



Institución Universitaria

**Modelo de Seguridad basado en  
*Blockchain* para la Interoperabilidad de  
Datos Clínicos entre Sistemas de  
Información de IPS en Colombia**

**Jaime Alberto Cortés Calle**

Instituto Tecnológico Metropolitano ITM

Facultad de Ingenierías

Medellín, Colombia

2023



# **Modelo de Seguridad basado en *Blockchain* para la Interoperabilidad de Datos Clínicos entre Sistemas de Información de IPS en Colombia**

**Jaime Alberto Cortés Calle**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Seguridad Informática**

Director (a):

Juliver Gil Herrera

Doctor en Ingeniería Electrónica y de Computación

Línea de Investigación:

Ciencias Computacionales

Instituto Tecnológico Metropolitano ITM

Facultad de Ingenierías

Medellín, Colombia

2023



## **Dedicatoria**

*A mi esposa Vianney, a mis hijos Emmanuel y Luciana, y a mis padres Dario y Luz Marina; ustedes le dan valor y motivación a mi vida, gracias por su apoyo incondicional. Los amo infinitamente.*



## Resumen

Con la generación acelerada y exponencial de datos en los procesos de atención clínicos de pacientes, en las Instituciones Prestadoras de Servicios en Salud en Colombia y siendo cada entidad descentralizada en la custodia de esos registros generados en su proceso misional, se hace necesario contar con mecanismos que permitan un nivel de interoperabilidad interinstitucional que garantice acceso a esos datos de Usuarios, por los actores principales del Sistema de Salud Colombiano y que esto a su vez redunde en agilidad en los procesos de atención clínico segmentados que puede llegar a tener el usuario mismo, que en un momento determinante y avanzado de un estado de salud, pueda ser significativo e incluso circunstancial para preservar las vidas de personas; importante considerar que la información generada en estos procesos de atención es de carácter confidencial y privada, altamente crítica y regulada bajo el tema de tratamiento de datos personales y normativos para el acceso a la Historia Clínica. Definiendo una iniciativa de Interoperabilidad para lograr lo anteriormente ilustrado se requiere contar con una tecnología facilitadora que garantice Seguridad en el proceso mismo, para evitar que los datos generados en los procesos de atención sean manipulados o sometidos a riesgos que atenten contra su integridad y finalidad, tanto de agentes internos o externos a el Sistema de Salud, por esta razón se propone la tecnología de Blockchain como garante para que las transacciones de interoperabilidad de datos clínicos sean desarrolladas con seguridad, transparencia, confianza, agilidad y un sinnúmero de bondades más, que permitan mantener los derechos constitucionales de los usuarios del sistema de salud colombiano.

El resultado de este proceso es la construcción de un modelo de seguridad basado en Blockchain para la interoperabilidad de datos clínicos entre sistemas de información de IPS en Colombia, que sirva de referencia a nivel regional y que en su concepción se impacten y mitiguen los posibles riesgos a los que se pueda llegar a ver expuesta la información clínica de los usuarios atendidos en el sistema de salud de Colombia; la propuesta es desarrollada teniendo como hoja de ruta 4 fases, las cuales son: Análisis de Modelos de Interoperabilidad en Colombia; Caracterización de Datos y Elementos del Proceso de Interoperabilidad; Construcción de un Escenario donde se desarrolle el Caso de Uso para el proceso de Blockchain; y por último la Validación de Resultados. Anexando a lo anterior, se obtienen instrumentos como Encuesta de Caracterización,

planteada en las fases de concepción. Cuadro comparativo de Modelos de Interoperabilidad del País y resultados del caso de Estudio aplicado al modelo de interoperabilidad con la tecnología Blockchain.

**Palabras clave:** Blockchain, Cibersalud, Interoperabilidad, Historia Clínica, Sistema de Información en Salud.

## Abstract

With the accelerated and exponential generation of data in the processes of clinical patient care, in the Institutions that Provide Health Services in Colombia and with each entity being decentralized in the custody of those records generated in its missionary process, it is necessary to have mechanisms that allow a level of inter-institutional interoperability that guarantees access to these User data, by the main actors of the Colombian Health System and that this in turn results in agility in the segmented clinical care processes that the user himself may have, that in a decisive and advanced moment of a state of health, it can be significant and even circumstantial to preserve the lives of people; It is important to consider that the information generated in these care processes is confidential and private, highly critical and regulated under the subject of personal data processing and regulations for access to the Medical Record. Defining an interoperability initiative to achieve the above, it is required to have a facilitating technology that guarantees security in the process itself, to prevent the data generated in the care processes from being manipulated or subjected to risks that threaten its integrity and purpose, both internal and external agents to the Health System, for this reason Blockchain technology is proposed as a guarantor so that interoperability transactions of clinical data are developed with Security, Transparency, Trust, Agility and countless other benefits, which allow the constitutional rights of users of the Colombian health system to be maintained.

The result of this process is the construction of a Security Model based on Blockchain for the Interoperability of Clinical Data between IPS Information Systems in Colombia, which

serves as a reference at the regional level and that in its conception the possible risks are impacted and mitigated to which the clinical information of the users treated in the Colombian Health System may be exposed; the proposal is developed having 4 phases as a roadmap, which are: Analysis of Interoperability Models in Colombia; Characterization of Data and Elements of the Interoperability Process; Construction of a Scenario where the Use Case for the Blockchain process is developed; and finally the Validation of Results. Adding to the above, instruments such as the Characterization Survey are obtained, raised in the conception phases. Comparative table of Country Interoperability Models and results of the study case applied to the interoperability model with Blockchain technology.

**Keywords:** Blockchain, E-health, Health Information System, Interoperability, Medical Record.



# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>VII</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Lista de Ilustraciones</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de Tablas</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Lista de Abreviaturas y Símbolos</b> .....	<b>XVII</b>
Abreviaturas .....	XVII
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Marco Teórico y Estado del Arte</b> .....	<b>5</b>
1.1 Marco teórico .....	5
1.1.1 Sistema de Salud Colombiano.....	5
1.1.2 Sistema de Información en Salud .....	6
1.1.3 Gestión de Datos de Pacientes.....	7
1.1.4 Modelo de Seguridad.....	7
1.1.5 Interoperabilidad.....	8
1.1.6 Blockchain .....	11
1.1.7 Historia Clínica.....	19
1.1.8 Ley 2015 de 2020 .....	20
1.1.9 Estándares de Mensajería .....	20
1.1.9 EHR.....	22
1.1.10 DICOM .....	22
1.1.11 IHE .....	22
1.1.12 Amenaza .....	23
1.1.13 Vulnerabilidad.....	23
1.1.14 Riesgo .....	23
1.1.15 Gestión del Riesgo .....	24
1.1.16 Norma Técnica Colombiana NTC ISO 27005 .....	24
1.1.17 Norma Técnica Colombiana NTC ISO 27001 .....	24
1.1.18 Simple Object Access Protocol (SOAP).....	25
1.1.19 Enterprise Service Bus ESB .....	25
1.1.20 JSON.....	25
1.1.21 XML.....	26
1.1.22 RESTful .....	26
1.1.23 SNOMED-CT .....	27
1.2 Estado del arte .....	27
<b>2 Metodología y Resultados</b> .....	<b>33</b>
2.1 Identificación de modelos de interoperabilidad, al igual que las infraestructuras y tecnologías aplicables al sistema Salud de Colombia.....	33
2.1.1 Construcción herramienta para recolección de Información. ....	34
2.1.2 Elaboración Listado de Modelos de Interoperabilidad.....	43

2.2	Caracterización de conjunto de datos y elementos asociados en el proceso de interoperabilidad entre sistemas de información clínicos. ....	61
2.2.1	Modelo de Encuesta para aplicar. ....	62
2.2.2	Resultados totalización Encuesta. ....	73
2.3	Proposición de escenario demostrativo bajo el uso de la Tecnología Blockchain aplicable al manejo de Datos Clínicos. ....	83
2.3.1	Esquema de Interoperabilidad de la Historia Clínica Gobierno Colombiano. ....	84
2.3.2	Contribución de la Tecnología Blockchain a la Seguridad de la Interoperabilidad en Colombia. ....	99
2.3.3	Adopción de la Tecnología Blockchain en los procesos de Interoperabilidad en Salud. ....	99
2.4	Validación de funcionamiento del modelo de seguridad propuesto basado en Blockchain en el escenario demostrativo. ....	101
2.4.1	Ejecución de Prototipo Blockchain. ....	101
2.4.2	Beneficios de Prototipo Blockchain en la Interoperabilidad en Salud. ....	119
2.4.3	Beneficios de Prototipo Blockchain en la Interoperabilidad desde el enfoque Tecnológico. ....	120
2.4.4	Indicadores de Éxito de Prototipo Blockchain en la Interoperabilidad en Salud. ....	122
<b>3</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	<b>123</b>
3.1.	Conclusiones .....	123
3.2.	Recomendaciones .....	125
	<b>Apéndices</b> .....	<b>126</b>
	Apéndice A: Ejecución de comando Truffle Deploy .....	126
	Apéndice B: Ejecución de comando npm run dev.....	128
	Apéndice C: Código Login DApp Prototipo Blockchain .....	129
	Apéndice D: Código Archivo App.js .....	132
	Apéndice E: Código Archivo Index.html.....	135
	Apéndice F: Código Archivo TasksContract.sol Smart Contract Solidity .....	140
	Apéndice G: Log Transacciones Prototipo Blockchain.....	142
	<b>Referencias</b> .....	<b>151</b>

## Lista de Ilustraciones

	Pág.
Ilustración 1 Estructura Merkle Blockchain Fuente [12] .....	12
Ilustración 2 Tipos de Tecnología Blockchain Fuente [14] .....	14
Ilustración 3 Hitos Historia Blockchain Fuente: Elaboración propia.....	19
Ilustración 4 Metodología Investigación Fuente: Elaboración propia.....	33
Ilustración 5 Dimensiones EGDÍ Fuente: Elaboración propia.....	36
Ilustración 6 Modelo NRI Fuente: Elaboración propia .....	40
Ilustración 7 Metodología de Recolección Fuente: Elaboración propia .....	43
Ilustración 8 Ranking EGDÍ Dinamarca Fuente: Elaboración propia .....	47
Ilustración 9 Ranking NRI Dinamarca Fuente: Elaboración propia.....	47
Ilustración 10 Ranking EGDÍ Estonia Fuente: Elaboración propia .....	48
Ilustración 11 Ranking NRI Estonia Fuente: Elaboración propia.....	49
Ilustración 12 Ranking EGDÍ República de Corea Fuente: Elaboración propia .....	50
Ilustración 13 Ranking NRI República de Corea Fuente: Elaboración propia .....	51
Ilustración 14 Ranking EGDÍ Australia Fuente: Elaboración propia .....	52
Ilustración 15 Ranking NRI Australia Fuente: Elaboración propia.....	52
Ilustración 16 Ranking EGDÍ Uruguay Fuente: Elaboración propia.....	53
Ilustración 17 Ranking NRI Uruguay Fuente: Elaboración propia .....	54
Ilustración 18 Ranking EGDÍ Argentina Fuente: Elaboración propia .....	55
Ilustración 19 Ranking NRI Argentina Fuente: Elaboración propia .....	56
Ilustración 20 Ranking EGDÍ Brasil Fuente: Elaboración propia .....	57
Ilustración 21 Ranking NRI Brasil Fuente: Elaboración propia.....	57
Ilustración 22 Ranking EGDÍ Colombia Fuente: Elaboración propia .....	58
Ilustración 23 Ranking NRI Colombia Fuente: Elaboración propia.....	59
Ilustración 24 Captura Datos del Encuestado Fuente: Elaboración propia.....	64
Ilustración 25 Captura Datos Acerca del proceso Historia Clínica Institucional e Interoperabilidad Fuente: Elaboración propia .....	68
Ilustración 26 Definición Muestra aplicación Encuesta Fuente: Elaboración propia .....	70
Ilustración 27 Total Muestra aplicación Encuesta Fuente: Elaboración propia.....	72
Ilustración 28 Captura Estadísticas Encuesta Fuente: Elaboración propia .....	73
Ilustración 29 Captura Resultado Encuesta Pregunta 5 Fuente: Elaboración propia .....	74
Ilustración 30 Captura Resultado Encuesta Pregunta 6 Fuente: Elaboración propia .....	74
Ilustración 31 Captura Resultado Encuesta Pregunta 7 Fuente: Elaboración propia .....	75
Ilustración 32 Captura Resultado Encuesta Pregunta 8 Fuente: Elaboración propia .....	75
Ilustración 33 Captura Resultado Encuesta Pregunta 9 Fuente: Elaboración propia .....	76
Ilustración 34 Captura Resultado Encuesta Pregunta 10 Fuente: Elaboración propia ....	76
Ilustración 35 Captura Resultado Encuesta Pregunta 11 Fuente: Elaboración propia ....	77
Ilustración 36 Captura Resultado Encuesta Pregunta 12 Fuente: Elaboración propia ....	77
Ilustración 37 Captura Resultado Encuesta Pregunta 13 Fuente: Elaboración propia ....	78
Ilustración 38 Captura Resultado Encuesta Pregunta 14 Fuente: Elaboración propia ....	78
Ilustración 39 Captura Resultado Encuesta Pregunta 15 Fuente: Elaboración propia ....	79

Ilustración 40 Captura Resultado Encuesta Pregunta 16 Fuente: Elaboración propia.....	79
Ilustración 41 Captura Resultado Encuesta Pregunta 17 Fuente: Elaboración propia.....	80
Ilustración 42 Captura Resultado Encuesta Pregunta 18 Fuente: Elaboración propia.....	80
Ilustración 43 Captura Resultado Encuesta Pregunta 19 Fuente: Elaboración propia.....	81
Ilustración 44 Captura Resultado Encuesta Pregunta 20 Fuente: Elaboración propia.....	81
Ilustración 45 Captura Resultado Encuesta Pregunta 21 Fuente: Elaboración propia.....	82
Ilustración 46 Servicio de Intercambio de Información MINTIC Fuente: [8] .....	85
Ilustración 47 Soporte Normativo Interoperabilidad Colombia Fuente: Elaboración Propia .....	89
Ilustración 48 Arquitectura X-Road Fuente: [96].....	90
Ilustración 49 Concepción Ciclo Atención Clínica Fuente: Elaboración Propia.....	92
Ilustración 50 Esquema momentos prototipo Blockchain Fuente: Elaboración Propia.....	93
Ilustración 51 Arquitectura prototipo Blockchain Fuente: Elaboración Propia .....	95
Ilustración 52 Proceso Transacciones Prototipo Blockchain Fuente: Elaboración Propia	96
Ilustración 53 Inicio Software Ganache Fuente: Entorno Pruebas.....	102
Ilustración 54 Cuentas Software Ganache Fuente: Entorno Pruebas.....	103
Ilustración 55 Private Key Cuentas Software Ganache Fuente: Entorno Pruebas.....	103
Ilustración 56 Inicialización Smart Contract Truffle Deploy Fuente: Entorno Pruebas....	104
Ilustración 57 Inicialización Interfaz Gráfica DApp Fuente: Entorno Pruebas .....	104
Ilustración 58 Login DApp Demo Fuente: Entorno Pruebas .....	105
Ilustración 59 Login Wallet MetaMask Fuente: Entorno Pruebas .....	106
Ilustración 60 Vinculación Institución Demo A parte 1 Fuente: Entorno Pruebas.....	107
Ilustración 61 Vinculación Institución Demo A parte 2 Fuente: Entorno Pruebas.....	107
Ilustración 62 Vinculación Institución Demo B parte 1 Fuente: Entorno Pruebas.....	108
Ilustración 63 Vinculación Institución Demo B parte 2 Fuente: Entorno Pruebas.....	108
Ilustración 64 Datos Transacciones Prototipo Fuente: Entorno Pruebas .....	109
Ilustración 65 Guardado Transacción MetaMask Fuente: Entorno Pruebas .....	109
Ilustración 66 Confirmación Transacción MetaMask Fuente: Entorno Pruebas .....	110
Ilustración 67 Generación Transacciones Prototipo Parte 1 Fuente: Entorno Pruebas..	111
Ilustración 68 Generación Transacciones Prototipo Parte 2 Fuente: Entorno Pruebas..	111
Ilustración 69 Identificador cuentas Prototipo Interoperabilidad Fuente: Entorno Pruebas .....	112
Ilustración 70 Bloques Prototipo Software Ganache Fuente: Entorno Pruebas .....	112
Ilustración 71 Bloque 7 Prototipo Software Ganache Fuente: Entorno Pruebas .....	113
Ilustración 72 Bloque 8 Prototipo Software Ganache Fuente: Entorno Pruebas .....	113
Ilustración 73 Identificación componentes Bloque 8 Prototipo Blockchain Fuente: Entorno Pruebas .....	115
Ilustración 74 Esquema Algoritmo de Hash Prototipo Blockchain Fuente: Elaboración Propia .....	116
Ilustración 75 Código archivo App.js Fuente: Entorno Pruebas.....	117
Ilustración 76 Código archivo Index.html Fuente: Entorno Pruebas .....	117
Ilustración 77 Código archivo TasksContract.sol Fuente: Entorno Pruebas .....	118
Ilustración 78 Estructura de Ficheros Prototipo Blockchain Fuente: Entorno Pruebas...	118

---

Ilustración 79 Características Plataforma Ethereum Prototipo Fuente: Elaboración Propia .....	119
Ilustración 80 Beneficios Prototipo Blockchain Actores Ecosistema Salud Fuente: Elaboración Propia .....	120
Ilustración 81 Indicadores de Éxito del Prototipo Blockchain en la Interoperabilidad en Salud Fuente: Elaboración Propia .....	122

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Cifras Aseguramiento en Salud Colombia Fuente: [3] .....	6
Tabla 2 Combinación Búsqueda Palabras Claves, Fuente: Elaboración Propia .....	28
Tabla 3 Plan Desarrollo Interoperabilidad historia Clínica en Colombia, Fuente: [8].....	31
Tabla 4 Resumen Comparativo Estado del Arte, Fuente: Elaboración Propia .....	32
Tabla 5 Tabla Comparación Modelos Interoperabilidad Fuente: Elaboración Propia.....	42
Tabla 6 Tabla Resumen Índices Referencia, Fuente: Elaboración Propia .....	45
Tabla 7 Tabla Resultados Índices Referencia, Fuente: Elaboración Propia .....	46
Tabla 8 Tabla Comparación Diligenciada Modelos Interoperabilidad, Fuente: Elaboración Propia .....	60

## Lista de Abreviaturas y Símbolos

En el siguiente apartado se presentan las abreviaturas y símbolos utilizados en el documento:

### Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<i>ACR</i>	American College of Radiology
<i>AGA</i>	Australian Government Architecture
<i>AGESIC</i>	Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y el Conocimiento
<i>API</i>	Application Program Interface
<i>BDUA</i>	Base de Datos Única de Afiliados
<i>BID</i>	Banco Interamericano de Desarrollo
<i>CA</i>	Certification Authority
<i>CCD</i>	Continuity of Care Document
<i>CCR</i>	Continuity of Care Record
<i>CEN</i>	European Committee for Standardization
<i>CMD</i>	Conjunto Mínimo de Datos
<i>CRUD</i>	Create, Read, Update, Delete
<i>DANE</i>	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
<i>DAPP</i>	Decentralized Applications
<i>DICOM</i>	Digital Imaging and Communications in Medicine
<i>DLT</i>	Decentralized Ledger Technology
<i>DoDAF</i>	Department of Defense Architecture Framework
<i>DoS</i>	Denial-of-Service
<i>DPoS</i>	Delegated Proof of Stake
<i>DXL</i>	Data Exchange Layer
<i>EA</i>	Enterprise Architecture
<i>EAMM</i>	Enterprise Architecture Maturity Mode

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<i>EDI</i>	Electronic Data Interchange
<i>EGDI</i>	E-Government Development Index
<i>EHR</i>	Electronic Health Record
<i>EIF</i>	European Interoperability Framework
<i>EMR</i>	Electronic Medical Record
<i>ETH</i>	Ether
<i>ETL</i>	Extract, Transform and Load
<i>ESB</i>	Enterprise Service Bus
<i>FEAF</i>	Federal Enterprise Architecture Framework
<i>FHIR</i>	Fast Healthcare Interoperability Resources
<i>GEAF</i>	Gartner Enterprise Architectural Framework
<i>HA</i>	High availability
<i>HCI</i>	Human Capital Index
<i>HIS</i>	Hospital Information System
<i>HL7</i>	Health Level Seven
<i>HTTP</i>	Hypertext Transfer Protocol
<i>HTTPS</i>	Hypertext Transfer Protocol Secure
<i>IaaS</i>	Infrastructure as a Service
<i>IDE</i>	Integrated Development Environment
<i>IEEE</i>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<i>IHE</i>	Integrating the Healthcare Enterprise
<i>IoT</i>	Internet of things
<i>ISO</i>	International Organization for Standardization
<i>JS</i>	JavaScript
<i>JSON</i>	JavaScript Object Notation
<i>LAN</i>	Local Area Network
<i>LOINC</i>	Logical Observation Identifiers Names and Codes
<i>LPoS</i>	Leased Proof of Stake
<i>MAIS</i>	Marco Argentino de Interoperabilidad en Salud
<i>MinTIC</i>	Ministerio de Tecnologías de la Información y

---

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
	Comunicaciones
<i>NIST</i>	National Institute of Standards and Technology
<i>NRI</i>	Networked Readiness Index
<i>NPM</i>	Node Package Manager
<i>ODS</i>	Objetivos Desarrollo Sostenible
<i>OS</i>	Operating System
<i>OSI</i>	Online Service Index
<i>PaaS</i>	Platform as a Service
<i>PBFT</i>	Practical Byzantine Fault Tolerance
<i>PDF</i>	Portable Document Format
<i>PHVA</i>	Planear, Hacer, Verificar, Actuar
<i>PoET</i>	Proof of Elapsed Time
<i>PoS</i>	Proof of Stake
<i>PoW</i>	Proof-of-Work
<i>P2P</i>	Peer to Peer
<i>RBAC</i>	Role Based Access Control
<i>RDA</i>	Resumen Atención Digital
<i>REST</i>	Representational State Transfer
<i>RIM</i>	Reference Informative Model
<i>RPOW</i>	Reusable Proof of Work
<i>SABSA</i>	Sherwood Applied Business Security Architecture
<i>SCD</i>	Servicios Ciudadanos Digitales
<i>SDK</i>	Software Development Kit
<i>SGSI</i>	Information Security Management System
<i>SGSSS</i>	Sistema General de Seguridad Social en Salud
<i>SHA</i>	Secure Hash Algorithm
<i>SKOS</i>	Simple Knowledge Organization System
<i>SMTP</i>	Simple Mail Transfer Protocol
<i>SNOMED CT</i>	Systematized Nomenclature of Medicine – Clinical Terms
<i>SOA</i>	Service Oriented Architecture

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<i>SOAP</i>	Simple Object Access Protocol
<i>SSH</i>	Secure Shell
<i>TI</i>	Information Technology
<i>TIC</i>	Information Technology and Communications
<i>TII</i>	Telecommunication Infrastructure Index
<i>TLS</i>	Transport Layer Security
<i>TOGAF</i>	The Open Group Architecture Framework
<i>TSA</i>	Time-Stamping Authority
<i>UNESCO</i>	United Nations Educational Scientific and Cultural Organization
<i>URI</i>	Uniform Resource Identifiers
<i>UML</i>	Unified Modeling Language
<i>VM</i>	Virtual Machine
<i>WAN</i>	Wide Area Network
<i>W3C</i>	World Wide Web Consortium
<i>WEF</i>	World Economic Forum
<i>WS</i>	Web Services
<i>XML</i>	Extensible Markup Language

# Introducción

En Colombia como parte de las iniciativas del Gobierno Nacional se dispusieron los esfuerzos en trabajar y avanzar en un marco de Transformación Digital, que permita impactar positivamente la calidad de vida de los ciudadanos, el sector salud cumple un rol estratégico, dado su impacto en el nivel de cobertura de los ciudadanos colombianos. Hoy, prácticamente la totalidad de los habitantes de Colombia hacen parte del sistema de salud, según los registros administrativos de la Base de Datos Única de Afiliados (BDUA) [1] y las proyecciones de población del Departamento Administrativo Nacional de Estadística–DANE, correspondiente al Censo poblacional [2], para el año 2018 el 95% de la población en Colombia (47,2 millones de personas) contaba con afiliación a el sistema de salud, cifra considerada como una cobertura universal; con un corte a diciembre de 2022, las cifras de aseguramiento en salud en Colombia han cambiado, se alcanzó una cobertura del 99,12% de la población en Colombia (51.422.914 de personas), en el régimen subsidiado el número de afiliados alcanzó 25.672.278, en el régimen contributivo 23.527.972 afiliados, 2.222.664 de afiliados en los regímenes excepciones y especiales, y 6.726.621 afiliados de los niveles de SISBEN [3]. Es importante destacar que, de acuerdo con antecedentes del sistema de salud colombiano, se encontraron que de las 748 instituciones prestadoras del servicio salud existentes, 345 aun escriben las historias clínicas de manera manual en papel, lo cual las convierte en objeto susceptible de manipulación y pérdida de Información, por lo que lograr un esquema de interoperabilidad nacional de esta información generaría confianza y un alto grado de accesibilidad, de allí la importancia que cobraría Diseñar un modelo de seguridad basado en Blockchain para la interoperabilidad de datos clínicos entre IPS, que permita el intercambio, procesamiento y acceso a la información clínica de pacientes en Colombia, que es lo que se planteó como objetivo general de este proceso investigativo:

**“Diseñar un modelo de seguridad basado en Blockchain para la interoperabilidad de datos clínicos entre IPS, que permita el intercambio, procesamiento y acceso a la información clínica de pacientes en Colombia”**

Y que apoyado de los siguientes objetivos específicos se logra conseguir:

- ✓ Identificar los modelos de interoperabilidad al igual que las infraestructuras y tecnologías propuestas por el Gobierno Nacional aplicable al sistema Salud de Colombia.
- ✓ Caracterizar mediante encuesta el conjunto de datos y elementos asociados propios en el proceso de interoperabilidad entre sistemas de información clínicos.
- ✓ Proponer un escenario demostrativo bajo caso de uso práctico del proceso de Blockchain aplicable a la interoperabilidad de datos Clínicos.
- ✓ Validar el funcionamiento del modelo de seguridad propuesto basado en Blockchain en el escenario demostrativo.

Parte de este proceso de transformación digital a nivel país busca posicionar la Interoperabilidad, como solución a la necesidad de intercambio de información clínica de pacientes, entre los diferentes actores del sistema de salud, teniendo para su efecto el antecedente de que podría tratarse de entidades de especialidades de atención médica diferentes, en distintas ubicaciones geográficas del país y que la información puede ser generada desde sistemas de información distintos en la mayoría de los casos; para el logro de este propósito es necesario utilizar herramientas y tecnologías digitales que permitan lograr el intercambio requerido en pro de la calidad de atención en salud para los pacientes como eje central del sistema, así mismo se requiere lograr transformaciones estructurales en los procesos y procedimientos institucionales y los modelos operativos, así como desarrollar cambios significativos en actividades, competencias y flujos de información, que nos permitan aprovechar las oportunidades y beneficios que las tecnologías digitales nos ofrecen.

El modelo de interoperabilidad propuesto pretende dibujar un camino simple, construido colectiva y participativamente, que involucre a todos los agentes del sistema de salud colombiano, utilizando ciertas tecnologías, que nos lleve más allá de las limitaciones existentes, creando cambios graduales y teniendo como objetivo y perspectiva lograr mejoras progresivas en el sistema de salud colombiano, contribuyendo a la mejora del sistema mismo y la atención de los pacientes; por todo lo anterior y la dimensión de los sistemas existentes, se recomienda el uso de la tecnología Blockchain, ya que los datos propios de una atención en salud de un ciudadano podrían ser unificados y almacenados en Blockchain, de esta manera, la historia clínica de cada paciente estaría intacta, descentralizada, segura y a la vez disponible para cada actor autorizado del sistema de salud, independientemente de donde sea atendido el paciente en cuestión, si esa información se guarda cifrada se puede garantizar su confidencialidad, ya que solo quien cuenta

con la llave de cifrado pueda acceder a ella en los términos y condiciones que estipule la ley colombiana.

Con el fin de fomentar los principios inajenables de la información a ser intercambiada y que a futuro cerca de 60.000 prestadores (entre IPS, profesionales independientes, participantes e intervinientes en la cadena de suministros en salud) desde sus sistemas de información en salud con sus particularidades implícitas, puedan tener disponible la información clínica, bajo los criterios de la ley de protección de datos y normatividad asociada, para el intercambio, procesamiento y acceso a la misma en aras de agilizar y garantizar la atención adecuada en salud en Colombia, Blockchain al tratarse de una tecnología distribuida, donde cada nodo de la red almacena una copia exacta de la cadena, garantiza la disponibilidad de la información en todo momento, para el caso de que un atacante quisiera provocar una afectación de índole maliciosa, debería anular todos los nodos de la red, ya que basta con que al menos uno esté operativo para que la información esté disponible, de otra parte, al ser un registro consensuado, donde todos los nodos de la cadena contienen la misma información, resulta casi imposible alterar la misma, asegurando su total integridad.

El postular el uso de la tecnología Blockchain para garantizar la seguridad de los datos clínicos propios del proceso interoperable previsto y planteado para el entorno del sector salud en Colombia, se sustenta bajo el criterio de que los mecanismos de intercambio de datos como Web Services no son altamente seguros, tomando en cuenta que los datos de los procesos de atención clínica son categorizados como datos sensibles, siendo a su vez susceptibles de reserva, por lo que debe garantizarse los principios de confiabilidad, integridad y disponibilidad en todos los actores y factores intervinientes en el proceso interoperable mismo; de igual manera el dimensionamiento técnico en cuanto a infraestructura y tecnologías que debe tenerse por parte de cada grupo de interés debe estar acorde con los parámetros planteados para lograr el éxito de la implementación en esta instancia, razón que nos lleva a determinar que no todos los intervinientes en este proceso están familiarizados con las tecnologías necesarias para lograr un proceso de utilización de Blockchain en la concepción de este proyecto.

Para este proyecto investigación se implementó un escenario demostrativo bajo el concepto del uso de la tecnología Blockchain, con el que se tiene la premisa de manejo y almacenamiento seguro de datos y registros clínicos de pacientes, utilizando la plataforma Blockchain Ethereum, en la cual se concibe una DApp con la cual se obtienen atributos de resistencia a las posibles manipulaciones, buscando la privacidad, seguridad e integridad de los datos y registros clínicos

durante el ciclo de gestión y acceso de los actores del sistema de salud y así con el uso de elementos criptográficos ofrecer un marco más seguro y eficaz para interoperar historia clínica en el país.

# Marco Teórico y Estado del Arte

Para iniciar este segmento se desarrollará un marco teórico, en el cual se definirán unos conceptos básicos que serán abarcados a lo largo del desarrollo de esta Tesis, con el fin de que la terminología empleada sea ilustrativa y pueda desglosarse su significado en el desarrollo del documento.

## 1.1 Marco teórico

El reto del sistema de salud colombiano es optimizar los procesos de atención clínicos de las personas, el sector de la salud en ese empeño o misión genera una cantidad de datos que consolidan información vital y confidencial para los procesos de atención mismos, pero antes que nada comencemos dando contexto al problema planteado.

### 1.1.1 Sistema de Salud Colombiano

Es el conjunto articulado y armónico de principios y normas, políticas públicas, instituciones, competencias y procedimientos, facultades, obligaciones, derechos y deberes, financiamiento, controles, información y evaluación, que el Estado disponga para la garantía y materialización del derecho fundamental de la salud. Partiendo de una premisa de Atención Integral, es necesario adoptar el modelo funcional planteado en un Sistema de Seguridad Social en Salud, con el fin de diseñar los mecanismos que permitan su adaptación a los objetivos del Sistema de Salud, así como está planteado en la Ley Estatutaria de Salud 1751 DE 2015 emitida por el Congreso de la República de Colombia [4], siendo esta ley el punto de partida para el dimensionamiento de todas las variables y aristas posibles en estos procesos.

Conforme a la información presentada por el DANE y complementadas por MINSALUD, se muestran estadísticas de afiliaciones al Sistema General de Seguridad Social en Salud SGSSS, por tipo de regímenes, como se puede observar en la **Tabla 1**:

?	Nacional	Departamento Todo	Municipio Todo
	diciembre de 2022	diciembre de 2022	diciembre de 2022
Contributivo	23.527.972	23.527.972	23.527.972
Subsidiado	25.672.278	25.672.278	25.672.278
Excepción & Especiales	2.222.664	2.222.664	2.222.664
Afiliados	51.422.914	51.422.914	51.422.914
Población DANE	51.881.908	51.881.908	51.881.908
Cobertura	99,12%	99,12%	99,12%
Afiliados Subsidiado sin SISBEN IV	6.689.555	6.689.555	6.689.555
Afiliados Activos por emergencia sin SISBEN IV	0	0	0
Afiliados de Oficio sin SISBEN IV	25.764	25.764	25.764
Afiliados No Pobre, No Vulnerable	11.302	11.302	11.302

**Tabla 1** Cifras Aseguramiento en Salud Colombia **Fuente: [3]**

### 1.1.2 Sistema de Información en Salud

Hacer posible un sistema de salud centrado en el ciudadano, implica que la información debe recolectarse, analizarse y disponerse a nivel individual (persona) y organizarse de tal forma que responda a las necesidades de información de los diferentes agentes involucrados en la atención integral en Salud. De esta forma la unidad de análisis debe ser la persona en cualquier proceso que implique la trazabilidad de las acciones preventivas y de gestión clínica de los Pacientes. El sistema de información en salud debe estar centrado en el Paciente, por ello la información debe ser tratada y dispuesta por los agentes intervinientes en todas las fases de los procesos de atención, garantizando el derecho a la intimidad mediante criterios de seguridad, privacidad y disponibilidad. Se debe disponer mecanismos de protección para el suministro de información a terceros, salvo las autorizadas por las disposiciones legales, el desarrollo y la implementación del sistema de información se debe realizar a través de arquitecturas modulares con interfaces estandarizadas y otras tecnologías disponibles, que garanticen la eficiencia del sistema de salud. La información una vez capturada, debe almacenarse e intercambiarse utilizando medios electrónicos y mecanismos de seguridad y privacidad, al igual se debe asegurar que toda la información esté disponible para los agentes: planificadores, gerentes en salud, directores y administradores, profesionales, pacientes y ciudadanos y los agentes pertinentes y autorizados donde y cuando se la requiera, de tal forma que apoye la libre elección del usuario de las entidades, la oferta disponible, el

seguimiento de cohortes definidas alrededor de grupos de riesgo, así como el monitoreo de resultados de los incentivos y sus ajustes [5].

### **1.1.3 Gestión de Datos de Pacientes**

La interacción de los pacientes con los sistemas de salud y sus posibles escenarios genera de manera obligatoria el registro de datos, sea bien por mecanismos manuales o con la adopción de herramientas digitales, estos datos una vez consignados en los respectivos registros pueden desencadenar una serie de procesos asistenciales o administrativos en pro del mismo paciente atendido, por lo cual su generación, almacenamiento, actualización y uso se efectuará en estrictas condiciones de seguridad, integridad, autenticidad, confiabilidad, exactitud, inteligibilidad, conservación, disponibilidad y acceso, de conformidad con la normatividad vigente [6]. Garantizando así una gestión transparente con los datos manejados, por parte de todos los actores intervinientes en los procesos de atención.

### **1.1.4 Modelo de Seguridad**

Un Modelo de Seguridad permite establecer un conjunto de lineamientos y buenas prácticas en Seguridad y Privacidad de la información para toda organización, sea cual sea su naturaleza, con el fin de adecuar la infraestructura tecnológica y mejorar los procesos de intercambio de información, guiando a las diferentes estructuras de la organización, en el uso de mejores prácticas en seguridad y privacidad, contribuyendo a una adecuada gestión de la información al interior de cada una de las organizaciones. En la Norma ISO/IEC 27001:2013 se describe cómo gestionar la seguridad de la información en las organizaciones, delimitando y especificando los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente un sistema de gestión de la seguridad de la información en el ámbito organizacional, con esta norma podemos conocer los requerimientos para realizar la valoración y el tratamiento de riesgos de seguridad de la información, conforme las necesidades de cada organización. Los requisitos establecidos en esta Norma son genéricos y están previstos para ser aplicables a todas las organizaciones, indiferente de su tipo, tamaño o naturaleza como se mencionaba anteriormente [7].

### **1.1.5 Interoperabilidad**

Según el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) la Interoperabilidad se define como “la capacidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar la información y usar la información que se ha intercambiado”, en este sentido el Marco de Interoperabilidad es el enfoque común para la prestación de servicios de intercambio de información de manera interoperable. Este marco define el conjunto de principios, recomendaciones y lineamientos que orientan los esfuerzos políticos y legales, organizacionales, semánticos y técnicos de las entidades, con el fin de facilitar el intercambio seguro y eficiente de información [8].

- **1.1.5.1 Dominios de Interoperabilidad**

La interoperabilidad, si bien generalmente ha sido entendida como la habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar y utilizar información, no es un concepto exclusivamente técnico, involucra retos de diversos tipos para el intercambio efectivo de información, bajo un enfoque sistémico que redunde en mejores servicios hacia los intervinientes, retos relacionados con la voluntad política, la formación y apropiación al interior de las entidades, la necesidad de integrar procesos interinstitucionales o la ausencia de un marco legal adecuado que le otorgue las facultades a una entidad para intercambiar su información, por ello contempla cuatro dominios que se presentan a continuación:

- 1.1.5.1.1 Dominio Legal**

Este dominio corresponde a el conjunto de leyes, políticas y normas que permiten el intercambio de información de Pacientes, que como bien hemos expuesto son el precursor generador de dicha información. La interoperabilidad político - legal consiste en garantizar que grupos de interés intervinientes realicen el intercambio de información ajustado al marco jurídico vigente colombiano, las políticas y estrategias pueden trabajar juntas y no se obstaculiza o impide la interoperabilidad para el intercambio de información clínica de Pacientes [8].

#### **1.1.5.1.2 Dominio Organizacional**

Este dominio de la interoperabilidad se refiere a todo el compendio de marco institucional que puede tener cada organización interviniente y que la forma como estos son afectados al tratar de interactuar con otras organizaciones involucradas en el proceso, propendiendo en lo posible que las metas y objetivos fijados colectivamente no se vean afectados por cada uno de los marcos individuales. Juega un papel importante lograr la integración, adaptación o incluso la eliminación o definición de nuevos procesos, trámites, servicios y otros procedimientos administrativos, así como realizar la identificación de los conjuntos de datos que son pertinentes y susceptibles de ser intercambiados logrando el beneficio mutuo, pero sobre todo la seguridad, disponibilidad e integridad de la información intercambiada [8].

#### **1.1.5.1.3 Dominio Semántico**

Este dominio semántico es aquel que permite garantizar que, en el momento de intercambiar datos, el significado de la información sea exacto y el mismo para todas las partes interesadas e involucradas en el proceso, generando un lenguaje universal y estandarizado en la comunicación y generación de datos, buscando que la homogeneidad prevalezca y los fines del proceso interoperable en el intercambio de información se cumplan de la mejor manera [8].

#### **1.1.5.1.4 Dominio Técnico**

El dominio técnico de la interoperabilidad hace referencia a las aplicaciones e infraestructuras que conectan sistemas de información, las aplicaciones con los servicios de intercambio de información de cada uno de los involucrados en el proceso. Incluye aspectos como especificaciones de interfaz, protocolos de interconexión, servicios de integración de datos, presentación e intercambio de datos y protocolos de comunicación seguros [8].

#### ▪ 1.1.5.2 Interoperabilidad en Salud

La forma tradicional de gestionar el acceso a la información de pacientes, generalmente asume la confianza entre el paciente, como propietario de los datos y las instituciones que prestan el servicio de salud, que son los que la almacenan y custodian, ambos actores en un escenario local y cerrado, las entidades por lo general creen plenamente en la definición y el cumplimiento de las políticas de control de acceso para esta información y enmarcan sus procesos bajo estos lineamientos, la Interoperabilidad en salud es la capacidad de diferentes sistemas de información, dispositivos o aplicaciones de diferentes IPS para conectarse, de manera coordinada, dentro y a través de los límites organizacionales con el fin de acceder, intercambiar y utilizar de manera cooperativa la información de los pacientes, independiente de las IPS que le hayan brindado la atención, con el objetivo de optimizar la salud de los pacientes mismos y agilizar eficientemente la atención, análisis y tratamiento de los estados de salud.

El registro histórico y secuencial de datos permite al personal de la salud, independientemente de la especialidad a tratar contar con la integridad de la información, permitiéndole optimizar, disponer o solicitar los recursos necesarios, para un exitoso proceso de atención.

La interoperabilidad es ampliamente reconocida como esencial para lograr todo el potencial de intercambio continuo de datos utilizando tecnologías de la información y la comunicación (TICs) y dispositivos médicos en apoyo de los sistemas de salud, el uso apropiado de las TIC para brindar servicios de salud de calidad, reducir costos y lograr la cobertura universal de salud es integral al avance de la atención médica, esta transmisión de datos personales o de población a través de las TIC, utilizando los sistemas de información de cada IPS en particular requieren el cumplimiento de los estándares de datos clínicos y estándares tecnológicos para el intercambio oportuno y preciso de datos para las decisiones de atención médica, ya sea contando el personal asistencial por cada institución, proporcionando al paciente atención mediante revisión de imágenes digitales, gestión de la información del paciente mediante registros médicos o la realización de encuestas y vigilancia de salud pública, se necesitaría contar con un modelo de interoperabilidad de datos dentro y entre sistemas, basada en un conjunto de estándares dado [9].

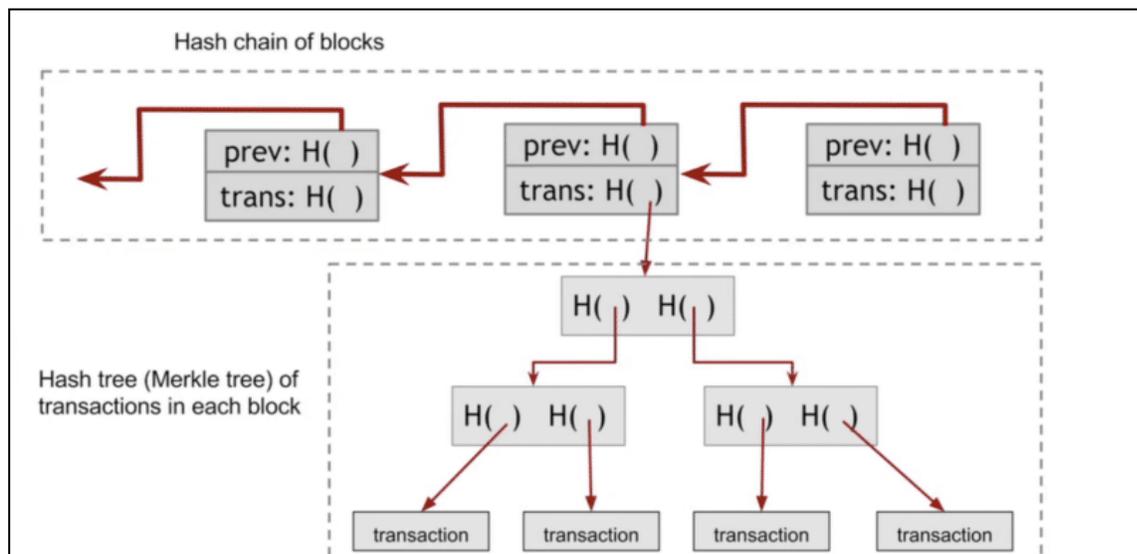
## 1.1.6 Blockchain

Blockchain es una base de datos distribuida formada por cadenas de bloques diseñadas para evitar su modificación una vez creadas. Es un protocolo o combinación de tecnologías que actúan conjuntamente (Red P2P, Criptografía, Sellado de tiempo), permitiendo construir un registro de hechos digitales, operaciones o bloques de información distribuido, compartido y sincronizado entre muchos computadores y cuyo contenido no puede deshacerse, modificarse o alterarse sin el consenso de todos los participantes de esa red, esta combinación también hace a las redes más seguras, transparentes y confiables sin necesidad de intermediarios.

Los archivos o bloques de información no se guardan en una base de datos o servidor centralizado, como ocurre con el conjunto de bases de datos tradicionales, sino que se reparten en los computadores de todos los usuarios de la red que pertenecen a esa cadena de bloques. Una vez se encapsula el dato en un bloque, este es inmutable y es visible para todos los usuarios que están en la misma cadena, por lo que nadie puede cambiar esta información sin la participación de todos los integrantes de dicha cadena [10].

### 1.1.6.1 Árbol de Merkle

El Blockchain dispone de un mecanismo que permite una consulta de los nodos de información y a su vez su verificación de manera eficiente, mediante un árbol de Merkle, como se muestra en la **Ilustración 1**, el cual permite a los equipos de una red verificar registros individuales sin tener que revisar y comparar versiones de toda la base de datos, este proceso lo realizan a través del uso de criptografía que revela un registro individual con un hash (identificador) único, a su vez estos realizan hash a cada bloque con la información del bloque anterior, esto para garantizar la concatenación o encadenamiento, cuando todos estos nodos cuentan con su propio identificador hash, se procede a concatenarlos en pares y a esta suma se le asigna un nuevo identificador único, al tiempo que garantiza que todos los demás registros de la base de datos no se han cambiado [11].



**Ilustración 1** Estructura Merkle Blockchain **Fuente** [12]

#### 1.1.6.1.1 Hash

El Hash es la función que se utiliza dentro de Blockchain para verificar la integridad de la data mediante la transformación de data idéntica en un código único, representativo y con un tamaño ajustado, implicando esto que toda alteración a la data original se traduce en un cambio inmediato al Hash. Se cuentan con distintos estándares de algoritmos de hashing como lo son HA-1, SHA-2, SHA-256, entre otros [13].

#### 1.1.6.1.2 Smart Contract

Un Smart Contract es un conjunto de términos y acuerdos, que se inician automáticamente cuando se cumplen las condiciones especificadas, al ejecutar la transacción en la Blockchain se usan los algoritmos para crear y medir las condiciones de ejecución, cuenta con las siguientes propiedades [14]:

- ✓ Autoejecutable.
- ✓ Autoverificable.
- ✓ Altamente resistente a la manipulación.

De igual manera se presentan en ellos una serie de beneficios como:

- ✓ Alto nivel de confianza.
- ✓ Minimización de errores.
- ✓ Resistencia al fraude.
- ✓ Rentabilidad.

#### ▪ 1.1.6.2 Tipos de Blockchain

Para catalogar los tipos de Blockchain existentes, se pueden clasificar en función del acceso a los datos que estas permiten, para lo cual podemos identificar lo siguiente:

##### **1.1.6.2.1 Blockchain Públicas**

Para las Blockchain públicas cualquiera puede leer la cadena de bloques, enviarle transacciones o participar en el proceso de consenso. Se les considera "sin permiso". Todas las transacciones son públicas y los usuarios pueden mantenerse anónimos en algunas aplicaciones [14].

##### **1.1.6.2.2 Blockchain Privadas**

Las Blockchain privadas son controlados por una única organización que determina quién puede leerlas, hacer transacciones en él y participar en el proceso de consenso. Dado que están 100% centralizadas, las Blockchain privadas son además útiles como entornos de prueba [14].

##### **1.1.6.2.3 Blockchain Federadas**

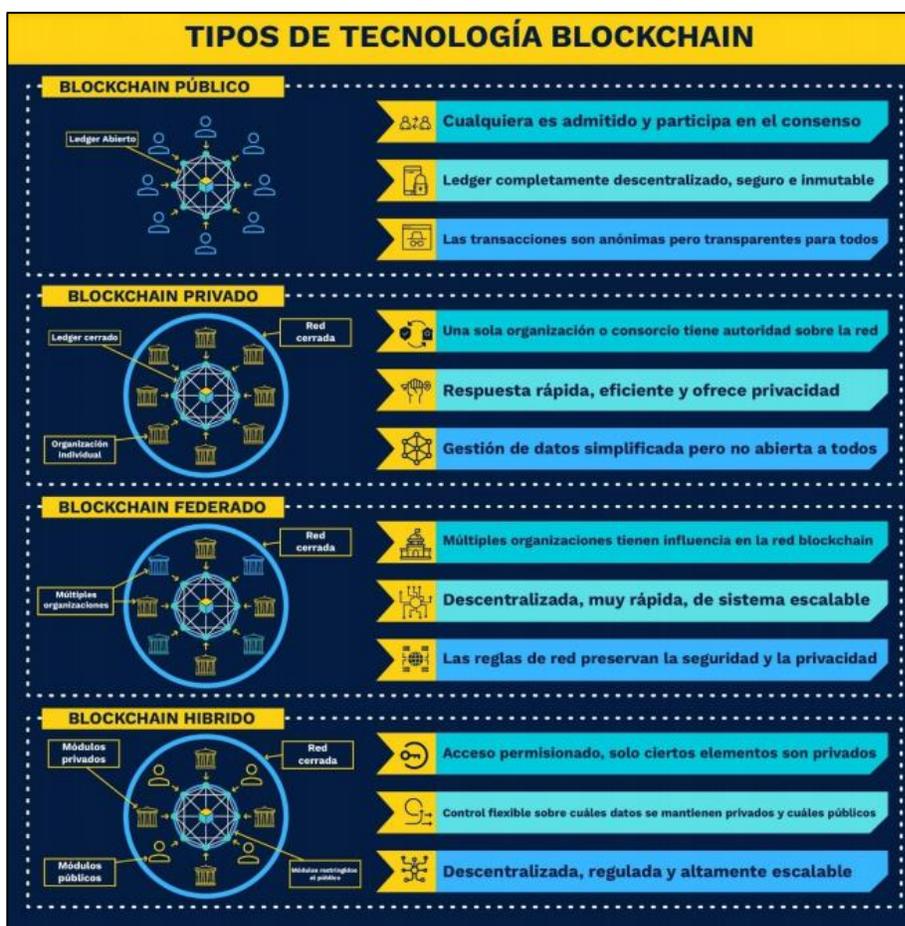
En las Blockchain Federadas, el proceso de consenso es controlado por un grupo preseleccionado de empresas o instituciones, las cuales cuentan con el derecho a leer la Blockchain y enviarle transacciones puede ser público o restringido a los demás participantes, estas se consideran "Blockchain autorizados" [14].

##### **1.1.6.2.4 Blockchain Híbridas**

Las Blockchain híbridas son operadas por una sola empresa que le otorga acceso a cualquier usuario que satisfaga los criterios preestablecidos. Aunque no esté verdaderamente descentralizado,

este tipo de Blockchain autorizado es atractivo para los casos de uso business-to-business (negocios dirigidos a empresas) y aplicaciones de gobierno. No obstante, es importante tener en cuenta que los híbridos son los que combinan redes privadas y públicas. A su vez, pueden tener operaciones en modo privado que eventualmente se registran en la red pública [14].

A continuación, en la **Ilustración 2**, se resumen las características o aspectos más relevantes de los tipos de tecnologías Blockchain anteriormente enumerados.



**Ilustración 2** Tipos de Tecnología Blockchain Fuente [14]

### **1.1.6.3 Algoritmos de Consenso**

Los algoritmos de consenso son el medio por el cual se logra la transparencia o un sistema libre de errores, teniendo como premisa lograr diferentes tipos de validaciones transaccionales. Por este mecanismo es que Blockchain es un repositorio universal, permanente, continuo, auditable públicamente, redundante y de mantenimiento de registros impulsado por el consenso. Es necesario que los nodos cuenten con la misma data y así no se pueda transmitir ni publicar alguna falsificación de datos, por ello es por lo que el consenso toma tanta relevancia y así se define este como todo proceso que un nodo realiza dentro de un sistema distribuido para llegar a ese acuerdo del único valor de datos aceptable dentro de la red [15]. Por lo anterior se conocen los siguientes Tipos de Consenso:

#### **1.1.6.3.1 Prueba de Trabajo (PoW)**

El PoW es uno de los consensos más populares, y especialmente utilizado en cripto activos. Los nodos muestran su esfuerzo (prueba de trabajo) compitiendo para resolver un complicado problema criptográfico que requiere muchos cálculos y, por lo tanto, una gran cantidad de energía informática [16].

#### **1.1.6.3.2 Prueba de Participación (PoS)**

La prueba de participación es una alternativa al PoW para Blockchain público. En en este caso, los nodos validan los nuevos bloques de la cadena en una especie de lotería, donde los boletos serían la ficha de turno. Este tipo de mecanismo es muy ágil, pero puede tener una desventaja, por ejemplo, en aquellos que tienen más criptoactivos, más criptoactivos ganan [16].

#### **1.1.6.3.3 Prueba de Participación Delegada (DPoS)**

Es una versión de PoS en la que los dueños del criptoactivo eligen testigos (de ahí su nombre delegado), permitiendo una gran descentralización que puede beneficiar potencialmente a los pequeños propietarios, pero puede facilitar posibles prácticas anticompetitivas que promoverían la cartelización, lo que iría contra la libre y sana competencia [16].

#### **1.1.6.3.4 Prueba de Participación Arrendada (LPoS)**

Este protocolo refinado sirve para resolver problemas de centralización y vulnerabilidades a ciertos ataques. Pequeños propietarios rentan o agrupan sus tokens para tener más opciones para generar un nuevo bloque y ganar la recompensa [16].

#### **1.1.6.3.5 Prueba de Tiempo Transcurrido (PoET)**

Este algoritmo, desarrollado por Hyperledger Sawtooth, es adecuado para público o redes privadas; define tiempos de espera aleatorios para generar nuevos bloques por nodos elegidos estocásticamente. Es muy imparcial, pero depende del nivel de procesamiento que tienen los nodos de la red [16].

#### **1.1.6.3.6 Práctica Bizantinas Tolerancia a Fallas (PBFT)**

Su nombre hace referencia a la historia de los generales bizantinos. En este caso, los generales se conocen y confían unos en otros, simplemente para producir conceptos que generar votos en varias rondas, este modo es ideal para sistemas permitidos (entre otros utilizados por Hyperledger Fabric y NEO). [16].

### **1.1.6.4 Blockchain en Salud**

Un intercambio de información de salud impulsado por la tecnología Blockchain podría desbloquear el verdadero valor de la interoperabilidad. Los sistemas basados en Blockchain tienen el potencial de reducir o eliminar la fricción y los costos de los intermediarios actuales. Para esta y otras áreas de alto potencial, determinar la viabilidad del caso comercial para Blockchain es primordial para obtener los beneficios de una mejor integridad de los datos, la descentralización y desintermediación de la confianza, y la reducción de los costos de transacción. Esta tecnología puede ser considerada como una parte importante para abordar los desafíos de la interoperabilidad del sistema y la accesibilidad de los registros médicos de pacientes. Mientras tanto, los sistemas de salud que ven verdaderos beneficios de establecer una red clínica/administrativa realmente integrada para participar en el ejercicio de la Salud se enfocan en intercambios privados y buscan soluciones de bajo costo que permitan una integración segura y respalden la construcción de sistemas de salud digitales, que van más allá de la organización. Es

importante aclarar que, si bien la tecnología Blockchain no es la solución definitiva para la estandarización de datos o los desafíos de integración de sistemas, ofrece un nuevo marco distribuido prometedor para amplificar y respaldar la integración de la información de atención en salud en una variedad de usos y partes interesadas, abordando varios puntos débiles existentes y habilita un sistema que es más eficiente, sin intermediarios y seguro [17].

Al formar parte de un sistema de salud en un país, cada institución de manera directa o indirecta necesita colaborar con otras, con el fin de delimitar un estado de salud real y actualizado de un paciente, estas actividades requieren de un intercambio efectivo y constante de conocimientos, pruebas y datos relacionados con el paciente mismo, lo que implica intercambiar datos sobrepasando las fronteras institucionales, no limitando su acceso solo desde el ente emisor, de igual manera las instituciones de salud tienen la obligación de proteger los datos altamente sensibles que los pacientes durante sus respectivos procesos de atención comparten con ellos, tanto para mantener la privacidad del paciente como para intercambiar datos con otras instituciones del sistema de salud colombiano; los controles de acceso, la procedencia, la integridad de los datos y la interoperabilidad son esenciales para lograr esta visión.

Un problema enmarcado en el contexto actual son las malas prácticas dentro del ecosistema de la atención en salud que vulneran la misma confianza lo que exige repensar y considerar enfoques alternativos, con algunos de sus atributos clave como la descentralización, la distribución y la integridad de los datos, y sin ningún tercero necesario.

#### **1.1.6.5 Blockchain Ethereum**

Ethereum es una tecnología Blockchain para crear aplicaciones y organizaciones, mantener activos, realizar transacciones y comunicarse sin ser controlada por una autoridad central. No es necesario entregar todos sus datos personales para usar Ethereum, el usuario mantiene el control de sus propios datos y de lo que se comparte. Ethereum tiene su propia criptomoneda, Ether, que se utiliza para pagar ciertas actividades en la red Ethereum [18].

#### **1.1.6.5.1 Ether**

Ethereum tiene una criptomoneda nativa llamada ether (ETH). Es puramente digital, y puede enviarlo a cualquier persona en cualquier parte del mundo al instante. El suministro de ETH no está controlado por ningún gobierno o empresa, está descentralizado y es completamente transparente. Las nuevas monedas (también comúnmente llamadas tokens) se emiten solo a los apostadores que aseguran la red [18].

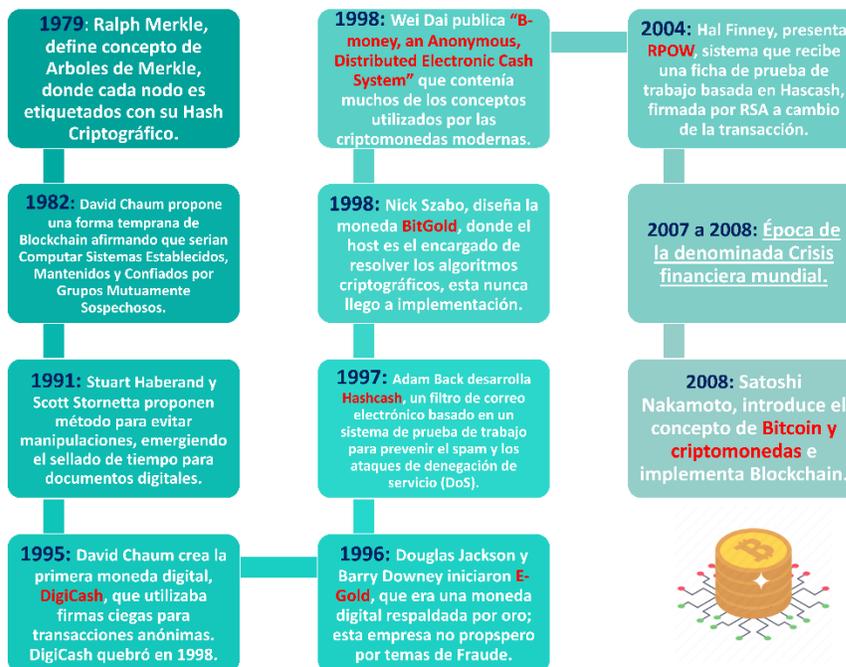
Cada acción en la red Ethereum requiere una cierta cantidad de potencia computacional. Esta tarifa se paga en forma de éter. Esto significa que necesita al menos una pequeña cantidad de ETH para usar la red [18].

#### **1.1.6.5.2 DApp**

Una DApp o Aplicación Descentralizada es una aplicación que se encuentra diseñada en una red descentralizada Blockchain, la cual combina un Smart Contract y una interfaz de usuario con código Backend [19].

### **1.1.6.6 Historia de la Tecnología Blockchain**

La tecnología Blockchain ha tenido una serie de hitos, inclusive antes de su aparición se manejaban conceptos en tecnologías previas, como se observa en la **Ilustración 3** [20] [21].



**Ilustración 3** Hitos Historia Blockchain **Fuente:** Elaboración propia

### 1.1.7 Historia Clínica

La historia clínica es el registro obligatorio de las condiciones de salud del paciente y contiene los datos de los pacientes de acuerdo con la Ley 23 de 1981 [22], por la cual se dictan normas en materia de ética médica y de acuerdo con el artículo 34 "La historia clínica es el registro obligatorio de las condiciones de salud del paciente. Es un documento privado sometido a reserva que únicamente puede ser conocido por terceros previa autorización del paciente o en los casos previstos por la Ley". Entiéndase que todos los datos de los pacientes son parte integral de la historia clínica. La historia clínica con todos los datos de salud constituye un documento privado que contiene detalles íntimos acerca de aspectos físicos, psíquicos y sociales del paciente, en el cual se registran cronológicamente las condiciones de salud del paciente, los actos médicos y los demás procedimientos ejecutados por el equipo de salud que interviene en su atención, y en ella se relaciona información personal y familiar. Por regla general, dicha información no puede ser conocida por fuera del marco asistencial sin la autorización de su titular, teniendo en cuenta la información sensible que en ella se contiene. La Resolución 1995 de 1999 en su artículo 182 señala [23], que los Prestadores de Servicios de Salud pueden utilizar medios físicos o técnicos para el registro y conservación de la historia

clínica como computadoras y medios magneto-ópticos, cuando así lo consideren conveniente.

### **1.1.8 Ley 2015 de 2020**

El Gobierno Nacional sancionó la Ley 2015 de 2020 [6] que tiene por objeto regular la interoperabilidad de la Historia Clínica Electrónica para que se puedan intercambiar datos relevantes de salud de todos los colombianos, salvaguardando y respetando el Habeas Data [24]. Esta ley debe garantizar el acceso y el ejercicio de los derechos a la salud y la información de las personas. "La Historia Clínica Electrónica deberá contener los datos clínicos relevantes de la persona de forma, clara, completa y estandarizada con los más altos niveles de confidencialidad", establece la Ley en el tercer capítulo. Se destaca que los prestadores de servicios de salud estarán obligados a disponer los expedientes de la historia clínica de los colombianos para que puedan ser consultados a través de una plataforma de Interoperabilidad, es decir, que todos los sistemas se puedan comunicar para dar a conocer a los profesionales de la salud la historia clínica de cada colombiano.

### **1.1.9 Estándares de Mensajería**

Los estándares de mensajería utilizados para el intercambio de datos son los mecanismos para promover la interoperabilidad, de esta manera se asegura que el intercambio de información entre sistemas de diferentes entornos sea consiente y obedeciendo a las reglas del negocio. Los Estándares de Mensajería más utilizados en salud son [25]:

- **1.1.9.1 HL7**

Health Level Seven HL7 es un conjunto de estándares para facilitar el intercambio electrónico de información clínica, utilizando una notación formal de modelado (UML) y un metalenguaje extensible de marcado con etiquetas (XML) [26].

#### **1.1.9.1.1 HL7 V2**

Es un estándar de mensajería basado en el formato EDI para el intercambio de mensajes entre sistemas de información computarizados en salud. Las últimas versiones incluyen mensajería en formato XML.

#### **1.1.9.1.2 HL7 V3**

Es un estándar de mensajería basado en el modelo de referencia de HL7 RIM y el formato XML. Los mensajes de HL7 v3 están divididos en dominios como contabilidad y facturación, asistencia sanitaria, reclamos y reembolso, soporte a las decisiones clínicas, arquitectura de documento clínico, genómica clínica, afirmaciones clínicas, laboratorio, órdenes y reportes de salud pública, entre otros [8].

#### **1.1.9.1.3 CDA**

(Clinical Document Architecture) Es un estándar de Arquitectura de Documentos Clínicos, que especifica su estructura y semántica con el fin de intercambiarlos electrónicamente entre organizaciones que hacen parte del sistema de atención en salud. Lo que se buscaba en esta especificación, además de favorecer el intercambio de documentos clínicos, fue mejorar legibilidad humana al formato de transferencia, por lo que se eligió el macado XML [26].

#### **1.1.9.1.4 CCD**

El Continuity of Care Document (CCD) es un esfuerzo conjunto de HL7 y ASTM para mejorar la atención del paciente a través de una óptima interoperabilidad de datos clínicos entre facultativos. Representa la implementación del Continuity of Care Record (CCR) de ASTM con un esquema HL7 CDA. Combina lo mejor de ambas tecnologías, es un estándar basado en XML que especifica la estructura y codificación del resumen clínico de un paciente en un espacio/tiempo dado [26].

#### **1.1.9.1.5 FHIR**

Son las siglas de Fast Healthcare Interoperability Resources. FHIR combina los estándares actualmente en uso (HL7 versión 2, versión 3 y CDA) con estándares web modernos de forma que se mejore en la

medida posible la implementación de los estándares de interoperabilidad. FHIR parte del concepto fundamental de Recursos, donde un recurso es la unidad básica de interoperabilidad, la unidad más pequeña que tiene sentido intercambiar. Los recursos son representaciones de conceptos del mundo sanitario: paciente, médico, problema de salud, observación, etc. [8].

### **1.1.9 EHR**

A nivel mundial se han incorporado varias notaciones y definiciones como la de historia electrónica de salud (EHR – Electronic Health Record), Historia clínica o medica electrónica -HCE- (en inglés EMR-Electronic Medical Record), o de Historia electrónica de pacientes (en inglés EPR-Electronic Patient Record), que se relacionan con la evolución del concepto, pero también con la definición de niveles de funcionalidad. En Colombia se utilizará el concepto de EHR para los efectos de interoperabilidad de datos de la historia clínica [8].

### **1.1.10 DICOM**

Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), creado originalmente por American College of Radiology (ACR) y National Electrical Manufacturers Association (NEMA), es el estándar reconocido mundialmente para el intercambio de imágenes médicas, pensado para el manejo, almacenaje, codificación, impresión y transmisión de imágenes médicas. Este estándar surge a partir de la necesidad de diseñar un formato que fuera capaz de incluir toda la información (texto e imágenes) en un único archivo y ser capaz de transmitir esta información en un protocolo de comunicación común de trabajo para todos los equipos [26].

### **1.1.11 IHE**

Integrating the Healthcare Enterprise (IHE) es una iniciativa de empresas y profesionales de la sanidad cuya finalidad es mejorar la comunicación entre los distintos sistemas de información sanitarios. Intentar lograr la interoperabilidad de los diferentes sistemas y

---

aplicaciones utilizados en el ámbito sanitario promoviendo el uso coordinado de estándares establecidos como DICOM o HL7 y definiéndolos en un conjunto de especificaciones que forman un Marco Técnico [26].

### **1.1.12 Amenaza**

Se considera amenaza [27] a cualquier evento que pueda explotar las vulnerabilidades, las cuales son la causa potencial de un incidente indeseado, que puede resultar en daños para los sistemas, personas u organizaciones sea cual sea su índole o actividad.

Las amenazas pueden estar clasificadas en:

- ✓ Amenazas intencionadas
- ✓ Amenazas por acción de la naturaleza.
- ✓ Amenazas no intencionadas.

Podrían catalogarse como ejemplos de amenazas:

- ✓ Errores humanos
- ✓ Fallas de hardware
- ✓ Fallas de software
- ✓ Acciones de la naturaleza
- ✓ Terrorismo
- ✓ Vandalismo, entre otras

### **1.1.13 Vulnerabilidad**

Se hace referencia a una vulnerabilidad a cualquier debilidad que puede ser explotada para comprometer la seguridad de sistemas de la información, la información de personas u organizaciones, enmarcando una fragilidad de esos activos siendo explotada por una o más amenazas [27].

### **1.1.14 Riesgo**

El riesgo se cataloga como la combinación de probabilidad (probabilidad de que la amenaza se concrete) de que un evento indeseado ocurra y de sus consecuencias para las personas u organización. Es la incertidumbre resultante de la combinación de la

probabilidad de la ocurrencia de un evento y sus consecuencias. En seguridad de la información, esta incertidumbre reside en los aspectos tecnológicos involucrados, en los procesos ejecutados y, principalmente, en las personas que en algún momento interactúan con la tecnología y se involucran con los procesos [27].

### **1.1.15 Gestión del Riesgo**

Hace referencia a las actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización en relación con el riesgo y sus derivados, en la cual se definen conceptos y contextualiza el medio ambiente, identificación y estudio de riesgo; se contemplan los activos, amenazas, vulnerabilidades, probabilidad de ocurrencia e impacto, tomando como guía de referencia la Norma Técnica Colombiana NTC ISO 27005 [28].

### **1.1.16 Norma Técnica Colombiana NTC ISO 27005**

La Norma Técnica Colombia NTC ISO 27005 [28], presenta información importante en la gestión de riesgo, la cual se encuentra orientada al Sistema de Gestión de Seguridad de la Información (SGSI), mediante esta norma se pueden implementar direccionamientos en la gestión de riesgos de tecnologías y afines, involucrando el entorno circundante en cuanto a ellos y catalogando cada sección como componente necesario para la integración y adhesión de todos los procesos posibles de una organización. Cada una de las fases que propone esta suministra las directrices para la gestión de riesgos, apoyándose fundamentalmente en los requisitos sobre esta cuestión definidos en la Norma Técnica Colombiana NTC ISO 27001.

### **1.1.17 Norma Técnica Colombiana NTC ISO 27001**

La Norma Técnica Colombiana NTC ISO 27001 [29], ha sido desarrollada para brindar un modelo de mejora para un Sistema de Gestión de la Seguridad de la Información (SGSI), el cual permite a las organizaciones públicas, privadas, grandes o pequeñas o sea cual sea su contexto, establecer procesos que permitan mantener la seguridad, la confidencialidad, la disponibilidad y la integridad de la información en las organizaciones, basándose en la gestión y tratamiento de riesgos emergentes o presentes en el entorno

en que se desempeñen, la Norma Técnica Colombiana NTC ISO 27001 se acoge el modelo de técnicas (PHVA), Planificar, Hacer, Verificar, Actuar, que son aplicados en los procesos de sistema de gestión de la seguridad de la información (SGSI) y en los tratamientos de riesgos.

### **1.1.18 Simple Object Access Protocol (SOAP)**

SOAP es un protocolo de comunicación basado en XML para intercambiar mensajes entre nodos, host o computadoras, sin que sea limitante su sistema operativo o entorno de programación, SOAP es considerado el estándar de facto utilizado por los Web Services, [30] en donde este especifica un formato de mensaje, en el cual los mensajes son definidos como SOAP y están compuestos por un conjunto de encabezados (header), estos disponen de la información de la infraestructura y direccionamiento, y un cuerpo (body) del mensaje que esquematiza la información específica del negocio.

### **1.1.19 Enterprise Service Bus ESB**

El Enterprise Service Bus se define como una plataforma de integración basada en estándares que combina elementos como mensajería y Web Services, para lograr transformaciones de datos y ruteo inteligente que permite conectar y coordinar, de manera transparente, la integración entre diversas aplicaciones con capacidad transaccional [31]. Los Web Services se fundamenta como una base importante para la implementación de SOAs, pero existen algunos aspectos, como la naturaleza de comunicaciones punto a punto, que pueden afectar la flexibilidad y escalabilidad de los sistemas y arquitecturas empresariales que se basan exclusivamente esta tecnología, en este sentido los ESB brindan una capa de integración intermedia que entrega lógica de integración y comunicación reutilizable, para posibilitar la interacción entre usuarios y servicios en una SOA, siendo las peticiones en forma de Mensaje con el formato establecido para la lógica del negocio requerido.

### **1.1.20 JSON**

JSON, acrónimo de JavaScript Object Notation, es un formato de texto liviano para el intercambio de datos. Este formato se utiliza, como alternativa adicional a XML, en el

estándar FHIR para representar el contenido de los recursos. Es un formato de intercambio simple de leer y escribir, mientras que para las máquinas es simple de interpretar y generar. Está basado en un subconjunto del lenguaje de programación JavaScript. JSON es un formato texto completamente independiente del lenguaje de programación, pero utiliza convenciones que son ampliamente conocidos por los programadores de la familia de lenguajes C, incluyendo C, C++, C#, Java, JavaScript, Perl, Python, y muchos otros. Estas propiedades hacen que JSON sea un lenguaje ideal para el intercambio de datos [26].

### **1.1.21 XML**

eXtensible Markup Language (XML) es un lenguaje de marcas desarrollado por el World Wide Web Consortium (W3C) utilizado para almacenar datos en forma legible. Este es el formato más común para intercambiar información clínica estructurada (también permite incluir información no estructurada, como un PDF codificado en Base64) aplicando los estándares médicos más reconocidos internacionalmente [26].

### **1.1.22 RESTful**

Los servicios web RESTful están diseñados para funcionar mejor en la Web, mediante el intercambio de información de manera segura a través de Internet. La transferencia de estado representacional (REST) es un estilo arquitectónico que especifica restricciones, como la interfaz uniforme, que si se aplica a un servicio web induce propiedades deseables, como rendimiento, escalabilidad y modificabilidad, que permiten que los servicios funcionen mejor en la web. En el estilo arquitectónico REST, los datos y la funcionalidad se consideran recursos y se accede a ellos mediante identificadores uniformes de recursos (URI), típicamente enlaces en la Web. Se actúa sobre los recursos mediante el uso de un conjunto de operaciones simples y bien definidas. El estilo arquitectónico REST restringe una arquitectura a una arquitectura cliente/servidor y está diseñado para usar un protocolo de comunicación sin estado, típicamente HTTP. En el estilo de arquitectura REST, los clientes y servidores intercambian representaciones de recursos mediante el uso de una interfaz y un protocolo estandarizados [32].

### 1.1.23 SNOMED-CT

SNOMED-CT, se define como la terminología de atención médica y clínica más integral, multilingüe y codificada de mayor amplitud, precisión e importancia en el mundo; también, se califica como un producto terminológico que puede usarse para codificar, recuperar, comunicar y analizar datos clínicos permitiendo a los profesionales de la salud o sistemas integrados de gestión médica representar la información de forma adecuada, precisa e inequívoca [33].

## 1.2 Estado del arte

En la delimitación y construcción del estado del arte se realizó una búsqueda estructurada de literatura sobre el tema en las bases de datos como IEEE Xplore y EBSCO, al igual que en el gestor bibliográfico Mendeley, por último en los repositorios documentales del Ministerio de Salud y Protección Social (MINSALUD) y el Ministerio de las Tecnologías de la Información y Comunicación (MINTIC); en esta búsqueda se pretendió obtener resultados para las palabras “Blockchain” y “Interoperabilidad” de manera independiente dentro de las bases de datos, en otras búsquedas el concepto “Blockchain” y el concepto “Interoperabilidad” se combinaron con el concepto “Salud” utilizando el operador booleano AND, obteniendo resultados más aterrizados acorde a el tema de investigación, sumando los tres conceptos anteriores se integran bajo el mismo operador AND, en estas búsquedas se realizan de manera adicional combinaciones utilizando el operador booleano OR el cual permite obtener otros resultados complementarios **Tabla 2.**

COMBINACIONES DE BUSQUEDA
Blockchain
Interoperability
Blockchain <b>AND</b> health
Interoperability <b>AND</b> Health
Blockchain <b>AND</b> Clinic history
Blockchain <b>AND</b> health <b>AND</b> Interoperability
Health <b>AND</b> (Interoperability <b>OR</b> Blockchain)

Blockchain <b>AND</b> (health <b>OR</b> Interoperability)
---

**Tabla 2** Combinación Búsqueda Palabras Claves, **Fuente:** Elaboración Propia

La consolidación de documentos se centró en los siguientes criterios:

- ✓ Investigaciones publicadas en revistas académicas y de salud.
- ✓ Fechas de publicación correspondientes a los periodos comprendidos desde el año 2018 en adelante.
- ✓ Informes, documentos, publicaciones, investigaciones que evalúan o delimitan los conceptos de Blockchain e Interoperabilidad dentro del ámbito de la salud.
- ✓ Informes, documentos, publicaciones, investigaciones que evalúan o delimitan los conceptos de Interoperabilidad en Salud en Colombia.
- ✓ Documentos revisados, compartidos o publicados por el Ministerio de Salud y Protección Social (MINSALUD) y el Ministerio de las Tecnologías de la Información y Comunicación (MINTIC).

En el artículo [34] se propone la creación de un modelo arquitectónico de Interoperabilidad basado en la plataforma Open Source Middleware que es software que se sitúa entre un sistema operativo y las aplicaciones que se ejecutan en él, funciona como una capa de traducción oculta para permitir la comunicación y la administración de datos en aplicaciones distribuidas, considerándose además un sistema asincrónico para transmisión de mensajes, la desventaja de los sistemas asíncronos es la sobrecarga de la red y el servidor de procesamiento lento de los mensajes, otras desventajas incluyen limitaciones a la compatibilidad con el protocolo de transmisión, para el caso de las plataformas que se estén llegando a interconectar, de igual manera el entendimiento del código de este tipo de aplicaciones requiere una centralización, para que cada uno de los intervinientes pueda manejar la uniformidad adecuada en cada uno de sus sistemas de Información, encargados de generar, consultar e interactuar con la información.

En la revisión “Blockchain en el Cuidado de la Salud y las Ciencias de la Salud: Una Revisión del Alcance” [35] bajo la revisión de las publicaciones a nivel académico y práctico se identifica que la Tecnología Blockchain tiene muchas propiedades atractivas que podrían utilizarse para mejorar y obtener un mayor nivel de interoperabilidad,

---

intercambio de información, control de acceso, procedencia e integridad de los datos entre las partes interesada, avanzando así hacia una nueva infraestructura para construir y mantener la confianza entre todos los grupos de interés del sector de la salud. De igual manera la demanda cada vez mayor de intercambio de datos dentro del ecosistema de la salud, tienden a generar consecuentemente un pool de soluciones nuevas y mejoradas que intentan suplir esas necesidades antes citadas. Conforme a la revisión realizada se informa que las soluciones basadas en cadenas de bloques se están explorando actualmente en unos pocos EHR y Casos de uso del sistema de ensayos clínicos. De esto parte la importancia de explorar la implementación de esta tecnología en el ecosistema de la Salud, a nivel mundial.

La adopción de Blockchain en el Cuidado de la Salud [17] sumado a tecnologías Internet de las cosas (siglas en inglés, IoT), asociados a las cadenas de suministros de servicios de salud muestran el poder transformador de la cadena de bloques, el cual según esas experiencias ha demostrado ser beneficioso en las industrias o ramas que no son de atención médica, beneficiándolas con cadenas de suministro mejoradas en términos de rendición de cuentas, trazabilidad y transparencia, su implementación ha demostrado su capacidad para mejorar métodos obsoletos en otras industrias y también se puede aplicar a la industria del cuidado de la salud. Permitir que la tecnología Blockchain resuelva muchos problemas complejos que se presentan en el ecosistema de la salud permitirá una transformación que conducirá a métodos mejorados e innovadores. Si bien no se recomienda la adopción de manera explícita, se abre la puerta a entender que su uso obedecerá a las necesidades emergentes de la sociedad.

El Marco de interoperabilidad de Gobierno Digital, del estado colombiano [8] se plantea como estrategia para la entrega de servicios digitales, de manera completa, adecuada, minimizando los pasos y evitando el desplazamiento del ciudadano a diversas entidades para obtener la información necesaria de una entidad y acceder así a sus derechos y obligaciones con el Estado. La interoperabilidad permite fortalecer la visión de unidad del Estado, al tener una mayor capacidad de comunicación, entrega y uso de servicios digitales de valor para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Dichos planteamientos son entregados teniendo en cuenta el global de todos los Servicios de las diferentes ramas del estado Colombiano y proponiendo en ese escenario la plataforma X-ROAD, como herramienta que haga posible esta visión; para el tema de Salud el Marco de Interoperabilidad de Gobierno Digital propone intercambio de información, sin importar sus restricciones o su tamaño apoyándose en los dominios de interoperabilidad ente las

Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud, con el fin de tener una perspectiva clara y fidedigna del estado de salud de los pacientes. No obstante, la visión de Interoperabilidad bajo el esquema actual y las infraestructuras existentes permite estar susceptible de mejoras, que redunden en beneficios tangibles e intangibles para los ciudadanos, como factor importante a considerar es que en lo propuesto no se tiene claro el modelo o esquema propuesto para lograr la Interoperabilidad bajo este concepción y no se tiene claro el panorama actual de las infraestructuras y madurez tecnológica de muchas de las entidades de salud del país.

En refuerzo de lo anterior la Ley 2015 de 2020 [6] en su Artículo 2 indica que el plan de implementación de la interoperabilidad de la Historia Clínica Electrónica tendrá un plazo máximo de implementación de 5 años, motivo por el cual desde el Ministerio de Salud y Protección Social MINSALUD se esquematiza un Plan Desarrollo Interoperabilidad Historia Clínica en Colombia **Tabla 3**.

PLAN DE DESARROLLO DE INTEROPERABILIDAD COLOMBIA		
EJES		
- Infraestructura + Conectividad + Gobierno Digital - Seguridad de los Datos - Gestión del Cambio		
ETAPAS	SUBTEMAS	PERIODO
Etapa Inicial	- Avance de Estándares. - Planeación. - Gobierno Digital MinTIC	2016 - 2018
Etapa 1	- Política Pública. - Modelo Operativo. - Modelo de Madurez. - Modelo Financiero y de Sostenibilidad. - Acceso Ciudadano + IPS	2018 - 2020
Etapa 2	- Piloto Interoperabilidad. - Infraestructura Digital. - Desarrollo de competencias. - Preparación. - Adecuación.	2020 - 2022
Etapa 3	- Preparación. - Adecuación. - Capacitación. Implementación Gradual.	2021 - 2022

	- Analítica de Datos.	
Etapa 4	- Implementación y Adopción Nacional. - Evolución de Datos y Modelo Operativo. - Analítica de Datos	2022 - Futuro

**Tabla 3** Plan Desarrollo Interoperabilidad historia Clínica en Colombia,  
**Fuente: [8]**

[36] Realiza el levantamiento del estado del arte de la interoperabilidad en Colombia bajo la adopción de estándares HL7, por lo que indica que estos estándares de interoperabilidad HL7 en el país no han presentado falencias en cuanto a su funcionalidad, debido a que por el contrario han contribuido a la prestación de un servicio de salud más eficiente, condensado en tres características esenciales: Mejor atención al paciente, trabajo continuo del personal de la institución clínica y optimización de los recursos del sector salud. De modo que la falencia respecto del estándar HL7 que se ha generado en el país no incurre en aspectos negativos en cuanto a su funcionalidad, sino que consiste en su proceso de implementación; el cual ha sido reducido, lento, parcial y no integral; afirmando además que las falencias de lo mencionado son: el uso no regulado de HL7 en el país, la escasa reglamentación respecto de la Historia Clínica Electrónica y las restricciones en la unificación de una Historia Clínica Electrónica en el país, añadiendo de mi parte a ese último punto, ya que los escenarios para la prestación de servicios en todas las entidades de Salud no es el mismo, refiriendo a el entorno de adopción de la tecnología, ya que las igualdades de acceso y de recursos no son las mismas.

En el desarrollo de un prototipo de Framework para brindar seguridad en la confidencialidad de la información en el estándar HL7 CDA R2 [36], se propone mitigar los riesgos de confidencialidad para el estándar HL7 CDA R2, apoyándose en la implementación de herramientas Open Source para el logro de este objetivo, previamente identificando las posibles vulnerabilidades de este estándar e interviniendo de manera oportuna la materialización de ataques que vulneren la integridad de la información intercambiada bajo este estándar; para concluir se propone trabajar en un sistema para el envío y recepción de información clínica que pueda estar estandarizado a nivel nacional bajo modelos de seguridad y confidencialidad, el cual a su vez sea

interactivo, accesible y amigable y que se adhiera a lo ya estipulado en la Ley 2015 de 2020 [6] para garantizar el proceso de interoperabilidad.

En la revisión y validación de la literatura sobre el alcance de esta investigación, se ha identificado el uso exploratorio y utilización parcializada de la Tecnología Blockchain en la atención médica de pacientes en otros países, como el caso del Reino Unido, Estados Unidos y México, pero para el caso de Colombia no se observan soluciones propuestas actualmente y todo no pasa de un planteamiento liderado por el gobierno nacional con aplicación no solo al gobierno electrónico sino también al Sector Salud.

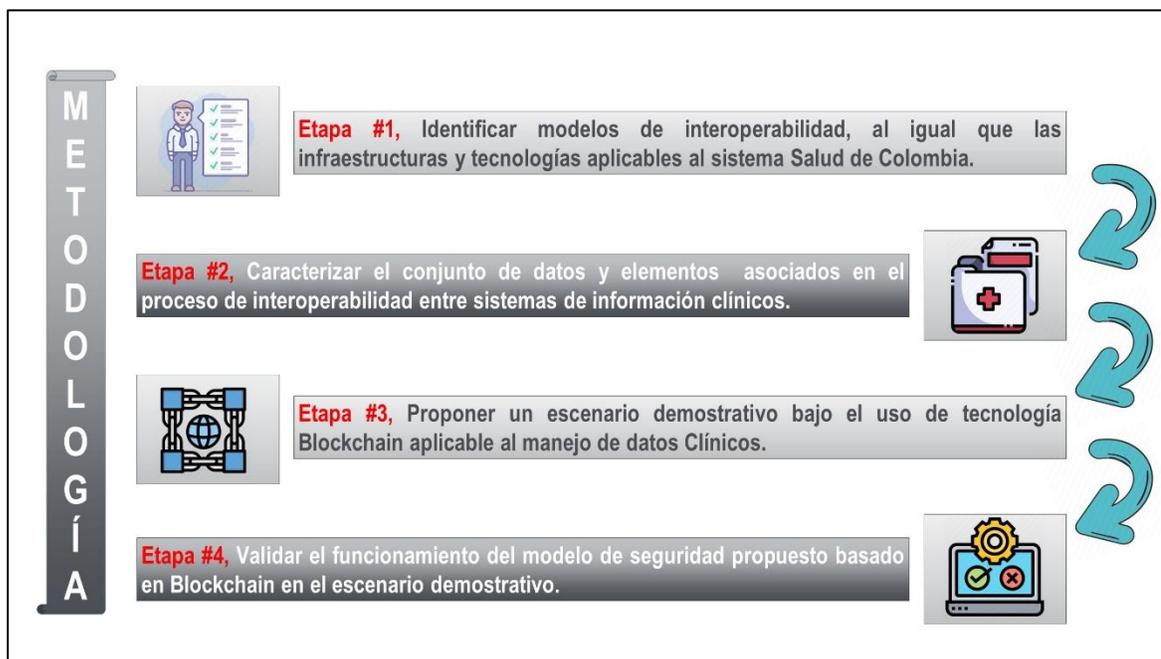
A continuación, en la **Tabla 4**, se presenta resumen de trabajos relevantes consultados, en donde se especifican los aportes, brechas y falencias identificadas en la etapa de revisión de la literatura anteriormente relacionada:

Modelo de Seguridad basado en Blockchain para la Interoperabilidad de Datos Clínicos entre Sistemas de Información de IPS en Colombia			
Ítem	Trabajo Relacionado	Aporte	Brecha - Falencia
1	De La Espriella Avila, W., Marrugo, P. P., & Arnedo Cervantes, A. J. (2018). Architecture Proposal for Interoperability between Open Source Platforms of Clinical Histories in Colombia. 2018 Congreso Innovación y Tendencias En Ingeniería, CONIITI 2018 - Proceedings. <a href="https://doi.org/10.1109/CONIITI.2018.8587066">https://doi.org/10.1109/CONIITI.2018.8587066</a>	Creación de un modelo arquitectónico de Interoperabilidad basado en la plataforma Open Source <b>Middleware</b> , bajo modelos de actualización asincrónicos.	Los requisitos de seguridad se describen de manera general y en escenarios teóricos y su implementación depende de la caracterización de componentes que no estarían concebidos uniformemente.
2	Hasselgren, A., Kravevska, K., Gligoroski, D., Pedersen, S. A., & Faxvaag, A. (2020). Blockchain in healthcare and health sciences—A scoping review. In International Journal of Medical Informatics. <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.104040">https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.104040</a>	Integración de Registros Clínicos mediante arquitectura distribuida con componentes Blockchain a los múltiples alcances que los dominios de la salud pueden tener	No se contempla la seguridad sobre los sistemas de almacenamiento y bases de datos distribuidas de los demás dominios de aplicación de Salud.
3	Gaynor, M., Tuttle-Newhall, J., Parker, J., Patel, A., & Tang, C. (2020). Adoption of Blockchain in Health Care. Journal of Medical Internet Research, 22(9), e17423. <a href="https://doi.org/10.2196/17423">https://doi.org/10.2196/17423</a>	Concebir las tecnologías del Internet de las cosas y asociarlas asociados a las cadenas de suministros de servicios de salud apoyados en Tecnologías Blockchain.	No se contemplan articulaciones con los datos de Registros Clínicos, solo se aborda la cadena de Suministros.
4	Colombia. Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones. (2019). Marco de interoperabilidad para Gobierno Digital. 95. <a href="https://www.mintic.gov.co/arquiteturati/630/articles-9375_recurso_4.pdf">https://www.mintic.gov.co/arquiteturati/630/articles-9375_recurso_4.pdf</a>	Escenario de interoperabilidad bajo la plataforma X-ROAD, como herramienta principal.	No se tiene claro el Modelo o esquema propuesto para entidades del Estado Colombiano, no se ha medido el estado o madurez tecnológica de los actores para poder abordar este proyecto.
5	Triana, J. P. S. (2018). Estado del arte de los estándares de interoperabilidad en historia clínica HL7 en Colombia. 1–68.	Realiza el levantamiento del estado del arte de la interoperabilidad en Colombia, bajo la adopción de estándares HL7	No se ha llevado un proceso de adopción total, del protocolo HL7 en el país para las instituciones prestadoras de servicios de salud, por lo que la información, no estaría siendo generada bajo el mismo estándar respecto de la Historia Clínica Electrónica.
6	Diaz, P. E. (2020). Desarrollo de un Prototipo de Framework para brindar seguridad en la confidencialidad de la información en el estándar HL7 CDA R2. Recuperado de: <a href="http://hdl.handle.net/20.500.12622/4462">http://hdl.handle.net/20.500.12622/4462</a> .	Framework para brindar seguridad en la confidencialidad de la información en el estándar HL7 apoyándose en la implementación de herramientas Open Source.	Las estrategias de protección se definen a través de escenarios particulares, carece de dimensión a entornos y dominios de Interoperabilidad.

**Tabla 4** Resumen Comparativo Estado del Arte, Fuente: Elaboración Propia

## 2 Metodología y Resultados

Durante este proceso se dispuso el desarrollo de unas actividades enmarcadas en una metodología de ejecución de etapas, las cuales apuntan al cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos y el Objetivo General del proyecto. En la **Ilustración 4**, se describen las etapas indicadas.



**Ilustración 4** Metodología Investigación **Fuente:** Elaboración propia

A continuación, se desarrollarán cada una de las etapas propuestas y se describirán las actividades derivadas de cada una de las mismas, en el marco del cumplimiento del objetivo General del Proyecto.

### 2.1 Identificación de modelos de interoperabilidad, al igual que las infraestructuras y tecnologías aplicables al sistema Salud de Colombia.

En esta etapa se tiene como finalidad realizar la revisión de la documentación y literatura disponible acerca de las soluciones implementadas y que se encuentren en el marco normativo emitido en cuanto a Interoperabilidad asociada a servicios de salud e intercambio de información

Clínica, para esta identificación se realiza búsqueda en Bases de Datos académicas y en Repositorios Gubernamentales (Páginas Web o repositorios de Consulta), en lo que se propone una búsqueda basada en documentación con un lapso de tiempo de siete años, tomando como año de partida de consulta el 2015, con el fin de lograr la identificación de modelos de interoperabilidad que puedan aplicar para el entorno Colombiano, al igual que las infraestructuras y tecnologías propuestas aplicables al sistema de Salud Nacional, para ello en esta etapa se tendrán dispuestas las siguientes actividades:

### **2.1.1 Construcción herramienta para recolección de Información.**

Se diseña y se construye herramienta para la recolección de la información, que permita identificar los modelos de interoperabilidad que puedan aplicar para el entorno colombiano, ya que es necesario contar con datos e información de referencia de los mismos, precisando obtener argumentos que no sean abstractos y que sean aterrizados a contextos como el Colombiano, que si bien se ve inmerso en un sector que puede ser universal, contaría con particularidades y limitaciones que lo pueden diferenciar, con este fin se esquematiza **Tabla 5**, como instrumento a utilizar en la recolección de información, en la cual se contemplan los siguientes campos en sentido X(Encabezado) & Y(Criterio):

#### **- ENCABEZADO**

En el encabezado se describirán campos que permitan disponer la información objeto de la recopilación, en este se incluirán:

- **SUB-REGIÓN:** Las regiones geográficas de cada uno de los continentes del planeta tierra, forman parte del Geoesquema de la Organización de las Naciones Unidas, sobre el cual se trabajan todos los temas de delimitación, investigación, desarrollo y estadísticas, que forman parte de sus publicaciones; una subregión se considera una subdivisión de una región o continente en específico, dada en gran medida por los puntos cardinales de la tierra y con base a su ubicación geográfica.
- **PAÍS:** Para el contexto del proceso de recolección de información, el País se refiere al nombre de aquel Estado o Nación que se encuentra ubicado dentro de la subregión antes descrita.

#### **- CRITERIO**

---

Los criterios permitirán catalogar los datos que se requieren para obtener un consolidado de información, en donde se realizara una intersección conforme a los encabezados planteados, en donde se cuenta con lo siguiente:

- **Ranking EGDI 2022:** La Organización de las Naciones Unidas (ONU) de manera anual genera publicación acerca del Índice de Desarrollo del Gobierno Electrónico (EGDI) de las naciones o países que lo conforman, esta es una publicación comparativa que tiene como fin fomentar con el desarrollo y posicionamiento del E-Gov [37] en los países o naciones miembros. El criterio indicado para la **Tabla 5** hace referencia a el posicionamiento del país o nación en cuestión frente a los 193 países o naciones miembros de la Organización de Naciones Unidas; El Ranking EGDI (E-Government Development Index), correspondiente al año 2022 [37], recopila el panorama actual en cuanto a Gobierno Digital de los 193 países miembros de la Organización de Naciones Unidas, esta encuesta presenta una evaluación sistemática del uso y potencial de las tecnologías de la información y las comunicaciones TICS, transformando los sectores implícitos por medio del aumento de la eficiencia, la eficacia, la transparencia, el acceso a los servicios tecnológicos (públicos y privados) y la participación de los ciudadanos de los países antes indicados en todas las fases de desarrollo que se puedan brindar en cuanto a tendencias y oportunidades del gobierno digital.
- **Calificación EGDI:** Calificación obtenida en el índice de desarrollo del E-Gobierno de la ONU, para el país o nación referida en el encabezado de la tabla, correspondiente al año 2022, la cual de manera matemática se obtiene del promedio ponderado de las puntuaciones de las tres dimensiones EGDI (OSI, TII, DCI) [37], puntuaciones anteriormente indicadas que son extraídas y analizadas de manera independiente.

$$\text{EDGI} = 1/3 (\text{Dimensión OSI} + \text{Dimensión TII} + \text{Dimensión HCI})$$

Si bien se hace referencia a las tres dimensiones indicadas, estas son estandarizadas, para obtener una puntuación “Z” de cada una de ellas y así garantizar un EGDI global, compuesto de tres partes con igual valor porcentual, convirtiéndose en un indicador que estadísticamente permite demostrar los datos. Para obtener la puntuación “Z” estándar de cada una de las dimensiones se realiza con la siguiente expresión:

$$X_{\text{new}} = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$$\sigma$$

En donde se tiene como:

$x$  = Puntuación bruta a ser estandarizada.

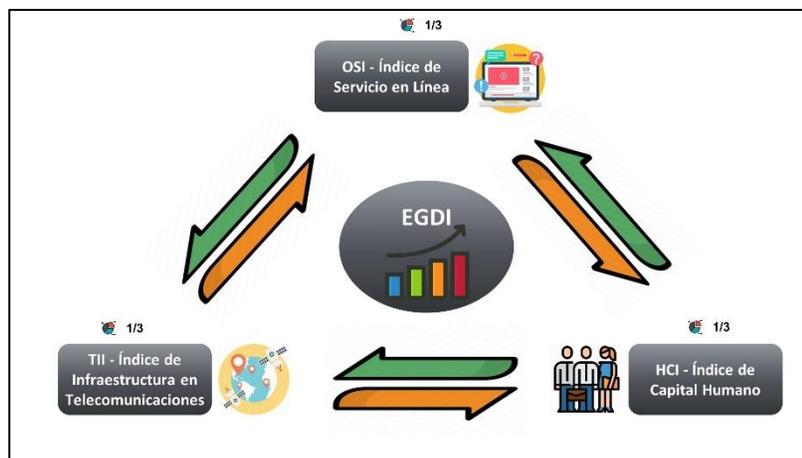
$\mu$  = Es la medida de la población total.

$\sigma$  = Es la desviación estándar de la Población.

Y al final el valor compuesto de cada índice o dimensión se estandariza para que se encuentre en el rango de 0 a 1 [37].

- **Dimensiones EGD:** Las dimensiones EGD son los referentes o puntos de partida que tienen los países o naciones para integrar el E-Gobierno y el acceso a las tecnologías de la información y las telecomunicaciones TICs en las agendas o Roadmap de desarrollo nacional,

#### Ilustración 5.



**Ilustración 5 Dimensiones EGD Fuente:** Elaboración propia

Estas dimensiones están divididas en:

- **OSI:** (Online Service Index), El índice de Servicios en línea recopila los niveles cuantitativos de desarrollo del E-Gobierno, en donde los focos de atención son localizar y acceder a las funciones de los servicios en línea disponibles para cada país o nación, dado esto bajo un listado de 140 preguntas, las cuales tendrían respuestas binarias (0 ó 1) y cada respuesta positiva generaría otra pregunta adicional, que permite obtener un mayor nivel de profundidad, para totalizar las puntuaciones de cada país o nación se considera la siguiente expresión:

---

**OSI (País o Nación "x") = (Puntuación obtenida País o Nación "x" – Puntuación más *baja* dentro de todos los países) / (Puntuación más *alta* dentro de todos los países – Puntuación más *baja* dentro de todos los países) = OSI (Para país o Nación "x")**

Con el fin de normalizar las puntuaciones en un rango de 0 a 1 [37].

- **HCI** (Human Capital Index), El Índice de Capital Humano es un promedio ponderado por cuatro indicadores, que son:
  - (i) Tasa de alfabetización de adultos.
  - (ii) Coeficiente bruto de matriculación en la enseñanza primaria, secundaria y terciaria.
  - (iii) Años de escolaridad previstos.
  - (iv) Promedio de años de escolaridad.

Con cada uno de estos indicadores se pretende estandarizar el valor mediante puntuación "Z", obteniendo esta para cada uno de los indicadores que compone el índice, de allí se formara un valor compuesto total que es la medida aritmética ponderada requerida, donde se asigna una tercera parte de la ponderación a la tasa de alfabetización de adultos (i) y dos novenos de la ponderación de la tasa bruta de matriculación (ii), años estimados de escolaridad (iii) y la media de años de escolaridad (iv):

$$\text{Valor Compuesto HCI} = 1/3 \times \text{Puntuación "Z" (i)} + 2/9 \times \text{Puntuación "Z" (ii)} + 2/9 \times \text{Puntuación "Z" (iii)} + 2/9 \times \text{Puntuación "Z" (iv)}$$

Después, se normaliza el valor compuesto de HCI, tomando como referencia su valor compuesto para un país o nación en específico, se resta el menor valor compuesto de la encuesta y se realiza división por el rango de los valores compuestos de todos los países o naciones participantes [37]:

$$\text{HCI (País o Nación "x")} = (\text{Valor compuesto País o Nación "x"} - (-\text{Valor compuesto de todos los países})) / (\text{Rango de los valores compuestos de todos los países} - (-\text{Valor compuesto de todos los países})) = \text{HCI}$$

(Para país o Nación "x")

- **TII** (Telecommunication Infrastructure Index), El Índice de Infraestructura en Telecomunicaciones, es considerado como el promedio aritmético en una formula compuesto por cinco indicadores, los cuales son:

- (i) Número estimado de usuarios de Internet por cada 100 habitantes.
- (ii) Número estimado de usuarios de telefonía fija por cada 100 habitantes.
- (iii) Número de suscriptores de telefonía móvil por cada 100 habitantes.
- (iv) Número de suscripciones activas de banda ancha inalámbrica.
- (v) Número de suscripciones de banda ancha fija por cada 100 habitantes.

Como en la dimensión HCI, con cada uno de estos indicadores se procede a estandarizar el valor mediante puntuación "Z", obteniendo esta para cada uno de los indicadores que compone el índice, la cual se obtiene de la siguiente manera [37]:

$$\text{Valor Compuesto TII} = \text{Promedio (Puntuación "Z" (i) + Puntuación "Z" (ii) + Puntuación "Z" (iii) + Puntuación "Z" (iv) + Puntuación "Z" (v))}$$

Para finalizar, el valor compuesto de TII se normaliza tomando el valor de un país o nación específico, se resta el menor valor compuesto del total de los países de la encuesta y se divide por el rango de valores compuestos de todos los países de la encuesta [37].

$$\text{TII (País o Nación "x")} = (\text{Valor compuesto País o Nación "x"} - (-\text{Menor Valor compuesto de todos los países})) / (\text{Valor compuestos más alto de todos los países} - (-\text{Menor Valor compuesto de todos los países})) =$$

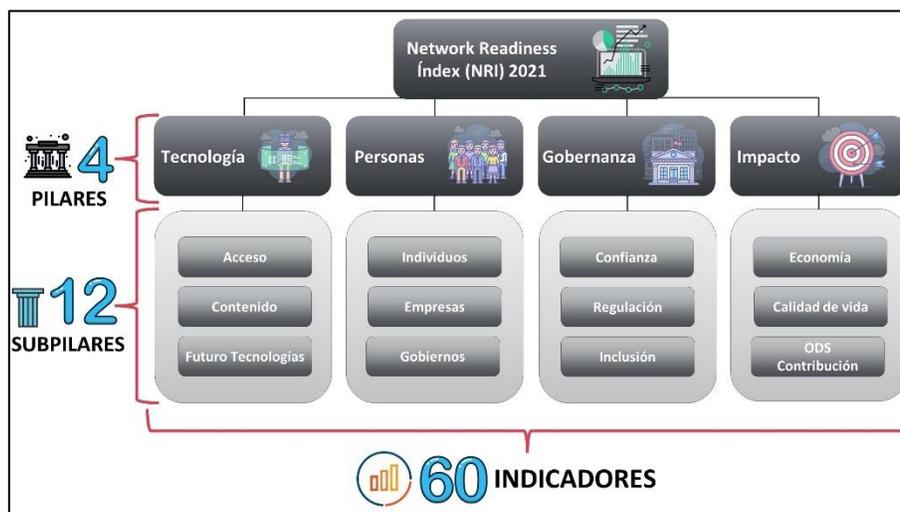
**TII** (Para país o Nación "x")

- **Ranking NRI 2021:** El Networked Readiness Index o Índice de preparación para la red es considerado como uno de los principales índices mundiales que ayudan a interpretar la aplicación, adopción y el impacto de las tecnologías de la información y la comunicación TICs y lo que pueda derivarse de su uso, en las economías particulares de casi todo el mundo, en la última versión de este índice NRI 2021, se mapea y se realiza una evaluación comparativa del panorama de preparación basado en redes de 130 economías de países agremiados bajo el criterio del Foro Económico Mundial WFE. El Ranking NRI 2021(Networked Readiness Index) [38], indica el puesto que ocupa un país o nación comparativamente con las 130 economías incluidas en el reporte.
- **Calificación NRI:** La calificación NRI obtenida por el país o nación indicado en el encabezado de la **Tabla 5**, en su cálculo de puntuación se basa en la sumatoria de puntuaciones individuales de los indicadores (60) que dependen o que forman parte de cada subpilar (12) y una vez se obtiene el valor este se totaliza en el cálculo del pilar (4) correspondiente; el Ranking NRI se mide en una escala de 1 a 7, donde ((1 = En absoluto; 7 = A una gran extensión)), con el producto de la combinación de los pilares (4) con igual ponderación de 25% respectivamente, basado en el rendimiento de 130 economías mundiales, conforme al aprovechamiento de tecnologías de la información y las comunicaciones TICs para impulsar la competitividad y el bienestar de los países o naciones, se obtiene el resultado [38].

$$\text{NRI} = 1/4 \text{ Pilar Tecnología} + 1/4 \text{ Pilar Personas} + 1/4 \text{ Pilar Gobernanza} + 1/4 \text{ Pilar Impacto}$$

Varios de los indicadores individuales utilizados en el Ranking NRI se obtiene de organizaciones internacionales (UNESCO, ONU, BID, etc.), otra parte de los indicadores NRI a medir se derivan de la Opinión Ejecutiva del Foro Económico Mundial en modo de encuesta que se utiliza para medir los conceptos cualitativos de estadísticas internacionales comparables y que apliquen para todos los países o naciones.

- **Pilares NRI:** El índice de preparación de la red NRI, es un concepto multidimensional, por lo cual consta de niveles que para este contexto son definidos como pilares, que permiten obtener una clasificación, para contar con datos fidedignos de medición **Ilustración 6**.



**Ilustración 6** Modelo NRI **Fuente:** Elaboración propia

Dentro de estos pilares, podemos describir los siguientes:

- **Technology:** La tecnología es considerada como eje central del corazón de la economía de red, por lo tanto, este pilar es catalogado como de nivel primario y uno de sus objetivos primordiales es buscar evaluar el nivel de tecnología, que es condición sin la cual no habría participación de un país o nación en la economía global. En este pilar podemos contemplar una fórmula de medición.

**Pilar Tecnología = 1/3 Accesibilidad + 1/3 Contenido Digital + 1/3 Nuevas tecnologías**

La anterior es basada en los tres subpilares (Accesibilidad, Contenido Digital, Nuevas tecnologías), que permiten el propósito del Pilar de la Tecnología.

- **People:** Para el pilar de personas se concibe que, la disponibilidad, el nivel de tecnología y la calidad de esta en una nación o un país solo es de interés en la medida que su población y las organizaciones tengan la habilidad, la capacidad, el acceso y los recursos para utilizarla de manera productiva y eficaz. Este pilar primario mide como las personas usan, aplican y optimizan las TICs en los tres subpilares (Individuos, Empresas, Gobiernos), la fórmula de medición es:

**Pilar Tecnología = 1/3 Individuos + 1/3 Empresas + 1/3 Gobiernos**

- **Governance:** El pilar de gobernanza hace referencia a estructuras de red integradas en pro de la seguridad y protección de las personas y de las empresas en el contexto de los tres subpilares que la componen (Confianza, Regulación, Inclusión digital).

**Pilar Gobernanza = 1/3 Confianza + 1/3 Regulación + 1/3 Inclusión digital**

El establecimiento y accesibilidad a los sistemas e infraestructura de países o naciones que promuevan la actividad dentro de la red es cuantificado con base a los tres subpilares anteriores [38].

- **Impact:** Como último pilar, el NRI maneja el Impacto, en donde la preparación en la economía en red es un medio para el mejoramiento del crecimiento y del bienestar de la sociedad y la economía en general de los países o naciones.

**Pilar Impacto = 1/3 Economía + 1/3 Calidad de Vida + 1/3 Contribución ODS**

El pilar de Impacto del NRI tiene como objetivo evaluar el Impacto social y humano de la participación en La economía de red en los tres subpilares anteriores (Economía, Calidad de Vida, Contribución Objetivos de Desarrollo Sostenible) [38].

- **Framework de Arquitectura Empresarial:** Framework de arquitectura empresarial utilizado o implementado en las iniciativas o entorno de E-Gobierno adelantadas.
- **Principio de Arquitectura Empresarial:** Los principios de la arquitectura empresarial son las declaraciones que para cada país o nación identifica como las prioridades para abordar dentro del marco de una Política Nacional Digital y pueden ser estos principios las pautas para acelerar y potenciar los mecanismos de trabajo y la toma de decisiones.
- **Responsabilidad / Gobernanza:** En este sentido, este elemento se basa en el responsable de divulgación, implementación o demás factores, siendo de naturaleza pública o privada, de orden nacional y/o territorial, siendo de nivel central y/o descentralizado, para garantizar la implementación de una Política Nacional Digital o Iniciativas de E-Gobierno para el país o nación descrita en el encabezado de la **Tabla 5**.
- **Política Nacional Digital:** Se indica mediante la marcación con la letra "X"(equis), si el país o estado relacionado en el encabezado de la **Tabla 5** cuenta con una Política Nacional Digital,

que impulsa la transformación digital por medio del uso y aprovechamiento de las TICs, en todos los ámbitos posibles.

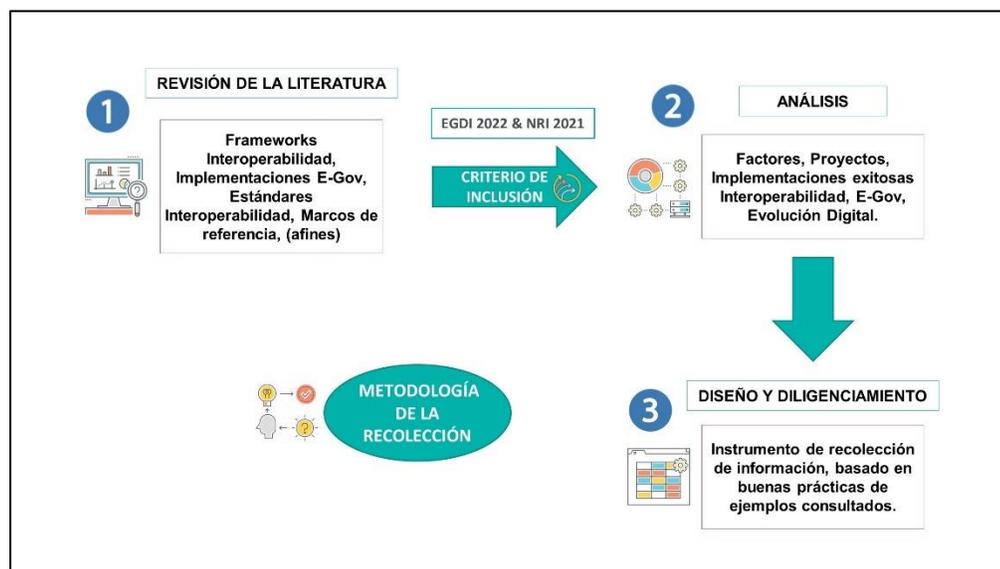
- **Implementaciones:** Implementaciones asociadas a E-Gobierno, basadas en framework de Arquitectura Empresarial para el país o estado relacionado en el encabezado de la **Tabla 5**.
- **Estándares:** Descripción de documentos técnicos diseñados para ser utilizado como norma, directriz o definición establecida, usados en las iniciativas o implementaciones descritas, para el país o nación relacionado en el encabezado de la **Tabla 5**.
- **Iniciativas de Gobierno Electrónico:** Relación de Iniciativas de E-Gov que se encuentren proyectadas o en ejecución para el país o nación relacionado en el encabezado de la **Tabla 5**, que ameriten ser enunciadas.

CRITERIO		PAISES CATEGORIZADOS CON BUENAS PRÁCTICAS DESARROLLO DE GOBIERNO ELECTRÓNICO							
		SUB-REGIÓN		SUB-REGIÓN		SUB-REGIÓN		SUB-REGIÓN	
		PAÍS		PAÍS		PAÍS		PAÍS	
Ranking EGDI 2022									
Calificación EGDI									
Dimensiones EGDI	OSI								
	HCI								
	TII								
Ranking NRI 2021									
Calificación NRI									
Pilares NRI	Technology								
	People								
	Governance								
	Impact								
Framework de Arquitectura Empresarial									
Principio de Arquitectura Empresarial									
Responsabilidad / Gobernanza									
Política Nacional Digital									
Implementaciones									
Estándares									
Iniciativas de Gobierno Electrónico									

**Tabla 5** Tabla Comparación Modelos Interoperabilidad **Fuente:** Elaboración Propia

## 2.1.2 Elaboración Listado de Modelos de Interoperabilidad

Mediante la revisión sistemática de la documentación indicada y disponible para esta etapa **Ilustración 7**, se listaron los modelos de interoperabilidad implementados, disponibles y documentados en el contexto de Salud e intercambio de datos clínicos, que puedan ser aplicables al contexto Colombiano, en corresponsabilidad de tener referencia de implementaciones de Interoperabilidad, no solo para escenarios de salud, sino también para otros entornos que permiten tener referencia específica de que manejo se le puede dar a la información y bajo que componentes y premisas de seguridad, donde el eje central se dio sobre documentos en donde se identificaron factores de éxito y conocimiento detallado de eficiencia de implementaciones de E-Gobierno y desarrollo u evolución digital; para este propósito se utilizara **Tabla 5**, como instrumento de recolección de información, teniendo en cuenta el ejemplo de países con buenas prácticas en el desarrollo de gobierno electrónico e implementación de las TICS, por lo que se obtuvieron unos resultados basados en algunos criterios a mencionar.



**Ilustración 7** Metodología de Recolección **Fuente:** Elaboración propia

### 2.1.2.1 Criterio selección Modelos de Interoperabilidad

Tener un criterio, estadística, número o punto de partida contra el cual comparar es un reto bastante importante, por ello el criterio metodológico para seleccionar modelos de Interoperabilidad aplicables al contexto de Salud e intercambio de datos clínicos en Colombia fue

desarrollado tomando como referente el Índice de Desarrollo del Gobierno Electrónico (EGDI) promulgado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) [37] y el Índice de preparación para la red (NRI) [38] amparado por el Foro Económico Mundial (WFE), el primero enfocado a los sectores públicos y el segundo hacia los sectores privados, permitiendo obtener una vista de 360 grados de las dimensiones de los países o naciones en cuestión, para medir el crecimiento y desarrollo de la gobernabilidad electrónica, aplicación, desarrollo y manejo de las TICs en países o naciones desarrollados, en desarrollo y subdesarrollados del mundo; aprovechando la frecuencia de realización de estas mediciones se pueden mostrar cambios mínimos, pero que a la luz de un contexto global y regional puede mostrarse información que puede considerarse relevante. La **Tabla 6** resume los atributos o criterios de los dos índices de referencias seleccionados para el levantamiento de información, estos criterios están dados de la siguiente manera:

- **Componentes:** Elementos que componen o permiten delimitar el Índice.
- **Nivel de Aplicación:** Países o Naciones que hacen parte de la unidad de medida o margen en donde se levanta la información.
- **Tipo de Datos:** Los datos son primarios o emergen luego de un proceso de transformación.
- **Rango de Puntuación:** Rango de calificación o puntuación manejado para el Índice.
- **Clasificación /Puntuación:** Partitura cuantitativa en la que se clasifica la puntuación manejada por el Índice.
- **Cantidad de Variables:** Cantidad de variables que se tienen en cuenta para el cálculo del Índice.
- **Subjetividad:** Maneja valoración subjetiva (SI/NO)
- **Inicios:** Historia de inicios de la publicación del Índice.
- **Frecuencia:** Frecuencia de medición o recolección de datos del Índice.
- **Reconocimiento Internacional:** El Índice cuenta con reconocimiento internacional (SI/NO).
- **Cobertura:** Criterio o línea de impacto del Índice.
- **Enfoque:** Sector en el cual se delimita el análisis de la información del Índice.
- **Fuente Consulta:** Fuente o repositorio donde se pueden consultar los resultados o publicaciones del Índice.

- **Patrocinador:** Organismo de orden mundial, territorial o nacional que apoye el desarrollo del Índice considerado.

CRITERIO	ÍNDICE	
	E-Governance Development Index (EGDI)	Network Readiness Index (NRI)
Componentes	Dimensión OSI + Dimensión TII + Dimensión HCI	Pilar Tecnología + Pilar Personas + Pilar Gobernanza + Pilar Impacto
Nivel de Aplicación	193 Países o Naciones	130 Países o Naciones
Tipo de Datos	Datos Secundarios	Datos Secundarios
Rango de Puntuación	0 a 1	1 a 7
Clasificación /Puntuación	se clasifica en 4 grupos de la siguiente manera: - Muy alto (EGDI 0.75-1.00) - Alto (0.5-0.75) - Medio (0.25-0.5) - Bajo (menos de 0.25)	1 = En absoluto; 7 = A una gran extensión
Cantidad de Variables	3 Dimensiones que se obtienen de multiples variables	60 Indicadores
Subjetividad	SI	SI
Inicios	Mediados año 2000	Inicios año 2001
Frecuencia	Anual	Anual
Reconocimiento Internacional	SI	SI
Cobertura	E-Gobierno	Desarrollo Digital
Enfoque	Público	Privado
Fuente Consulta	<a href="https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Reports/UN-E-Government-Survey-2022">https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Reports/UN-E-Government-Survey-2022</a>	<a href="https://networkreadinessindex.org/#">https://networkreadinessindex.org/#</a>
Patrocinador	Organización de las Naciones Unidas (ONU)	Foro Económico Mundial (WFE)

**Tabla 6** Tabla Resumen Índices Referencia, **Fuente:** Elaboración Propia

### 2.1.2.2 Resultado Modelos de Interoperabilidad Seleccionados

Los principales criterios de inclusión para la selección de los modelos o esquema de interoperabilidad aplicables al contexto de Salud e intercambio de datos Clínicos en Colombia, son el nivel **"muy alto"** de EGDI, el cual puntuara más de 0.9 dentro de todos los calificados, proponiendo cuatro países o naciones de latitudes diferentes en varias subregiones del mundo, los países o naciones seleccionadas son una visible muestra del desarrollo y evolución del E-

Gobierno y evolución de las TICs siendo estos Dinamarca, Estonia, República de Corea y Australia, para aterrizar a un contexto regional se seleccionan cuatro países o naciones pertenecientes a la subregión de América del Sur, de la cual formamos parte, cuyo EGDI puntuara más de 0.7 y así permitir que Colombia estuviese allí enmarcada, los demás países o naciones indicados son Uruguay, Argentina, Brasil y por supuesto Colombia. Para los países desarrollarse en un espectro del E-Gobierno y evolución digital de las TICs se debe enfocar los dos ángulos, los públicos y los privados, es en este último, donde se integra el criterio de Inclusión del Índice NRI, que, aplicándolo a los ocho países o naciones antes descritos, permiten confirmar que estos se encuentran en unas condiciones de desarrollo y evolución importantes, referencia para poder extraer la información foco de este ítem. En la **Tabla 7** se muestran los ranking y puntuaciones obtenidas por cada uno de los países o naciones en cuestión, tanto para el Índice EGDI año 2022, como NRI año 2021.

PAÍS / NACIÓN	DATOS ÍNDICES			
	Ranking EGDI 2022	Puntuación EGDI 2022	Ranking NRI 2021	Puntuación NRI 2021
Dinamarca	1/193	0.9717	3/130	81.24
Estonia	8/193	0.9393	21/130	71.62
República de Corea	3/193	0.9529	12/130	75.56
Australia	7/193	0.9405	13/130	74.96
Uruguay	35/193	0.8388	49/130	56.38
Argentina	41/193	0.8198	58/130	52.92
Brasil	49/193	0.7910	52/130	55.86
Colombia	70/193	0.7261	65/130	50.55

**Tabla 7** Tabla Resultados Índices Referencia, **Fuente:** Elaboración Propia

### 2.1.2.2.1 Visión General de los Países o Naciones Seleccionados

Dentro de los países o naciones seleccionadas pueden encontrarse características similares, que resultaron adecuadas y apropiadas para el contexto colombiano, además, se supone que los países o naciones deben desarrollarse, evolucionar e implementar arquitecturas, que se ajusten a

sus políticas nacionales digitales; como visión general de los datos dispuestos en la **Tabla 8**, tenemos:

#### **2.1.2.2.1.1 Dinamarca**

Dinamarca, ubicado en el ranking EGDI en el puesto N°1, entre 193 países o naciones, con una calificación EGDI de 0.9717, obtenida del cálculo matemático de sus tres dimensiones OSI, HCI y TII **Ilustración 8** [37]:



**Ilustración 8** Ranking EGDI Dinamarca **Fuente:** Elaboración propia

Se categoriza como el líder mundial con la mayor puntuación, respaldando estos resultados con un Ranking NRI ubicándose en el puesto N°3, entre 130 países o naciones que forman parte del ranking en cuestión, con una calificación de 81.24, totalizado del cálculo matemático de sus cuatro pilares Technology, People, Governance, Impact **Ilustración 9** [38] :



**Ilustración 9** Ranking NRI Dinamarca **Fuente:** Elaboración propia

Dinamarca adopta como Framework de Arquitectura Empresarial el TOGAF y el Marco Europeo de Interoperabilidad EIF, el cual es considerado una serie de lineamientos que, en la Unión

Europea, definen directrices y recomendaciones para que aquellos servicios de administración electrónica y digital puedan garantizar la interoperabilidad de los sistemas en todos los niveles de gobierno. Los principios generales de la arquitectura empresarial son semánticos y estándares técnicos. Existe en su haber una infraestructura común para ambos sectores, tanto el gobierno, como el sector privado. La política Nacional digital y sus actividades derivadas han sido iniciadas en 2011 por la Agencia para la Digitalización, que en su medida depende directamente del Ministerio de Finanzas Nacional, de igual manera las estrategias digitales y la reingeniería de procesos de negocio han sido ejecutadas desde 2016 [39] [40], con implementaciones como el estándar abierto de Nube Nacional y las reglas de accesibilidad que estas puedan derivar. Dentro de los Estándares que se identifican se cuenta con la utilización de HL7 V3 RIM, SNOMED CT, APD, CDA, CMR, CPD, PHMR, XML, SOAP 1.1/1.2 MTOM/XOP, DICOM, EDI-FACT, FHIR, entre otros y para terminar definimos que las iniciativas digitales de Gobierno Electrónico son el Portal Nacional de Ciudadanos, el E-ID y EProcurement accedido a través de Internet y basado en la web Tecnología; El proyecto XML para el intercambio de datos y el servicio electrónico; amparados bajo coberturas de leyes de trabajo digital.

#### 2.1.2.2.1.2 Estonia

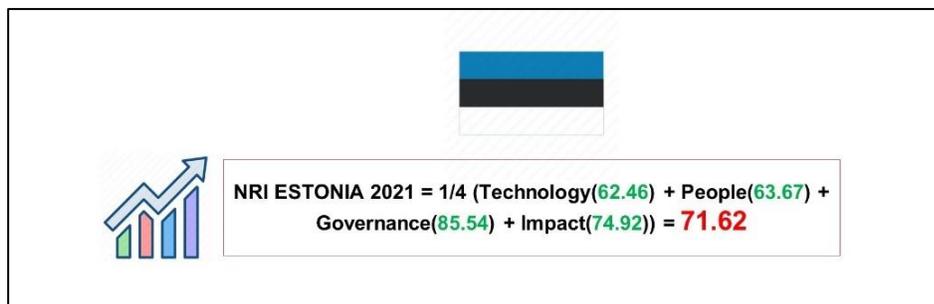
Estonia, país o nación perteneciente a la subregión del Norte de Europa, se encuentra ubicado en el ranking EGDI en la posición N°8 entre 193 países o naciones que son cuantificadas, con una calificación de 0.9393, obtenida del cálculo matemático de sus tres dimensiones OSI, HCI y TII

**Ilustración 10** [37]:



**Ilustración 10** Ranking EGDI Estonia **Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al Ranking NRI ocupando el puesto N°21, entre 130 países o naciones que forman parte del ranking en cuestión, con una calificación de 71.62, pero según el informe Estonia se encuentra en el grupo de países o naciones con altos ingresos en términos de rendimiento de sus pilares, ya que tiene una puntuación superior a la media del grupo de ingresos en tres de los cuatro pilares Technology, People, Governance, Impact **Ilustración 11** [38]:



**Ilustración 11** Ranking NRI Estonia **Fuente:** Elaboración propia

En el criterio de Framework de Arquitectura Empresarial se encuentra arraigado el concepto de la Meta Arquitectura, que en el sentido analítico consta de tres fundamentos interrelacionados (Entorno, Sistemas de Producción y Desarrollo del conocimiento), generando un ecosistema de innovación de sistemas a través de la gobernanza, este Framework EA proporciona una visión holística que cubre sistemas no informáticos y de las TICs, garantizando ejes de estructura y su funcionalidad, cubriendo de esta manera los procesos claves de la evolución digital del entorno gubernamental y privado. [41] La Meta Arquitectura con su principio de Interoperabilidad, para la arquitectura Empresarial permite un uso tecnológicamente uniforme de cada una de las identidades electrónicas para todas las empresas y organizaciones, aunque cada Sistema cuente con información individual en sus dinámicas de concepción. Cuenta con un consejo de E-Estonia, el cual se encarga del Sistema de Información de Estonia y depende Ministerio de Asuntos Económicos y Comunicaciones, en donde se erigen las directrices para cooperar entre los Departamentos y Dependencias, Universidades, Gobiernos locales, Bancos y Organizaciones. La Política Nacional Digital define que el ecosistema de las TICs es y debe ser compatible con todo el país y responde a la tecnología / política del cambio, definiendo las TICs como soporte, no como un negocio en términos de toma de decisiones, realización y centralización, con el fin de optimizar todo tipo de recursos. Como punta de lanza Estonia, ha implementado con éxito la

estrategia para garantizar la seguridad de los datos y el funcionamiento sin grietas de Servicios de gobierno electrónico, fundamentado en X-Road. Como estándares a referenciar encontramos REST, SOAP, XML, HTML, WAP, SMS, entre otros. Como iniciativas de gobierno electrónico el Voto vía Internet (I-Voting) es un famoso servicio electrónico para las elecciones locales y generales en Estonia, la Identidad Electrónica es el significado legal, que se utiliza para la autenticación y es usado como un código de identificación único [42], los canales de entrega son los basados en la web para el portal principal del servicio central, en este sentido Estonia ha proporcionado X-Road como infraestructura de integración para el servicio central de administración pública y privada. X-Road, así como en Estonia, es el Enterprise Service Bus compatible que garantizara la comunicación segura de datos, en el proyecto de Interoperabilidad emprendido por el Gobierno del estado Colombiano.

#### 2.1.2.2.1.3 República de Corea

La República de Corea, ubicada en el ranking EGDI en el puesto N°3, entre 193 países o naciones de este ranking, con una calificación EGDI de 0.9529, definida luego del cálculo matemático de sus tres dimensiones, a saber, OSI, HCI y TII **Ilustración 12** [37]:



**Ilustración 12** Ranking EGDI República de Corea **Fuente:** Elaboración propia

Para las mediciones en el Ranking NRI, para el año 2021, la República de Corea aparece calificada en el puesto N°12, entre 130 países o naciones que forman parte del ranking enunciado, obteniendo una calificación de 75.56, si bien se encuentra enmarcado en esta posición en el análisis del Informe se indica que la más grande de las fortalezas que tiene, son las Personas, motor que le permite estar en el grupo de las economías con mejores resultados en cuanto a el desempeño de los cuatro pilares Technology, People, Governance, Impact **Ilustración 13** [38].



**Ilustración 13** Ranking NRI República de Corea **Fuente:** Elaboración propia

Para la República de Corea se ha establecido oficialmente la transformación hacia una administración electrónica, para que se pueda gestionar los recursos de manera eficaz y acceder, procesar y gestionar de manera adecuada la información en todos los niveles, por ello se ha adoptado la EA de manera obligatoria en todas las escalas gubernamentales definiendo el GEAF (Gartner Enterprise Architectural Framework) [43] como eje central de ese modelo, el GEAF se presenta como la definición y la relación de los componentes en el desarrollo de la estrategia, más que en la ingeniería misma, lo que permite entender y emprender el camino a seguir; parece combinar el concepto de TOGAF modelo de arquitectura empresarial, pero como eje central está el GEAF. Los principios adoptados en esta Arquitectura Empresarial son la facilitación de la coherencia, la reutilización y la interoperabilidad en la mejora de los servicios gubernamentales y tecnológicos hacia los ciudadanos. El gobierno determina al Comité de Arquitectura Empresarial, bajo Agencia Nacional de Informatización para liderar todas estas políticas de transformación y adopción de las tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones TICs, con la clave de desarrollo apuntando en una matriz 4x4 enlazada con perspectiva como planificador (estratégico), Propietario (concepto), diseñador (lógica) y desarrollador (físico), logrando implementaciones como el modelo de referencia, que es el estándar o Esquema de clasificación y también estructura de información para conectar todas las agencias gubernamentales [44], además, las herramientas de apoyo de EA son la Planificación de capital y control de inversiones, el modelo de madurez y el sistema de gestión de EA, que as su vez garantiza la productividad y satisfacción de los ciudadanos con respecto a el cambio de las vistas de negocios, aplicaciones, datos y tecnología. Para la utilización de estándares, se pueden apreciar UUID, HL7 FHIR, RESTful, XML, entre otros, como componentes inmersos en las iniciativas digitales. Como iniciativas de Gobierno Electrónico destacan GOV.KR, Minwon Services y el Sistema de políticas de Información.

#### 2.1.2.2.1.4 Australia

En el referente de Australia, ubicado en el ranking EGDÍ en el puesto N°7, entre 193 países o naciones, con una calificación EGDÍ de 0.9405, obtenida del cálculo matemático de sus tres dimensiones OSI, HCI y TII, **Ilustración 14** [37]:



**Ilustración 14** Ranking EGDÍ Australia **Fuente:** Elaboración propia

En los resultados que se muestran en el Ranking NRI, recordando que este es uno de los principales índices mundiales sobre la aplicación y el impacto de las tecnologías de la información y las comunicaciones TICs, se encuentra ubicado en el puesto N°13, entre 130 países o naciones incluidos en el ranking, con una calificación de 74.96, siendo su mayor fortaleza la Gobernanza, totalizando lo anterior del cálculo matemático de sus cuatro pilares Technology, People, Governance, Impact, **Ilustración 15** [38]:



**Ilustración 15** Ranking NRI Australia **Fuente:** Elaboración propia

Australia ha llevado a cabo el proceso de construcción de Arquitectura Empresarial, teniendo como preceptos la evolución, evaluación e implementación, por lo cual adopta AGA (Australian Government Architecture) [45] como su framework referente. Siguiendo en este los principios delimitados bajo la premisa de compartir portafolio e Integrar servicios, estos servicios tienen que

satisfacer las necesidades y la vida de los ciudadanos, tanto en experiencias nacionales como internacionales y así proporcionar la Arquitectura y Orientación para la toma de decisiones. La Agenda de Transformación Digital, como política nacional digital, se ejecuta según la hoja de ruta que propone el Departamento de Finanzas y Desregulación, quien es el responsable de toda la evolución de este entorno y su clave es compartir e integrar la cartera y datos. Si bien Australia es ampliamente dominante en el desarrollo de capital humano, sus esfuerzos en implementación se han dado en un estándar de tecnología para compartir e intercambiar datos entre todas las agencias del estado, basados en las necesidades de los diferentes negocios, planes estratégicos, visión, necesidades de desarrollo y evolución, prácticas empresariales y gubernamentales. Como estándares de comunicación podemos ver la utilización de CDA, FHIR, SNOMED CT, HL7 V3 RIM, IHE, OMG, CDISC, ADHA, los cuales garantizan el rendimiento de servicio que tiene que compartir e intercambiar entre las agencias, dependencias, entidades o empresas. Dentro de las directrices que incluyen el desarrollo, uso, mantenimiento, gestión del cambio, despliegue tecnológico y gobernanza se visualizan iniciativas digitales de Gobierno Electrónico como myGov (Inicio de Sesión Único), Identidad Digital, Tell Us Once/Inbox, Asistente personal humano digital, cumpliendo previamente un criterio de cinco capas de referencia, que son el rendimiento, el negocio, el servicio, los datos y la Tecnología [46].

#### 2.1.2.2.1.5 Uruguay

En referencia a Uruguay, como país perteneciente a la subregión de América del Sur, se encuentra ubicado en el puesto N°35, entre los 193 países o regiones adscritas, con una calificación EGD de 0.8388, siendo esta la más alta de Suramérica dentro de este Ranking, la cual es obtenida del cálculo matemático de sus tres dimensiones OSI, HCI y TII, **Ilustración 16** [37]:



**Ilustración 16** Ranking EGD Uruguay **Fuente:** Elaboración propia

En las mediciones del Ranking NRI, para el año 2021, Uruguay figura calificada en el puesto N°49, entre 130 países o naciones que forman parte del ranking enunciado, obteniendo una calificación de 56.38, confirmando de manera adicional lo evidenciado en el Ranking EGDI, en donde a nivel Suramérica es el país o nación mejor posicionado, es de mencionar que en el análisis del Informe se indica que la más grande de las fortalezas que tiene, son en el pilar de Gobernanza, de igual manera su desempeño es basado en los cuatro pilares Technology, People, Governance, Impact

**Ilustración 17** [38].



**Ilustración 17** Ranking NRI Uruguay **Fuente:** Elaboración propia

Uruguay ha desarrollado la Metodología para su arquitectura empresarial basada en TOGAF con el cual busca tener la pauta y referencia bajo este modelo para fomentar la participación y el compromiso de todos los intervinientes en el proceso de transformación digital del país, con esto y de la mano de las Agencias como AGESIC [47], proporcionan una hoja de ruta detallada para desarrollar los proyectos de E-Gov que puedan afrontar. La Política Nacional Digital fuertemente trabajada, pretende entre otras cosas, desarrollar habilidades digitales inclusivas, utilizar la innovación para el bienestar social y realizar inversión estratégica en infraestructura, en pro del beneficio digital del país, por ello Fomentar la optimización del uso de las TICs y optimizar la Interoperabilidad son pilares en el Estado Uruguayo, ya que, teniendo el control de la información, estudiar los casos útiles, mejorar las prácticas y potenciar todos los frentes posibles consolidaran y mantendrán a el país como punto de referencia en Suramérica. Dentro de sus implementaciones cuentan con la Plataforma de Gobierno Electrónico, en donde se establece Service Oriented Architecture, SOA a nivel del Estado, teniendo como punta de lanza la plataforma Middleware nacional, que posibilita la interconexión de todos los actores del país. De igual forma al contar con esta infraestructura los estándares de comunicación y mensajería

utilizados están representados por HL7 v2, CDA, IHE, SNOMED CT, DICOM, los cuales posibilitan el intercambio de Información por medio de sus modelos implementados. AL tener claro el concepto y el norte, en cuanto a proyección tecnológica del país, Uruguay avanza incansablemente en iniciativas de gobierno electrónico, como La Plataforma Participación Ciudadana Digital [48], Plan de Adopción (PDA), Historia Clínica Electrónica Oncológica (HCEO), Salud.UY [49] que es una iniciativa de ESalud que promueve el uso intensivo de las TICs en el Sector Salud, de este macro proyecto se desligan una serie de iniciativas que lo definen como exitoso y referente a nivel de la región.

#### **2.1.2.2.1.6 Argentina**

Argentina, país o nación perteneciente a la subregión del América del Sur, se encuentra ubicado en el ranking EGDÍ en la posición N°41 entre 193 países o naciones que son cuantificadas, con una calificación de 0.8198, obtenida del cálculo matemático de sus tres dimensiones OSI, HCI y TII

**Ilustración 18** [37]:



**Ilustración 18** Ranking EGDÍ Argentina **Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al Ranking NRI ocupando el puesto N°58, entre 130 países o naciones que forman parte del ranking en cuestión, con una calificación de 52.92, teniendo mucha similitud en el desempeño de sus pilares de Personas y Gobernanza, de igual forma el promedio de la calificación se obtiene de los cuatro pilares Technology, People, Governance, Impact **Ilustración 19** [38]:



**Ilustración 19** Ranking NRI Argentina **Fuente:** Elaboración propia

En Argentina la Arquitectura Empresarial se orienta bajo los fundamentos de TOGAF [50] y dentro de los principios para esta EA se pretende contar con Sistemas de información interconectados e interoperables. Argentina ha estado abarcando una política Nacional Digital de la mano del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, con quien ha alcanzado una serie de implementaciones exitosas como el Marco Argentino de Interoperabilidad en Salud (MAIS) y el Plan Nacional de Sistemas de Información en Salud, que son iniciativas del estado basados en el gobierno electrónico como una estrategia de desarrollo nacional. Como estándares de comunicación y mensajería dentro de las implementaciones y las iniciativas podemos ver la utilización de HL7 v 2.x, HL7 CDA R2, FHIR, STU3, IHE, ICD y SNOMED CT. Las dimensiones técnicas preceden todos los servicios, por ello es dimensionada centrándose en la interoperabilidad y la colaboración, por eso se observan y se detallan iniciativas de Gobierno Electrónico como el Sistema Integrado de Información Sanitario Argentino (SISA) y el Proyecto MAIS [51], es un proyecto para estandarizar el intercambio de documentación clínica, el detalle de la facturación y los débitos entre prestadores y financiadores [49], con características como persistencia, responsabilidad, potencial para la autenticación, completitud y legibilidad por parte de un ser humano.

#### **2.1.2.2.1.7 Brasil**

Brasil, esta nación o estado es la más grande de Suramérica en cuanto a territorio, se encuentra ubicada en el ranking EGDÍ en el puesto N°49, entre 193 países o naciones de este ranking, con una calificación EGDÍ de 0.7910, definida luego del cálculo matemático de sus tres dimensiones, a saber, OSI, HCI y TII **Ilustración 20** [37]:



**Ilustración 20** Ranking EGDÍ Brasil **Fuente:** Elaboración propia

Brasil para las mediciones en el Ranking NRI, correspondientes al año 2021, aparece calificado en el puesto N°52, entre 130 países o naciones que forman parte del ranking enunciado, obteniendo una calificación de 55.86, si bien se encuentra enmarcado en esta posición en el análisis del Informe se indica que la más grande de las fortalezas que tiene, es la Gobernanza, la cual sobresale de los cuatro pilares Technology, People, Governance, Impact **Ilustración 21** [38]:



**Ilustración 21** Ranking NRI Brasil **Fuente:** Elaboración propia

Brasil desarrolla su Arquitectura Empresarial, teniendo como en cuenta los modelos de transformación y cambio, por ello adopta la EA FACIN (AGA) como su framework referente. Teniendo en este los principios una EA Centrada en las necesidades y expectativas de la sociedad, Infraestructura común e Interoperabilidad, Diseño integrado de los servicios públicos, Transparencia y apertura de la gobernanza. Como los demás países y naciones analizadas parte de una Política Nacional Digital liderada por la secretaria de Logística e Tecnologia da Informação en el marco de la transparencia de la gestión del país. Dentro de la EA y respetando sus principios incluye un modelo de diferenciación tecnología/negocio y un modelo de estandarización tecnología/negocio, ambos buscando obtener alternativas de valor para los ciudadanos. Las prácticas empresariales, tecnológicas y gubernamentales han permitido la implementación de proyectos como el Programa Pitch Gov y E-PING [52], en donde se puede referenciar la utilización

de estándares de comunicación y mensajería como HL7 v 2.x, HL7 CDA R2 y FHIR. Dentro de las iniciativas de Gobierno Electrónico se resaltan DATASUS [53], Red Nacional de Datos de Salud (RNDS), Connect SUS, Identificación única del ciudadano (CPF), todas estas iniciativas alineadas con el Plan de Transformación Digital que busca la mejora de la experiencia del Ciudadano interactuando con las entidades tanto públicas como privadas.

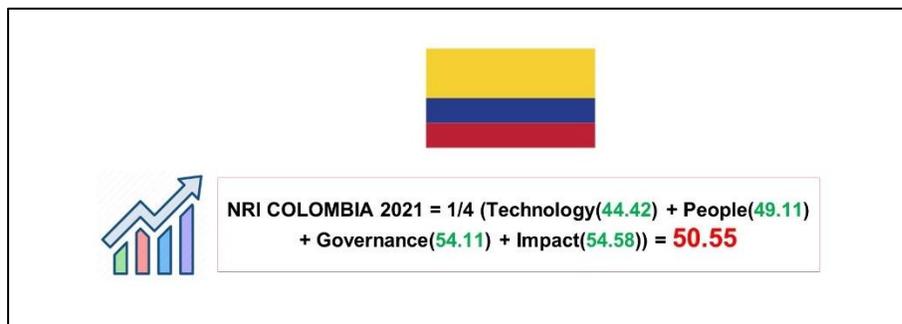
#### 2.1.2.2.1.8 Colombia

Colombia se encuentra ubicado en el ranking EGDI en el puesto N°70, entre 193 países o naciones y se encuentra con distancia considerable con respecto a países como Uruguay, Argentina y Brasil, con una calificación EGDI de 0.7261, obtenida del cálculo matemático de sus tres dimensiones OSI, HCI y TII **Ilustración 22** [37]:



**Ilustración 22** Ranking EGDI Colombia **Fuente:** Elaboración propia

Para el ranking NRI la situación no dista mucho en cuanto a diferencia, teniendo en cuenta que la puntuación se obtiene con respecto a un número menor de países de referencia, podemos ver a Colombia en el puesto N°65, entre 130 países o naciones que forman parte del ranking en cuestión, con una calificación de 50.55, totalizado del cálculo matemático de sus cuatro pilares Technology, People, Governance, Impact **Ilustración 23** [38]:



**Ilustración 23** Ranking NRI Colombia **Fuente:** Elaboración propia

Colombia adopta como Framework de Arquitectura Empresarial el IT4 [54] que es marco de gestión sobre el que se construyó la Estrategia TI para Colombia, el cual resulta de la experiencia, de las mejores prácticas y lecciones aprendidas durante la implementación de la estrategia de gestión TIC en los últimos 10 años en el país y el Framework TOGAF como complemento a IT4, los principios generales de la EA son: Excelencia del servicio al ciudadano, Costo / Beneficio, Racionalización, Estandarización, Interoperabilidad, Co-Creación, Calidad, Seguridad Digital, Sostenibilidad, Neutralidad tecnológica y el Foco en las necesidades, la Política Nacional Digital [55] referencia las respectivas hojas de Ruta del desarrollo tecnológico del país y en cabeza del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, el Viceministerio de Economía Digital, la Dirección de Gobierno Digital, y la Subdirección de Estándares y Arquitectura de TI, buscan fortalecer todos los frentes tecnológicos de la nación. En el haber del entorno tecnológico se pueden determinar implementaciones para entornos de Interoperabilidad como Onesait Healthcare Data [56] y X-ROAD [57], las cuales son compatibles con los estándares de mensajería y comunicación HL7 v3, HL7 v2.X, CDA, API RESTFul, FHIR, SOAP, MTOM, que a su vez son compatibles con los estándares y protocolos utilizados por los diferentes países de la región, como visión a procesos de Interoperabilidad transfronterizos. Las iniciativas de Gobierno Electrónico vigentes en el país pretenden hacer un uso adecuado de la tecnología, acercar las mismas a los ciudadanos, facilitando los tramites, procesos y contextos tecnológicos del país, por ello en el momento se cuenta con las iniciativas Servicios Ciudadanos Digitales, Portal Único del Estado Colombiano, GOV.CO / Territorial y el Portal Datos Abiertos del estado Colombiano [58].

En la **Tabla 8** se diligencio la información correspondiente a los Modelos Interoperabilidad que por sus características pueden aplicar para el entorno Colombiano, en ella se podrá ver consolidada la información anteriormente descrita para cada uno de los países en cuestión.

CRITERIO	PAISES CATEGORIZADOS CON BUENAS PRÁCTICAS DESARROLLO DE GOBIERNO ELECTRÓNICO								
	SUB-REGIÓN		SUB-REGIÓN	SUB-REGIÓN	SUB-REGIÓN				
	Norte de Europa		Asia Oriental	Australia y Nueva Zelanda	América del Sur				
	PAÍS		PAÍS	PAÍS	PAÍS				
	Dinamarca	Estonia	República de Corea	Australia	Uruguay	Argentina	Brasil	Colombia	
Ranking EGI 2022	1/193	8/193	3/193	7/193	35/193	41/193	49/193	70/193	
Calificación EGI	0.9717	0.9393	0.9529	0.9405	0.8388	0.8198	0.7910	0.7261	
Dimensiones EGI	OSI	0.9797	1.0000	0.9826	0.9380	0.7641	0.8089	0.8964	0.7418
	HCI	0.9559	0.9231	0.9087	1.0000	0.8980	0.9173	0.7953	0.7867
	TII	0.9795	0.8949	0.9674	0.8836	0.8543	0.7332	0.6814	0.6498
Ranking NRI 2021	3/130	21/130	12/130	13/130	49/130	58/130	52/130	65/130	
Calificación NRI	81.24	71.62	75.56	74.96	56.38	52.92	55.86	50.55	
Pilares NRI	Technology	76.76	62.46	67.53	71.41	51.99	44.92	49.08	44.42
	People	79.53	63.67	80.63	72.10	54.97	56.45	57.35	49.11
	Governance	90.13	85.44	80.69	85.07	60.45	56.15	62.89	54.11
	Impact	78.52	74.92	73.38	71.27	58.09	54.15	54.12	54.58
Framework de Arquitectura Empresarial	TOGAF/EIF	Meta-Arquitectura	GEAF (TOGAF)	AGA	TOGAF	TOGAF	FACIN (AGA)	IT4+(TOGAF)	
Principio de Arquitectura Empresarial	Principio Semántico y Estándares Técnicos	Interoperabilidad	Consistencia, Reusabilidad e Interoperabilidad	Compartir Portafolio e Integrar los Servicios	Fomentar la optimización del uso de las TICs, Interoperabilidad	Sistemas de información interconectados e interoperables	Centrado en las necesidades y expectativas de la sociedad, Infraestructura común e Interoperabilidad, Diseño integrado de los servicios públicos, Transparencia y apertura de la gobernanza.	Excelencia del servicio al ciudadano, Costo / Beneficio, Racionalización, Estandarización, Interoperabilidad, Co-Creación, Calidad, Seguridad Digital, Sostenibilidad, Neutralidad tecnológica, Foco en las necesidades	
Responsabilidad / Gobernanza	Ministerio de Finanzas (Agencia de Digitalización)	Ministerio de Asuntos Economicos y Comunicaciones (Sistema de Información de Estonia)	Comité de Arquitectura Empresarial, Agencia Nacional de Informatización	Departamento de Finanzas y Desregulación	Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y el Conocimiento	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación	Secretaría de Logística e Tecnología de la Información	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones Viceministerio de Economía Digital Dirección de Gobierno Digital Subdirección de Estándares y Arquitectura de TI	
Política Nacional Digital	X	X	X	X	X	X	X	X	
Implementaciones	Estándar Abierto de Nube Nacional	X-ROAD (Privacidad y Protección de Datos)	- Compartir Datos y Funciones Portal EA. - Sistema de Gestión EA. - Perfiles de Gestión Estándar.	Estándar de tecnología para Compartir e Intercambiar Datos entre todas las agencias del estado	- Middleware Agesic.	Marco Argentino de Interoperabilidad en Salud (MAIS). Plan Nacional de Sistemas de Información en Salud.	- Programa Pitch Gov. - E-PING.	Onesait Healthcare Data; X-ROAD	
Estándares	HL7 V3 RIM, SNOMED CT, APD, CDA, CMR, CPD, PHMR, XML, SOAP 1.1/1.2.MTOM/XOP, DICOM, EDI-FACT, FHIR	REST, SOAP, XML, HTML, WAP, SMS	UUID, HL7 FHIR, RESTful, XML	CDA, FHIR, SNOMED CT, HL7 V3 RIM, IHE, OMG, CDISC, ADHA	HL7 v2 - CDA - IHE - SNOMED CT, DICOM	HL7 v 2.x, HL7 CDA R2 y FHIR STU3, IHE - ICD, SNOMED CT	HL7 v 2.x, HL7 CDA R2 y FHIR.	HL7 v3, HL7 v2.X, CDA, API RESTful FHIR, SOAP, MTOM	
Iniciativas de Gobierno Electrónico	- Contratación Electrónica - Proyecto XML - Inicio de Sesión Único - ID y Firma Electrónica	Identidad Electrónica Sector Público y Privado	- GOV.KR - Minwon Services. - Sistema de Políticas de Información. - E-Estonia	- myGov (Inicio de Sesión Único). - Identidad Digital. - Tell us Once/Inbox. - Asistente personal humano digital	- Plataforma Participación Ciudadana Digital. - Salud.UY - Plan de Adopción (PDA). - Historia Clínica Electrónica Oncológica (HCEO)	- Proyecto MAIS. - Sistema Integrado de Información Sanitario Argentino (SISA)	- DATASUS. - Red Nacional de Datos de Salud (RNDS). - Connect SUS. - Identificación única del ciudadano (CPF).	- Servicios Ciudadanos Digitales. - Portal Único del Estado Colombiano. - GOV.CO / Territorial. - Portal Datos Abiertos	

**Tabla 8** Tabla Comparación Diligenciada Modelos Interoperabilidad, **Fuente:** Elaboración Propia

Luego del estudio de los ocho países enunciados anteriormente, se encuentra un panorama claro que apunta a la promulgación de leyes que fomentan el establecimiento de arquitecturas empresariales que permitan un Gobierno Electrónico efectivo, que abarque factores importantes e incluyentes de cara a la gobernanza, responsabilidad social, principio de transparencia y seguridad, y acceso, cobertura e integración con el fin de brindar servicios a las personas e instituciones en todos los niveles; las múltiples iniciativas obedecen a las necesidades de muchos sectores, incluyendo al del sector salud y estas pueden tenerse como referencia y aplicación de

---

manera contundente al esquema o modelo de atención en Salud en Colombia, todo dependerá de las voluntades políticas de los esquemas de gobierno y los presupuestos dispuestos para estas iniciativas.

## **2.2 Caracterización de conjunto de datos y elementos asociados en el proceso de interoperabilidad entre sistemas de información clínicos.**

En el desarrollo de esta etapa, se elaboró un instrumento de recolección de información, tipo Encuesta, la cual tiene como objetivo recopilar información acerca de Interoperabilidad en Salud, en el contexto de las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud del departamento de Antioquia, Colombia, esto limitando el rango de aplicación del instrumento a este segmento específico, si bien los componentes mínimos y criterios para el manejo de Historias Clínicas Electrónicas de Pacientes, están ampliamente regulados y sujetos a verificación en cuanto a temas de Habilitación y Acreditación en salud para el estado colombiano, generar escenarios de interoperabilidad para historias clínicas electrónicas requiere dimensionar componentes mínimos de seguridad y accesibilidad, como:

- Autorización.
- Autenticación.
- Disponibilidad.
- Confidencialidad.
- Integridad.
- No repudio.

Pero en el nivel de contextualización y preparación de frente a los procesos de implementación, pueden existir brechas, con esta etapa y con base al planteamiento bajo un escenario de Blockchain se genera el interrogante, en cuanto a el conocimiento y estado de arquitecturas para garantizar que estos escenarios propuestos puedan cumplir con los siguientes atributos:

- Distribuidos y digitales

- Transacciones indelebiles a través de algoritmos computacionales avanzados y bloqueos criptográficos.
- Identificación y Autenticación, Verificación de la identidad.
- Transparencia, Rastreo
- Sellado de tiempo y Criptografía.
- Escalabilidad, Seguridad de Acceso.
- Interoperabilidad, la Seguridad y la Privacidad de los Datos

Pudiendo además evidenciar el nivel de conocimiento y madurez que se maneja por parte de las IPS en Antioquia, para llevar a cabo un proceso de Interoperabilidad de datos clínicos de pacientes, si bien no se puede emitir un concepto de debilidades, se indican los puntos que abordaría un proceso bajo criterios interoperables, por lo que esta etapa resume las siguientes actividades:

### **2.2.1 Modelo de Encuesta para aplicar.**

Como actividad propia de esta etapa se diseñó y se construyó una Encuesta denominada **“ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN DATOS Y ELEMENTOS DE INTEROPERABILIDAD EN SALUD V3.0”**, como herramienta que permitió apreciar el nivel de conocimiento de los líderes y responsables de las áreas de Tecnología, acerca del proceso interoperable para Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud en Segmento específico de Colombia, tomando elementos y criterios que incluyen o consideran tecnologías emergentes como Blockchain para su consecución.

Esta encuesta es elaborada en formato electrónico y con la utilización de la herramienta ofimática Microsoft Forms [59]; durante su realización se hace distribución y se caracterizaron dos secciones, la primera con un compendio de cuatro preguntas demográficas asociadas a los datos del Encuestado (sin comprometer la obtención y manejo de datos personales), en donde se solicitaron datos del entorno de desempeño del Encuestado y la segunda sección se abordaron preguntas relacionadas con el conocimiento del proceso de Historia Clínica Institucional e Interoperabilidad de Datos Clínicos, en cuanto a contenido las secciones están compuestas de las siguientes preguntas:

- **Sección 1 (Datos del Encuestado)**

En esta Sección se solicitaron datos del entorno de desempeño del Encuestado, dejando delimitadas las preguntas en un orden del número uno al número cuatro **Ilustración 24**, siendo estas:

**1. Indique Institución a la que pertenece.**

En este ítem se indicó al encuestado diligenciar a la IPS, a la cual está adscrito o está vinculado laboralmente.

**2. Indique área de desempeño dentro de la Institución.**

En este ítem se le solicita diligenciar el área o dependencia organizacional a la que pertenece.

**3. Indique Cargo que desempeña dentro de la Institución**

Para este ítem se le solicito al encuestado diligenciar el cargo o rol que desempeña en la organización o institución.

**4. Indique su dirección de correo electrónico.**

Y en el último ítem de datos del encuestado se le solicita diligenciar el correo electrónico, en caso de requerirse realizar algún tipo de notificación.

**ITM** | Institución  
Universitaria  
Reacreditada en Alta Calidad

## ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN DATOS Y ELEMENTOS DE INTEROPERABILIDAD EN SALUD V3.0

*"La **Interoperabilidad** es la acción, operación y colaboración de varias entidades, sistemas o componentes para intercambiar datos que permitan brindar servicios oportunos a los usuarios, empresas y otras entidades, mediante un solo punto de contacto. De esta manera se les ahorra a las personas desplazamientos de un lugar a otro en el momento de realizar una atención de salud o un trámite institucional. Se busca un intercambio de datos simple, eficiente y de acuerdo con las necesidades de los diferentes actores" **Minsalud, Colombia.***

Esta Encuesta tiene como objetivo recopilar información acerca de Interoperabilidad en Salud, en el contexto de las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud del departamento de Antioquia, para proyecto de investigación de Tesis "Modelo de Seguridad basado en Blockchain para la Interoperabilidad de Datos Clínicos entre Sistemas de Información de IPS en Colombia" como parte de proceso de formación de Maestría en Seguridad Informática, del Instituto Tecnológico Metropolitano ITM, del Maestrando Jaime Alberto Cortés Calle.

\* Obligatorio

### Datos del Encuestado

En esta Sección se solicitarán datos del entorno de desempeño del Encuestado

1. Indique Institución a la que pertenece  
\*
2. Indique área de desempeño dentro de la Institución  
\*
3. Indique Cargo que desempeña dentro de la Institución  
\*
4. Indique su dirección de correo electrónico  
\*

**Ilustración 24** Captura Datos del Encuestado **Fuente:** Elaboración propia

- **Sección 2 (Acerca del proceso Historia Clínica Institucional e Interoperabilidad)**

En esta sección se abordaron preguntas relacionadas con conocimiento del proceso de Historia Clínica Institucional e Interoperabilidad, quedando delimitadas las preguntas en un orden desde el número cinco hasta el número veintiuno **Ilustración 25**, siendo estas:

- 
5. **¿El manejo de un Almacenamiento de Datos en un sistema distribuido (varias ubicaciones para el almacenamiento) simplificaría el flujo de trabajo en un ecosistema de Servicios de Salud?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO, Parcialmente, No tengo claro el concepto; de diligenciamiento obligatorio.

6. **¿La arquitectura tecnológica actual dentro de su administración permite la distribución de nodos y adicción de participantes de otras infraestructuras tecnológicas? ¿El sistema tiene varios actores de diferentes entornos?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO; de diligenciamiento obligatorio.

7. **¿En el Sistema de Historia Clínica actual los datos se almacenan de forma Cifrada?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO, Parcialmente, No tengo claro el concepto; de diligenciamiento obligatorio.

8. **¿En el Sistema de Historia Clínica actual se maneja Marcación de eventos de tiempo que permitan demostrar que una serie de datos han existido y no han sido alterados desde un instante específico en el tiempo?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO, Parcialmente; de diligenciamiento obligatorio.

9. **¿El Entorno de Interoperabilidad actual permite tener confianza y certeza de las transacciones entre los participantes que intervienen de las mismas?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO, Parcialmente; de diligenciamiento obligatorio.

10. **¿La arquitectura tecnológica del ecosistema clínico de datos actual tiene la capacidad y posibilidad de ejecutar una instrucción o evento de eliminación de datos o transacciones?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, y guarda registro histórico, SI, pero no guarda registro histórico, NO; de diligenciamiento obligatorio.

- 11. La plataforma tecnológica de Historia Clínica que maneja, ¿Cuenta con los métodos para garantizar un control de acceso administrable? Usuarios o Login únicos, contraseñas fuertes, políticas de contraseñas.**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO, Parcialmente; de diligenciamiento obligatorio.

- 12. ¿En una Implementación de Interoperabilidad los participantes y actores para ingresar al sistema se mapean o asignan transacciones o roles de acuerdo a las actividades?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO, Parcialmente; de diligenciamiento obligatorio.

- 13. ¿En una arquitectura tecnológica de Interoperabilidad de Datos Clínicos, se requiere transparencia entre los actores intervinientes en el proceso y las transacciones desde su origen, eliminando intermediarios en el proceso?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO, Parcialmente; de diligenciamiento obligatorio.

- 14. ¿La información Clínica está disponible en Línea, para consulta por parte de los pacientes y actores del Sistema de Salud?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO, Parcialmente; de diligenciamiento obligatorio.

- 15. ¿Cuenta en su sistema de Historia Clínica con mecanismos de recolección de Logs (Seguimiento a Transacciones), para la consulta y acceso a los Registros Clínicos de Pacientes?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO, Parcialmente; de diligenciamiento obligatorio.

- 16. Indique el modelo de Infraestructura Tecnológica que maneja.**

---

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas Infraestructura Tecnológica Onpremise (Local), Infraestructura Tecnológica Cloud (Nube), Ambas; de diligenciamiento obligatorio.

**17. ¿Esta infraestructura tecnológica soporta toda la carga de los Servicios asociados al ecosistema Clínico en un único Servidor?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO; de diligenciamiento obligatorio.

**18. ¿La arquitectura actual admitirá de manera adecuada la sobrecarga del 30% adicional, por concepto de seguridad de una Blockchain, las limitaciones que podría presentar una búsqueda y el modelo de verificación transaccional utilizado?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO; de diligenciamiento obligatorio.

**19. ¿La arquitectura actual es compatible con otras arquitecturas y datos clínicos externos, soportando otro ecosistema diferente al de su Organización? ¿Permite Interoperabilidad Clínica?**

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO, Parcialmente; de diligenciamiento obligatorio.

**20. ¿Considera que la Tecnología Blockchain es una tecnología compleja, que es difícil de implementar y mantener, más para un proceso de Interoperabilidad en Salud?**

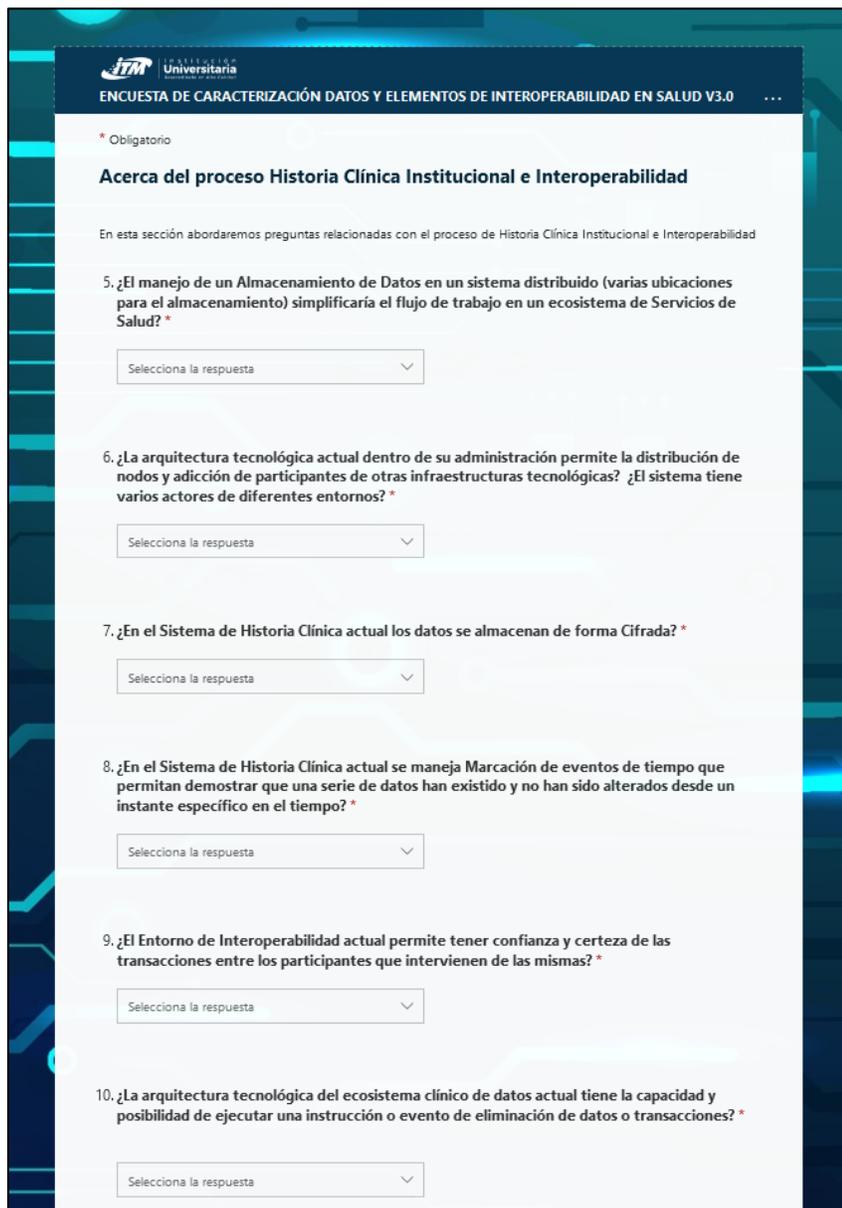
Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas permitidas SI, NO, Parcialmente, No tengo claro el concepto; de diligenciamiento obligatorio.

**21. ¿Qué tanto conoce o está al tanto de los mecanismos de seguridad que tiene el proceso de Interoperabilidad? Seleccione mecanismos conocidos**

- a. Cifrado de Datos
- b. Identificación y Autenticación (Usuarios y Perfiles)
- c. Sellado de Tiempo
- d. Firma Electrónica y Certificados Digitales
- e. Logs y Registros de auditoría
- f. Integridad de Datos
- g. Confidencialidad

#### h. Infraestructura de claves públicas (PKI)

Pregunta que apunta a la percepción o conocimiento de un concepto o atributo específico, posibles respuestas con mecanismos de selección de ítems y diligenciamiento adicional de ser requerido; de diligenciamiento obligatorio.



**ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN DATOS Y ELEMENTOS DE INTEROPERABILIDAD EN SALUD V3.0**

\* Obligatorio

**Acerca del proceso Historia Clínica Institucional e Interoperabilidad**

En esta sección abordaremos preguntas relacionadas con el proceso de Historia Clínica Institucional e Interoperabilidad

5. ¿El manejo de un Almacenamiento de Datos en un sistema distribuido (varias ubicaciones para el almacenamiento) simplificaría el flujo de trabajo en un ecosistema de Servicios de Salud? \*

Selecciona la respuesta

6. ¿La arquitectura tecnológica actual dentro de su administración permite la distribución de nodos y adición de participantes de otras infraestructuras tecnológicas? ¿El sistema tiene varios actores de diferentes entornos? \*

Selecciona la respuesta

7. ¿En el Sistema de Historia Clínica actual los datos se almacenan de forma Cifrada? \*

Selecciona la respuesta

8. ¿En el Sistema de Historia Clínica actual se maneja Marcación de eventos de tiempo que permitan demostrar que una serie de datos han existido y no han sido alterados desde un instante específico en el tiempo? \*

Selecciona la respuesta

9. ¿El Entorno de Interoperabilidad actual permite tener confianza y certeza de las transacciones entre los participantes que intervienen de las mismas? \*

Selecciona la respuesta

10. ¿La arquitectura tecnológica del ecosistema clínico de datos actual tiene la capacidad y posibilidad de ejecutar una instrucción o evento de eliminación de datos o transacciones? \*

Selecciona la respuesta

**Ilustración 25** Captura Datos Acerca del proceso Historia Clínica Institucional e Interoperabilidad

**Fuente:** Elaboración propia

### **2.2.1.1 Escalas de valoración y tipos de respuesta instrumento Encuesta.**

Las escalas de valoración utilizadas en la encuesta obedecen a que las respuestas, que no son fácilmente cuantificables ya que las percepciones e intereses se requieren que sean lo más objetivas y verídicas posible, para determinar las tendencias y conocimientos que se puedan consolidar en cuanto al proceso de Interoperabilidad de Datos Clínicos; de igual forma los tipos de respuesta buscaron obtener una perspectiva única, precisa y sin sesgo sobre los resultados y a su vez tratando de mantener el interés del encuestado en el proceso de diligenciamiento.

En el contexto de la sección 2 Acerca del proceso Historia Clínica Institucional e Interoperabilidad, el global de las preguntas, se delimito con respuestas de opción múltiple, que le permitieron a los encuestados seleccionar una respuesta entre una variedad de opciones predeterminadas de manera limitada.

En las opciones predeterminadas establecidas como respuestas limitadas a un criterio se pueden encontrar:

- SI.
- NO.
- Parcialmente.
- No tengo claro el concepto.
- Respuesta de Selección de conceptos (Con opción de diligenciar más información)

En las opciones predeterminadas establecidas como respuestas a un conocimiento o criterio específico de un tema, se pueden encontrar:

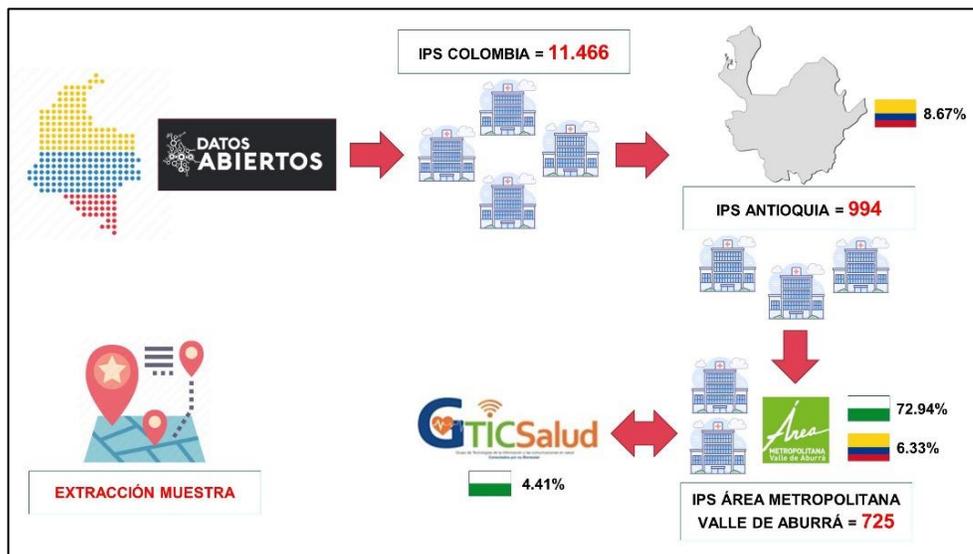
- SI, y guarda registro histórico.
- SI, pero no guarda registro histórico.
- Infraestructura Tecnológica Onpremise (Local).
- Infraestructura Tecnológica Cloud (Nube).
- Ambas.

Los datos de la sección 1 Datos del Encuestado, catalogados como demográficos del entorno de desempeño del encuestado, permitieron delimitar de manera más precisa el grupo de personas objetivo de aplicación del instrumento de encuesta y las respuestas utilizadas fueron de tipo texto abierto.

### 2.2.1.2 Selección Segmento de aplicación instrumento Encuesta.

Para este apartado, se seleccionó una muestra basada en la Plataforma de Datos Abiertos del gobierno de Colombia [58], con referencia al Listado de IPS en Colombia según su nivel de complejidad, en donde se evidencio que según actualización realizada el 17 de junio de 2022, en Colombia existen 11466 IPS prestadoras de Servicios de Salud, de ellas 994 (correspondiente al 8.67% en referencia a las IPS de Colombia) se encuentran ubicadas en el departamento de Antioquia y a su vez 725 (correspondiente al 72.94 % en referencia a las IPS de Antioquia y al 6.33% en referencia a las IPS de Colombia) están ubicadas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, que asocia diez municipios teniendo a Medellín como la ciudad núcleo, alrededor de la cual están conurbados los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Itagüí, Sabaneta, Envigado, La Estrella y Caldas [60]. De allí se referencia el Grupo de Tecnologías de Información y Comunicaciones de Instituciones Prestadores de Salud del Departamento de Antioquia GTICSalud

**Ilustración 26**, con una representación del 4.41% en referencia a las IPS del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, quienes son seleccionados como población de muestra para aplicación de Encuesta y participantes del proyecto.



**Ilustración 26** Definición Muestra aplicación Encuesta **Fuente:** Elaboración propia

Los métodos que se utilizaron para divulgar la encuesta y obtener la participación del segmento indicado fueron socialización abierta en reunión mensual del Grupo GTICSalud, luego se procedió

a envío de enlace de la encuesta, por medio de Correo Electrónico y entrega de código QR a los integrantes del grupo.

Determinando que el mecanismo de recolección de información es la Encuesta, antes planteada, se requirió un criterio para calcular si el tamaño de muestra y la información recopilada sería relevante luego de aplicarla al público objetivo, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula [61]:

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

En donde podemos definir los factores estadísticos que la componen:

**n:** Tamaño de muestra que sería relevante calcular.

**N:** Tamaño de la población.

**Z:** Coeficiente de confianza para un nivel de confianza específico.

**p:** Probabilidad de éxito.

**q:** Probabilidad de fracaso.

**d:** Error máximo admisible.

Y se puede traducir a los datos referencia el siguiente equivalente:

**N: Tamaño de la población:** 32 Instituciones o profesionales (**GTICSalud**).

**Z: Coeficiente de confianza:** Z = 1.645 definiendo un nivel de confianza del 90%

**p: Probabilidad de éxito:** Se considero o espero el 0.05

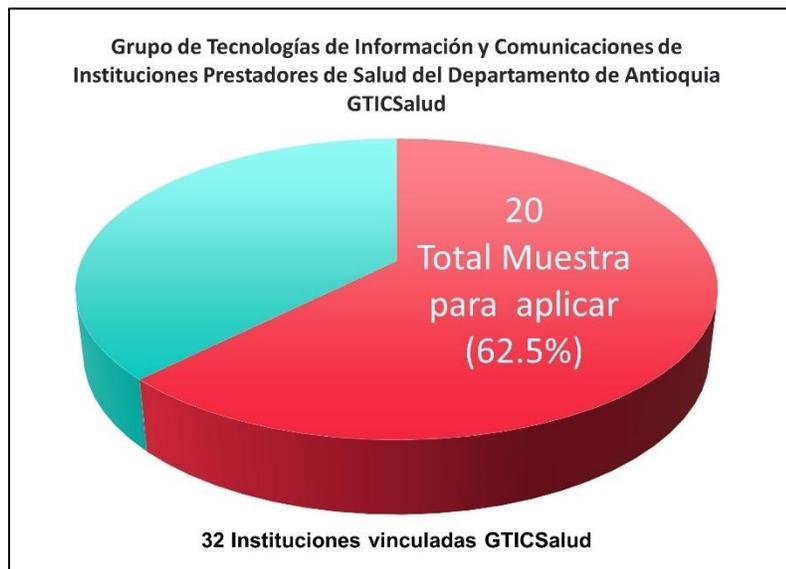
**q: Probabilidad de fracaso:** La fórmula calcula automáticamente  $1 - 0.05 = 0.95$

**d: Error máximo admisible:** Se considero o espero el 5%

Se realizó la aplicación de la fórmula de tamaño de la muestra para la población de aplicación GTICSalud, quedando de la siguiente manera:

$$n = \frac{32 \times 1.645^2 \times 0.05 \times 0.95}{0.05^2 \times (32 - 1) + 1.645^2 \times 0.05 \times 0.95}$$

n = 20 (Tamaño de Muestra con Población Conocida relevante a la cual se le aplico la Encuesta para que fuese valida la recopilación de estos datos) **Ilustración 27.**



**Ilustración 27** Total Muestra aplicación Encuesta **Fuente:** Elaboración propia

#### 2.2.1.2.1 Acerca de GTICSalud.

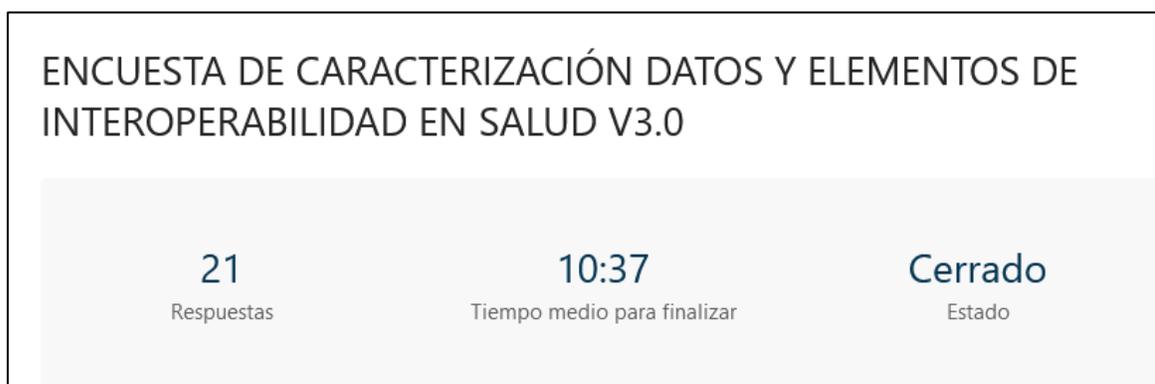
[62] El Grupo De Tecnologías de Información y Comunicaciones de Instituciones Prestadores de Salud del Departamento de Antioquia **GTICSalud**, se constituyó en el mes de agosto del año 2015, en la ciudad de Medellín, agremiando a los encargados de las áreas de tecnologías de información y comunicaciones de las instituciones prestadoras de servicios de salud del Departamento de Antioquia; con el objetivo de compartir inquietudes comunes que se presentan en todos los aspectos relacionados con las tecnologías de la información y telecomunicaciones y el entorno en salud; estudiar y discutir la normatividad referente a TICs y las inherentes al sector salud, así como unir sinergias para abordar situaciones y aplicar los señalamientos impartidos por los entes reguladores. Gestionar, si así se considera conveniente, conferencias con expertos y/o proveedores en temas que el grupo requiera ampliar su conocimiento, para el desarrollo profesional e institucional.

Con un total de 32 (treinta y dos) instituciones vinculadas a la fecha, los requisitos para pertenecer al grupo GTICSalud son:

1. Aplica solo para empresas afines al sector salud de Medellín y el Departamento de Antioquia.
2. Diligenciar el formato único de vinculación en letra legible con firma del Representante Legal e integrantes.
3. Estar de acuerdo con el Reglamento del Grupo GTIC.
4. Ser Ingeniero de Sistemas y/o afines a las TICS.
5. Adjuntar Hoja de Vida (Solo información Profesional).

## 2.2.2 Resultados totalización Encuesta.

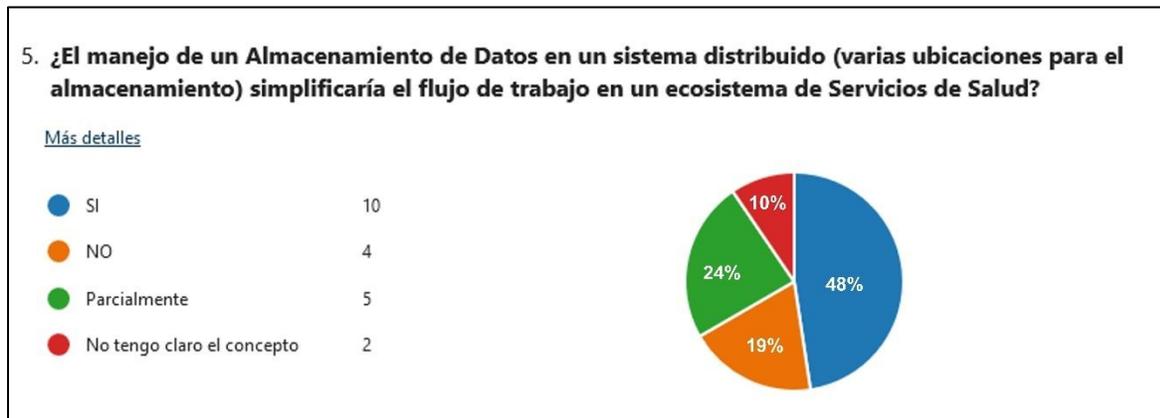
A partir de la aplicación de la encuesta a los integrantes del Grupo GTICSalud, en donde se tenía planteado la recolección de una muestra según el cálculo de 20 (veinte) diligenciamientos, se obtiene el diligenciamiento por parte de 21 (veintiún) encuestados, al cierre de la Encuesta, en donde según el cálculo del tiempo promedio para el diligenciamiento, estuvo dado en un tiempo de 10:37 minutos **Ilustración 28.**



**Ilustración 28** Captura Estadísticas Encuesta **Fuente:** Elaboración propia

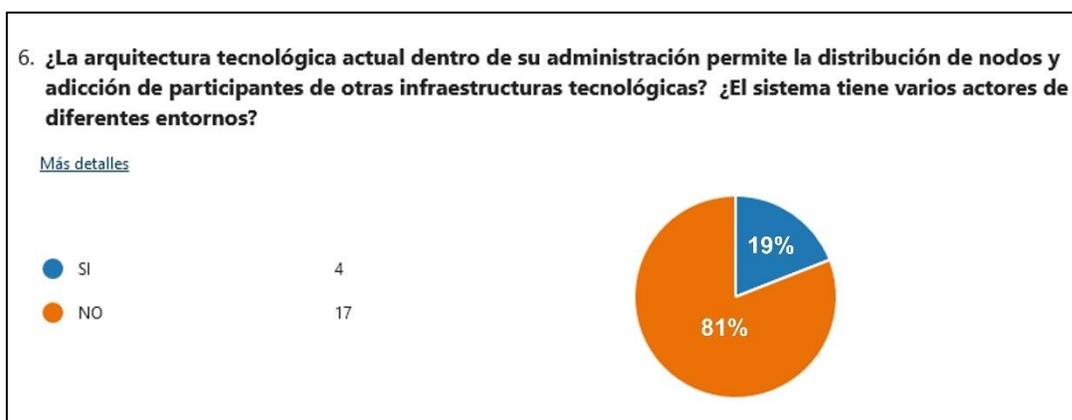
Era de esperar y según los resultados obtenidos en la sección 1, Datos del Encuestado, que el mayor número de participantes fueron los responsables de las áreas y departamentos de Tecnología de las Instituciones a las cuales se encuentran vinculados, siendo acorde a la expectativa, ya que, la difusión pre-aplicación de la encuesta es realizada en este segmento específico. En la continuidad del proceso y en referencia a la sección 2 Acerca del proceso Historia

Clínica Institucional e Interoperabilidad, se obtuvieron los siguientes resultados, según las preguntas planteadas:



**Ilustración 29** Captura Resultado Encuesta Pregunta 5 **Fuente:** Elaboración propia

En la pregunta número 5, el 48% de los encuestados respondieron SI, el 24% respondieron Parcialmente y el 19%, siendo estos dos últimos resultados uniformes, solo el 10% de los encuestados no tiene claro el concepto de la pregunta, siendo una oportunidad para fortalecer divulgación de este tipo de información, para garantizar la asimilación y entendimiento de estos conceptos **Ilustración 29**.



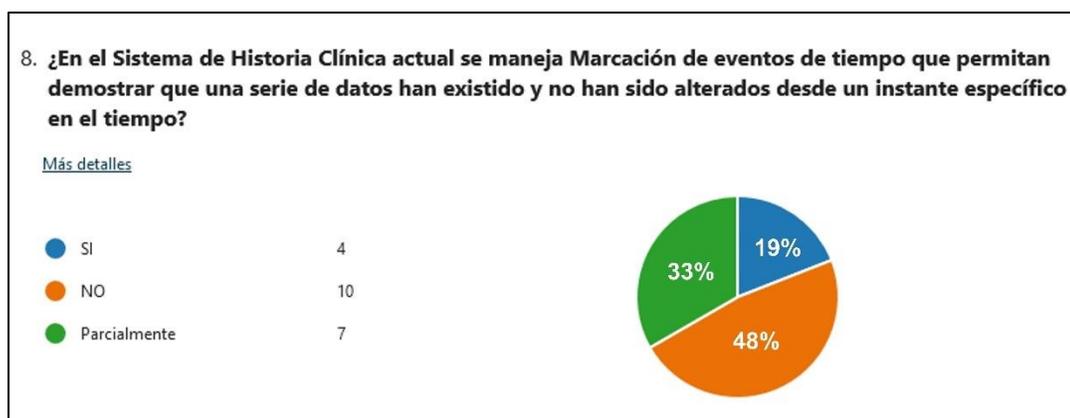
**Ilustración 30** Captura Resultado Encuesta Pregunta 6 **Fuente:** Elaboración propia

Las respuestas para la pregunta número 6 muestran cierta coherencia, ya que al ser una tecnología emergente y en proceso de adopción muy reciente para el contexto colombiano, el resultado indica que el 81% de los encuestados e instituciones no permite el criterio anterior dentro de sus infraestructuras tecnológicas **Ilustración 30**.



**Ilustración 31** Captura Resultado Encuesta Pregunta 7 **Fuente:** Elaboración propia

Las respuestas recopiladas en la pregunta número 7, permiten asumir que este es un punto o problemática en la cual la tecnología Blockchain entraría apoyar los procesos de Interoperabilidad de manera fuerte, debido a que es un método que no está ampliamente implementado en las respectivas instituciones de los encuestados **Ilustración 31**.



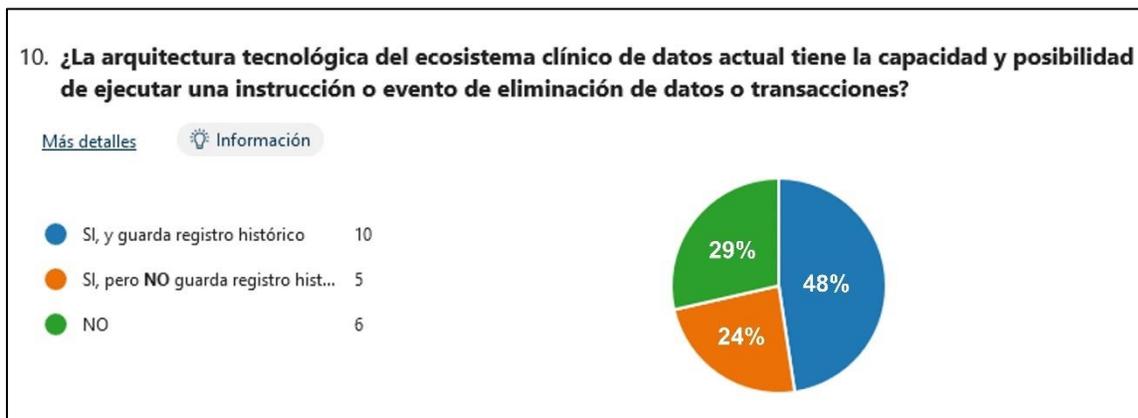
**Ilustración 32** Captura Resultado Encuesta Pregunta 8 **Fuente:** Elaboración propia

Así como en la pregunta anterior, en las respuestas a la pregunta número 8 se identifica oportunidad, en la que la implementación de Tecnología Blockchain apoyaría a fortalecer este punto, ya que en el 48% de los encuestados se identifica que no se tiene y en el 33% de manera parcial, solo el 19% lo tiene implementado, reconociendo este ítem, como uno de los atributos del manejo de cadenas de bloques **Ilustración 32**.



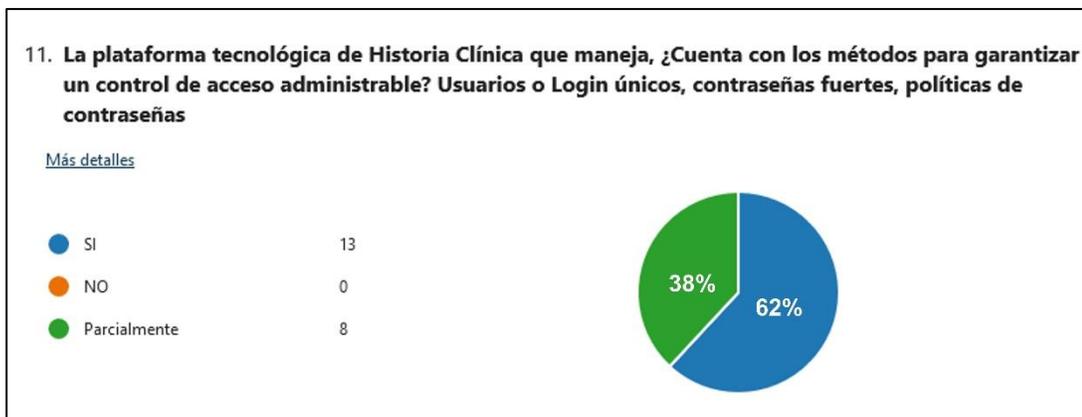
**Ilustración 33** Captura Resultado Encuesta Pregunta 9 **Fuente:** Elaboración propia

Con una uniformidad en las respuestas, las opiniones están divididas para la pregunta número 9, indicando que en cada una de las respuestas se obtiene el 33%, dando cuenta en la variedad de opinión y percepción de parte de los encuestados **Ilustración 33**.



**Ilustración 34** Captura Resultado Encuesta Pregunta 10 **Fuente:** Elaboración propia

Los encuestados respondieron SI, y guarda registro histórico (48%); NO (29%) y SI, pero NO guarda registro histórico (24%) en la pregunta número 10, resultados que generan inquietud, en cuanto a las afirmaciones que permiten los eventos de eliminación, ya que los Ecosistemas transaccionales y más clínicos no deben permitir este tipo de posibilidades, solo adición de registros y transacciones, corrigiendo novedades si fuera del caso **Ilustración 34**.



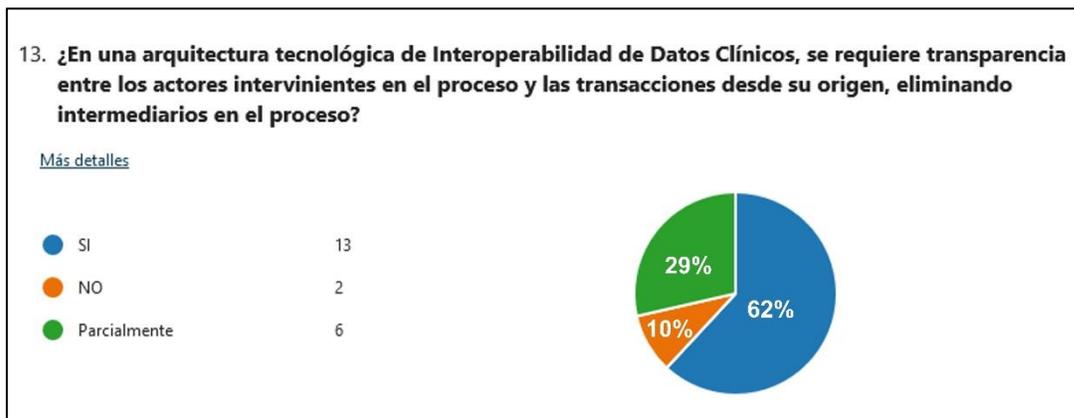
**Ilustración 35** Captura Resultado Encuesta Pregunta 11 **Fuente:** Elaboración propia

La tendencia en las respuestas en la pregunta número 11, indica que la mayoría de los encuestados manejan controles de acceso administrables equivalente al 62%, el 38% restante lo realiza parcialmente, no se obtienen respuestas que indiquen que no se manejan estos controles dentro de la plataforma tecnológica de Historia Clínica **Ilustración 35**.



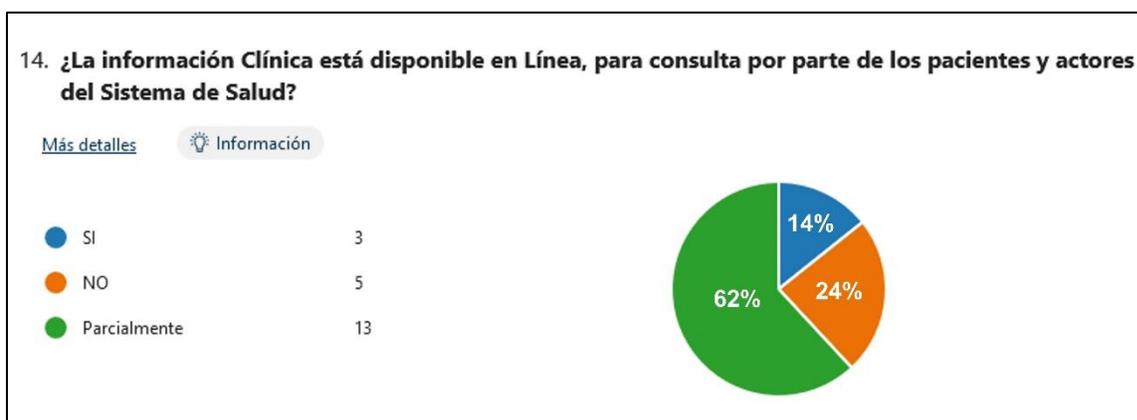
**Ilustración 36** Captura Resultado Encuesta Pregunta 12 **Fuente:** Elaboración propia

El 85% de los encuestados respondieron afirmativamente a la pregunta número 12, dando cuenta de la importancia de implementar Roles y Perfiles, de acuerdo con los cargos, actividades y funciones de los actores en un esquema de Interoperabilidad **Ilustración 36**.



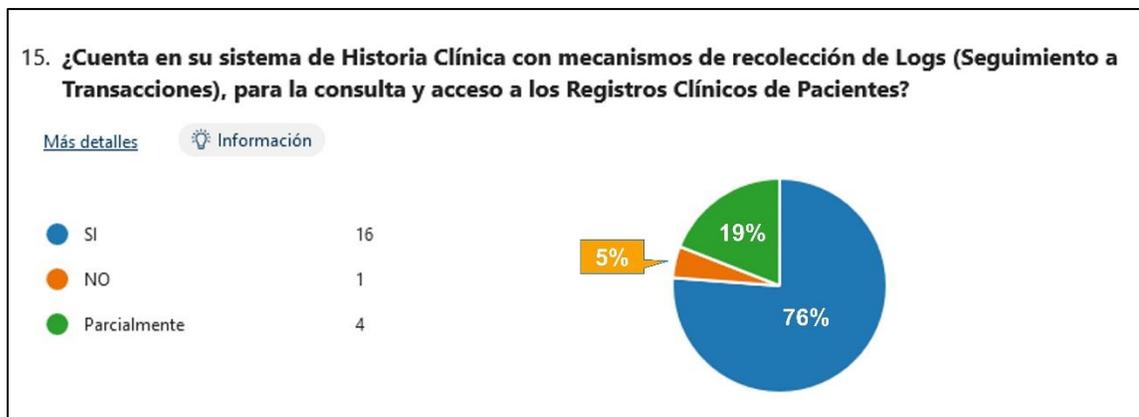
**Ilustración 37** Captura Resultado Encuesta Pregunta 13 **Fuente:** Elaboración propia

Es satisfactorio visualizar que los encuestados tienen la apreciación favorable acerca de eliminar los intermediarios en el proceso de Interoperabilidad de datos clínicos, así lo afirma el resultado de 62%, el 29% de los encuestados indican que parcialmente y solo el 10% indican que no se requiere transparencia en este proceso **Ilustración 37**.



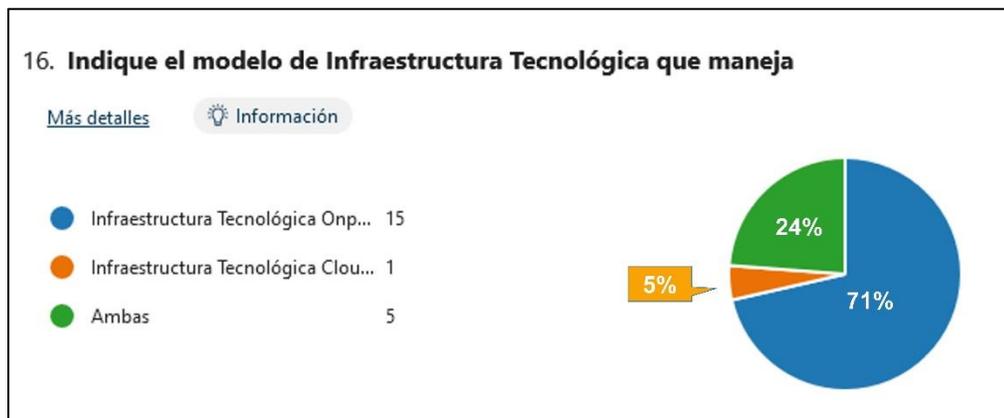
**Ilustración 38** Captura Resultado Encuesta Pregunta 14 **Fuente:** Elaboración propia

Obedeciendo a lo vivido en el contexto colombiano, las respuestas a la pregunta número 14 reflejan esa realidad, en donde el 62% de los encuestados indican que parcialmente (posiblemente solo se puede tener en línea el resultado de exámenes y ayudas diagnósticas y no el resumen total de la historia clínica del paciente), el 24% no disponen de esta información en línea y solo el 14% de estos si lo pueden afirmar **Ilustración 38**.



**Ilustración 39** Captura Resultado Encuesta Pregunta 15 Fuente: Elaboración propia

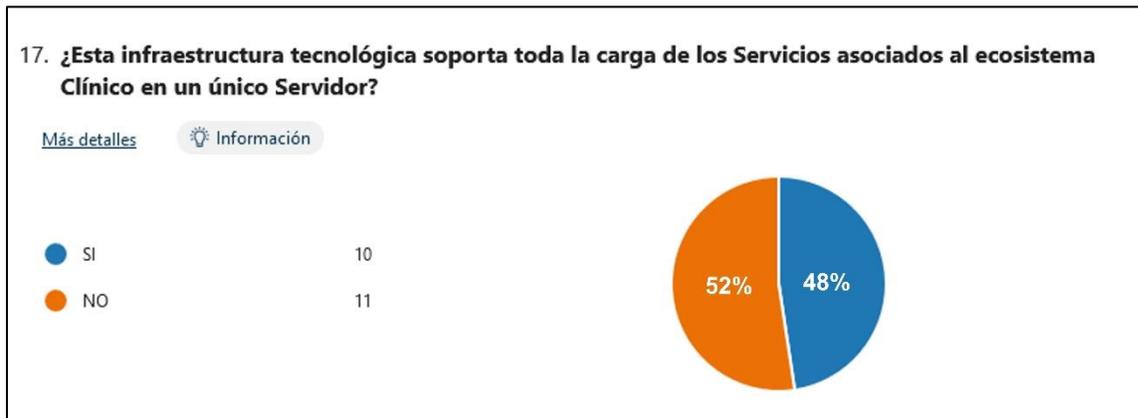
La respuesta predominante a la pregunta número 15 es SI, con un 76%, el 19% respondió Parcialmente y solo el 5% de los encuestados respondió que NO, indicando que se toma como criterio importante para los encuestados realizar seguimiento y auditoria a las transacciones del sistema de Información Clínico **Ilustración 39**.



**Ilustración 40** Captura Resultado Encuesta Pregunta 16 Fuente: Elaboración propia

Claramente se logró evidenciar que en las respuestas a la pregunta número 16, el 71% de los encuestados continúan bajo esquemas tradicionales de infraestructuras tecnológicas Onpremise, pero a su vez se muestra un panorama alentador en donde el 24% de los encuestados cuentan con la implementación de ambas, lo cual abre las puertas a la implementación de esas tecnologías emergentes que cada vez se encuentran más al alcance de las instituciones

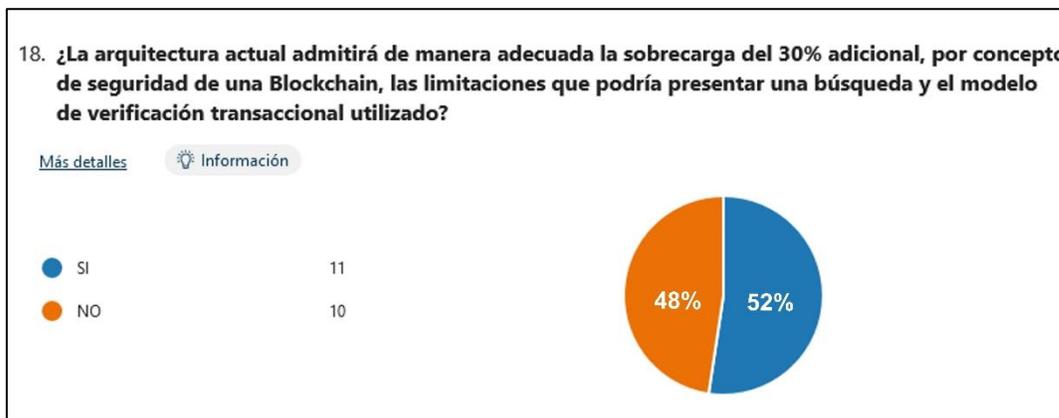
**Ilustración 40.**



**Ilustración 41** Captura Resultado Encuesta Pregunta 17 **Fuente:** Elaboración propia

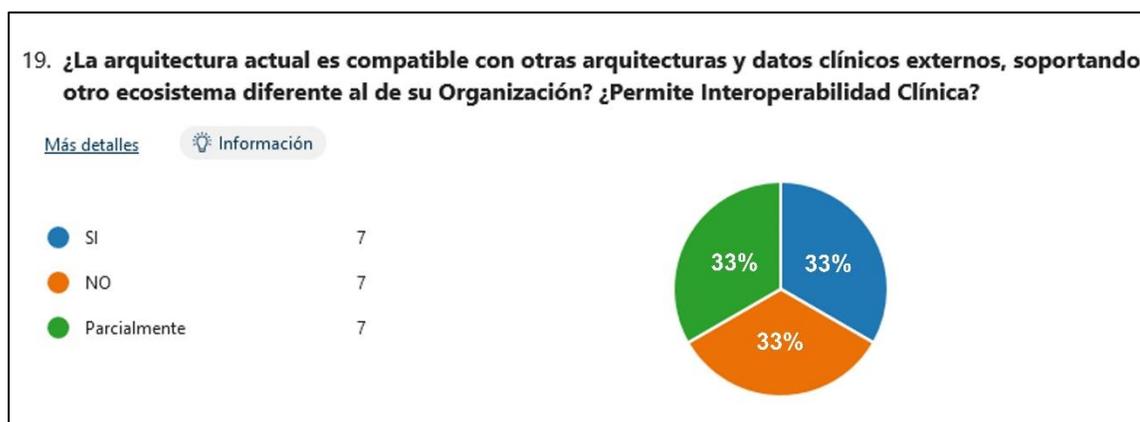
El resultado en la pregunta 17 es visiblemente dividido, lo que indica que el 48% vs el 52% de los encuestados maneja o soporta la carga de Servicios asociados al ecosistema clínico en más de 1 (un) Servidor, pudiéndose deducir que manera que se tiene contingencia para este servicio

**Ilustración 41.**



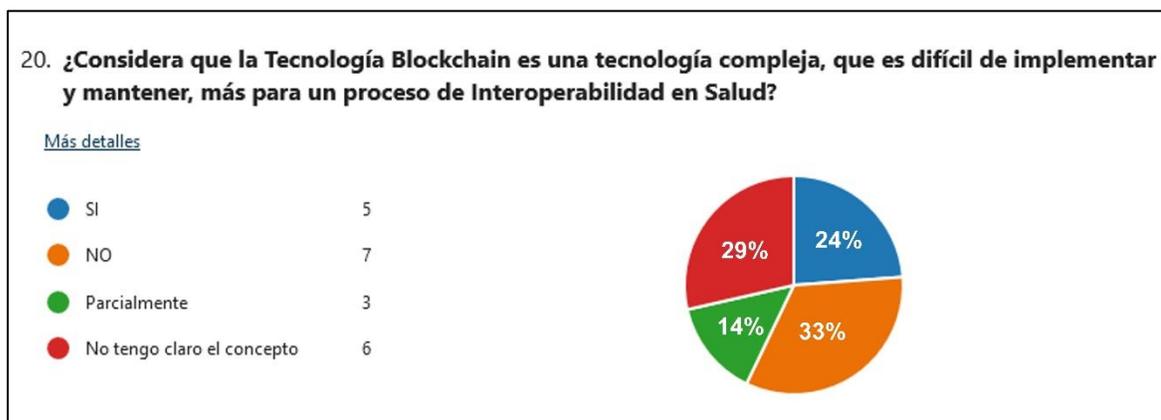
**Ilustración 42** Captura Resultado Encuesta Pregunta 18 **Fuente:** Elaboración propia

Como en la pregunta anterior el resultado es visiblemente dividido, para la pregunta 18, ya que el 52% de los encuestados indican que sus infraestructuras admitirán la sobrecarga adicional en seguridad que implicaría la implementación de proyectos de Blockchain, es de suma importancia mencionarlo, con el fin de que la población encuestada comprenda este escenario y más que una desventaja se potencialice como fortaleza **Ilustración 42**.



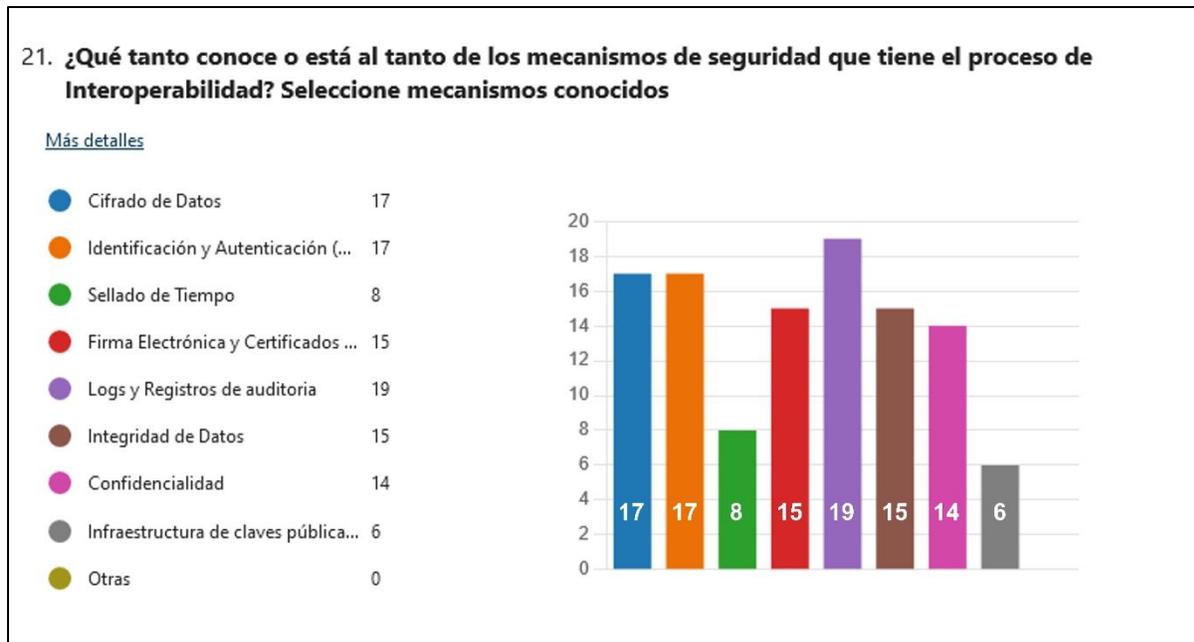
**Ilustración 43** Captura Resultado Encuesta Pregunta 19 **Fuente:** Elaboración propia

Los resultados para esta pregunta muestran una uniformidad en las respuestas, indicando que solo el 33% de los encuestados cuenta con infraestructura para realizar Interoperabilidad de Datos Clínicos **Ilustración 43**.



**Ilustración 44** Captura Resultado Encuesta Pregunta 20 **Fuente:** Elaboración propia

A pesar de la variedad y casi igualdad en las respuestas en la pregunta anterior, número 20, es claro que se debe trabajar y buscar espacios de socialización y capacitación en cuanto a la implementación de la Tecnología Blockchain y más en el entorno de Interoperabilidad en Salud, para entender las bondades y beneficios y poder así emitir un concepto más objetivo **Ilustración 44.**



**Ilustración 45** Captura Resultado Encuesta Pregunta 21 **Fuente:** Elaboración propia

El resultado en la pregunta número 21 visiblemente indica que los mecanismos de seguridad, que maneja un proceso de Interoperabilidad y que son compatibles con la tecnología Blockchain son ampliamente conocidos por los encuestados y es de suma importancia que sea así, ya que es un componente importante al momento de dimensionar e implementación soluciones tecnológicas **Ilustración 45.**

Para visualizar el resumen de las respuestas de la **ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN DATOS Y ELEMENTOS DE INTEROPERABILIDAD EN SALUD V3.0** aplicada, acceder por medio de la URL <https://forms.office.com/Pages/AnalysisPage.aspx?AnalyzerToken=qp6OxcqlzBaZwDvqJOmmNPgB7A1Ekrte&id=RUO6omR3Ik22oXz1KPOzpSZ9qHnt6Z5Dolsp3chZtxFUQk9QSkhRSVZNSENYNzFFSz hLMVAzSEtFQi4u>

Una vez consolidados los resultados se obtiene un panorama de conocimiento en cuanto a los criterios y fundamentos teóricos y en algunas ocasiones prácticos sobre el entorno de datos y elementos de la interoperabilidad en salud, los resultados obtenidos en las encuestas, indican que se vienen manejando implementaciones y criterios tradicionales que son efectivos para el manejo de datos clínicos, que se está potenciando la implementación de tecnologías emergentes y modelos de infraestructuras híbridas en pro del contexto de la evolución de las tecnologías; también se puede obtener en las respuestas que existen elementos propios del Blockchain aplicado a la interoperabilidad en salud que no se tienen claros, siendo una oportunidad para fortalecer la divulgación de este tipo de elementos e información y dejar claridad por parte de las instituciones competentes con el fin de ampliar este espectro de conocimiento; otros factores propios de la tecnología Blockchain reforzarían elementos de Seguridad y mejoramiento que se tienen o no en las implementaciones actuales de las instituciones de los encuestados. Los encuestados lideran los procesos de tecnología de instituciones de Servicios de Salud y el objeto de estas es ese, la salud de los pacientes, en cuanto a las respuestas obtenidas se observa una aproximación a la igualdad en cuanto a plataformas tecnológicas de datos clínicos, esto nos permite suponer que al momento de emprender procesos de interoperabilidad sea bajo el marco o modelo que sea, la curva o nivel de implementación y adherencia podría ser parecida para todas las instituciones, ya que se encuentran casi al mismo nivel de homogeneidad. Se puede concluir que se cuenta con apertura y disposición a la adherencia de nuevas tecnologías como Blockchain, teniendo el enfoque a el sector salud, solo se requieren desarrollar las estrategias normativas y tecnológicas para lograrlo.

### **2.3 Proposición de escenario demostrativo bajo el uso de la Tecnología Blockchain aplicable al manejo de Datos Clínicos.**

El diseño del escenario demostrativo a proponer se basó en la utilización del modelo propuesto por el Gobierno Colombiano aplicable a la interoperabilidad, el cual se basa en la utilización del manejo de los datos clínicos relevantes para la Historia Clínica Electrónica, tomando como referencia la Resolución 866 de 2021 del Ministerio de Salud y Protección Social [63], bajo esta premisa se debe garantizar lo promulgado por la ley y así utilizar la Tecnología Blockchain como

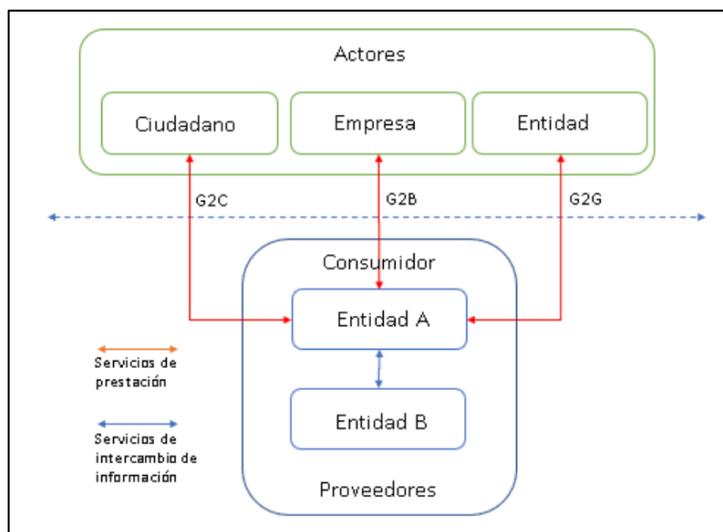
puente garante entre diferentes actores y organismos involucrados en los procesos de atención en salud para llevar a cabo el proceso de Interoperabilidad.

### **2.3.1 Esquema de Interoperabilidad de la Historia Clínica Gobierno Colombiano.**

Dentro del esquema de Interoperabilidad propuesto por el gobierno Nacional de Colombia, según la Ley 1955 de 2019 en su artículo 246, indica:

El Ministerio de Salud y Protección Social adoptará un mecanismo electrónico que desarrolle la interoperabilidad de la historia clínica. Dicho mecanismo deberá garantizar que todos los prestadores de servicios de salud públicos y privados, y demás personas naturales o jurídicas que se relacionen con la atención en salud, compartan los datos vitales definidos por el Gobierno nacional para dar continuidad a la atención en salud, los cuales deberán cumplir los estándares que se establezcan para el efecto [64].

Para destacar y promulgar la premisa anterior, en el escenario funcional que abarque la interoperabilidad de Historia Clínica y Datos Clínicos, desde el lenguaje común de intercambio de Datos de MINTIC [8], cuando una institución o actor del Sistema de Salud requiera comprobar la existencia de algún tipo de registro o evento de atención en salud, necesario para la prestación de servicio, obrando en representación de otra entidad, esta no deberá solicitarle dicha información al paciente, sino que, esta información podrá obtenerla de la entidad o entidades respectivas, a través de mecanismos digitales dispuestos para el intercambio de información, sin que con esto se incurra en la generación de costos adicionales por parte de la entidad o entidades que en algún momento se encuentren realizando la solicitud de esta información, definiéndose para lo anterior el concepto denominado Servicio de Intercambio de Información, como se aprecia en la **Ilustración 46**.



**Ilustración 46** Servicio de Intercambio de Información MINTIC Fuente: [8]

Y en función de impulsar una plataforma de Interoperabilidad que atienda todas las necesidades de la comunidad y actores en general, la identificación y habilitación de múltiples mecanismos que permitan tener acceso de forma simple y ágil a la información y servicios que es lo pretendido con la implementación de este concepto por parte del estado Colombiano, en la **Ilustración 46** este tipo de interacción se denomina [8]:

- **(G2C)** Interacción de Gobierno al Ciudadano.
- **(G2B)** Interacciones entre el Gobierno, las entidades privadas y los negocios denominados Gobierno al Negocio.
- **(G2G)** Interacciones entre entidades públicas denominadas, Gobierno a Gobierno.

### 2.3.1.1 Soporte Normativo para la Interoperabilidad de la Historia Clínica en Colombia.

Entendiendo que iniciativas de transformación digital y las bases tecnológicas son indispensables para que se pueda implementar una Interoperabilidad de datos Clínicos e Historia Clínica Electrónica, una uniformidad basada en un modelo de arquitectura empresarial, no podría darse si no existiese voluntad política que obligase o que regulara este propósito, dando protagonismo a Políticas de Gobierno Digital, donde las TICs contribuyen y aportan a la confianza digital entre los diferentes involucrados, por esta razón en el contexto colombiano se identifican un conjunto de normas que han impulsado la interoperabilidad desde sus inicios hasta la actualidad, en donde

se indica el año de promulgación y se relacionan las normas relevantes emitidas [65] [66] [23] [67] [68] [69] [70] [71] [72] [73] [74] [75] [76] [4] [64] [24] [77] [78] [79] [80] [81] [82] [83] [84] [85] [86] [87] [88] [89] [90] [91] [92] [93] [94] [95] **Ilustración 47:**





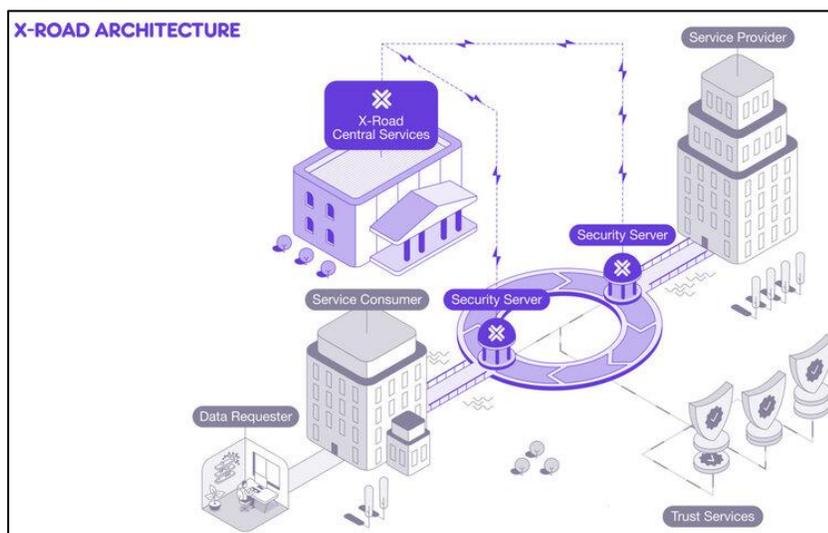
---

**Ilustración 47** Soporte Normativo Interoperabilidad Colombia **Fuente:** Elaboración Propia

### **2.3.1.2. Escenario para la Interoperabilidad de la Historia Clínica en Colombia.**

La plataforma de interoperabilidad definida por el Estado Colombiano es X-Road, con la cual pretende permitir la interconectividad entre las diferentes entidades, para el objeto de este proceso investigativo instituciones de Salud de índole público y también privado. X-Road se define como una solución categórica de infraestructura, la cual proporciona una DXL o capa de intercambio de datos, en donde se administra centralmente el intercambio seguro de información, que se encuentra distribuida entre diferentes nodos o sistemas de información [96]. Para X-Road los nodos, que para el contexto Colombiano son las organizaciones y/o sistemas estarán conectados a un Servicio Central de X-Road, conformando un ecosistema de intercambio datos, donde pueden prestar/proveer o consumir recursos de información, a través de servicios web, RESTful o SOAP, en un entorno seguro que cuenta adicionalmente con servidores de seguridad, los cuales incluyen certificados digitales para los nodos y estampas de tiempo para cada una las transacciones., en resumen la Arquitectura de X-Road se concibe teniendo como elementos [97] **Ilustración 48:**

- ✓ Servicios centrales de X-Road.
- ✓ Servidores de Seguridad.
- ✓ Los Sistemas de Información.
- ✓ Autoridad de Sellado de Tiempo.
- ✓ Autoridad de Certificación.



**Ilustración 48** Arquitectura X-Road Fuente: [96]

A nivel macro X-Road cuenta con una serie de características, por las cuales fue adoptada en los procesos de Interoperabilidad del estado colombiano, como:

- ✓ Gestión de direcciones y establecimiento de rutas.
- ✓ Enrutamiento de los mensajes generados.
- ✓ Interfaces de Gestión de perfiles de acceso.
- ✓ Manejo de Autenticación a nivel de organización.
- ✓ Manejo de Autenticación a nivel de máquina.
- ✓ Encapsulamiento y Cifrado a nivel de la capa de transporte.
- ✓ Marcación de Tiempo.
- ✓ Firma digital de los mensajes generados.
- ✓ Mecanismos de autenticación bajo inicio sesión.
- ✓ Manejo y depuración de errores.

Teniendo como punto de partida la definición de X-Road, como arquitectura que facilita el proceso de Interoperabilidad en el estado Colombiano, cada una de las instituciones que conforman el Ecosistema de Salud del país, deben poseer mínimamente una infraestructura tecnológica que permita desplegar un servidor Virtual que gestione e integre este proceso con la plataforma, entendiendo que esto dependerá si está debidamente especificado acorde a la capacidad y dimensión de cada una de las instituciones, de igual manera se podría manejar

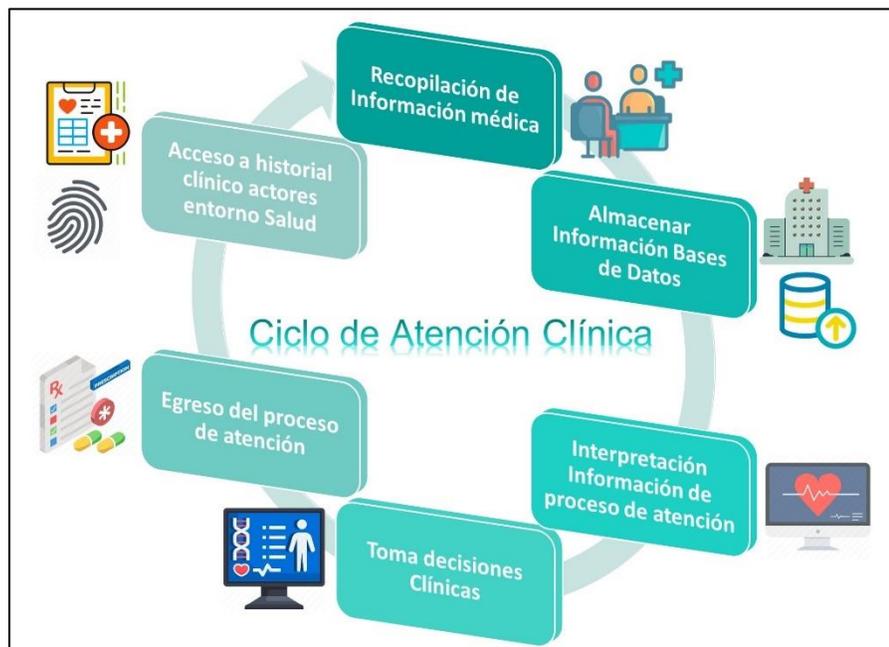
arquitecturas en HA, dependiendo de la capacidad (Económica, Física y Tecnológica) de la institución para poder desplegar dicho modelo.

El diseño y elaboración de interfaces que se implementan sobre la arquitectura de X-Road permiten el uso e interacción con diferentes protocolos de Mensajería, pero ellos no definen la sintaxis, ni tampoco la semántica o el contenido de dichos mensajes; X-Road, no proporciona funcionalidades de ETL que permitan a los diferentes Sistemas extraer, transformar y cargar la información de un sistema origen de un proveedor específico y entregarlo a un sistema de destino, en otros formatos, para ello necesitaría articularse con una plataforma ESB.

Partiendo de la iniciativa del Gobierno Nacional de contar con un modelo de Interoperabilidad unificado, los avances de los últimos años han apuntado a lograr la utilización del estándar de mensajería HL7 FHIR en el intercambio de RDAs de los Nodos o instituciones de salud en Colombia, para el contexto en Salud, implementando de manera preliminar el Guardado, Consulta y Visualización de los respectivos RDAs generados por los diferentes Nodos o intervinientes [98].

### **2.3.1.3 Prototipo.**

Para generar un prototipo dentro del alcance del proyecto investigativo, es necesario comprender el Ecosistema de Atención en Salud en el cual se ven inmersos los actores de este, siendo este un modelo circular en constante gestión. A partir de esta interpretación se identifican una serie de momentos, ciclos o fases que podrían considerarse estándar dentro del proceso de atención [99] **Ilustración 49:**



**Ilustración 49** Concepción Ciclo Atención Clínica **Fuente:** Elaboración Propia

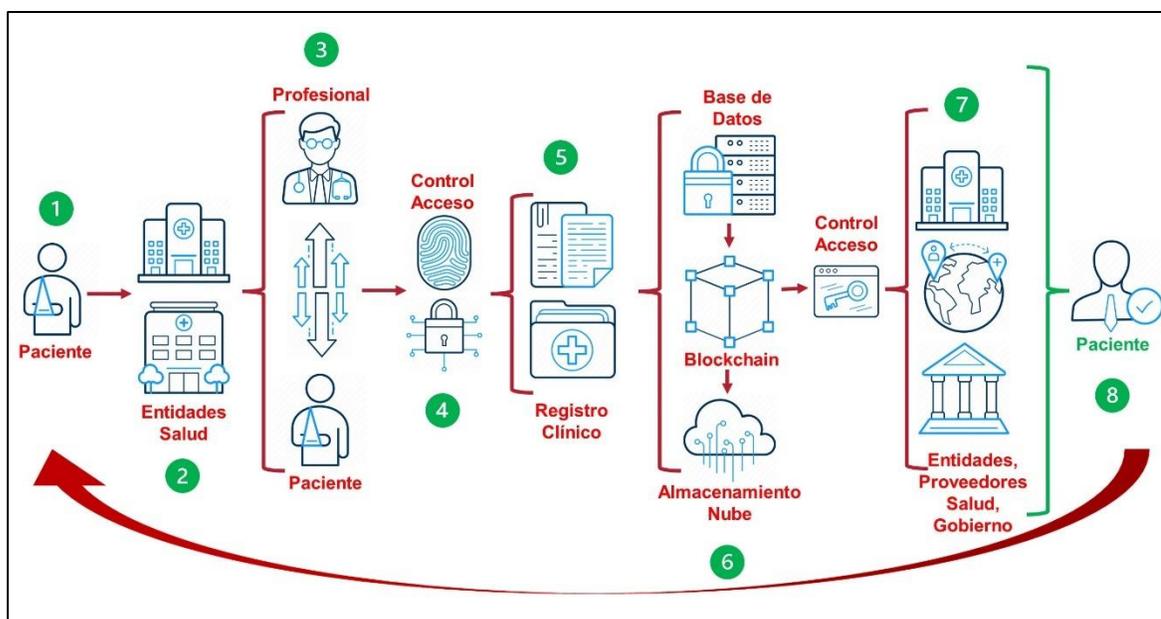
- Obtención o recopilación de la información médica por parte de las entidades o proveedores de servicios de salud, en donde se identifican y comprenden las necesidades del Paciente e inclusive el antecedente clínico anterior de este, como eje central del ecosistema de Salud.
- Como parte de la Gestión Asistencial esta información será dispuesta y almacenada en las Bases de Datos de las entidades o proveedores de servicios de salud que realizan el proceso de atención.
- Paralelamente se da un proceso en el cual se realiza la interpretación de la información del proceso de atención.
- Con base al ítem anterior se deriva una toma de decisiones Clínicas centradas en el Paciente, objeto de la atención.
- Otra etapa del flujo es el egreso, en el que a su salida se obtiene por parte del paciente la solución a la necesidad puntual objeto del proceso de atención, sea con un tratamiento o plan de manejo establecido, unos resultados clínicos que hagan sentido a su estado de salud o una hoja de ruta a considerar.
- Como etapa no visible en muchas ocasiones y siendo esta la final, se debería tener acceso a ese historial clínico por parte de los actores del ecosistema de salud, como Médicos,

otras entidades o proveedores de servicios de salud, etc. siempre y cuando este acceso sea con el consentimiento del paciente.

Terminando lo anterior queda dispuesto el panorama para generar un nuevo ciclo, siempre y cuando el Paciente requiera un nuevo evento de atención Clínica.

En la generación de registros clínicos asociados a los eventos de atención en salud se propone tener con un Modelo de Seguridad basado en la Tecnología Blockchain para garantizar los procesos de Interoperabilidad entre los diferentes actores del ecosistema de salud, respetando y conservando las premisas de seguridad y transparencia que su nivel de criticidad requiere, por ello se definió esquematizar una serie de momentos dentro de la elaboración del Prototipo, los cuales se contemplarían en una solución macro en el momento de implementación a gran nivel

[100] **Ilustración 50:**



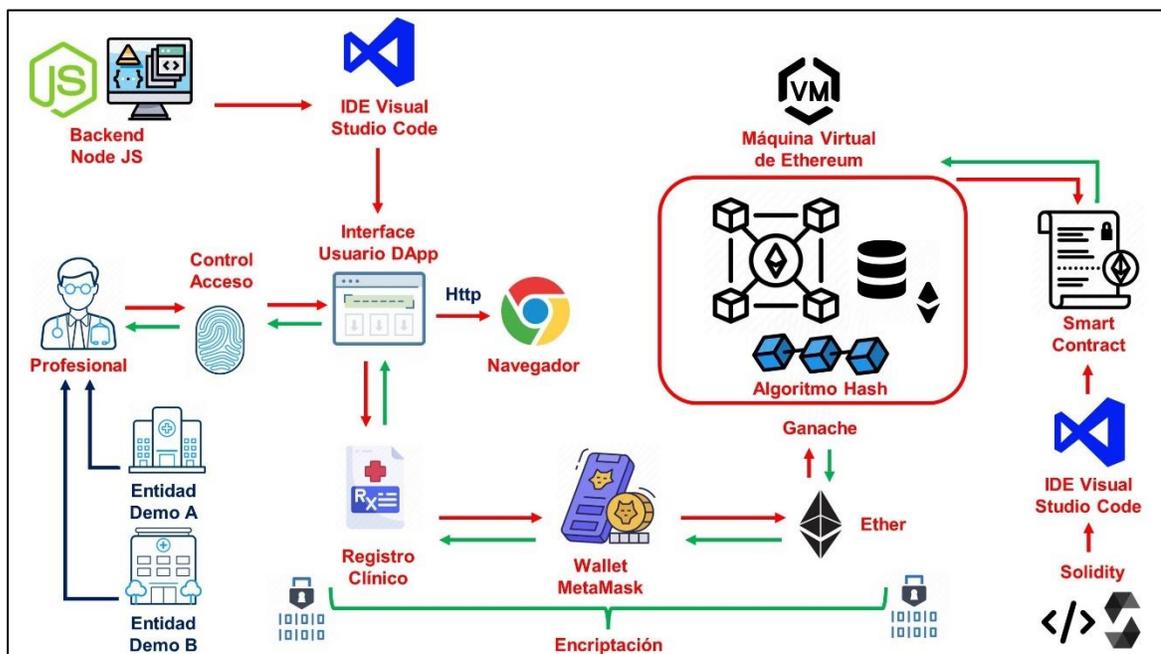
**Ilustración 50** Esquema momentos prototipo Blockchain **Fuente:** Elaboración Propia

- **Momento 1**, un Paciente tiene una necesidad puntual de atención (Consulta, padecimiento, control, seguimiento, ayudas Diagnósticas, etc.).
- **Momento 2**, el Paciente se dispone a establecer contacto con una entidad o proveedor de servicios de salud.

- **Momento 3**, se establece una interacción entre el paciente y el profesional médico, en donde se obtienen datos que consisten en datos primarios o demográficos de identificación, el historial médico, el problema actual o motivo de consulta y demás información propia del ciclo de atención.
- **Momento 4**, como parte del proceso de Interoperabilidad de datos clínicos, debe existir un control de Acceso, en el cual los principios de confidencialidad se garanticen, por ello con el consentimiento del paciente se concederá acceso a los actores del ecosistema de Salud que sean autorizados.
- **Momento 5**, se crea un registro clínico propio de la atención en el EHR perteneciente a la entidad o proveedor de servicios de salud utilizando los datos recopilados en la interacción sostenida, de igual manera allí se podría visualizar o complementar información clínica previa del paciente, generada por otras entidades o proveedores de servicios de salud.
- **Momento 6**, en este se pueden encontrar varios componentes que conformarían de manera robusta y segura el núcleo de todo el esquema Interoperable bajo el uso de la tecnología Blockchain, en donde interactúan la base de datos distribuida en la cadena de bloques con el almacenamiento en la nube, ambos almacenan los registros de forma distribuida y otorgan máxima privacidad, para garantizar el acceso de solo usuarios auténticos y autorizados.
- **Momento 7**, las entidades o proveedores de servicios de salud autorizados debidamente dentro del proceso de interoperabilidad o entidades de control gubernamental, no importando su ubicación geográfica y dependiendo de los canales y mecanismos de conectividad podrán acceder a los registros clínicos, para cumplir con las actividades asistenciales y/o administrativas propias de los procesos que garanticen la salud del paciente y a su vez de ser necesario continuarán agregando datos.
- **Momento 8**, se presenta cuando el paciente culmina el proceso de atención y obtiene la satisfacción de las necesidades presentadas, sea con tratamiento, alta, egreso, etc.

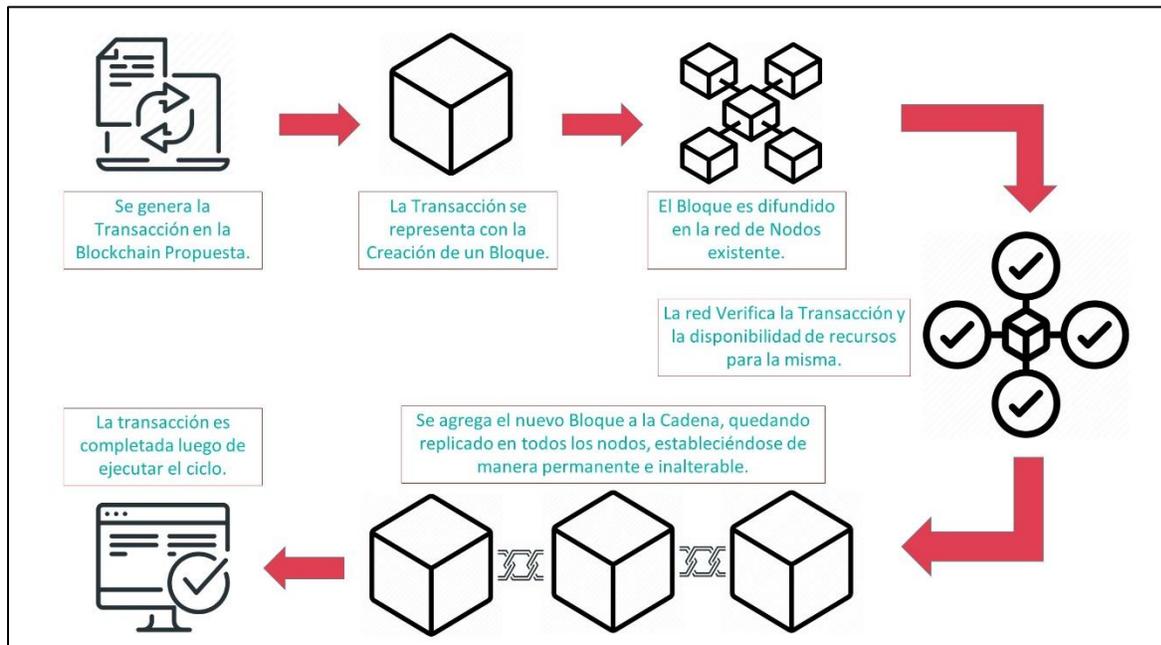
Los momentos o el ciclo de atención vuelve a iniciarse, al momento de requerir un evento de clínico o tener una necesidad puntual por parte del paciente, en este caso se esquematizaría como se describió anteriormente y se tomarían de manera secuencial los momentos.

En el desarrollo del prototipo planteado para el proyecto investigativo se tuvo en cuenta la utilización de los siguientes componentes y tecnologías, los cuales se reflejan en la arquitectura de la **Ilustración 51**:



**Ilustración 51** Arquitectura prototipo Blockchain **Fuente:** Elaboración Propia

Dentro del prototipo propuesto las transacciones fueron enviadas a la red Blockchain local habilitada a través de la DApp desarrollada y con las tecnologías esquematizadas, cumpliendo el proceso en donde al combinarse con las demás transacciones generadas conforman los bloques, que posteriormente se agregan a la cadena [101]; las transacciones una vez incorporadas se disponen de manera definitiva y se dan por completadas, como se muestra en la **Ilustración 52**:



**Ilustración 52** Proceso Transacciones Prototipo Blockchain **Fuente:** Elaboración Propia

### 2.3.1.3.1 Tecnologías Utilizadas.

Este apartado referenciará las Tecnologías utilizadas en el desarrollo del Prototipo propuesto, las cuales permitieron el diseño y funcionamiento de la aplicación web con base a la arquitectura anteriormente referenciada, si bien existen framework de trabajo que permiten la programación de Blockchain de manera más efectiva, los componentes utilizados permitieron asimilar los conceptos y entender en gran medida el funcionamiento del sistema propuesto, las tecnologías involucradas son:

- **Entorno de Desarrollo JavaScript (JS)**, en el desarrollo de la DApp se utilizó el lenguaje de programación JavaScript, como tal es considerado un lenguaje de programación ligero, interpretado, o compilado [102], es definido como un lenguaje orientado a Objetos, basado en lo que podría llamarse prototipos, este lenguaje se encuentra referenciado por excelencia en los entornos de desarrollo web, encontrándose además integrado con muchos frameworks que brindan dinamismo y apoyo para que los usuarios en las iteraciones que tengan con la aplicaciones por medio de Navegador tengan una experiencia positiva.

- 
- **Entorno Ejecución Node.js**, Se encuentra ideado como un entorno de ejecución multiplataforma del lenguaje de programación JavaScript orientado a eventos asíncronos [103], Node.js se encuentra diseñado para crear aplicaciones escalables, controladas por eventos y que permiten mantener una alta velocidad de ejecución, sin dejar de lado que su manejo es fácil e intuitivo. De manera adicional se utiliza **NPM** (Node Package Manager), el cual es el gestor de paquetes de Node.js y es la herramienta por defecto de JavaScript para la acción de compartir e instalar paquetes.
  
  - **Truffle Suite (Truffle, Ganache)**, el Framework Truffle es un conjunto de herramientas de programación orientado a Smart Contracts para desarrollar aplicaciones sostenibles y profesionales sobre Blockchain, utilizando para este fin la Máquina Virtual de Ethereum (EVM) [104], en donde se pueden realizar las distintas pruebas en un entorno de desarrollo integrado y amigable para el equipo desarrollador. Con esta Suite se pueden realizar actividades como:
    - Gestionar las redes Ethereum para desplegar Smart Contracts.
    - Compilar los Smart Contracts.
    - Automatizar los despliegues a través de MetaMask.
    - Automatizar las Pruebas y validación de los Smart Contracts.

La Máquina Virtual de Ethereum (EVM) se define como el entorno que permite a los desarrolladores crear Smart Contracts y aplicaciones inteligentes que la Blockchain pueda entender, por ello el entorno de trabajo de la Suite Truffle se compone de tres elementos principales:

- **Truffle**, que proporciona un entorno con la capacidad de probar e implementar los proyectos realizados, esta herramienta ha crecido notablemente en popularidad en los últimos años gracias a su funcionalidad y versatilidad, hecho que se refleja en el aumento de las descargas desde los repositorios respectivos.
- **Ganache**, es un simulador local de una Blockchain personal para el desarrollo ágil y efectivo de aplicaciones distribuidas (DApps) de la plataforma blockchain Ethereum y la plataforma Blockchain Corda. Ganache como componente puede ser utilizado a lo largo de todo el ciclo de desarrollo, permitiendo implementar y probar las DApps en un entorno seguro y estable para replicar redes Blockchain o probar Smart Contracts [104].

- **Drizzle**, es una biblioteca de desarrollo Front-End que se puede conectar a los datos de un Smart Contract, basado en las herramientas de desarrollo de la librería Redux, este componente específico no fue utilizado en la concepción del prototipo, pero si hace parte de la Suite de Truffle [104].
- **Solidity**, es un lenguaje de programación de alto nivel orientado a objetos, pero no está diseñado para desarrollar programas normales, sino que es un lenguaje específicamente creado para programar Smart Contract para la red Ethereum, permitiendo que exista interacción entre estos y las DApp de manera fácil y rápida. La sintaxis de Solidity indica que es un lenguaje de llaves diseñado para apuntar a la Máquina Virtual Ethereum (EVM). Está influenciado por C ++, Python y JavaScript [19], pero con la diferencia de implementar un tipado fuerte a la hora de declarar el tipo de variables y argumentos, dado de esta manera para garantizar el rigor del Smart Contract.
- **MetaMask**, es una Wallet (billetera digital) de criptomonedas que permite intercambios descentralizados y la gestión de cuentas e interacción de los usuarios con las DApps de Blockchain como las de Ethereum [106], por medio de los Navegadores, siendo un puente [105] y eso precisamente es lo que hace MetaMask, facilitar ese enlace de integración, por ello podemos encontrar a MetaMask como una extensión o plugin para navegadores web como (Firefox, Chrome, Edge, Opera) facilitando el uso e interacción de los entornos establecidos para el consumo de estos servicios. MetaMask permite añadir nuevas cuentas de usuario de la Blockchain a la que esté conectado, previamente vinculando la Clave Privada entregada por Ganache y la almacena de forma segura para realizar las respectivas transacciones y/o enviar y recibir Ether con las DApps desarrolladas, permitiendo así tener interacción mediante sitios web seguros y utilizados basados en la plataforma Blockchain Ethereum.
- **Visual Studio Code**, es un editor de código fuente liviano desarrollado por Microsoft [106]. Es un software libre y multiplataforma, en la actualidad se encuentra disponible para OS Windows, GNU/Linux y macOS, Visual Studio Code tiene una buena integración con Git, cuenta con soporte para depuración de código, y dispone de un sinnúmero de extensiones, que básicamente brindan la posibilidad de escribir y ejecutar código en cualquier lenguaje de programación como C++, C#, Java, Python, PHP, Go, .NET.

- **OS Windows 10 Profesional**, Una de las tecnologías utilizadas y no menos relevante es un Host Físico con especificaciones de hardware acordes a la necesidad del prototipo, en donde se tenía debidamente instalado un OS Windows 10 Profesional, este equipo host permitió crear, desplegar y ejecutar los componentes para la validación de la DApp para este proyecto.

### **2.3.2. Contribución de la Tecnología Blockchain a la Seguridad de la Interoperabilidad en Colombia.**

Luego de que se determina el prototipo a utilizar y que se tiene una comprensión primaria de los atributos de la tecnología Blockchain, es esencial indicar que los escenarios del mundo real en Colombia en donde se afrontan los retos y acciones en pro del cuidado de la Salud tienen problemas por resolver, que van no solo desde lo Misional propio del proceso de atención, los recursos, la corrupción y otros factores, sino también, temas propios de implementación, ya que no se cuenta con las debidas arquitecturas o en algunos casos existen y no son lo suficientemente robustas o estándar y que estas permitan minimizar los eventos en los cuales se ponen en riesgo los datos, se compromete la accesibilidad y no garantiza el carácter de reservado, que es un atributo propio de los registros clínicos. La tecnología Blockchain muestra o pretende recrear una arquitectura que almacena transacciones de registros clínicos de manera descentralizada y segura, en donde toma información que puede ir desde una colección de datos personales de pacientes hasta datos clínicos, diagnósticos, planes de tratamiento, datos del asegurador entre otros, y que el intercambio y manejo de estos se dé bajo las premisas de Inmutabilidad, Redundancia, Transparencia e Integridad.

### **2.3.3. Adopción de la Tecnología Blockchain en los procesos de Interoperabilidad en Salud.**

Culturalmente la decisión de adoptar iniciativas que impacten de manera circunstancial algún sector específico de la economía Nacional dependerá en gran medida de un mandamiento normativo, el cual obligue a su cumplimiento, ya sea definido por fases o etapas, con el fin de garantizar el éxito de ese contexto como tal, para este caso referiremos el de la Interoperabilidad, ya que, de no ser así, una adopción voluntaria condenaría a el fracaso una iniciativa como estas.

Los servicios de atención en Salud son un sector esencial y que desempeña un papel importante no solo en una nación como la nuestra, sino que es determinante para garantizar la vida de las personas, por ello es un factor importante de la economía nacional, de allí que cualquier interrupción o tiempo de inactividad en estos servicios acarrea graves consecuencias, que impactan el estado de salud y la vida de las personas, también los datos Reservados que poseen, gestionan y administran las entidades del sector Salud, puede convertirse en un bien muy valioso que puede usarse con fines delictivos a razón de obtener algún beneficio. Diariamente hemos podido constatar el inmenso aumento del número de ataques a este sector y la alarmante velocidad en la que los atacantes aprovechan las nuevas vulnerabilidades que las infraestructuras de este Sector pueden presentar, por esta razón el panorama de amenazas para este sector y también para la Información Sensible de Pacientes va en aumento, de allí la necesidad de garantizar la seguridad de las infraestructuras, pero paralelamente desarrollar iniciativas como las de Interoperabilidad para garantizar el intercambio de Datos, en este caso clínicos con el fin de agilizar y garantizar los procesos de atención en salud.

Si fuera el caso, sea por mandamiento Normativo Nacional o Territorial, intención de algún consorcio de instituciones o grupo económico, al momento de adentrarse en planes de implementación de la Tecnología Blockchain, las instituciones deben ser conscientes y abiertas a los nuevos paradigmas organizacionales que van de la mano de este tipo de implementaciones, en donde se debe comprender aristas como el cambio de modelos centrales hacia soluciones descentralizadas y distribuidas; el gobierno de los datos y los niveles de autoridad en múltiples lugares con el que se llegaría a contar, dependiendo del alcance definir si se considerara como plataforma pública o privada. Desde los procesos de TI institucionales se podría argumentar que para los modelos de implementación de redes Blockchain pueden aprovechar los modelos tradicionales existentes de implementación de sistemas de información, en donde se podría dar la utilización de entornos OnPremise o entornos basados en la nube, utilizando Plataforma como Servicio (PaaS) o Infraestructura como Servicio (IaaS) en los métodos de hospedaje.

Los Software HIS existentes y sobre los cuales se ejecuta la interacción dentro del proceso de atención clínica cuentan con una Arquitectura de implementación desplegada, la cual no desaparecería y con su redimensión poder lograr una interoperabilidad bajo la tecnología Blockchain, por eso se debe lograr escribir o agregar nuevas transacciones y bloques a la misma, y

a su vez consultarlos y visualizarlos, lo cual aprovechando lo existente puede lograrse a través de APIs y Contratos Inteligentes, de igual manera los tipos de datos a Intercambiar son requeridos y considerados claves, ya que se pueden utilizar estándares de interoperabilidad existentes y que son aplicables al ecosistema de la Salud.

## **2.4. Validación de funcionamiento del modelo de seguridad propuesto basado en Blockchain en el escenario demostrativo.**

En esta etapa se realiza la validación del funcionamiento del Modelo de Seguridad propuesto basado en la utilización y desempeño del prototipo Blockchain, enmarcado en el flujo de interacción propio de un proceso de atención clínica apuntando a la interoperabilidad de dos o más entidades. En la validación realizada se trabajó para obtener resultados positivos del desempeño del prototipo y que por medio de este se cumplan las expectativas en las que se quiere llegar a implementar el modelo en entornos y ecosistemas como el Nacional, por ello se tuvieron en cuenta actividades como:

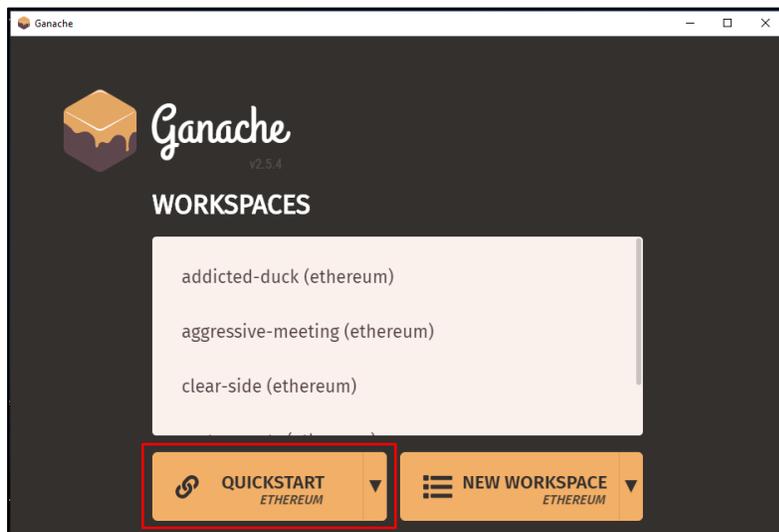
### **2.4.1. Ejecución de Prototipo Blockchain.**

Teniendo referenciados los componentes y tecnologías utilizadas en la concepción del prototipo y posterior a su proceso de instalación en entorno controlado, utilizando un host físico bajo OS Windows 10 Professional, en el desarrollo del proceso se debieron tener en cuenta algunos aspectos y contemplar algunas acciones para lograr la ejecución del prototipo de manera exitosa, como:

- **Actividades Previas**, en estas se garantizaron una serie de pasos lógicos, para asegurar que el escenario demostrativo se ejecutara de manera adecuada y permitiera la realización de las transacciones requeridas para la validación del prototipo:
  - Se debe iniciar Ganache, que es la VM de Ethereum, el cual asigna 10 cuentas de usuario con las respectivas Key de Seguridad y 100 Ether de crédito para cada una respectivamente, los cuales se pueden consumir en entornos de prueba, con ellos se podrá simular la plataforma de red de Ethereum real en entornos locales, una vez

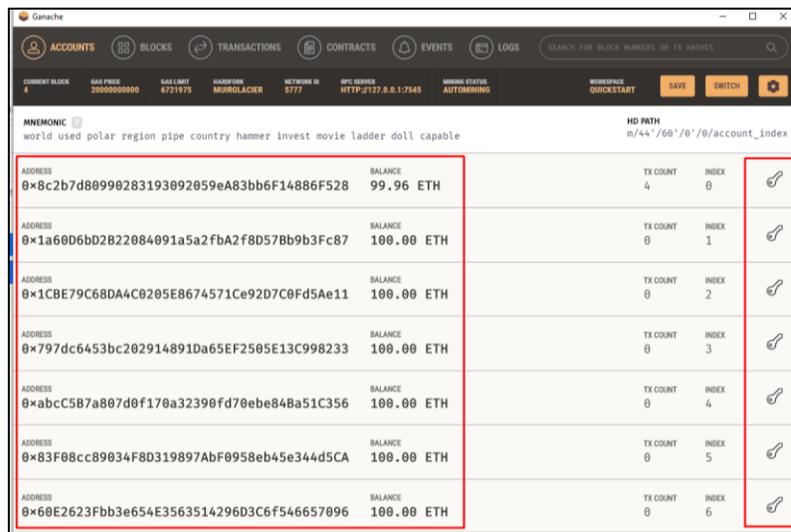
allí se vincularán algunas de estas cuentas por medio de MetaMask para interactuar con la Aplicación propuesta.

Se ejecuta el software Ganache, previamente instalado en el entorno de pruebas y se selecciona la opción **QuickStart** para desplegar la red Ethereum local **Ilustración 53:**

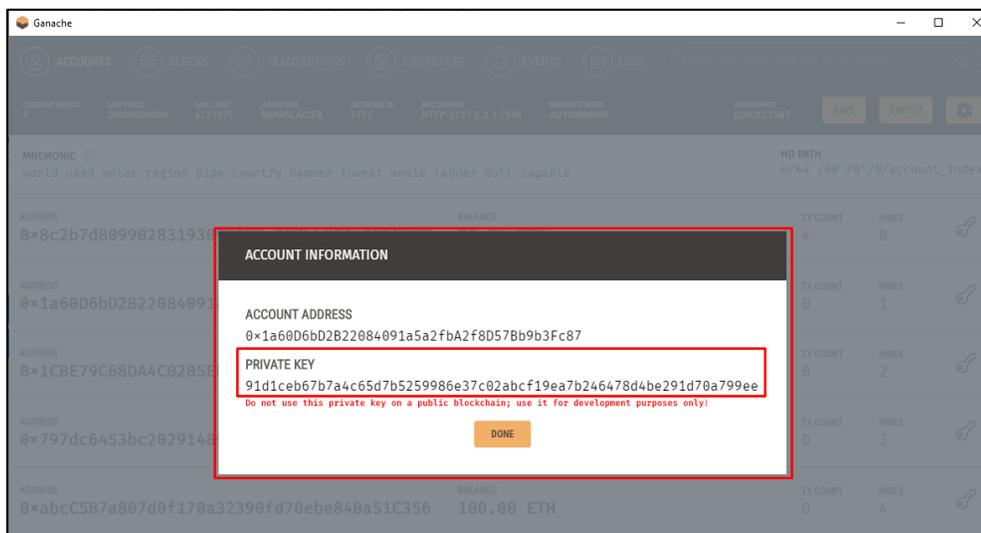


**Ilustración 53** Inicio Software Ganache **Fuente:** Entorno Pruebas

Se obtuvo la generación de 10 cuentas con 100 Ether de saldo para interactuar con la cadena de bloques en entorno local de pruebas, para cada una de estas cuentas se dispone de una clave privada y la dirección de Ethereum respectivamente **Ilustración 54, Ilustración 55.**

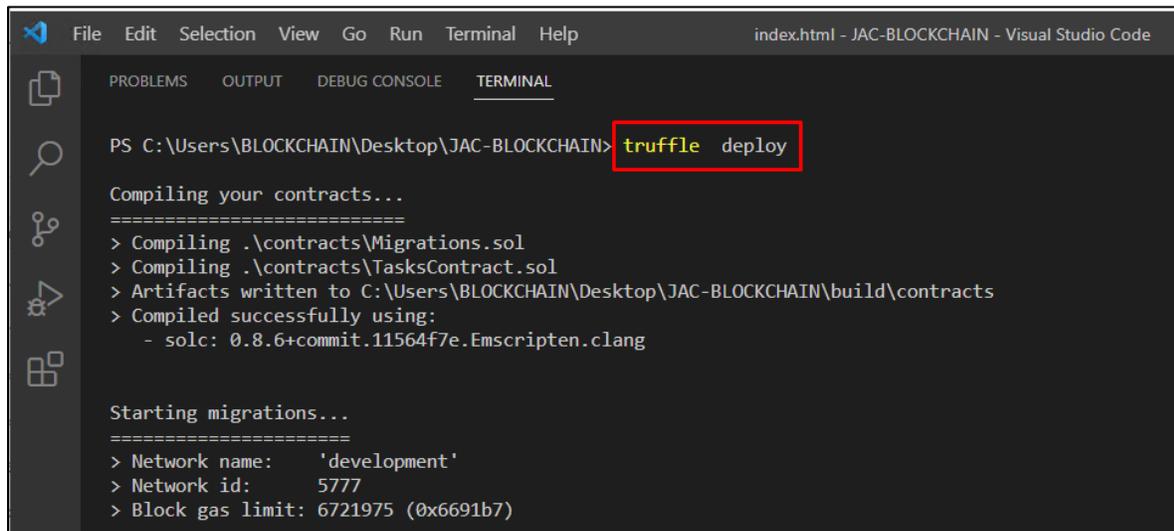


**Ilustración 54** Cuentas Software Ganache **Fuente:** Entorno Pruebas



**Ilustración 55** Private Key Cuentas Software Ganache **Fuente:** Entorno Pruebas

- Se ejecuto el IDE **Visual Studio Code** y desde su terminal integrada se lanzan algunos comandos, con el fin de iniciar la Suite de Truffle Deploy, la interfaz gráfica de Usuario y los desplegar los Smarts Contracts desarrollados por medio de Solidity. Como se refiere en el **Apéndice A**, el comando **truffle deploy**, inicializo en la VM de Ethereum Ganache el Smart Contract previamente creado **Ilustración 56**



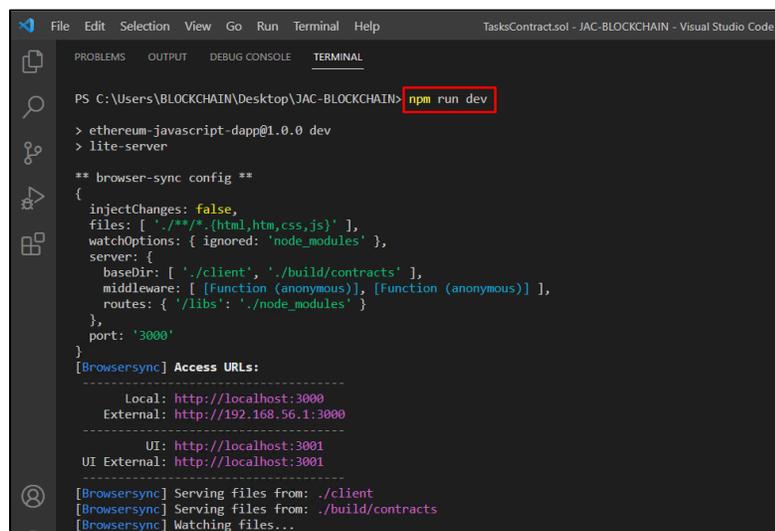
```
File Edit Selection View Go Run Terminal Help index.html - JAC-BLOCKCHAIN - Visual Studio Code
PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL
PS C:\Users\BLOCKCHAIN\Desktop\JAC-BLOCKCHAIN> truffle deploy

Compiling your contracts...
=====
> Compiling .\contracts\Migrations.sol
> Compiling .\contracts\TasksContract.sol
> Artifacts written to C:\Users\BLOCKCHAIN\Desktop\JAC-BLOCKCHAIN\build\contracts
> Compiled successfully using:
  - solc: 0.8.6+commit.11564f7e.Emscripten.clang

Starting migrations...
=====
> Network name:    'development'
> Network id:     5777
> Block gas limit: 6721975 (0x6691b7)
```

**Ilustración 56** Inicialización Smart Contract Truffle Deploy **Fuente:** Entorno Pruebas

En el **Apéndice B** se ilustra como el comando **npm run dev** se inició la Interfaz Gráfica de la DApp desarrollada por medio del IDE Visual Studio Code **Ilustración 57**



```
File Edit Selection View Go Run Terminal Help TasksContract.sol - JAC-BLOCKCHAIN - Visual Studio Code
PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL
PS C:\Users\BLOCKCHAIN\Desktop\JAC-BLOCKCHAIN> npm run dev

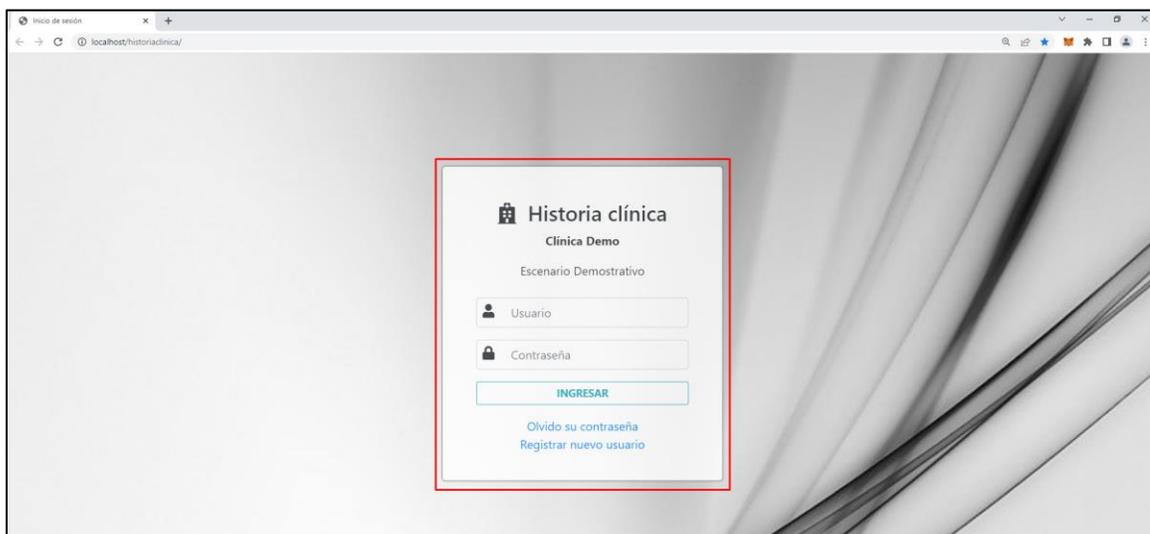
> ethereum-javascript-dapp@1.0.0 dev
> lite-server

** browser-sync config **
{
  injectChanges: false,
  files: [ '**/*.html,html,css,js' ],
  watchOptions: { ignored: 'node_modules' },
  server: {
    baseDir: [ './client', './build/contracts' ],
    middleware: [ [Function (anonymous)], [Function (anonymous)] ],
    routes: { '/libs': './node_modules' }
  },
  port: '3000'
}
[Browsersync] Access URLs:
-----
Local: http://localhost:3000
External: http://192.168.56.1:3000
-----
UI: http://localhost:3001
UI External: http://localhost:3001
-----
[Browsersync] Serving files from: ./client
[Browsersync] Serving files from: ./build/contracts
[Browsersync] Watching files...
```

**Ilustración 57** Inicialización Interfaz Gráfica DApp **Fuente:** Entorno Pruebas

- Luego de ejecutar los comandos anteriores se procede a iniciar Sesión en la DApp con URL <http://localhost:3000/>, en donde ya se encuentran vinculados los

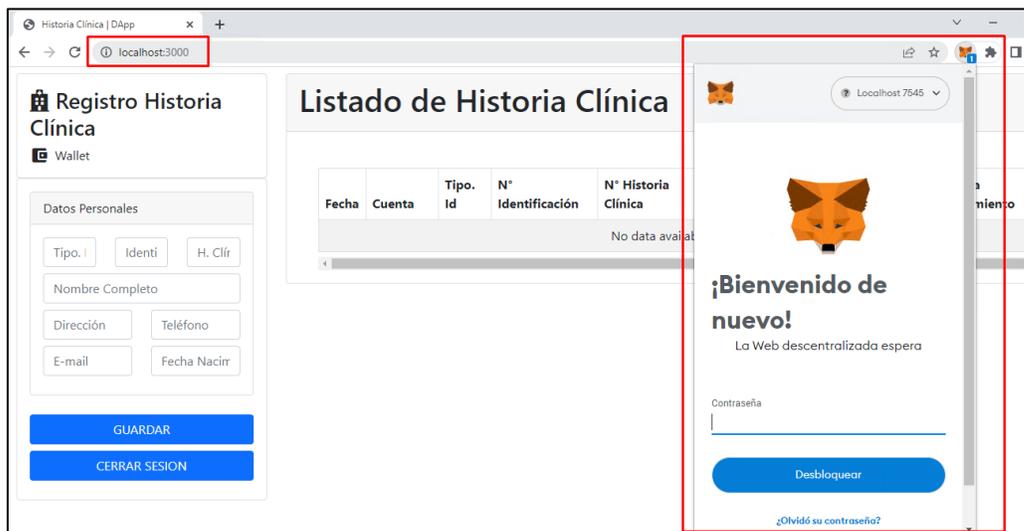
componentes de la Suite de Truffle Deploy (Ganache) y el Wallet MetaMask  
**Ilustración 58.** El código correspondiente a este segmento de Login del prototipo Blockchain se puede visualizar en el **Apéndice C.**



**Ilustración 58** Login DApp Demo **Fuente:** Entorno Pruebas

- **Validación entorno**, luego de garantizar los pasos anteriores, se procede a la validación del prototipo propuesto, en donde se observó:
  - Luego de iniciar Sesión en la DApp (Para el Prototipo propuesto desempeña el papel del EHR), de manera inmediata solicita iniciar sesión en la Wallet MetaMask, con el fin de garantizar la ejecución de las transacciones, realizando el consumo del saldo asignado y cargando la información que se encuentra en la cadena de Bloques

**Ilustración 59**



**Ilustración 59** Login Wallet MetaMask **Fuente:** Entorno Pruebas

- Desde esta opción se procedió a vincular las cuentas o nodos que realizarían la transacciones en el modelo de Interoperabilidad, para el Caso de Uso propuesto y planteado en el proyecto investigativo se hace referencia a la **Institución Demo A (ACCOUNT ADDRESS 0x1a60D6bD2B22084091a5a2fbA2f8D57Bb9b3Fc87 PRIVATE KEY 91d1ceb67b7a4c65d7b5259986e37c02abcf19ea7b246478d4be291d70a799ee)** **Ilustración 60, Ilustración 61** y la **Institución Demo B (ACCOUNT ADDRESS 0x1CBE79C68DA4C0205E8674571Ce92D7C0Fd5Ae11 PRIVATE KEY 9e50425a5e8aa4c516e7d113196d707c24c779b60f272658be49d1538b48bcc7)** **Ilustración 62, Ilustración 63**, con la posibilidad de vincular N Instituciones de prueba











**Ilustración 67** Generación Transacciones Prototipo Parte 1 **Fuente:** Entorno Pruebas



**Ilustración 68** Generación Transacciones Prototipo Parte 2 **Fuente:** Entorno Pruebas

- La DApp representa las diversas transacciones realizadas asumiendo el proceso de Interoperabilidad, en donde varias cuentas, usuarios o Nodos interactúan en la generación de registros, allí se visualizaron con el respectivo identificador que es asignado a cada cuenta **Ilustración 69**.



- Son tomados como referencia el Bloque 7 **Ilustración 71** y el Bloque 8 **Ilustración 72** del prototipo, con el fin de obtener información que permita validar la esencia de la tecnología Blockchain y el correcto funcionamiento del Algoritmo de Hash.

The screenshot shows the Ganache interface with the 'BLOCKS' tab selected. The current block is 7. The block details are as follows:

GAS USED	GAS LIMIT	MINED ON	BLOCK HASH
328535	6721975	2023-01-10 07:32:27	0xba6372c9b3e9881492fd7c8eda229faeddd2651b331372b0acbd682f5d88e4d6

Transaction details for Block 7:

TX HASH	FROM ADDRESS	TO CONTRACT ADDRESS	GAS USED	VALUE
0xf8826154332894d8c5a7c4d4a65d0b9f24c99d8e82e4b1f0705dfc049d251ffe	0x1a60D6bD2822084091a5a2fbA2f8D57Bb9b3Fc87	0x78014Eb62268BE51F276f5b93006b4Ab96ECC394	328535	0

**Ilustración 71** Bloque 7 Prototipo Software Ganache **Fuente:** Entorno Pruebas

The screenshot shows the Ganache interface with the 'BLOCKS' tab selected. The current block is 8. The block details are as follows:

GAS USED	GAS LIMIT	MINED ON	BLOCK HASH
328607	6721975	2023-01-10 07:37:14	0x768a66a4ffb4538bcb213515874666eef0254f0a4d81b1c9e02f912316794875

Transaction details for Block 8:

TX HASH	FROM ADDRESS	TO CONTRACT ADDRESS	GAS USED	VALUE
0xa20439ba064cac2758f6c43675e3bc6fd80a10e91ff3f7f67b4397d5427a18fc	0x1CBE79C68DA4c0205E8674571Ce92D7C0Fd5Ae11	0x78014Eb62268BE51F276f5b93006b4Ab96ECC394	328607	0

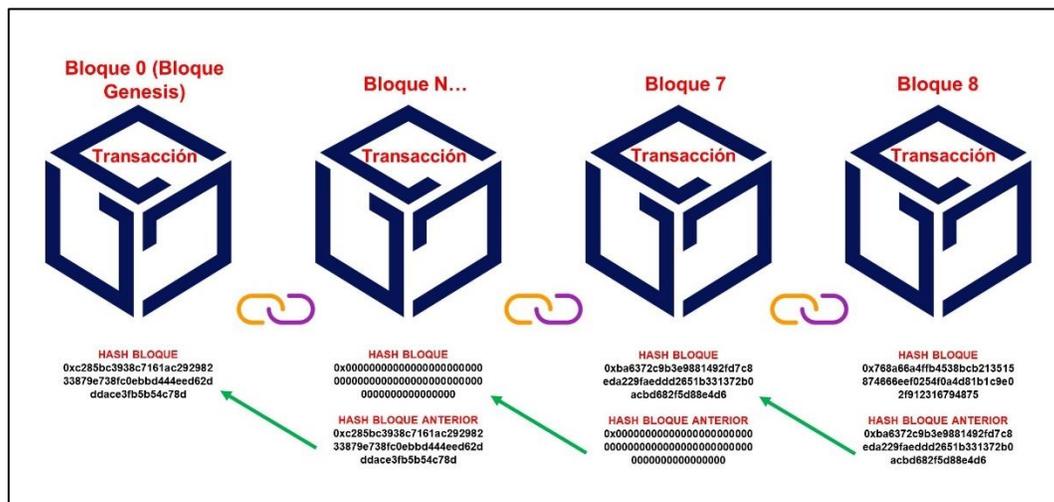
**Ilustración 72** Bloque 8 Prototipo Software Ganache **Fuente:** Entorno Pruebas

- Con la referencia de los Bloques anteriormente indicados, se visualiza en los logs, **Apéndice G**, el comportamiento de la cadena de bloques del Prototipo, en donde cada bloque contiene información relevante y se hace único a partir de su huella

digital previamente generada, según la información tomada para el Bloque 8 se evidencia que se pueden identificar campos como **Ilustración 73**:

- **Number**, el número de bloque.
- **Hash**, criptográficamente representa o identifica el bloque en cuestión bajo una secuencia única de bits.
- **ParentHash**, criptográficamente representa o identifica el bloque anterior (Bloque 7) bajo una secuencia única de bits y sirve para seguir el orden dentro de la cadena de bloques.
- **Sha3Uncles**, el SHA Criptográfico es el algoritmo de cifrado bajo el cual se genera Hash de la cadena de Bloques.
- **Size**, tamaño del bloque en cuestión.
- **TimeStamp**, es la marca de tiempo que permite conocer los detalles correspondientes a la creación del bloque.
- **Smart Contract**, es el contrato inteligente al cual está vinculada la DApp con la correspondiente cadena de bloques.
- **Transactions**, Son cada una de las operaciones realizadas en la cadena de bloques, para el caso del prototipo obedecen a las secuencias enunciadas en el Smart Contract.





**Ilustración 74** Esquema Algoritmo de Hash Prototipo Blockchain **Fuente:** Elaboración Propia

- **Componentes relevantes**, con la validación de manera satisfactoria del prototipo propuesto, es importante anotar que fueron tenidos en cuenta otros componentes que garantizaron el éxito del proceso:
  - **App.js**, el código utilizado para este prototipo se encuentra disponible en el **Apéndice D**, este archivo (Desarrollado con Java Script, por medio del IDE Visual Studio Code), es el encargado de controlar las peticiones del usuario y las respuestas al mismo basados en los parámetros del Smart Contract previamente creado con Solidity **Ilustración 75**.

```

1 App = {
2   contracts: {},
3   init: async () => {
4     await App.loadWeb3();
5     await App.loadAccount();
6     await App.loadContract();
7     await App.render();
8     await App.renderTasks();
9   },
10
11  //Funcion que carga ethereum
12  loadWeb3: async () => {
13    if (window.ethereum)
14      App.web3Provider = window.ethereum;
15    await window.ethereum.request({ method: "eth_requestAccounts" });
16  } else if (web3) {
17    web3 = new Web3(window.web3.currentProvider);
18  } else {
19    console.log(
20      "No ethereum browser is installed. Try it installing MetaMask "
21    );
22  }
23  },
24
25  //Funcion que carga la cuenta con la que se va a interactuar
26  loadAccounts: async () => {
27    const accounts = await window.ethereum.request({
28      method: "eth_requestAccounts",
29    });
30    App.account = accounts[0];
31  },
32
33  //Funcion carga los contratos
34  loadContract: async () => {
35    try {
36      const res = await fetch("TasksContract.json");
37      const tasksContractJSON = await res.json();
38      App.contracts.TasksContract = TruffleContract(tasksContractJSON);
39      App.contracts.TasksContract.setProvider(App.web3Provider);
40    }

```

**Ilustración 75** Código archivo App.js Fuente: Entorno Pruebas

- **Index.html**, contiene el desarrollo de la interfaz gráfica de la DApp, bajo el lenguaje de código HTML, **Apéndice E**, el cual es renderizado por el navegador para que sea visualizada la representación gráfica por el Usuario y así permitir la interacción **Ilustración 76**.

```

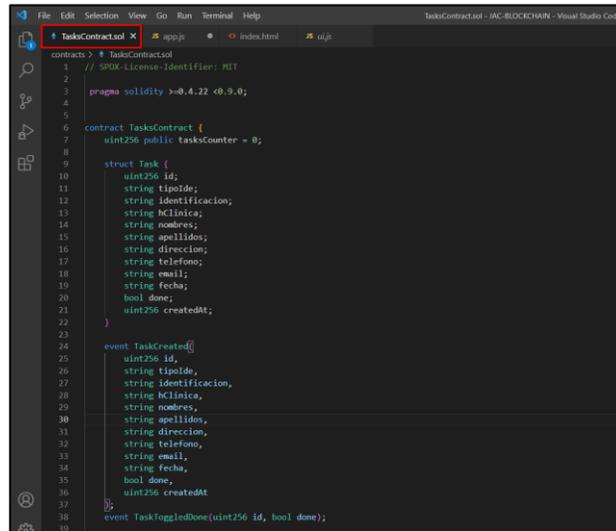
1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="en">
3 <head>
4   <meta charset="UTF-8" />
5   <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge" />
6   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0" />
7   <title>Historia Clínica | DApp</title>
8   <link rel="stylesheet" href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.1.3/dist/css/bootstrap.min.css" />
9   <link rel="stylesheet" href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/main.css" />
10
11   <link rel="stylesheet" href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/@fortawesome/fontawesome-free@5.15.2/css/all.min.css" />
12   <link rel="stylesheet" href="https://cdn.datatables.net/1.11.5/css/dataTables.bootstrap5.min.css" />
13   <link rel="stylesheet" href="https://cdn.datatables.net/responsive/2.2.9/css/responsive.bootstrap5.min.css" />
14
15   <link rel="stylesheet" href="https://use.fontawesome.com/releases/v5.7.2/css/all.css" integrity="sha384-fmDQj13y7KhlyP99b174c74q3463l86A66dC66B17687" />
16
17   <!-- Google Icons -->
18   <link
19     href="https://fonts.googleapis.com/icon?family=Material+Icons"
20     rel="stylesheet"
21   />
22
23   <style>
24     .confirm{
25       display: none;
26     }
27
28     #account{
29       font-size: 15px;
30     }
31   </style>
32
33 </head>
34
35 <body>
36
37
38   <div class="container-fluid py-2">

```

**Ilustración 76** Código archivo Index.html Fuente: Entorno Pruebas

- **TasksContract.sol**, es el Smart Contract desarrollado en Solidity, el cual es una colección de código con las funciones específicas y reglas a validar al momento de

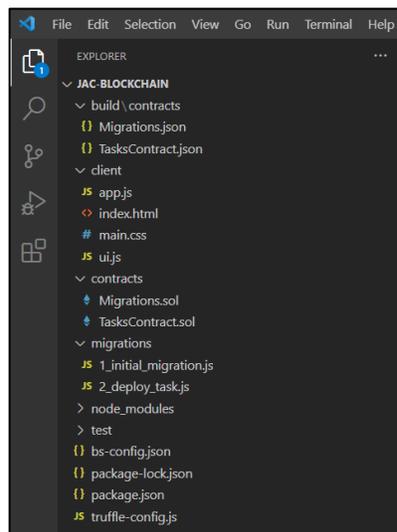
integrarse un bloque a la cadena de bloques **Ilustración 77**. Disponible para consulta en el **Apéndice F**.



```
contracts > TasksContract.sol
1 // SPDX-License-Identifier: MIT
2
3
4 pragma solidity >=0.4.22 <0.9.0;
5
6 contract TasksContract {
7     uint256 public tasksCounter = 0;
8
9     struct Task {
10         uint256 id;
11         string tipolde;
12         string identificacion;
13         string hClinica;
14         string nombres;
15         string apellidos;
16         string direccion;
17         string telefono;
18         string email;
19         string fecha;
20         bool done;
21         uint256 createdAt;
22     }
23
24     event TaskCreated(
25         uint256 id,
26         string tipolde,
27         string identificacion,
28         string hClinica,
29         string nombres,
30         string apellidos,
31         string direccion,
32         string telefono,
33         string email,
34         string fecha,
35         bool done,
36         uint256 createdAt
37     );
38     event TaskToggleDone(uint256 id, bool done);
39 }
```

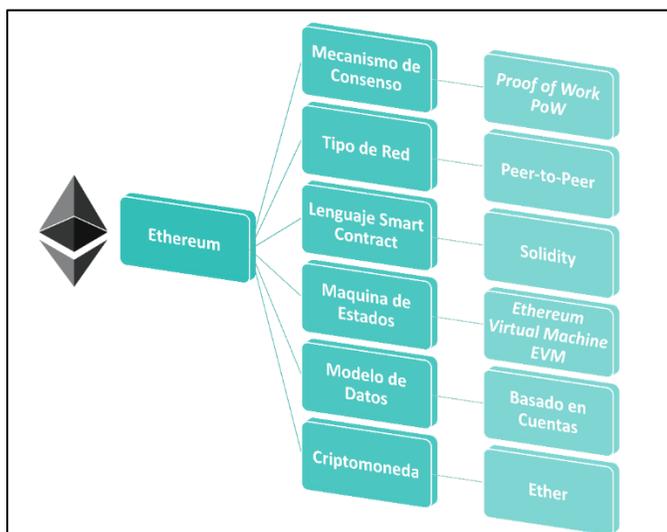
**Ilustración 77** Código archivo TasksContract.sol **Fuente:** Entorno Pruebas

En la Estructura de ficheros de Visual Studio Code se pueden validar los componentes anteriormente relacionados **Ilustración 78**.



**Ilustración 78** Estructura de Ficheros Prototipo Blockchain **Fuente:** Entorno Pruebas

- **Características Blockchain Utilizada**, entendiendo que la plataforma utilizada en el desarrollo del prototipo corresponde a la de Ethereum, de esta se pueden resaltar algunos elementos que caracterizan esta tecnología [107] **Ilustración 79**.



**Ilustración 79** Características Plataforma Ethereum Prototipo **Fuente:** Elaboración Propia

## 2.4.2. Beneficios de Prototipo Blockchain en la Interoperabilidad en Salud.

Los beneficios obtenidos con la implementación del prototipo Blockchain anterior para un ecosistema de Interoperabilidad de registros Clínicos son tangibles para los diferentes actores del entorno de salud y se traducen en los siguientes **Ilustración 80**:



**Ilustración 80** Beneficios Prototipo Blockchain Actores Ecosistema Salud **Fuente:** Elaboración Propia

### 2.4.3. Beneficios de Prototipo Blockchain en la Interoperabilidad desde el enfoque Tecnológico.

A nivel tecnológico certificar la autenticidad de las transacciones y más para datos sensibles como los clínicos representa un reto enorme para las áreas de TI de las organizaciones, debido a que no solo se debe garantizar lo que actualmente maneja los ecosistemas de salud, sino que también mejorarlo en pro de la interoperabilidad garantizando de manera innegociable la seguridad, por ello desde ese enfoque se obtuvieron los siguientes beneficios:

- Minimización en fallas de seguridad y aumento en la escalabilidad de la red.
- Obtención de registros completos e inmutables, facilitando el control y auditoría.
- Se cuenta con un alto porcentaje de seguridad ya que cada uno de los bloques y transacciones son guardados y asegurados con su correspondiente hash.
- Verificación de la procedencia de los Datos, permitiendo la transacción y posterior adicción del Bloque a la Cadena.
- Cifrado de los datos, elevando el nivel de seguridad en las transacciones.
- Integridad de la información, apoyada en los diferentes Nodos a través de mecanismos de consenso, frente a cualquier tipo de ataque que se pueda presentar.

- 
- La información y los datos se transmiten digitalmente fuera de los límites de cada institución de manera segura, permitiendo el flujo de Interoperabilidad.
  - Los Claves Privadas permiten procesos fáciles y seguros de autenticación, en donde luego de la verificación se da partida a los ciclos de consulta o atención.
  - Redundancia de la información y los datos, debido a que se encuentra distribuida en varios Nodos.
  - El intercambio descentralizado de la información y de los datos, asegura que ningún actor individual tenga el control total de la información, ya que estos se comparten mediante perfiles y reglas para el acceso a la información misma.
  - La integración con protocolos de Mensajería facilitaría la integración con las diferentes especialidades médicas existentes.

Conforme a que se obtiene evolución en las tecnologías, se hace imperativo evolucionar las formas de utilización de estas, como se indica anteriormente uno de los beneficios validados en el Prototipo propuesto es la descentralización de los datos, dejando de lado la necesidad de una infraestructura tradicional de Base de Datos, como comúnmente se maneja, no solo para el escenario de Salud

Nos encontramos frente al panorama de las bases de datos tradicionales (MSSQL, ORACLE, MYSQL, MONGODB, Etc.) en donde se utiliza una arquitectura de red cliente-servidor, el Usuario Administrador de la Base de Datos y los usuarios autenticados previamente delegados, los cuales ejecutan las funciones básicas CRUD, pero la administración sigue siendo exclusiva del Administrador, si la seguridad de este es Vulnerada, la Información de la Base de Datos sería seriamente comprometida.

La Blockchain se conforma de varios nodos descentralizados, en donde cada nodo participa en la administración, ya que ellos verifican las nuevas adiciones a la cadena de bloques una vez establezcan el consenso, siendo este el mecanismo para garantizar la seguridad de la red, permitiendo la verificación pública y distribuida para garantizar integridad y transparencia, así son capaces de ingresar nuevos datos en la base de datos, estando esta base de Datos conformada por cada bloque y cada bloque representar una transacción.

## 2.4.4. Indicadores de Éxito de Prototipo Blockchain en la Interoperabilidad en Salud.

Partiendo de la premisa que la tecnología Blockchain es relevante y valiosa para ser aplicada en los procesos de Interoperabilidad en Salud, con el fin de solucionar las brechas de seguridad y accesibilidad existentes hoy en día, sin perder de vista la esencia del Negocio del Cuidado de la Salud de los pacientes y las comunidades, la Gobernanza de los Datos, la Confianza de los Actores del Sistema de Salud, las Leyes y Normativas aplicables, y el cambio cultural y de paradigma que tendría este tipo de implementaciones, podemos definir los siguientes indicadores de Éxito del Prototipo implementado, partiendo de los atributos más representativos de la Tecnología Blockchain, **Ilustración 81**:



**Ilustración 81** Indicadores de Éxito del Prototipo Blockchain en la Interoperabilidad en Salud  
**Fuente:** Elaboración Propia

## **3 Conclusiones y Recomendaciones**

Las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el marco de este proyecto de Tesis de Maestría son:

### **3.1. Conclusiones**

Como conclusiones del proceso de desarrollo del proyecto investigativo tenemos las siguientes:

Como componente de la transformación digital del país, la Interoperabilidad en el ámbito de Datos Clínicos, se visualiza como un reto en el cual no se quieren tener puntos de inflexión, más aun teniendo la premisa de que los datos clínicos son catalogados como sensibles y susceptibles de reserva, por lo cual con la necesidad de garantizar la seguridad de estos datos durante el proceso de intercambio de información entre los diferentes actores del ecosistema de salud se convierte en la prioridad número uno del proceso. Luego de conocer las propuestas y mecanismos actuales que apuntan a lograr la Interoperabilidad en el campo de la salud en el país, mediante este trabajo se pretende proponer un modelo de seguridad basado en Blockchain para la interoperabilidad de datos clínicos entre IPS, que permita el intercambio, procesamiento y acceso a la información clínica de pacientes en Colombia, en donde se permite desempeñar sin limitaciones el proceso de Interoperabilidad de datos Clínicos bajo las premisas de Inmutabilidad, Integridad, Transparencia y Redundancia, generando la confianza requerida para una concepción de este estilo.

En el marco de referenciación e identificación de los modelos, infraestructuras y tecnologías aplicables a interoperabilidad de datos y registros clínicos en el sistema de salud de Colombia, se logra obtener información de siete países de referencia, los cuales están amparados bajo su normativa específica, pero se entiende que el concepto de atención en Salud es universal, por lo que los modelos, soluciones, infraestructuras y tecnologías utilizadas por cada uno de ellos son ampliamente compatibles con el escenario colombiano, por lo que integrar un modelo o sistema específico para la interoperabilidad en el contexto colombiano dependerá de las voluntades normativas y políticas de los gobiernos, y la capacidad o destinación en cuanto a recursos económicos para componentes tecnológicos que permitan integrar la misma.

En la fase de caracterización del conjunto de datos y elementos asociados en el proceso de interoperabilidad entre sistemas de información clínicos y enfocados a los componentes habilitadores de la tecnología Blockchain, se logra evidenciar que no son ajenos o indiferentes a los líderes de tecnología de las instituciones de salud, que fueron consultados en la muestra de referencia, en este sentido se entiende que el talento humano tecnológico en salud cuenta con el criterio y claridad de los conceptos, solo se deben tener las directrices normativas gubernamentales para trazar hojas de ruta por parte de cada una de las entidades, con el fin de emprender un proceso de transición hacia las nuevas tecnologías.

Las diferentes plataformas Blockchain existentes en la actualidad disponen de elementos, herramientas y entornos que permiten la exploración de las características de la tecnología, la utilización de estos componentes permitió evidenciar las características, que incluyen descentralización, anonimato, persistencia y auditabilidad, con las cuales se propone que la tecnología Blockchain aborde el ecosistema de salud en Colombia, para ayudar a que la interoperabilidad sea transparente y segura, para poder optimizar los recursos (en todos los sentidos) y así lograr la calidad, agilidad y la seguridad clínica en la atención en salud, por lo cual se logra proponer un escenario demostrativo bajo el uso de la tecnología Blockchain que permitió recrear el proceso de registro de datos, aplicable al modelo de atención e interoperabilidad clínico, lográndose evidenciar los atributos criptográficos que brindarían seguridad y confiabilidad al entorno de salud Colombiano.

En la validación del modelo de Seguridad propuesto basado en el uso de la tecnología Blockchain, se logra la ejecución del prototipo propuesto, así como determinar los beneficios no solo a nivel de la Interoperabilidad en Salud, sino también de frente al enfoque tecnológico del uso de esta tecnología, lo que permite integrar y describir unos indicadores de Éxito, que ratifican el planteamiento de proponer la Tecnología Blockchain como componente que fortalece la Seguridad del proceso de intercambio de datos clínicos entre las diferentes instituciones prestadoras de servicios de salud del país.

## 3.2. Recomendaciones

Teniendo en cuenta que el resultado obtenido en la concepción, ejecución y análisis del prototipo bajo el uso de la Tecnología Blockchain, puede considerarse como satisfactorio, se recomienda utilizar la plataforma de la red Blockchain Ethereum en el dimensionamiento de soluciones corporativas mucho más robustas, que ayuden a la Interoperabilidad de los sistemas de información en salud, cumpliendo las normatividades que permitan un intercambio de información y datos de salud transfronterizo, ya que los conflictos normativos y jurisdiccionales pueden obstaculizar el beneficio del intercambio en pro de la atención del paciente; esto de la mano con los frentes a intervenir, partiendo desde las directrices del Gobierno Nacional y el compromiso de las instituciones prestadoras de Servicios de Salud, las Casas de desarrollo de Software de la rama de sistemas HIS y los actores adicionales del sistema de salud, de igual forma que esta Interoperabilidad de Datos pueda darse y pueda incluir estándares de Mensajería como la de Equipos Biomédicos, para que la interoperabilidad sea mucho más nutrida y aproveche el canal y medio ya dispuesto para el intercambio de información.

## Apéndices

### Apéndice A: Ejecución de comando Truffle Deploy

```
PS C:\Users\BLOCKCHAIN\Desktop\JAC-BLOCKCHAIN> truffle deploy
```

```
Compiling your contracts...
```

```
=====
> Compiling .\contracts\Migrations.sol
> Compiling .\contracts\TasksContract.sol
> Artifacts written to C:\Users\BLOCKCHAIN\Desktop\JAC-
BLOCKCHAIN\build\contracts
> Compiled successfully using:
  - solc: 0.8.6+commit.11564f7e.Emscripten.clang
```

```
Starting migrations...
```

```
=====
> Network name:      'development'
> Network id:       5777
> Block gas limit:  6721975 (0x6691b7)
```

```
1_initial_migration.js
```

```
=====
Replacing 'Migrations'
-----
> transaction hash:
0xc912b30f63652f3a145ff8593eab768f854051f5614b0190149e8f61aea2b166
> Blocks: 0          Seconds: 0
> contract address:  0x5F93fBe3772551EA76A41Fd17F1cA931693169a9
> block number:     1
> block timestamp:  1673395434
> account:          0xAaF78a9760c08957D701665218429Ac92f52Ab9E
> balance:          99.99502292
> gas used:         248854 (0x3cc16)
> gas price:        20 gwei
> value sent:       0 ETH
> total cost:       0.00497708 ETH

> Saving migration to chain.
> Saving artifacts
-----
> Total cost:       0.00497708 ETH
```

```
2_deploy_task.js
```

```
=====
Replacing 'TasksContract'
-----
```

```
> transaction hash:
0x01f0c6bde83a1c779aa1a0afb0fcdcba833567bd88ed963bccf9c30a241b336c
> Blocks: 0           Seconds: 0
> contract address:  0x39C08670208F05c1b4FCa36DD4dB5aaD779b4AFC
> block number:      3
> block timestamp:   1673395438
> account:           0xAaF78a9760c08957D701665218429Ac92f52Ab9E
> balance:           99.96148074
> gas used:          1634596 (0x18f124)
> gas price:         20 gwei
> value sent:        0 ETH
> total cost:        0.03269192 ETH

> Saving migration to chain.
> Saving artifacts
-----
> Total cost:        0.03269192 ETH
```

#### Summary

```
=====
> Total deployments:  2
> Final cost:         0.037669 ETH
```

```
PS C:\Users\BLOCKCHAIN\Desktop\JAC-BLOCKCHAIN>
```

## Apéndice B: Ejecución de comando npm run dev

```
PS C:\Users\BLOCKCHAIN\Desktop\JAC-BLOCKCHAIN> npm run dev

> ethereum-javascript-dapp@1.0.0 dev
> lite-server

** browser-sync config **
{
  injectChanges: false,
  files: [ './**/*.html,htm,css,js' ],
  watchOptions: { ignored: 'node_modules' },
  server: {
    baseDir: [ './client', './build/contracts' ],
    middleware: [ [Function (anonymous)], [Function (anonymous)] ],
    routes: { '/libs': './node_modules' }
  },
  port: '3000'
}
[Browsersync] Access URLs:
-----
    Local: http://localhost:3000
    External: http://192.168.56.1:3000
-----
    UI: http://localhost:3001
    UI External: http://localhost:3001
-----
[Browsersync] Serving files from: ./client
[Browsersync] Serving files from: ./build/contracts
[Browsersync] Watching files...
23.01.10 19:10:15 304 GET /index.html
23.01.10 19:10:15 304 GET /main.css
23.01.10 19:10:15 304 GET /bootstrap/dist/css/bootstrap.min.css
23.01.10 19:10:15 304 GET /app.js
23.01.10 19:10:15 304 GET /ui.js
23.01.10 19:10:15 304 GET /@truffle/contract/dist/truffle-
contract.min.js
23.01.10 19:10:16 404 GET /favicon.ico
```

## Apéndice C: Código Login DApp Prototipo Blockchain

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <link rel="shortcut icon" href="<?php echo
base_url();?>archivos/cedi.png">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1.0">
  <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="ie=edge">
  <title>Inicio de sesión</title>

  <!--BOOTSTRAP-->
  <link rel="stylesheet"
href="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.3.1/css/bootstrap.m
in.css" integrity="sha384-
ggOyR0iXCbMQv3Xipma34MD+dH/1fQ784/j6cY/iJTQUOhcWr7x9JvoRxT2MZw1T"
crossorigin="anonymous">
  <script
src="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.3.1/js/bootstrap.min
.js" integrity="sha384-
JjSmVgyd0p3pXB1rRibZUAYoIIy6OrQ6VrjIEaFf/nJGzIxFDs4f4x0xIM+B07jRM"
crossorigin="anonymous"></script>

  <!--FONTAWESOME-->

  <link rel="stylesheet"
href="https://use.fontawesome.com/releases/v5.8.1/css/solid.css"
integrity="sha384-
QokYePQSOwpBDUhlHOsX0ymF6R/vLk/UQVz3WHa6wygxi5oGTmDTv8wahFOSspdm"
crossorigin="anonymous">
  <link rel="stylesheet"
href="https://use.fontawesome.com/releases/v5.8.1/css/fontawesome.css"
integrity="sha384-
vdle11sR28tEK9YANUtpIOdjGW14pS87bUBuOIoBILVWLFnS+MCX9T6MMf0VdPGq"
crossorigin="anonymous">

  <link rel="stylesheet" href="<?php echo
base_url();?>assets/login/css/estilosLogin.css">

  <style>

.alert{
  padding: 1.5px 0 4px 0;
  margin:-45px 0 17px 0;
  text-align:center;
  background-color: #E45A67;
  color: white;
  font-size: 14px;
  border:solid 1px #E45A67;
}

.modal-content{
  height: 420px;
}

```



```

                <a href="forgot-password.html">Olvido su
contraseña</a>
            </p>
            <p class="mb-0">
                <a href="register.html" class="text-
center">Registrar nuevo usuario</a>
            </p>
        </form>
    </div>
</div>
</div>
</div>
</body>
</html>
```

## Apéndice D: Código Archivo App.js

```

App = {
  contracts: {},
  init: async () => {
    await App.loadWeb3();
    await App.loadAccount();
    await App.loadContract();
    await App.render();
    await App.renderTasks();
  },

  //Funcion que carga ethereum
  loadWeb3: async () => {
    if (window.ethereum) {
      App.web3Provider = window.ethereum;
      await window.ethereum.request({ method: "eth_requestAccounts"
});
    } else if (web3) {
      web3 = new Web3(window.web3.currentProvider);
    } else {
      console.log(
        "No ethereum browser is installed. Try it installing MetaMask
"
      );
    }
  },

  //Funcion que carga la cuenta con la que se va ha interactuar
  loadAccount: async () => {
    const accounts = await window.ethereum.request({
      method: "eth_requestAccounts",
    });
    App.account = accounts[0];
  },

  //Funcion carga los contratos
  loadContract: async () => {
    try {
      const res = await fetch("TasksContract.json");
      const tasksContractJSON = await res.json();
      App.contracts.TasksContract =
TruffleContract(tasksContractJSON);
      App.contracts.TasksContract.setProvider(App.web3Provider);

      App.tasksContract = await
App.contracts.TasksContract.deployed();
    } catch (error) {
      console.error(error);
    }
  },

  //Funcion que carga el codigo de la cuenta en la vista
  render: async () => {
    document.getElementById("account").innerText = App.account;
  }
};

```

```

    let a = App.account;
    // document.getElementById("b").innerText = (a.slice(-5));
    // document.getElementById("apellidos").value = (a.slice(-6));
    document.getElementById("apellidos").value = (a);
  },

  //Funcion que carga las tareas en la vista
  renderTasks: async () => {
    const taskCounter = await App.tasksContract.tasksCounter()
    const taskCounterNumber = taskCounter.toNumber()
    console.log(taskCounterNumber)

    let html = "";

    for (let i = 1; i <= taskCounterNumber; i++) {
      const task = await App.tasksContract.tasks(i);

      // const taskId = task[0].toNumber();
      const taskId = task[0].toNumber();
      const taskTipoIde = task[1];
      const taskIdentificacion = task[2];
      const taskHClinica = task[3];
      const taskNombres = task[4];
      const taskApellidos = task[5];
      const taskDireccion = task[6];
      const taskTelefono = task[7];
      const taskEmail = task[8];
      const taskFecha = task[9];

      const taskDone = task[9];
      const taskCreatedAt = task[11];

      let taskElement = `<tr>
        <td>${new Date(taskCreatedAt *
1000).toLocaleString()}</td>
        <td>${taskApellidos}</td>
        <td>${taskTipoIde}</td>
        <td>${taskIdentificacion}</td>
        <td>${taskHClinica}</td>
        <td>${taskNombres}</td>
        <td>${taskDireccion}</td>
        <td>${taskTelefono}</td>
        <td>${taskEmail}</td>
        <td>${taskFecha}</td>
      </tr>
      `;
      html += taskElement;
    }
    document.querySelector("#tasksList").innerHTML = html;
  },

  createTask: async
(tipoIde,identificacion,hClinica,nombres,apellidos,direccion,telefono,em
ail,fecha ) => {
    try {

```

```

        const result = await App.tasksContract.createTask(tipoIde,
identificacion, hClinica, nombres,
apellidos,direccion,telefono,email,fecha,{
    from: App.account,
});
console.log(result.logs[0].args);
$('#confirm').removeClass("confirm");
setTimeout(function(){window.location.reload();},3500);

    } catch (error) {
        console.error(error);
    }
},

//Funcion que crea las tareas
// createTask: async
(tIdentificacion,identificacion,hClinica,nombres,apellidos,direccion,tel
efono,email,fecha,genero,entidad,Mtratante,
// diagnostico,antecedentes,observaciones) => {

// createTask: async (tIdentificacion,identificacion,hClinica) => {
//   try {
//     const result = await
App.tasksContract.createTask(tIdentificacion, identificacion, hClinica,{
//       from: App.account,
//     });
//     console.log(result.logs[0].args);
//     window.location.reload();
//   } catch (error) {
//     console.error(error);
//   }
// },
toggleDone: async (element) => {
    const taskId = element.dataset.id;
    await App.tasksContract.toggleDone(taskId, {
        from: App.account,
    });
    window.location.reload();
},

},

};

```

## Apéndice E: Código Archivo Index.html

```
<!DOCTYPE html>

<html lang="en">
  <head>
    <meta charset="UTF-8" />
    <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge" />
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1.0" />
    <title>Historia Clínica | DApp</title>
    <link rel="stylesheet"
href="/libs/bootstrap/dist/css/bootstrap.min.css" />
    <link rel="stylesheet" href="./main.css" />

    <link rel="stylesheet"
href="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/twitter-
bootstrap/5.1.3/css/bootstrap.min.css">
    <link rel="stylesheet"
href="https://cdn.datatables.net/1.11.5/css/dataTables.bootstrap5.min.cs
s">
    <link rel="stylesheet"
href="https://cdn.datatables.net/responsive/2.2.9/css/responsive.bootstr
ap5.min.css">

    <link rel="stylesheet"
href="https://use.fontawesome.com/releases/v5.7.1/css/all.css"
integrity="sha384-
fNmOCqbTlWI1j8LyTjo7mOUSTjsKC4pOpQbqyi7RrhN7udi9RwhKkMHpvLbHG9Sr"
crossorigin="anonymous">

    <!-- Google icons -->
    <link
      href="https://fonts.googleapis.com/icon?family=Material+Icons"
      rel="stylesheet"
    />

    <style>
      .confirm{
        display: none;
      }

      #account{
        font-size: 15px;
      }
    </style>

  </head>

  <body>
    <div class="container-fluid py-2">

      <div class="row">

        <div class="col-md-3">
```

```

<div class="card ">
  <div class="card-body rounded-0">
    <h3>
      <!-- <span class="material-icons"> grid_view </span> -->
      <i class="fas fa-hospital"></i>
      Registro Historia Clínica
    </h3>
    <div class="d-flex align-items-center">
      <span class="material-icons"> account_balance_wallet

</span>

      <span class="ms-2">Wallet</span>
    </div>
    <span id="account"></span>

  </div>
</div>

<form id="taskForm" class="card card-body ">

  <div class="card mb-4">
    <div class="card-header">
      Datos Personales
    </div>
    <div class="card-body">
      <div class="row mb-2">
        <div class="col">
          <input type="text" class="form-control form-control-
s" id="tipoIde" placeholder="Tipo. Id" required>
          <!-- <input type="text" class="form-control form-
control-s" id="idAccount"> -->
          <input type="hidden" class="form-control form-
control-s" id="apellidos">

        </div>
        <div class="col">
          <input type="text" class="form-control form-control-
s" id="identificacion" placeholder="Identificación">
        </div>
        <div class="col">
          <input type="text" class="form-control form-control-
s" id="hClinica" placeholder="H. Clínica">
        </div>
      </div>
      <div class="row mb-2">
        <div class="col-md-12">
          <input type="text" class="form-control form-control-
s" id="nombres" placeholder="Nombre Completo">
        </div>

      </div>

      <div class="row mb-2">
        <div class="col-md-6">

```

```

        <input type="text" class="form-control form-control-
s" id="direccion" placeholder="Dirección">
    </div>
    <div class="col-md-6">
        <input type="text" class="form-control form-control-
s" id="telefono" placeholder="Teléfono">
    </div>

</div>

<div class="row mb-2">
    <div class="col-md-6">
        <input type="email" class="form-control form-
control-s" id="email" placeholder="E-mail">
    </div>
    <div class="col-md-6">
        <input type="text" class="form-control form-control-
s" id="fecha" placeholder="Fecha Nacimiento">
    </div>

</div>

</div>
</div>

<!-- <div class="card mb-4">
    <div class="card-header">
        Datos Clínicos
    </div>
    <div class="card-body">
        <div class="row mb-2">
            <div class="col">
                <input type="text" class="form-control form-control-
sm" id="entidad" placeholder="Entidad">
            </div>
            <div class="col">
                <input type="text" class="form-control form-control-
sm" id="Mtratante" placeholder="Médico Tratante">
            </div>

        </div>
        <div class="row mb-2">
            <div class="col">
                <input type="text" class="form-control form-control-
sm" id="diagnostico" placeholder="Diagnóstico">
            </div>
        </div>
        <div class="mb-2">
            <textarea class="form-control form-control-sm"
id="antecedentes" placeholder="Antecedentes" rows="2"></textarea>
        </div>
        <div class="mb-2">
            <textarea class="form-control form-control-sm"
id="observaciones" placeholder="Observaciones Clínicas"
rows="3"></textarea>
        </div>
-->

```



```
        </div>
    </div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
<!-- <div id="tasksList"></div> -->
</div>
</div>

<!-- <script src="/libs/web3/dist/web3.min.js"></script> -->

<script type="text/javascript" language="javascript"
src="https://code.jquery.com/jquery-3.5.1.js"></script>
<script type="text/javascript" language="javascript"
src="https://cdn.datatables.net/1.11.5/js/jquery.dataTables.min.js"></sc
ript>
<script type="text/javascript" language="javascript"
src="https://cdn.datatables.net/1.11.5/js/dataTables.bootstrap5.min.js">
</script>
<script
src="https://cdn.datatables.net/responsive/2.2.9/js/dataTables.responsiv
e.min.js"></script>
<script src="//cdn.rawgit.com/ash11/datatables-
rowsgroup/v1.0.0/dataTables.rowsGroup.js"></script>

<script src="/libs/@truffle/contract/dist/truffle-
contract.min.js"></script>
<script src="./app.js"></script>
<script src="./ui.js"></script>

<script>
$(document).ready(function() {
    $('#example').DataTable({
        'paging': false,
        'lengthChange': true,
        "responsive" : true,
        'searching': false,
        'ordering': false,
        'info': false,
    });
} );
</script>

</body>
</html>
```

## Apéndice F: Código Archivo TasksContract.sol Smart Contract Solidity

```
// SPDX-License-Identifier: MIT

pragma solidity >=0.4.22 <0.9.0;

contract TasksContract {
    uint256 public tasksCounter = 0;

    struct Task {
        uint256 id;
        string tipoIde;
        string identificacion;
        string hClinica;
        string nombres;
        string apellidos;
        string direccion;
        string telefono;
        string email;
        string fecha;
        bool done;
        uint256 createdAt;
    }

    event TaskCreated(
        uint256 id,
        string tipoIde,
        string identificacion,
        string hClinica,
        string nombres,
        string apellidos,
        string direccion,
        string telefono,
        string email,
        string fecha,
        bool done,
        uint256 createdAt
    );
    event TaskToggledDone(uint256 id, bool done);

    mapping(uint256 => Task) public tasks;

    constructor() {
        createTask(
            "",
            "",
            "00001",
            "",
            "0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000",
            "",
            "",
            "",
            ""
        );
    }
}
```

```
    );
}

function createTask(
    string memory _tipoIde,
    string memory _identificacion,
    string memory _hClinica,
    string memory _nombres,
    string memory _apellidos,
    string memory _direccion,
    string memory _telefono,
    string memory _email,
    string memory _fecha
) public
{
    tasksCounter++;
    tasks[tasksCounter] = Task(
        tasksCounter,
        _tipoIde,
        _identificacion,
        _hClinica,
        _nombres,
        _apellidos,
        _direccion,
        _telefono,
        _email,
        _fecha,
        false,
        block.timestamp
    );
    emit TaskCreated(
        tasksCounter,
        _tipoIde,
        _identificacion,
        _hClinica,
        _nombres,
        _apellidos,
        _direccion,
        _telefono,
        _email,
        _fecha,
        false,
        block.timestamp
    );
}

function toggleDone(uint256 _id) public {
    Task memory _task = tasks[_id];
    _task.done = !_task.done;
    tasks[_id] = _task;
    emit TaskToggledDone(_id, _task.done);
}
}
```

## Apéndice G: Log Transacciones Prototipo Blockchain

```
[2023/01/10 07:35:57.421] - > {
  >   "id": 260,
  >   "jsonrpc": "2.0",
  >   "method": "eth_call",
  >   "params": [
  >     {
  >       "to": "0x7b014eb6226bbe51f276f5b93006b4ab96ecc394",
  >       "data": "0x95d89b41"
  >     },
  >     "0x7"
  >   ]
  > }
[2023/01/10 07:35:57.423] - eth_call
[2023/01/10 07:35:57.423] - > {
  >   "id": 261,
  >   "jsonrpc": "2.0",
  >   "method": "eth_call",
  >   "params": [
  >     {
  >       "to": "0x7b014eb6226bbe51f276f5b93006b4ab96ecc394",
  >       "data": "0x313ce567"
  >     },
  >     "0x7"
  >   ]
  > }
[2023/01/10 07:35:57.443] - < {
  <   "id": 260,
  <   "jsonrpc": "2.0",
  <   "error": {
  <     "message": "VM Exception while processing transaction: revert",
  <     "code": -32000,
  <     "data": {
  <       "0xb8879dc166c6df1bddaf08bcec0f0d681113063b6e2a77e6348ede98023e78e1": {
  <         "error": "revert",
  <         "program_counter": 81,
  <         "return": "0x"
  <       },
  <       "stack": "RuntimeError: VM Exception while processing
transaction: revert\n    at Function.RuntimeError.fromResults
(C:\\Program
Files\\WindowsApps\\GanacheUI_2.5.4.0_x64__5dg5pnz03psnj\\app\\resources
\\static\\node\\node_modules\\ganache-
core\\lib\\utils\\runtimeerror.js:94:13)\n    at C:\\Program
Files\\WindowsApps\\GanacheUI_2.5.4.0_x64__5dg5pnz03psnj\\app\\resources
\\static\\node\\node_modules\\ganache-
core\\lib\\blockchain_double.js:568:26",
  <       "name": "RuntimeError"
  <     }
  <   }
  < }
  < }
[2023/01/10 07:35:57.502] - < {
  <   "id": 261,
```

```

<   "jsonrpc": "2.0",
<   "error": {
<     "message": "VM Exception while processing transaction: revert",
<     "code": -32000,
<     "data": {
<
"0x4575db4f82f782312bd69168bdb29fdbd0b965cf13afbba0c01e00c32ffe23e1": {
<       "error": "revert",
<       "program_counter": 81,
<       "return": "0x"
<     },
<     "stack": "RuntimeError: VM Exception while processing
transaction: revert\n    at Function.RuntimeError.fromResults
(C:\\Program
Files\\WindowsApps\\GanacheUI_2.5.4.0_x64__5dg5pnz03psnj\\app\\resources
\\static\\node\\node_modules\\ganache-
core\\lib\\utils\\runtimeerror.js:94:13)\n    at C:\\Program
Files\\WindowsApps\\GanacheUI_2.5.4.0_x64__5dg5pnz03psnj\\app\\resources
\\static\\node\\node_modules\\ganache-
core\\lib\\blockchain_double.js:568:26",
<       "name": "RuntimeError"
<     }
<   }
< }
[2023/01/10 07:35:59.941] - eth_blockNumber
[2023/01/10 07:35:59.942] - > {
  > "id": 6432191859286550,
  > "jsonrpc": "2.0",
  > "method": "eth_blockNumber",
  > "params": []
  > }
[2023/01/10 07:35:59.954] - < {
<   "id": 6432191859286550,
<   "jsonrpc": "2.0",
<   "result": "0x7"
< }
[2023/01/10 07:36:00.309] - eth_getTransactionCount
[2023/01/10 07:36:00.310] - > {
  > "id": 7520648287823,
  > "jsonrpc": "2.0",
  > "method": "eth_getTransactionCount",
  > "params": [
  >   "0x1cbe79c68da4c0205e8674571ce92d7c0fd5ae11",
  >   "0x7"
  > ]
  > }
[2023/01/10 07:36:00.314] - < {
<   "id": 7520648287823,
<   "jsonrpc": "2.0",
<   "result": "0x1"
< }
[2023/01/10 07:36:15.408] - eth_blockNumber
[2023/01/10 07:36:15.409] - > {
  > "id": 6432191859286551,
  > "jsonrpc": "2.0",
  > "method": "eth_blockNumber",

```

```
> "params": []
> }
[2023/01/10 07:36:15.423] - < {
<   "id": 6432191859286551,
<   "jsonrpc": "2.0",
<   "result": "0x7"
< }
[2023/01/10 07:36:19.989] - eth_blockNumber
[2023/01/10 07:36:19.990] - > {
>   "id": 6432191859286552,
>   "jsonrpc": "2.0",
>   "method": "eth_blockNumber",
>   "params": []
> }
[2023/01/10 07:36:20.001] - < {
<   "id": 6432191859286552,
<   "jsonrpc": "2.0",
<   "result": "0x7"
< }
[2023/01/10 07:36:35.443] - eth_blockNumber
[2023/01/10 07:36:35.445] - > {
>   "id": 6432191859286553,
>   "jsonrpc": "2.0",
>   "method": "eth_blockNumber",
>   "params": []
> }
[2023/01/10 07:36:35.454] - < {
<   "id": 6432191859286553,
<   "jsonrpc": "2.0",
<   "result": "0x7"
< }
[2023/01/10 07:36:40.019] - eth_blockNumber
[2023/01/10 07:36:40.020] - > {
>   "id": 6432191859286554,
>   "jsonrpc": "2.0",
>   "method": "eth_blockNumber",
>   "params": []
> }
[2023/01/10 07:36:40.032] - < {
<   "id": 6432191859286554,
<   "jsonrpc": "2.0",
<   "result": "0x7"
< }
[2023/01/10 07:36:55.783] - eth_blockNumber
[2023/01/10 07:36:55.784] - > {
>   "id": 6432191859286555,
>   "jsonrpc": "2.0",
>   "method": "eth_blockNumber",
>   "params": []
> }
[2023/01/10 07:36:55.798] - < {
<   "id": 6432191859286555,
<   "jsonrpc": "2.0",
<   "result": "0x7"
< }
[2023/01/10 07:37:00.049] - eth_blockNumber
```









```
> "internal": true
> }
[2023/01/10 07:37:15.918] - eth_getTransactionCount
[2023/01/10 07:37:15.918] - > {
> "jsonrpc": "2.0",
> "id": 244,
> "method": "eth_getTransactionCount",
> "params": [
> "0x1a60d6bd2b22084091a5a2fba2f8d57bb9b3fc87",
> "latest"
> ],
> "internal": true
> }
[2023/01/10 07:37:15.928] - eth_getBalance
[2023/01/10 07:37:15.929] - > {
> "jsonrpc": "2.0",
> "id": 245,
> "method": "eth_getBalance",
> "params": [
> "0x1cbe79c68da4c0205e8674571ce92d7c0fd5ae11",
> "latest"
> ],
> "internal": true
> }
[2023/01/10 07:37:15.932] - eth_getTransactionCount
[2023/01/10 07:37:15.932] - > {
> "jsonrpc": "2.0",
> "id": 246,
> "method": "eth_getTransactionCount",
> "params": [
> "0x1cbe79c68da4c0205e8674571ce92d7c0fd5ae11",
> "latest"
> ],
> "internal": true
> }
[2023/01/10 07:37:15.935] - eth_getBalance
[2023/01/10 07:37:15.935] - > {
> "jsonrpc": "2.0",
> "id": 247,
> "method": "eth_getBalance",
> "params": [
> "0x797dc6453bc202914891da65ef2505e13c998233",
> "latest"
> ],
> "internal": true
> }
[2023/01/10 07:37:15.938] - eth_getTransactionCount
[2023/01/10 07:37:15.938] - > {
> "jsonrpc": "2.0",
> "id": 248,
> "method": "eth_getTransactionCount",
> "params": [
> "0x797dc6453bc202914891da65ef2505e13c998233",
> "latest"
> ],
> "internal": true
> }
```

```
> }
[2023/01/10 07:37:15.943] - < {
<   "id": 264,
<   "jsonrpc": "2.0",
<   "error": {
<     "message": "VM Exception while processing transaction: revert",
<     "code": -32000,
<     "data": {
<
< "0xe978577743af651cf422c6891a6776e6a1c5f58b673fc4c1a3511db89758d7a": {
<   "error": "revert",
<   "program_counter": 81,
<   "return": "0x"
<   },
<   "stack": "RuntimeError: VM Exception while processing
transaction: revert\n    at Function.RuntimeError.fromResults
(C:\\Program
Files\\WindowsApps\\GanacheUI_2.5.4.0_x64__5dg5pnz03psnj\\app\\resources
\\static\\node\\node_modules\\ganache-
core\\lib\\utils\\runtimeerror.js:94:13)\n    at C:\\Program
Files\\WindowsApps\\GanacheUI_2.5.4.0_x64__5dg5pnz03psnj\\app\\resources
\\static\\node\\node_modules\\ganache-
core\\lib\\blockchain_double.js:568:26",
<     "name": "RuntimeError"
<   }
< }
< }
```

## Referencias

- [1] ADRES, «Sistema de Consulta de la Base de Datos Única de Afiliados BDUA,» 2022. [En línea]. Available: <https://servicios.adres.gov.co/BDUA/Consulta-Afiliados-BDUA>. [Último acceso: 11 08 2022].
- [2] DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA - DANE, «Censo Nacional de Población y Vivienda - CNPV- 2018.,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>. [Último acceso: 06 2021].
- [3] Ministerio de Salud y Protección Social Colombia, «Cifras de aseguramiento en salud Colombia,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/Paginas/cifras-aseguramiento-salud.aspx>. [Último acceso: 03 01 2023].
- [4] Congreso de la República y Ministerio de Salud y Protección Social, «Ley Estatutaria 1751 de 2015,» *Ley Estatutaria 1751 de 2015*, 2015.
- [5] Ministerio de Salud y Protección Social, «Política Integral de Atención en Salud al servicio de la gente,» *Política Integral de Atención en Salud al servicio de la gente*, 2016.
- [6] Congreso de la República de Colombia, «Ley 2015 del 31 de enero de 2020,» *Ley 2015 del 31 de enero de 2020*, 2020.
- [7] J. C. Benavides Carranza, «Integración de la NTC ISO/IEC 27001:2013 con el Modelo de Seguridad y privacidad de la Información-MSPI del MinTIC,» Unipiloto, 2019.
- [8] Colombia. Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, «Mintic,» 2019. [En línea]. [Último acceso: 05 2022].
- [9] S. Indarte y Naciones Unidas, «Estándares e interoperabilidad en salud electrónica,» 2011.
- [10] Jiang, Shan, Cao, Jiannong, Wu, Hanqing, Yang, Yanni, Ma, Mingyu y He, Jianfei, «Blochie: A blockchain-based platform for healthcare information exchange,» 2018.
- [11] Dolader Retamal, Carlos, Bel Roig, Joan y Muñoz Tapia, José, «La blockchain : fundamentos, aplicaciones y relación con otras tecnologías disruptivas.,» 2017.

- [12] B. Garner, «Merkle Tree Hashing: How Blockchain Verification Works,» 03 09 2018. [En línea]. Available: <https://coincentral.com/merkle-tree-hashing-blockchain/>. [Último acceso: 02 2022].
- [13] D. Mohanty, *R3 Corda for Architects and Developers*, Apress, 2019.
- [14] S. Espinosa, «Guía De Referencia De Blockchain Para La Adopción E Implementación De Proyectos En El Estado Colombiano,» MinTIC, 2020.
- [15] F. Guerra, «¿Qué es Blockchain? Megapost,» *Criptotendencias - Noticias de bitcoin, criptomonedas y blockchain*, 11 07 2019. [En línea]. Available: <https://www.criptotendencias.com/base-de-conocimiento/que-es-blockchain-megapost/>. [Último acceso: 01 2022].
- [16] V. Zamorano, «Blockchain validation and its types of consensus proof were taken as reference to Consensus protocols for blockchain; PoW, PoS and plus,» *Blockchain Services*, 23 09 2020. [En línea]. Available: [www.blockchainservices.es/uncategorized/protocolos-de-consenso-parablock](http://www.blockchainservices.es/uncategorized/protocolos-de-consenso-parablock). [Último acceso: 01 11 2022].
- [17] Gaynor, Mark, Tuttle-Newhall, Janet, Parker, Jessica, Patel, Arti y Tang, Clare, «Adoption of Blockchain in Health Care,» *Journal of Medical Internet Research*, 2020.
- [18] Ethereum.org, «Welcome to Ethereum,» 2022. [En línea]. Available: <https://ethereum.org/>. [Último acceso: 03 2022].
- [19] Ethereum, «Introduction to Smart Contracts,» 2022. [En línea]. Available: <https://docs.soliditylang.org/>. [Último acceso: 11 02 2022].
- [20] P. Champagne, *El Libro de Satoshi*, 2014.
- [21] S. Nakamoto, *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, 2008.
- [22] C. d. I. R. d. Colombia., «Ley 23 De 1981,» *Congreso de la República de Colombia*, 1981.
- [23] M. d. S. y. P. Social, «Resolución Numero 1995 De 1999,» *Republica de Colombia*, 1999.
- [24] C. d. I. R. Colombia, «Ley Estatutaria No. 1581 "ley Habeas Data",» *Congreso de la República Colombia*, 2012.

- [25] O. P. d. I. Salud, «Revisión de estándares de interoperabilidad para la eSalud en Latinoamérica y el Caribe,» 2016.
- [26] RACSEL, BID, FUNDACIÓN JULIO RICALDONI, «Racsel Manuales Estándares de Interoperabilidad,» *Racsel Manuales Estándares de Interoperabilidad*, 2019.
- [27] CEDIA-ISO, «Gestión del riesgo de las TINTC 27005,» ISO, 2008.
- [28] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana 27005 Ntc-Iso,» *Norma Técnica Colombiana 27005 Ntc-Iso*, 2009.
- [29] ICONTEC, «Norma Técnica Ntc-Iso/lec Colombiana 27001,» *Norma Técnica Ntc-Iso/lec Colombiana 27001*, 2006.
- [30] M. Papazoglou, «Web Services: Principles and Technology,» *Web Services: Principles and Technology Prentice Hall*, 2007.
- [31] W. Roshen, SOA-Based Enterprise Integration: A Step-by-Step Guide to Services-Based Application Integration, The McGraw-Hill Companies, 2009.
- [32] O. Inc., «The Java EE 6 Tutorial,» 2013. [En línea]. Available: <https://docs.oracle.com/javaee/6/tutorial/doc/gijqy.html>. [Último acceso: 11 12 2021].
- [33] SNOMED International, «SNOMED International Leading Healthcare Terminology, worldwide,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.snomed.org/>. [Último acceso: 23 01 2022].
- [34] De La Espriella Avila, William, Marrugo, Plinio Puella y Arnedo Cervantes, Ariel Jose, «Architecture Proposal for Interoperability between Open Source Platforms of Clinical Histories in Colombia,» *2018 Congreso Internacional de Innovacion y Tendencias en Ingenieria, CONIITI 2018 - Proceedings*, 2018.
- [35] Hasselgren, Anton, Kravlevska, Katina, Gligoroski, Danilo, Pedersen, Sindre A. y Faxvaag, Arild, «Blockchain in healthcare and health sciences—A scoping review,» *International Journal of Medical Informatics*, 2020.
- [36] J. P. Sierra Triana, «Estado del arte de los estándares de interoperabilidad en historia clínica HL7 en Colombia,» Pereira, 2018.
- [37] Ernesto, Paulo y Ordo, Diaz, «Desarrollo de un Prototipo de Framework para brindar seguridad en la confidencialidad de la información en el estándar HL7 CDA R2,» 2020.

- [38] United Nation, «E-Government survey 2022: The Future of Digital Government,» 2022.
- [39] Portulans Institute, «Portulans Institute – The World Information Technology and Services Alliance (WITSA). “The Network Readiness Index 2021 How digital technologies can make the post-COVID world more equal Shaping the Global Recovery”,» 2022. [En línea]. Available: [https://networkreadinessindex.org/wp-content/uploads/reports/nri\\_2021.pdf](https://networkreadinessindex.org/wp-content/uploads/reports/nri_2021.pdf). [Último acceso: 05 07 2022].
- [40] K. Liimatainen, M. Hoffmann y J. Heikkilä, «Overview of Enterprise Architecture work in 15 countries. Finnish Enterprise Architecture Research Project,» Ministry of Finance Finlandia, 2007.
- [41] T. Mayakul, P. Sa-nga-ngam y S. Kiattisin, «A Comparison of National Enterprise Architecture and e-Government Perspectives,» *2019 4th Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON)*, 2019.
- [42] k. Ukrainski, «Fostering Innovation in Estonia: The View from the Governance Framework of the National Innovation System,» *CESifo Forum*, p. 46, 2015.
- [43] M. Püüa, «e-Government Architecture and Digital Identity».
- [44] National Computerization Agency, «Government-wide Enterprise Architecture,» 2019.
- [45] K. Nam, S. Woon Oh, S. Kun Kim, J. Goo y S. Khan, «Dynamics of Enterprise Architecture in the Korean Public Sector: Transformational Change vs. Transactional Change,» *American University of Sharjah*,, 2016.
- [46] Australian Government Information Management Office, «Australian Government Enterprise Architecture Principles,» 2014.
- [47] Australian Government, «Australian Government Architecture (AGA) framework».
- [48] S. o. d. I. R. O. d. Uruguay, «Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento AGESIC,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.gub.uy/agencia-gobierno-electronico-sociedad-informacion-conocimiento/>. [Último acceso: 23 10 2022].
- [49] A. R. O. d. Uruguay, «Plataforma de Participación Ciudadana Digital,» AGESIC, 2022. [En línea]. Available: <https://plataformaparticipacionciudadana.gub.uy/>.

- [Último acceso: 21 10 2022].
- [50] F. Campos, D. Kaminker , C. Otero, F. González Bernaldo de Quirós y D. Luna, Principios de interoperabilidad en salud y estándares, Buenos Aires: Hospital Italiano de Buenos Aires, 2018.
- [51] T. O. Group, «The TOGAF® Standard,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.opengroup.org/togaf>. [Último acceso: 12 2022].
- [52] M. A. D. I. E. SALUD, «MARCO ARGENTINO DE INTEROPERABILIDAD EN SALUD,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.mais.org.ar/>. [Último acceso: 03 10 2022].
- [53] S. e. I. d. Brasil, «Padrões de Interoperabilidade de Governo Eletrônico - ePING,» 2022. [En línea]. Available: <https://eping.governoeletronico.gov.br/>. [Último acceso: 01 05 2022].
- [54] T. I. e. C. Ministério da Ciência, «MINISTÉRIO DA SAÚDE DATASUS,» 2022. [En línea]. Available: <https://datasus.saude.gov.br/>. [Último acceso: 01 05 2022].
- [55] M. d. T. d. I. I. y. I. C. Colombia, «MAE.G.GEN.01 – Documento Maestro del Modelo de Arquitectura Empresarial,» 2019.
- [56] M. d. T. d. I. I. y. I. C. Colombia, «POLÍTICA DE GOBIERNO DIGITAL,» 2022. [En línea]. Available: <https://gobiernodigital.mintic.gov.co/portal/Politica-de-Gobierno-Digital/>. [Último acceso: 11 12 2022].
- [57] I. M. Company, «Onesait Healthcare Data,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.onesait.com/healthcare/>. [Último acceso: 02 07 2022].
- [58] A. N. D. Colombia, «Manual de Usuario X-Road 6.25,» 2021.
- [59] P. Ú. d. E. Colombiano, «Datos Abiertos la plataforma de datos abiertos del gobierno colombiano,» Portal Único del Estado Colombiano, 2022. [En línea]. Available: <https://www.datos.gov.co/Salud-y-Protecci-n-Social/Listado-de-IPS-en-Colombia-seg-n-su-nivel-de-compl/ugc5-acjp/data>. [Último acceso: 17 11 2022].
- [60] Microsoft, « Microsoft Forms,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/online-surveys-polls-quizzes>. [Último acceso: 24 01 2022].
- [61] A. d. Medellín, «Área Metropolitana del Valle de Aburrá,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.medellin.gov.co/es/sala-de->

prensa/noticias/entes\_descentralizad/area-metropolitana-del-valle-de-aburra/.  
[Último acceso: 17 11 2022].

- [62] J. A. García García, A. Reding Bernal y J. C. López Alvarenga, «Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación Médica,» *ELSEVIER*, p. 217, 2013.
- [63] C. E. GTICSalud, «REGLAMENTO GRUPO DE TECNOLOGIAS DE INFORMACION Y COMUNICACIONES DE INSTITUCIONES PRESTADORES DE SALUD DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA,» 2022.
- [64] Ministerio de Salud y Protección Social, «Resolución 866 del 25 de junio de 2021,» 2021.
- [65] Presidencia de la República de Colombia, «Ley 1955 del 25 de mayo de 2019, Pacto por la Equidad,» *Presidencia de la República de Colombia*, 2019.
- [66] E. A. G. d. I. N. C. -. AGN, «CIRCULAR 02 DE 1997,» Bogotá, 1997.
- [67] COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPUBLICA DE, «LEY 527 DE 1999,» 1999.
- [68] REPUBLICA DE COLOMBIA - GOBIERNO NACIONAL, «LEY 594 DE 2000,» 2000.
- [69] Ministerio de Salud y Protección Social Colombia, «Resolución 3374 2000,» 2000.
- [70] Consejo Nacional de Política Económica y Social, «CONPES 3292/2004,» 2004.
- [71] CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, «Ley 962 de 2005,» 2005.
- [72] Congreso de la Republica de Colombia, «Ley 1151 de 2007,» 2007.
- [73] Ministerio de Salud y Protección Social Colombia, «Resolución 2346 de 2007,» 2007.
- [74] PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, «Decreto 1151 de 2008,» 2008.
- [75] Ministerio de Salud y Protección Social, «Resolución 1918 de 2009,» 2009.
- [76] Ministerio de Salud y Protección Social, «Ley 1419 de 2010,» 2010.
- [77] Ministro del Interior y de Justicia Colombia, «Decreto 235 de 2010,» 2010.

- [78] Ministerio de Industria y Comercio Colombia, «Decreto 2364 de 2012,» 2012.
- [79] Congreso de la Republica de Colombia, «Ley 1712 de 2014,» 2014.
- [80] Ministerio de Salud y Protección Social, «Resolución 2003 de 2014,» 2014.
- [81] Presidencia de la República de Colombia, «Decreto 2573 de 2014,» 2014.
- [82] CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, «LEY 1753 DE 2015,» 2015.
- [83] Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, «Decreto 1074 de 2015,» 2015.
- [84] Ministerio de Cultura Colombia, «Decreto 1080 de 2015,» *Ministerio de Cultura Colombia, 2015.*
- [85] MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES COLOMBIA, «DECRETO 1078 DE 2015,» 2015.
- [86] Presidencia de la República de Colombia, «Decreto 415 de 2016,» 2016.
- [87] Presidencia de la República de Colombia, «Decreto 1413 de 2017,» 2017.
- [88] Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, «Resolución 839 de 2017,» 2017.
- [89] Ministerio de las Tecnologías de la Inforamción y las Comunicaciones de Colombia, «Decreto 1008 de 2018,» 2018.
- [90] CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL, «Conpes 3920,» 2018.
- [91] CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL, «Conpes 3975,» 2019.
- [92] Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, «Resolución 866 de 2021,» 2021.
- [93] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia, «Resolución 500 de 2021,» 2021.
- [94] Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, «Resolución No. 866 de 2021,» 2021.

- [95] Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones de Colombia, «Resolución 460 de 2022,» 2022.
- [96] Presidencia de la República de Colombia, «Directiva Presidencial 03 de 2021,» 2021.
- [97] «X-ROAD® IS OPEN-SOURCE SOFTWARE AND ECOSYSTEM SOLUTION THAT PROVIDES UNIFIED AND SECURE DATA EXCHANGE BETWEEN ORGANISATIONS.,» 2022. [En línea]. Available: <https://x-road.global/>. [Último acceso: 11 08 2022].
- [98] Agencia Nacional Digital Colombia, «ANEXO TÉCNICO X-ROAD,» Bogotá, 2020.
- [99] Ministerio de Salud y Protección Social, «Conectaton IHC Colombia 2022,» 19 07 2022. [En línea]. Available: <https://vulcano.sispropreprod.gov.co/guias/toc.html>. [Último acceso: 22 10 2022].
- [100] Ministerio de Salud y Protección Social Colombia, «Modelo Integral de Atención en Salud – MIAS,» 2015.
- [101] A. Kumar, «OpenEMRx: Blockchain Extensions to OpenEMR for Patient EMR Control & Privacy,» *Indian Institute of Technology Bombay*, p. 54, 2018.
- [102] J. Oh y I. Shong, «A case study on business model innovations using Blockchain: focusing on financial institutions.,» *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 2017.
- [103] MDN contributors, «MDN web docs. Javascript,» 12 2022. [En línea]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>. [Último acceso: 22 12 2022].
- [104] OpenJS Foundation y Node.js contributors, «About Node.js®,» 2022. [En línea]. Available: <https://nodejs.org/en/about/>. [Último acceso: 22 12 2022].
- [105] C. S. Inc., «TRUFFLE SUITE,» 2022. [En línea]. Available: <https://trufflesuite.com/docs>. [Último acceso: 22 12 2022].
- [106] C. F. MetaMask, «MetaMask Docs,» 2022. [En línea]. Available: <https://docs.metamask.io/guide/>. [Último acceso: 07 02 2022].
- [107] Microsoft, «Visual Studio Code in Action,» 2022. [En línea]. Available: <https://code.visualstudio.com/docs>. [Último acceso: 23 01 2022].

- [108] I. GLAC-UP, «¿Qué es Ethereum y cómo funciona?,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ig.com/es/ethereum-trading/que-es-ether-y-como-funciona>. [Último acceso: 11 2022].