada depende de varios factores, como los requisitos de integración, la infraestructura existente y los objetivos de interoperabilidad del sistema.⁽²⁸⁾

A su vez, para facilitar la interoperabilidad en entornos médicos, se utilizan una variedad de tecnologías y herramientas. Aquí hay algunas de las más comunes:

Interfaces de programación de aplicaciones (API, por sus siglas en inglés): proporcionan un conjunto de funciones y procedimientos que permiten a los sistemas de información médica comunicarse entre sí de manera estandarizada. Pueden exponer funcionalidades específicas de un sistema, como la consulta de datos de pacientes o la creación de citas, y permitir que otros sistemas accedan a estas funcionalidades de manera controlada y segura.⁽²⁹⁾

Middleware de integración: actúa como una capa intermedia entre diferentes sistemas de información médica, facilitando la comunicación y la interoperabilidad entre ellos. Estos middleware pueden proporcionar funciones como la transformación de datos, la enrutamiento de mensajes, la orquestación de servicios y la gestión de la seguridad.⁽³⁰⁾

Estándares de comunicación: estos definen protocolos y formatos comunes para el intercambio de datos entre sistemas de información médica. Aseguran con ello, que los datos se puedan compartir de manera consistente y comprensible entre sistemas heterogéneos.⁽³¹⁾

Integración de nubes y servicios web: permiten la comunicación entre sistemas de información médica alojados en diferentes entornos, como instalaciones locales, nubes privadas y nubes públicas. Estas tecnologías facilitan la integración de sistemas distribuidos y la interoperabilidad en entornos híbridos.⁽³²⁾

Estas tecnologías son fundamentales para facilitar la interoperabilidad en entornos médicos, permitiendo que los sistemas de información compartan datos de manera efectiva y segura para mejorar la coordinación de la atención médica y los resultados del paciente.⁽³³⁾ A su vez, para lograr la interoperabilidad se hace necesario el uso de estándares informáticos internacionalmente reconocidos, sobre los que coincidan los distintos sistemas de salud.⁽¹⁸⁾

La evolución histórica de los estándares en interoperabilidad en el ámbito de la salud ha sido un proceso gradual y en constante desarrollo a lo largo de varias décadas.⁽³⁴⁾ En la década de 1970 surgieron los primeros esfuerzos para estandarizar la comunicación de datos en el ámbito de la salud. Uno de los primeros estándares importantes fue el HL7 v1, desarrollado por Health Level Seven International. Este estándar se centraba en la transmisión de mensajes de datos entre sistemas informáticos de salud, pero tenía limitaciones en cuanto a su capacidad de intercambiar datos de manera estructurada y semánticamente significativa. En la década de 1980, se produjo un avance significativo con la introducción de HL7 v2.x, versión que mejoró la estructura y semántica de los mensajes de datos clínicos, lo que facilitó el intercambio de información clínica y administrativa, convirtiéndolo en el estándar de facto para la interoperabilidad de datos en el ámbito de la salud durante muchos años.⁽¹⁸⁾

En la década de 1990 surgieron nuevos estándares y tecnologías, entre ellos el DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), que se centró en el intercambio de imágenes médicas y la información asociada entre sistemas de imagenología médica.⁽³⁵⁾ A inicios del siglo XXI, la creciente demanda de estándares más avanzados y flexibles para la interoperabilidad, llevó al desarrollo de HL7 v3.x, que introdujo un enfoque basado en la mensajería XML y modelos de información más complejos para representar datos clínicos. A lo que le siguió en la década de 2010, un cambio significativo con el desarrollo y la adopción de FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources), estándar emergente que proporciona un enfoque moderno y basado en la web para la interoperabilidad de datos de salud, el cual garantiza el intercambio de datos clínicos entre sistemas de información de salud, aplicaciones móviles y dispositivos médicos conectados.⁽³⁶⁾

En resumen, la evolución histórica de los estándares en interoperabilidad en el ámbito de la salud ha sido impulsada por avances tecnológicos, cambios en las necesidades clínicas y la creciente demanda de compartir datos de salud de manera segura y eficiente. Cada nueva generación de estándares ha mejorado la capacidad de intercambiar datos clínicos y administrativos, lo que ha contribuido a una atención médica más coordinada, eficiente y centrada en el paciente.^(6,7,25)

Se espera que la interoperabilidad de datos de salud, en los próximos años, continúe evolucionando con el avance de la tecnología, la adopción de estándares más avanzados, y la creciente necesidad de compartir datos de manera segura y significativa entre diferentes sistemas y proveedores de atención médica.^(6,25,37)

Entre los estándares más empleados se encuentran: ^(38,39,40,41,42,43)

HL7 (se utiliza para facilitar la interoperabilidad entre sistemas de información de salud al definir formatos de mensajes, vocabularios y protocolos de comunicación estandarizados).

DICOM (permite que imágenes médicas, como radiografías, tomografías computarizadas (TC), resonancias magnéticas (RM) y ecografías, sean adquiridas, almacenadas, transmitidas y visualizadas de manera uniforme y compatible en diferentes sistemas de imagenología).

FHIR (se centra en la interoperabilidad basada en la web y utiliza estándares modernos de tecnología de la información, como HTTP, JSON y OAuth, para facilitar el intercambio de datos entre sistemas de información de salud).

CDA [Clinical Document Architecture] (proporciona un marco estandarizado para estructurar y codificar la información clínica en documentos electrónicos interoperables).

SNOMED-CT [Systematized Nomenclature of Medicine Clinical Terms] (facilita la interoperabilidad semántica al proporcionar un lenguaje común para describir conceptos clínicos, diagnósticos, procedimientos y hallazgos, permitiendo una representación coherente y precisa de la información clínica).

CCDA [Consolidated Clinical Document Architecture] (estándar basado en CDA que permite el intercambio de información clínica resumida y completa entre diferentes sistemas de información de salud, facilitando la coordinación de la atención médica y la continuidad de la atención entre proveedores de atención médica).

LOINC [Logical Observation Identifiers Names and Codes] (proporciona identificadores únicos y nombres normalizados para una amplia variedad de observaciones clínicas, como resultados de laboratorio, signos vitales, escalas de evaluación y procedimientos clínicos, facilitando el intercambio y la comparación de datos entre diferentes sistemas y organizaciones).

NCPDP [National Council for Prescription Drug Programs] (define formatos de mensajes y transacciones electrónicas estandarizadas para la prescripción de medicamentos, la dispensación de medicamentos, el seguimiento de recetas y la facturación de medicamentos, lo que facilita la interoperabilidad en el proceso de atención médica relacionado con los medicamentos).

Estos son solo algunos ejemplos de estándares importantes en el ámbito de la salud, cada uno de estos contribuye a la armonización y normalización de la información clínica para facilitar su intercambio y uso interoperable entre sistemas y organizaciones de salud. Cada uno tiene sus propias características, propósitos, niveles de adopción y madurez, lo que puede influir en su selección y aplicación en diferentes contextos clínicos y organizacionales. Determinar cuál es mejor depende en gran medida de las necesidades específicas del sistema de información, los dispositivos médicos implicados y los objetivos de interoperabilidad de datos. A su vez, en muchos casos, la combinación de varios estándares puede ser necesaria para abordar de manera efectiva los requisitos de interoperabilidad de datos en el ámbito de la salud.

Consideraciones de seguridad en el intercambio de datos

La interoperabilidad de los dispositivos es particularmente vulnerable a limitaciones como la ciberseguridad y la responsabilidad en términos del propósito previsto de un sistema. Así, desde la perspectiva del usuario, utilizar una combinación de diferentes productos significa que puede haber algunas lagunas en la atención al cliente, en esta situación, es necesario considerar cómo se puede pasar la información, ya que la preocupación legal en torno al flujo de información, constituye un tema de análisis.⁽³⁷⁾

La seguridad en el intercambio de datos médicos es fundamental para garantizar la privacidad, integridad y confidencialidad de la información del paciente. Para ello, múltiples estrategias han sido desarrolladas con vistas a elevar la protección de dicha información. Entre las estrategias, ha sido crucial utilizar técnicas de encriptación para proteger los datos médicos mientras se transmiten entre sistemas y dispositivos. La misma asegura que los datos estén protegidos contra accesos no autorizados durante la transmisión, garantizando su confidencialidad. Ejemplo de ello lo constituye la tecnología Blockchain, la cual ofrece soluciones potenciales al garantizar un almacenamiento seguro y a prueba de manipulaciones en múltiples nodos de red, mejorando la interoperabilidad y la privacidad del paciente, cifrando los datos, lo que reduce a su vez, problemas de acceso no autorizado.⁽⁴⁴⁾

A ello se suma la existencia de normativas y regulaciones nacionales e internacionales, relacionadas con la privacidad de los datos médicos. Por ejemplo, en Estados Unidos, se cuenta con la Ley de Responsabilidad y Portabilidad del Seguro Médico (HIPAA, por sus siglas en inglés),⁽⁴⁵⁾ y en la Unión Europea con el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR, por sus siglas en inglés),⁽⁴⁶⁾ ambas están destinadas a proteger la privacidad y la seguridad de los datos médicos. Ellas también otorgan a los individuos derechos sobre sus datos personales, como el de acceder, rectificar y eliminar sus datos.

A dichas estrategia se suman la implementación de mecanismos de autenticación y autorización sólidos para verificar la identidad de los usuarios y controlar su acceso a los datos. Esto incluye la autenticación multifactorial y el control de acceso basado en roles para garantizar que solo personas autorizadas puedan acceder a la información protegida. Así como la utilización de sistemas de gestión de acceso centralizados para administrar de manera efectiva los privilegios de acceso de los usuarios a los datos interoperables, y el empleo de sistemas de monitoreo y registro de eventos para registrar y auditar todas las actividades relacionadas con el acceso y la modificación de datos interoperables. Todas en su conjunto garantizan que los datos interoperables se manejen de manera segura y que se proteja la privacidad y la confidencialidad de la información del paciente.^(47,48)

Teniendo en cuenta lo descrito, la interoperabilidad de datos desempeña un papel fundamental en el sector de la salud por varias razones importantes:^(49,50,51,52)

- Mejora la calidad de la atención médica al permitir que los datos médicos estén disponibles cuando y donde sean requeridos necesitan, lo que facilita la toma de decisiones clínicas, conduciendo a una atención médica más precisa, oportuna y personalizada para los pacientes.
- Permite reducir los errores médicos al facilitar el intercambio fluido de información entre diferentes sistemas y proveedores de atención médica. Ello se debe a la reducción de la probabilidad de errores médicos debido a la falta de acceso a información crucial del paciente.
- Garantiza la continuidad de la atención al permitir que la información del paciente esté disponible de manera coherente y completa a lo largo de todo el proceso de atención, desde la Atención Primaria hasta la atención especializada. Esto mejora la continuidad de la atención y la coordinación entre los diferentes niveles asistenciales.
- Facilita la investigación al permitir el acceso a grandes conjuntos de datos médicos interoperables, lo que promueve la investigación clínica, epidemiológica y de salud pública. Esto puede conducir al desarrollo de avances en el conocimiento médico, la identificación de tendencias de salud pública y la mejora de políticas de salud basadas en evidencia.
- Garantiza la eficiencia operativa al eliminar la necesidad de ingresar manualmente datos en múltiples sistemas y evitar la duplicación de pruebas y procedimientos, la interoperabilidad de datos ayuda a mejorar la eficiencia operativa en los sistemas de salud. Esto reduce los costos administrativos y permitir que los recursos se utilicen de manera más efectiva para la atención directa al paciente.

En el campo de la interoperabilidad, hay varios desafíos emergentes y futuras direcciones que están moldeando el futuro de cómo los datos se intercambian y utilizan en diferentes sectores, incluido el sector de la salud. Entre ellos se encuentra la necesidad del uso de ontologías y modelos semánticos que ayuden a establecer un marco común para la representación y el intercambio de datos médicos, lo que facilite la comprensión e integración de datos.

A su vez, el fenómeno marcado por el empleo de la inteligencia artificial, el cual tiene el potencial de transformar la interoperabilidad de datos al mejorar la capacidad de interpretar y analizar grandes cantidades de información médica de manera rápida y precisa, está tomando cada vez mayor auge, esperándose que las mismas jueguen un papel cada vez más importante en la armonización de datos, la detección de patrones y la toma de decisiones clínicas. Ello, sumado a la adopción de estándares modernos como el FHIR, y la interoperabilidad basada en APIs y microservicios, son las nuevas tendencias y futuras direcciones en este campo, al tener el potencial de mejorar significativamente la calidad y la eficiencia de la atención médica en todo el mundo.

CONCLUSIONES

La realización de la presente revisión permitió definir qué es la interoperabilidad, identificándose los elementos propios de la arquitectura, tecnologías y parámetros de seguridad que deben caracterizarla. La misma se prevé alcance en los próximos años una mayor influencia, dada su capacidad para integrar la información en el contexto sanitario, por cuanto se concluye que la misma es un elemento fundamental para garantizar en este entorno, una adecuada comunicación entre los sistemas de información y los dispositivos médicos, permitiendo mejorar la coordinación de la atención médica y el estado de salud del paciente.

Conflicto de interés

Los autores no declararon conflictos de interés.

Contribución de autoría

Todos los autores participaron en la conceptualización, análisis formal, administración del proyecto, redacción del borrador original, redacción-revisión y aprobación del manuscrito final.

Financiación

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización Panamericana de la Salud. Las funciones esenciales de la salud pública en las Américas: una renovación para el siglo XXI. Marco conceptual y descripción. [Reporte Internacional]. Washington; 2019 [consultado13/04/24]. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/53125>
2. Bagolle A, Casco M, Nelson J, Orefice P, Raygada G, Tejerina L. La gran oportunidad de la salud digital en América Latina y el Caribe. Washington: National Academies Press; 2022 [consultado13/04/24]. Disponible en: <https://policycommons.net/artifacts/2298082/la-gran-oportunidad-de-la-salud-digital-en-america-latina-y-el-caribe/3058512/>
3. Farias M, Badino M, Marti M, Báscolo E, García Saisó S, D 'Agostino M. La transformación digital como estrategia para el fortalecimiento de las funciones esenciales de salud pública en las Américas. Rev Panam Salud Pública [Internet]. 2023 [citado 13/04/24]; 47: e150. Disponible en: <https://www.scielosp.org/article/rpsp/2023.v47/e150/es/>

4. Rubí J, Gondim P. IoMT platform for pervasive healthcare data aggregation, processing, and sharing based on OneM2M and OpenEHR. *Sensors (Basel)* [Internet]. 2019 [citado 13/04/24]; 19(19): e4283. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/19/4283>
5. Roehrs A, da Costa C, Righi R, Rigo S, Wichman M. Toward a model for personal health record interoperability. *IEEE J Biomed Health Inform* [Internet]. 2019 [citado 13/04/24]; 23(2): 867–873. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8358689/>
6. Noura M, Atiquzzaman M, Gaedke M. Interoperability in Internet of Things: taxonomies and open challenges. *Mobile Netw Appl* [Internet]. 2018 [citado 13/04/24]; 24(3): 796–809. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11036-018-1089-9>
7. Ishimoto K, Arafune T, Washio T, Haishima Y, Matsumoto K, Uematsu M, et al. Japanese Regulatory Considerations for Interoperability of Medical Devices. *Ther Innov Regul Sci* [Internet]. 2023 [citado 13/04/24]; 57(1): 104-108. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43441-022-00444-7>
8. El-Rashidy N, El-Sappagh S, Islam S, El-Bakry H, Abdelrazek S. Mobile health in remote patient monitoring for chronic diseases: principles, trends, and challenges. *Diagnostics (Basel)* [Internet]. 2021 [citado 13/04/24]; 11(4): e607. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2075-4418/11/4/607>
9. Naresh V, Pericherla S, Sita Rama Murty P, Reddi S. Internet of Things in Healthcare: Architecture, Applications, Challenges, and Solutions. Tech Science Press [Internet]. 2020 [citado 13/04/24]; 13(2). Disponible en: https://cdn.techscience.cn/uploads/attached/file/20201211/20201211004923_25523.pdf
10. Lizcano-Jaramillo P, Camacho-Cogollo J. Evaluación de Tecnologías en Salud: Un Enfoque Hospitalario para la Incorporación de Dispositivos Médicos. *Revista mexicana de ingeniería biomédica* [Internet]. 2019 [citado 13/04/24]; 40(3). Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-95322019000300010&script=sci_arttext
11. Srivastava J, Routray S, Ahmad S, Waris M. Internet of Medical Things (IoMT)-Based Smart Healthcare System: Trends and Progress. *Comput Intell Neurosci* [Internet]. 2022 [citado 13/04/24]; 2022. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/cin/2022/7218113/>
12. Simbaña Criollo M, Méndez Regueiro L. Tendencias de desarrollo tecnológico en mecatrónica. *Revista Científica Unanchay* [Internet]. 2022 [citado 13/04/24]; 1(1). Disponible en: <https://tecnoecuadoriano.edu.ec/revistaunanchay/index.php/RCU/article/view/17>
13. Lorca Moreno D. Dispositivos médicos e interoperabilidad "Open Source". [Tesis de Grado]. Cataluña: Universitat Oberta de Catalunya; 2017 [consultado 13/04/24]. Disponible en: <https://openaccess.uoc.edu/handle/10609/59969>
14. Quintana Hernández E, Martín Ramírez A. Lineamientos específicos para el tratamiento de datos personales obtenidos desde la historia clínica de los pacientes, hacia la interoperabilidad de sistemas de información en el sector de la salud en Colombia. [Tesis de Grado]. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia; 2021 [consultado 13/04/24]. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10070>

15. Belsa Pellicer A. Especificación y desarrollo de mecanismos de interoperabilidad a nivel de Middleware y Aplicaciones/Servicios entre Plataformas Heterogéneas de Internet de las Cosas. [Tesis Doctoral]. Valencia: Universitat Politècnica de València; 2022 [consultado 13/04/24]. Disponible en: <https://riUNET.upv.es/handle/10251/185508>
16. Organización Mundial de la Salud. Estrategia mundial sobre salud digital 2020–2025. [Reporte Internacional]. Ginebra; 2021. Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/344251/9789240027572-spa.pdf?sequence=1>
17. da Rocha H, Pereira J, Abrishambaf R, Espirito Santo A. An Interoperable Digital Twin with the IEEE 1451 Standards. Sensors [Internet]. 2022 [citado 13/04/24]; 22(19). Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/19/7590>
18. Wong Pérez D, Mar Cornelio O. HL7 un estándar de interoperabilidad en salud: Revisión sistemática de la literatura. RCIM [Internet]. 2023 [citado 13/04/24]; 15(2). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18592023000200009&script=sci_arttext
19. Everson J, Hendrix N, Phillips R, Adler-Milstein J, Bazemore A, Patel V. Primary Care Physicians' Satisfaction With Interoperable Health Information Technology. JAMA Netw Open [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 7(3). Disponible en: <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/article-abstract/2816741>
20. Li E, Clarke J, Ashrafian H, Darzi A, Neves A. The Impact of Electronic Health Record Interoperability on Safety and Quality of Care in High-Income Countries: Systematic Review. J Med Internet Res [Internet]. 2022 [citado 13/04/24]; 24(9). Disponible en: <https://www.jmir.org/2022/9/e38144/>
21. Everson J, Barker W, Patel V. Electronic health record developer market segmentation contributes to divide in physician interoperable exchange. J Am Med Inform Assoc [Internet]. 2022 [citado 13/04/24]; 29(7). Disponible en: <https://academic.oup.com/jamia/article-abstract/29/7/1200/6571411>
22. Abin J, Nemeth H, Friedmann I. Systems Architecture for a Nationwide Healthcare System. Stud Health Technol Inform [Internet]. 2015 [citado 13/04/24]; 216. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26262000/>
23. Ferrara F, Sottile P, Grimson W. The holistic architectural approach to integrating the healthcare record in the overall information system. Stud Health Technol Inform [Internet]. 1999 [citado 13/04/24]; 68. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10725017/>
24. Camacho Cogollo J. Modelo de arquitectura de interoperabilidad de dispositivos médicos para una unidad de cuidados intensivos. [Tesis de Grado]. Enigado: Universidad EIA; 2023 [consultado 13/04/24]. Disponible en: https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/5975/DiazSara_2023_ModeloArquitect%20uraInteroperabilidad.pdf?sequence=7
25. Salazar Chacón G. Hybrid Networking SDN y SD-WAN: Interoperabilidad de arquitecturas de redes tradicionales y redes definidas por software en la era de la digitalización. [Tesis Doctoral]. La Plata: Universidad Nacional de La Plata; 2021 [consultado 13/04/24]. Disponible en: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/129910>

26. Moreno-De La Cruz C, Jesús Correia L, Vargas-Lombardo M. Un enfoque de arquitectura de microservicio para mHealth orientado al monitoreo ambulatorio. En: 18th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI). Aveiro; 2023 [consultado13/04/24]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10211405/>
27. Alba Luengo M. Diseño e Implementación de una Capa de Seguridad para una plataforma IoT Health care interoperable. [Tesis de Grado]. Valencia: Universitat Politècnica de València; 2020 [consultado13/04/24]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/150526>
28. Niu Q, Li H, Liu Y, Qin Z, Zhang L, Chen J, et al. Toward the Internet of Medical Things: Architecture, trends and challenges. Math Biosci Eng [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 21(1). Disponible en: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1838169>
29. Barker W, Maisel N, Strawley C, Israelit G, Adler-Milstein J, Rosner B. A national survey of digital health company experiences with electronic health record application programming interfaces. J Am Med Inform Assoc [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 31(4). Disponible en: <https://academic.oup.com/jamia/advance-article-abstract/doi/10.1093/jamia/ocae006/7590608>
30. Nolla K, Rasmussen L, Rothrock N, Butt Z, Bass M, Davis K, et al. Seamless Integration of Computer-Adaptive Patient Reported Outcomes into an Electronic Health Record. Appl Clin Inform [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 15(1). Disponible en: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/a-2235-9557>
31. Amar F, April A, Abran A. Electronic Health Record and Semantic Issues Using Fast Healthcare Interoperability Resources: Systematic Mapping Review. J Med Internet Res [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 26. Disponible en: <https://www.jmir.org/2024/1/e45209/>
32. Pournik O, Mukherjee T, Ghalichi L, Arvanitis T. How Interoperability Challenges Are Addressed in Healthcare IoT Projects. Stud Health Technol Inform [Internet]. 2023 [citado 13/04/24]; 309. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37869820/>
33. Mathkor D, Mathkor N, Bassfar Z, Bantun F, Slama P, Ahmad F, et al. Multirole of the internet of medical things (IoMT) in biomedical systems for managing smart healthcare systems: An overview of current and future innovative trends. J Infect Public Health [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 17(4). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876034124000194>
34. Hund H, Wettstein R, Kurscheidt M, Schweizer S, Zilske C, Fegeler C. Interoperability Is a Process - The Data Sharing Framework. Stud Health Technol Inform [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 310. Disponible en: <https://ebooks.iospress.nl/volumearticle/66278>
35. Nichols S, Laffin B, Parisot C. Initial Experience of 10 Imaging Vendors with the IHE SHARAZONE: a New Multivendor Peer-to-Peer Test Service for DICOM Objects. J Digit Imaging [Internet]. 2023 [citado 13/04/24]; 36(6). Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10278-023-00881-2>
36. Monteiro S, Cruz Correia R. FHIR Based Interoperability of Medical Devices. Stud Health Technol Inform [Internet]. 2022 [citado 13/04/24]; 290. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35672966/>

37. Jendle J, Adolfsson P, Choudhary P, Dovc K, Fleming A, Klonoff D, et al. A narrative commentary about interoperability in medical devices and data used in diabetes therapy from an academic EU/UK/US perspective. *Diabetologia* [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 67(2): 236-245. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00125-023-06049-5>
38. Xu N, Nguyen K, DuBord A. The launch of the iCoDE Standard project. *J Diabetes Sci Technol* [Internet]. 2022 [citado 13/04/24]; 16(4): 887-895. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/19322968221093662>
39. Espinoza J, Xu N, Nguyen K, Klonoff D. The need for data standards and implementation policies to integrate CGM data into the electronic health record. *J Diabetes Sci Technol* [Internet]. 2023 [citado 13/04/24]; 17(2): 495-502. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/19322968211058148>
40. Hufstedler H, Roell Y, Peña A, Krishnan A, Green I, Barbosa-Silva A, et al. Navigating data standards in public health: A brief report from a data-standards meeting. *J Glob Health* [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 14. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10995743/>
41. Stram M, Gigliotti T, Hartman D, Pitkus A, Huff S, Riben M. Logical Observation Identifiers Names and Codes for Laboratorians. *Arch Pathol Lab Med* [Internet]. 2020 [citado 13/04/24]; 144(2). Disponible en: <https://meridian.allenpress.com/aplm/article-abstract/144/2/229/433652>
42. Dixon B, Apathy N. Interoperability in the Wild: Comparison of Real-World Electronic C-CDA Documents from Two Sources. *Stud Health Technol Inform* [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 310. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38269762/>
43. Blobel B, Ruotsalainen P, Oemig F, Giacomini M, Sottile P, Endsleff F. Principles and Standards for Designing and Managing Integrable and Interoperable Transformed Health Ecosystems. *J Pers Med* [Internet]. 2023 [citado 13/04/24]; 13(11). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38003894/>
44. Singh Y, Jabbar M, Kumar Shandilya S, Vovk O, Hnatiuk Y. Exploring applications of blockchain in healthcare: road map and future directions. *Front Public Health* [Internet]. 2023 [citado 13/04/24]; 11. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2023.1229386/full>
45. Savage M, Savage L. Doctors Routinely Share Health Data Electronically Under HIPAA, and Sharing With Patients and Patients' Third-Party Health Apps is Consistent: Interoperability and Privacy Analysis. *J Med Internet Res* [Internet]. 2020 [citado 13/04/24]; 22(9). Disponible en: <https://www.jmir.org/2020/9/e19818/>
46. Randine P, Salant E, Muzny M, Pape-Haugaard L. Consent Management System on Patient-Generated Health Data. *Stud Health Technol Inform* [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 310. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38269794/>
47. Thorogood A. Population Neuroscience: Strategies to Promote Data Sharing While Protecting Privacy. *Curr Top Behav Neurosci* [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 2024. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38509403/>

48. Wu C, Tang Y, Kuo W, Yip H, Chau K. Healthcare 5.0: A secure and distributed network for system informatics in medical surgery. *Int J Med Inform* [Internet]. 2024 [citado 13/04/24]; 186. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386505624000789>
49. Gutiérrez Ramos C. Sistema web con interoperabilidad en el proceso de admisión de pacientes asegurados en el centro médico OSI en el 2021. [Tesis de Grado]. Lima: Universidad César Vallejo; 2021 [consultado 13/04/24]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/78919>
50. Giraldo Rodríguez K, Tabares Gonzalez S. Implementación de la historia clínica electrónica interoperable en Colombia, una herramienta que mejora el proceso en la atención de los servicios de salud. [Tesis de Grado]. Bogotá: Universidad Santo Tomás; 2023 [consultado 13/04/24]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/48857>
51. Organización Panamericana de la Salud. Portales de pacientes seguros, interoperables y con datos de calidad. [Reporte Internacional]. Washington; 2021 [consultado 13/04/24]. Disponible en: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/54910/OPSEIHIS21027_spa.pdf?sequence=1%20&isAllowed=y
52. Choquetarqui Guarachi R. Implementación de estándares HL7 para la interoperabilidad de aplicaciones de salud y equipos imagenológicos de Rayos X. *INF-FCPN-PGI* [Internet]. 2021;(8): e076. Disponible en: https://ojs.umsa.bo/ojs/index.php/inf_fcpn_pgi/article/view/7