

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Desarrollo de un prototipo de almacenaje del historial médico  
de un paciente utilizando la tecnología Blockchain**

Trabajo de graduación presentado por Pablo Ignacio Arriola Diaz para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencias de la  
Computación y Tecnologías de la Información

Guatemala,

2019



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



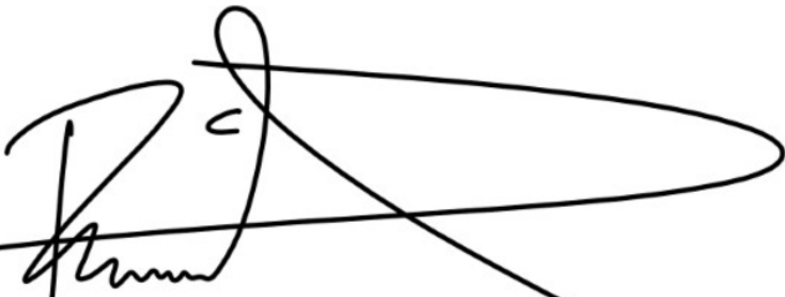
**Desarrollo de un prototipo de almacenaje del historial médico  
de un paciente utilizando la tecnología Blockchain**

Trabajo de graduación presentado por Pablo Ignacio Arriola Diaz para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencias de la  
Computación y Tecnologías de la Información


Guatemala,


2019

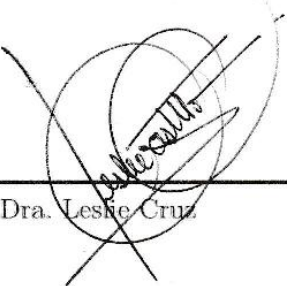
Vo.Bo.:

  
(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Roberto Chiroy

Tribunal Examinador:

  
(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Roberto Chiroy

  
(f) \_\_\_\_\_  
MSc. Douglas Barrios

  
(f) \_\_\_\_\_  
Dra. Leslie Cruz

Fecha de aprobación: Guatemala, 6 de diciembre de 2019.

<b>Lista de figuras</b>	<b>VI</b>
<b>Lista de cuadros</b>	<b>VII</b>
<b>Resumen</b>	<b>VIII</b>
<b>Abstract</b>	<b>IX</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>3</b>
<b>3. Justificación</b>	<b>5</b>
<b>4. Objetivos</b>	<b>6</b>
4.1. Objetivo general . . . . .	6
4.2. Objetivos específicos . . . . .	6
<b>5. Marco teórico</b>	<b>7</b>
5.1. Sistema hospitalario nacional . . . . .	7
5.1.1. Descripción . . . . .	7
5.1.2. Cobertura . . . . .	9
5.1.3. Financiamiento . . . . .	9
5.1.4. Niveles de atención . . . . .	10
5.1.5. Situación legal . . . . .	10
5.1.6. Protocolo de intercambio de información de pacientes entre países . .	11
5.1.7. Firma electrónica en Guatemala . . . . .	11
5.2. Historia clínica . . . . .	12
5.2.1. Descripción . . . . .	12
5.2.2. Hojas de admisión al hospital . . . . .	13
5.2.3. Hojas de la entrevista y examen clínico general . . . . .	13
5.2.4. Registro médico electrónico . . . . .	13
5.3. Design Thinking . . . . .	14

5.3.1.	Descripción . . . . .	14
5.3.2.	Proceso de definición . . . . .	15
5.3.3.	Proceso de investigación . . . . .	16
5.3.4.	Proceso de síntesis . . . . .	17
5.3.5.	Proceso de exploración . . . . .	17
5.3.6.	Proceso de diseño de prototipos . . . . .	18
5.4.	Blockchain . . . . .	19
5.4.1.	¿Qué es Blockchain? . . . . .	19
5.4.2.	Características de Blockchain . . . . .	20
5.4.3.	Aplicaciones . . . . .	23
5.4.4.	MetaMask . . . . .	25
5.4.5.	IPFS . . . . .	26
5.4.6.	Ventajas y desventajas de la tecnología . . . . .	28
5.5.	Ejemplos de Blockchain . . . . .	29
5.5.1.	Ethereum . . . . .	29
5.5.2.	NEO . . . . .	30
5.5.3.	EOS . . . . .	31
<b>6.</b>	<b>Metodología</b>	<b>33</b>
6.1.	Definición . . . . .	34
6.2.	Investigación . . . . .	35
6.3.	Síntesis . . . . .	36
6.4.	Exploración . . . . .	37
6.5.	Diseño de prototipos . . . . .	37
6.5.1.	Validación interna . . . . .	38
6.5.2.	Validación externa . . . . .	38
<b>7.</b>	<b>Resultados</b>	<b>41</b>
7.1.	Definición . . . . .	41
7.2.	Investigación . . . . .	41
7.3.	Síntesis . . . . .	42
7.4.	Exploración . . . . .	44
7.5.	Diseño de prototipos . . . . .	44
7.5.1.	Validación externa . . . . .	45
7.5.2.	Prototipo programado . . . . .	46
7.5.3.	Iteraciones de prototipo . . . . .	49
<b>8.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>55</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>56</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>57</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos</b>	<b>60</b>
11.1.	Entrevistas semi-estructuradas basadas en el brief del estudio . . . . .	60
11.2.	Plantilla utilizada para la codificación de las entrevistas semi-estructuradas . . . . .	62
11.3.	Repositorio . . . . .	63
11.4.	Red local Ethereum . . . . .	63
11.5.	Nodo de IPFS . . . . .	63

11.6. Aprobación del Hospital Roosevelt . . . . .	64
11.7. Hoja de historia clínica . . . . .	65

---

## Lista de figuras

---

1.	Descripción gráfica del proceso completo de Design thinking [17] . . . . .	15
2.	Definición en un diseño generado por design thinking [18] . . . . .	16
3.	Investigación en un diseño generado por design thinking [18] . . . . .	16
4.	Evolución de las notas durante el proceso de design thinking [18] . . . . .	17
5.	Síntesis en un diseño generado por design thinking [18] . . . . .	18
6.	Exploración en un diseño generado por design thinking [18] . . . . .	18
7.	Generación de prototipos en un diseño generado por design thinking [18] . . .	18
8.	HTTP vs IPFS [29] . . . . .	26
9.	Proceso de Design Thinking [17] . . . . .	34
10.	Proceso de definición en Design Thinking . . . . .	34
11.	Proceso de investigación en Design Thinking . . . . .	35
12.	Proceso de síntesis en Design Thinking . . . . .	36
13.	Proceso de exploración en Design Thinking . . . . .	37
14.	Proceso de diseño de prototipos en Design Thinking . . . . .	38
15.	Evolución de temas a insights y a oportunidades de diseño . . . . .	43
16.	Arquitectura de aplicación RME . . . . .	48
17.	Vista de ingreso de RME . . . . .	51
18.	Vista de registro de RME . . . . .	52
19.	Vista de paciente de RME . . . . .	52
20.	Vista de paciente de RME . . . . .	53
21.	Vista de aseguradora de RME . . . . .	54
22.	Plantilla de codificación de las entrevistas . . . . .	62
23.	Red local de Ethereum . . . . .	63
24.	Nodo de IPFS . . . . .	63
25.	Aprobación de parte del Hospital Roosevelt . . . . .	64
26.	Hoja de historia clínica Hospital Roosevelt . . . . .	65
27.	Hoja de examen físico Hospital Roosevelt . . . . .	65

---

## Lista de cuadros

---

1.	Cobertura del Sistema Hospitalario Nacional . . . . .	9
2.	Niveles de atención por entidad según Cottom [10] . . . . .	10
3.	Número de personas y codificaciones por perfil entrevistado . . . . .	42
4.	Proporción de codificaciones por perfil en temas generales . . . . .	42
5.	Cantidad de propuestas por oportunidad . . . . .	44
6.	Resultados de primera iteración de storyboard . . . . .	45
7.	Resultados de segunda iteración utilizando prototipo de papel en alta definición . . . . .	45
8.	Conteo visual de teléfonos durante las visitas a hospitales . . . . .	46
9.	Infraestructura tecnológica de Hospital Roosevelt . . . . .	46
10.	Comparación entre cadenas de Blockchain basada en criterios de plataforma . . . . .	47
11.	Comparación entre cadenas de Blockchain basada en criterios de adopción . . . . .	47
12.	Primera iteración de prototipo con usuario Paciente . . . . .	49
13.	Primera iteración de prototipo con usuario doctor . . . . .	49
14.	Primera iteración de prototipo con usuario aseguradora . . . . .	50
15.	Segunda iteración de prototipo con usuario paciente . . . . .	50
16.	Segunda iteración de prototipo con usuario doctor . . . . .	50
17.	Segunda iteración de prototipo con usuario aseguradora . . . . .	51

Este trabajo tiene como objetivo principal diseñar un sistema de almacenaje del registro médico de un paciente utilizando la tecnología Blockchain. Guiando durante todo el proceso de diseño la metodología de design thinking.

En los hospitales públicos de Guatemala, el recurso papel es el medio principal utilizado para documentar las visitas de un paciente; además lo utilizan para recopilar información y documentar todos sus procesos, debido a esta característica se identificó la necesidad de introducir una solución que facilite el llevar un mejor control del registro de cada paciente y procesos que se ven involucrados en ello, pero sin alterar la línea que siguen. Como resultado de seguir la metodología, se obtuvo el diseño de un prototipo del registro médico electrónico de un paciente el cual fue consecuentemente desarrollado. El prototipo hace uso de la tecnología Blockchain, específicamente de Ethereum, la cual posibilita el historial inmutable de transacciones en la red como dar permiso por parte del paciente al doctor de ver su historia registro electrónica; asimismo, enviar un diagnóstico y aprobar de parte de una aseguradora un reclamo de un cliente. De igual manera, se utilizó un sistema de base de datos descentralizado (IPFS) que permite el almacenamiento de datos con redundancia a la vez que evita la duplicidad ahorrando espacio de almacenamiento.

Se deja como recomendación realizar las pruebas de instalación y funcionamiento en la red local del Hospital Roosevelt, ya que debido a la información recopilada fue posible observar que la necesidad de tecnología en el sector público es grande.

Por lo tanto, se exhorta a la continuación de este proyecto para cualquier hospital.

The main objective of this work is to design a storage system for a patient's medical record using Blockchain technology. Guiding the design thinking methodology throughout the design process.

In public hospitals in Guatemala, paper resources are the main means used to document a patient's visits; They also use it to gather information and document all their processes, due to this characteristic the need to introduce a solution that facilitates the better control of each patient's record and processes that are involved in it, but without altering the line was identified following.

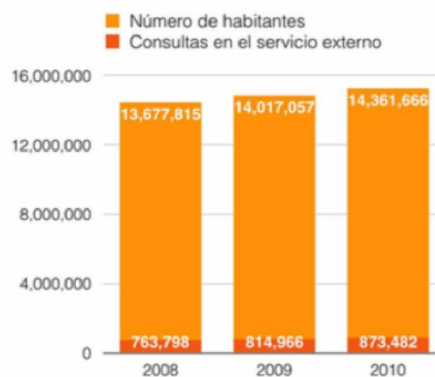
As a result of following the methodology, the design of a prototype of the electronic medical record of a patient was obtained, which was consequently developed. The prototype makes use of Blockchain technology, specifically of Ethereum, which enables the immutable history of transactions in the network such as giving the doctor permission to see his electronic record history; also, send a diagnosis and approve a claim from a client. Similarly, a decentralized database system (IPFS) was used that allows data storage with redundancy while avoiding duplication saving storage space.

It is left as a recommendation to perform the installation and operation tests in the local network of the Roosevelt Hospital, since due to the information collected it was possible to observe that the need for technology in the public sector is great.

Therefore, the continuation of this project is urged for any hospital.

Guatemala cuenta con una extensión geográfica de 108, 889 km<sup>2</sup>. Su densidad de población es de 138 habitantes por km<sup>2</sup>, lo que hace al país uno de los más poblados en Centroamérica. Según estimaciones realizadas a partir de la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida por el Instituto Nacional de Estadística [1], se cuenta con un total de 15,073,375 habitantes. El aumento poblacional fue de 2.44 % entre los años 2011 y 2012.

Debido al crecimiento de la población guatemalteca, es posible deducir que la necesidad de atención médica se encuentra también en aumento como se puede ver en la siguiente imagen. En el año 2010, los centros hospitalarios privados del país brindaron consultas externas a 873,482 personas. Lo que significó un incremento del 7.2% respecto del año anterior. Ya que el 70 % de la atención médica es realizada por las instituciones públicas[2] estas deben de llegar a manejar grandes cantidades de información de pacientes y tratar que la calidad de atención sea la óptima, pero ¿cómo se puede lograr esto?.



Los avances de la tecnología hoy en día, han permitido que la manipulación de la información se pueda realizar de una forma automatizada. Las implementaciones de nuevas tecnologías pueden afectar distintas áreas, incluyendo el área de la salud pública. Como mencionan Stead y Lin [3], los cambios en el sistema de salud puede verse desde dos perspectivas

igualmente importantes, la perspectiva radical y la de evolución.

Si bien un enfoque radical es un cambio puntual e innovador, el sistema de salud público del país no posee los recursos necesarios para realizar tal cambio [2]. Por otra parte, la perspectiva de la evolución, permite una mejora continua de forma iterativa. Por ende, se hace necesario que cualquier cambio a realizar debe hacerse de forma paulatina. Iniciando con elementos que se integren poco a poco al trabajo del personal y la atención a los pacientes. Así, la metodología de design thinking encuentra su objetivo el cual es facilitar la adopción de nuevas tecnologías por parte de los usuarios, quienes están acostumbrados a realizar los procedimientos de una forma determinada, usualmente no tecnológica.

Este proyecto consistió en la aplicación de design thinking en el área de salud para el sector público en Guatemala. Se tomó como referencia los hospitales San Juan de Dios y Roosevelt. El propósito de la utilización de esta metodología consiste en alcanzar una propuesta que facilita la administración del registro médico de un paciente.

Un primer trabajo similar fue publicado Azaria, Ekblaw, Vieira y Lippman en el año 2016 [4], el cual tiene el título de “*MedRec: Using Blockchain for Medical Data Access and Permission Management*” y fue publicado por IEEE. En el mismo se trata directamente una propuesta de un sistema llamado MedRec el cual catalogan como un novedoso sistema descentralizado de gestión de registros para manejar RME, utilizando la tecnología blockchain. Este ofrece a los pacientes un registro completo e inmutable y un fácil acceso a su información médica en todos los proveedores y sitios de tratamiento. MedRec gestiona la autenticación, confidencialidad, responsabilidad y el intercambio de datos. El diseño modular se integra con las soluciones de almacenamiento de datos locales existentes de los proveedores, lo que facilita la interoperabilidad y lo hace más conveniente y adaptable. El principal fin del trabajo fue exponer su prototipo funcional el cual utilizan para exponer y analizar su enfoque, esto antes de hacer pruebas de campo.

Otro trabajo con el título, “*Blockchain Technology for Healthcare: Facilitating the Transition to Patient-Driven Interoperability*” por los autores Gordon y Catalini en el año 2018 en ELSEVIER [5]. En este se trata que recientemente ha habido un cambio hacia la interoperabilidad impulsada por el paciente, en la que el intercambio de datos de salud está mediado y dirigido por el paciente. De igual manera abarca los nuevos desafíos y requisitos que esto significa en materia de seguridad y privacidad, tecnología, incentivos y gobernanza que deben abordarse para que este tipo de intercambio de datos tenga éxito a escala. Se enfocan en cómo la tecnología blockchain podría facilitar esta transición a través de cinco mecanismos: (1) reglas de acceso digital, (2) agregación de datos, (3) liquidez de datos, (4) identidad del paciente e (5) inmutabilidad de datos. Y luego exponen las dificultades como el volumen de transacciones de datos clínicos, la privacidad y la seguridad, la participación del paciente y los incentivos. Finalmente concluyen que “Concluimos señalando que, si bien la interoperabilidad de la conducción del paciente es una tendencia emocionante en la atención médica, dados estos desafíos, queda por ver si blockchain puede facilitar la transición del intercambio de datos centrado en la institución al centrado en el paciente.”[5]

Un tercer trabajo de Liu publicado en el 2016 con título, “*Medical Record System Using*

*Blockchain, Big Data and Tokenization*” por Cham Springer [6] el cual discute los principales aspectos de los registros médicos, blockchain y big data. A su vez, discute las ventajas y las desventajas de usar blockchain en el almacenamiento y recuperación de registros médicos. Al igual que las alternativas de usar blockchain y técnicas de big data.

Por último, se tiene un artículo publicado en el año 2017 por Al Omar, Shahriar, Basu y Kiyomoto con el título, “*MediBchain: A Blockchain Based Privacy Preserving Platform for Healthcare Data*” en SpaCCS [7]. El cual trata sobre como los datos de salud médica están captando el interés de los ciberatacantes en los últimos años. Y que las consecuencias podrían aliviarse mediante la descentralización. Se enfocan en el uso de una red de igual a igual (P2P) la cual habilita la propiedad de descentralización, donde las diferentes partes pueden almacenar y ejecutar cómputos mientras se mantienen privados los datos confidenciales de salud. Todo esto utilizando la tecnología Blockchain ya que se aprovecha el proceso descentralizado o distribuido, lo que garantiza la responsabilidad e integridad de su uso. Finalmente presenta un sistema de gestión de datos de atención médica centrado en el paciente mediante el uso de Blockchain como almacenamiento para lograr la privacidad.

Al analizar problemas del sistema de salud actual, encontré que muchos de ellos existen debido a que los hospitales tienen un historial médico de salud rígido e inseguro que se basa en tecnologías de hace décadas (MSPAS, 2016 [8]). Al resolver este problema de raíz, espero aliviar muchos otros problemas también.

Actualmente, los sistemas de RME (registro medicoelectrónico) en hospitales son problemáticos. Esto se debe a que son vulnerados con frecuencia, no son transparentes y no mantienen un registro de todos los cambios en el registro del paciente (OMS, 2016 [9]). De igual manera se dan casos en donde estos se siguen haciendo en papel por lo que su confiabilidad es menor, como se da en Guatemala.

Al realizar el almacenamiento con tecnología blockchain, los pacientes son dueños de sus propios datos de atención médica, por lo que los datos tienen una integridad mucho mayor que la que se puede lograr en otros modelos de manejo de datos. Por ejemplo, entre el 5% y el 20% de los datos del NHS no está vinculado específicamente a un paciente (Aamir Butt), y en los USA, los datos de atención médica están vinculados a un evento del paciente en lugar de un paciente.

De igual manera al utilizar un RME se puede asegurar la seguridad y confidencialidad de los datos personales del paciente; facilitan la integración con sistemas administrativos lo que puede agilizar el agendamiento y programación de consultas médicas; pueden ayudar a los profesionales a que dispongan menor tiempo dedicado a tareas administrativas; permite compartir información clínica entre profesionales sanitarios tanto de la unidad como de diferentes hospitales; mejoran la seguridad jurídica del profesional por el registro electrónico de la información del paciente; incrementan la calidad asistencial al disponer de información del paciente inmediata y en tiempo real (OMS, 2016 [9])

#### 4.1. Objetivo general

Diseñar un prototipo de sistema de almacenaje RME para el historial médico de un paciente utilizando la tecnología Blockchain

#### 4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el uso de tres diferentes tecnologías de Blockchain (Ethereum, NEO, EOS) y escoger la que mejor se acople al problema.
- Desarrollar un prototipo inicial de sistema de almacenaje RME para el historial médico de un paciente utilizando la tecnología Blockchain con base en una de las implementaciones de Blockchain
- Listar los obstáculos tecnológicos para implementar un sistema de almacenaje del historial médico de un paciente utilizando la tecnología Blockchain
- Realizar pruebas heurísticas y de usabilidad al prototipo de sistema de almacenaje del historial médico para asegurar accesibilidad a la población guatemalteca que trabaja en centros de salud

## **5.1. Sistema hospitalario nacional**

Como primer punto, se presenta el estado actual del sistema hospitalario nacional en Guatemala. Este establece una visión general del entorno en el que se desarrollo el trabajo. Además, se menciona el alcance y cobertura que brinda el sector de salud a la población guatemalteca. Así como la forma en que obtienen los recursos que necesitan para funcionar. Todo lo que se presenta a continuación debe ser comprendido en forma general. Esta información será de utilidad para la comprensión de los resultados finales.

### **5.1.1. Descripción**

El sector de salud en Guatemala se puede dividir a grandes rasgos en las siguientes categorías: El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), la sanidad militar, el sector de salud privada y un área especializada de medicina tradicional que proviene mayoritariamente de la cultura maya[10][2].

El MSPAS es “La rectoría del sector salud, entendida como la conducción, regulación, vigilancia, coordinación y evaluación de las acciones e instituciones de salud a nivel nacional” [10]. Los principales programas de atención del MSPAS tienen que ver con la atención materno-infantil, enfermedades transmisibles, enfermedades no transmisibles, violencia y adicciones. Existen otros programas complementarios relacionados con la nutrición. Cabe destacar que estos servicios son gratuitos, pero el Código de Salud permite cobrar ciertas prestaciones [2].

El IGSS es una entidad descentralizada del estado encargada de la seguridad social, que ofrece cobertura a los trabajadores formales y sus familias; fue creado en 1946, y tiene vigencia hasta el día de hoy. Su trabajo en el área de salud se divide principalmente en tres programas: Invalidez, Vejez y Sobrevivencia (IVS), Accidentes, y Enfermedad y Maternidad

[10] agrupa estos dos últimos en uno solo). El primero se ejecuta mediante el pago de pensiones con un periodo mínimo de cotización; el segundo a través de una red de servicios a lo largo de todo el país, y el tercero de forma similar, aunque solo tiene cobertura en 19 de los 22 departamentos. Estos programas ofrecen servicios de medicina preventiva, curativa y de rehabilitación; el aseguramiento de los últimos dos grupos también dispone de asistencia médico-quirúrgica general y especializada, así como asistencia odontológica [2]

El IGSS ofrece sus servicios principalmente en sus instalaciones, pero algunos aspectos del programa de enfermedad y maternidad se otorgan a domicilio. El IGSS ha establecido convenios con el MSPAS o con médicos particulares/ proveedores privados con el objetivo de incrementar el área de cobertura.[10][2]

La sanidad militar cubre a los miembros de las fuerzas armadas y a sus familias [2]

1. El lucrativo, que comprende hospitales, sanatorios y clínicas cuya principal fuente de ingreso proviene de prestar servicios de salud a cambio de remuneración. Este sector también incluye un pequeño sector de seguros privados.[10] [2]
2. El no lucrativo, el cual describe a las ONG nacionales e internacionales, laicas y religiosas, dedicadas al sector de la salud (Cottom,[10]) menciona a aproximadamente 200, mientras que Beccerri-Montekio & Lopez-Davila [2] aseguran que el número es ligeramente más alto que 90). El 55 % de estas se encuentran en el interior, y proporcionan asistencia a problemas inmediatos y a largo plazo bajo una óptica de participación comunitaria. Sus actividades pueden clasificarse en:
  - Atención a la enfermedad
  - Prevención de la enfermedad
  - Sostenibilidad

Una mención breve merece la medicina tradicional, que es usada por aproximadamente un tercio de la población y se sustenta en pagos de bolsillo (Beccerri-Montekio & Lopez-Davila [2]). Este sistema ha sido ignorado largamente en los estudios de la medicina occidental, pero se han realizado esfuerzos por permitir su mutuo uso y cooperación (Cottom, [10]).

### 5.1.2. Cobertura

El Cuadro 1 ilustra la cobertura ofrecida a la población por cada una de las entidades descritas anteriormente.

Cobertura		
Entidad	Cottom (2004)	Becerril & Lopex (2011)
MSPAS	32 %	32 %
IGSS	16 %	17.45 %
Seguridad Militar	0.21 %	0.5 %
Seguridad Privada	10 %	12 %
Cobertura Total	58.21 %	61.95 %

Cuadro 1: Cobertura del Sistema Hospitalario Nacional

La proporción de cobertura real de las ONG's no está bien delimitada. Según Cottom [10] y Becerril-Montekio & Lopez-Davila [2], estimaciones del MSPA indican que 18 % de la población recibe su atención.

### 5.1.3. Financiamiento

El MSPAS se financia con recursos provenientes del estado: impuestos, de donaciones internacionales y, en menor grado, de pago por servicios [2].

El IGSS se financia con contribuciones de los empleadores, los trabajadores afiliados y el Estado (aunque esta participación no se cumple de 1956, según reportes). Como no todos los programas están disponibles en todos los departamentos, el pago de la afiliación varía: en los departamentos en los que el programa de Enfermedad y Maternidad está implementado, el costo puede ser de hasta 15.5 % del salario (10.67 % aportado por el empleador y 4.83 % por el empleado), mientras que en los que no está implementado, el costo baja a 9.5 % del salario (6.67 % del empleador y 2.83 % por el empleado) [2].

El financiamiento del hospital militar proviene principalmente de los recursos del Estado asignados al ministerio correspondiente, pero cotizaciones de militares jubilados y administradores del ejército que deciden afiliarse voluntariamente [2].

Alrededor del 92 % del sector privado se sustenta con pagos de bolsillo de los pacientes; el resto, perteneciente a los dos quintiles más ricos y predominantemente urbanos de la población, contribuyen con planes privados de salud [2].

El gasto en salud es del 7.1 % del PIB. De esta cantidad, 62.1 % es gasto privado (el más alto de América Latina), y aproximadamente 37 % es público; del gasto público, el MSPAS tiene el 40 %, el IGSS tiene el 59 % y la Sanidad Militar tiene el resto [2]. Según Cottom [10], el sector público de salud tiene destinado un 10 % del presupuesto, aunque estas cifras datan de 1997.

#### 5.1.4. Niveles de atención

La atención de las entidades mencionadas se puede prestar a lo largo de tres niveles: el nivel primario (puestos de salud), el nivel secundario (centros de salud, consultorios y enfermerías) y el nivel terciario (hospitales y sanatorios). La distribución de atención médica señalada por Cottom [10] es ilustrada en el Cuadro 2, mientras que la distribución descrita por Becerril-Montekio & López-Davila [2] es resumida en los siguientes párrafos.

El MSPAS cuenta con 43 hospitales para ofrecer atención de 2do o 3er nivel: 2 nacionales, 7 especializados, 7 nacionales-regionales, 14 departamentales y 13 distritales. También posee 3301 centros comunitarios, 957 puestos de salud, 20 maternidades cantonales, 7 clínicas periféricas, 26 centros de salud tipo “A”, 254 tipo “B” y 24 centros de Urgencias. Por otro lado, el IGSS cuenta con 104 unidades médicas para todos los niveles, con capacidades no especificadas.

De acuerdo con el MSPAS, el sector privado incluye 2287 clínicas médicas privadas y 62 hospitales y/o sanatorios.

Nivel	MSPAS	IGSS	Sector Privado	Sanidad Militar	Total
Nivel 1	857	21	N/A	N/A	878
Nivel 2	254	29	1786	21	2090
Nivel 3	36	24	171	6	237
Total	1147	74	1957	27	3205

Cuadro 2: Niveles de atención por entidad según Cottom [10]

Cifras de la OMS señalan que la capacidad médica de Guatemala se encuentra en 7 camas por cada 10000 habitantes [2].

#### 5.1.5. Situación legal

Cada país maneja de forma distinta la situación legal sobre la asistencia sanitaria. Las leyes y regulaciones varían de un país a otro. Sin embargo, todos coinciden en que los datos del área hospitalaria son sensibles, y el acceso a ellos trae beneficios que mejoran la atención al paciente. Todos concuerdan en que el acceso a esta información debe ser concedida solamente a personas que estén autorizadas. El derecho de disponibilidad de información y confidencialidad, tienen el mismo nivel de importancia, lo que induce a proveer la mejor asistencia sanitaria posible [11].

Al hacer uso de la tecnología, el acceso a la información se convierte en telemática. Sin importar esta conversión, las leyes existentes se deben aplicar de la misma forma que se realiza en papel. La diferencia radica en los procesos que se requieren para llegar al nivel de seguridad que provee el acceso en papel. Disimilitud que afecta los pasos utilizados para garantizar la seguridad los cuales también se transforman en telemáticos. Por ejemplo, se necesita de un certificado electrónico, la encriptación de los datos o la conservación de la trazabilidad [11].

Por otro lado, no es suficiente contar con un sistema para acceder a información, sino que es necesario definir los requisitos para que esté disponible las 24 horas. Otra característica diferencial del acceso telemático es que cualquiera puede acceder fácilmente a mayor cantidad de información. Por ello, se debe asegurar que cada actor puede visualizar solo la información que le corresponde [11]

#### **5.1.6. Protocolo de intercambio de información de pacientes entre países**

La definición de un sistema de intercambio de datos transfronterizo debe cumplir con la seguridad de los datos, ya que el uso de las tecnologías de la información aumenta el intercambio de información entre distintos sectores. Asimismo, tienen que existir procesos que aseguren la protección de los datos de forma equivalente. Para ello, debe establecerse un marco común de interoperabilidad para que los pacientes puedan tener derecho a una asistencia sanitaria transfronteriza. Sin embargo, a la hora de definir el intercambio de datos surgen conflictos entre las legislaciones de los países, porque cada uno posee acciones específicas en situaciones concretas [11]. Para asegurar que un intercambio de datos transfronterizo se realice con seguridad se deben de tomar en cuenta los siguientes hitos:

1. Definición del alcance y objetivos del intercambio de los datos. Este se refiere al hecho de poder identificar que los datos de salud pertenecen al paciente que se está atendiendo. Tomando en cuenta que solo deben acceder los profesionales que puedan contribuir a esta asistencia. Para definirlos se deben tener claros los casos de uso, la información que se comparte, en qué circunstancias y con que funcionalidades. De igual manera, los profesionales que tienen derecho al acceso y los distintos roles y perfiles [11].
2. Definición del sistema de consentimiento. El paciente tiene que estar informado en todo momento del acceso que se tiene a sus datos. De igual forma, el paciente debe dar su consentimiento ya sea oral o escrito. El problema, es que hay países que permiten que el paciente pueda ocultar información que no quiere compartir, y hay otros en los que no se permite [11].
3. Sistemas de identificación y autenticación de profesionales y pacientes. Debe existir una identificación unívoca para el paciente y para el profesional. En el caso del paciente esta identificación debe ser para toda la vida; para el profesional, asociada a su rol y debe mantenerse actualizada. La autenticación debe ser mediante la firma electrónica avanzada [11].
4. Trazabilidad. Para que el sistema sea de confianza debe contar con una forma unívoca para identificar a profesionales y pacientes. Los requisitos de identificación y autenticación deben cumplir con la integridad de la información.[11].

#### **5.1.7. Firma electrónica en Guatemala**

Las normas que existen en un país para el sector hospitalario velan por la privacidad y seguridad de la información. La mayoría de profesionales cree que existen mayores riesgos de seguridad con la historia clínica digital que en papel. Sin embargo, las implementaciones

del mismo son más seguras que un archivo físico con registros de papel. Debido a que de forma electrónica se aplican medidas de seguridad para el acceso, las cuales son imposibles de lograr en los registros de papel. [11].

En septiembre de 2008 se publicó el decreto 47-2008, el cual manifiesta la ley 3515 "La ley para el reconocimiento de comunicaciones y firmas electrónicas". Cuyo objetivo principal es conceder equivalencia entre las comunicaciones electrónicas y los documentos en papel. Otorga validez legal a la información firmada electrónicamente. Actualmente, es utilizada para comunicaciones electrónicas, es decir, notificaciones, alarmas y otros [12].

La firma electrónica garantiza la identidad digital del remitente en una comunicación. Además, provee integridad a la información garantizando que no ha sido modificada. Adicionalmente, asegura que el emisor de un mensaje no puede negar que lo firmó. Por último, la información del documento es confidencial asegurándose que únicamente el destinatario pueda accederla [12].

En Guatemala, existen dos tipos de firmas electrónicas la simple y la avanzada. La diferencia está en el tipo de seguridad que brindan, la avanzada tiene validez plena, y la simple queda a criterio de un juez. Anterior a esta ley no existía ninguna ley relacionada con las tecnologías de la información, excepto la Ley de propiedad intelectual [12].

## 5.2. Historia clínica

Toda la estructura organizacional del sector hospitalario nacional utiliza documentos específicos para sustentar los procesos que realizan. Principalmente, en todas las organizaciones de salud se documenta el historial médico de un paciente. Este debería estar estandarizado para todos, sin embargo, cada institución ha adoptado una versión de acuerdo a la información que administra. El expediente médico cómo mínimo debe contener los signos vitales, evolución, indicaciones médicas, notas de enfermería, hojas de admisión, y exámenes clínicos del paciente. Como siguiente punto se provee una descripción a detalle de cada una de las hojas que componen a un expediente médico estándar

### 5.2.1. Descripción

La historia clínica, también conocida como expediente clínico o historial médico, es un documento que permite documentar los eventos médicos de un paciente. Por lo tanto, idealmente, debe de ser única, integrada y acumulativa. No obstante, en la realidad, puede ser privativa y pertenecer a una institución en particular [13] [14]

Los principales objetivos de la Historia clínica es llevar el registro de los eventos médicos del paciente, facilitar el acceso a la información del paciente a otros trabajadores de la salud, y establecer una buena relación entre clínico y paciente (llamado también rapport). En el expediente se anotan todos los problemas identificados por el médico, el razonamiento de los posibles diagnósticos, el encauzamiento de los análisis de laboratorio, de imágenes, biopsias, trazos, endoscopias, etc. que permitan llegar al diagnóstico definitivo. Adicionalmente se anotan las medidas en el tratamiento y los cambios que resultan de dicho tratamiento.

Teniendo a mano la evolución del paciente se hace posible plantear nuevamente las acciones de tratamiento y así llegar finalmente a la eliminación o mitigación de los problemas con las que el paciente consultó en primera instancia [14].

En resumen, el expediente clínico consta de las siguientes partes, más o menos en el siguiente orden [14]: (1) hoja de signos vitales, (2) hoja de evolución, (3) indicaciones médicas, (4) notas de enfermería, (5) hojas de admisión y (6) hojas de la entrevista y examen clínico general.

### **5.2.2. Hojas de admisión al hospital**

Contiene todos los datos de admisión del paciente, incluyendo datos generales del mismo. Los datos generales mínimos que debe contener dicha hoja son:

- Nombre
- Sexo
- Edad
- Etnia
- Religión
- Estado Civil
- Domicilio
- Lugar de procedencia
- Ocupación

En otros casos se suele incluir datos de seguro médico e institución desde donde se refiere al paciente. Adicionalmente, las hojas de admisión tienen su utilidad para el cierre del expediente, al momento del egreso, con la condición sobre la cual se le da de baja: Curado, Mejorado, No mejorado, Fugado, Contraindicado, Fallecido u otro [14] [13].

### **5.2.3. Hojas de la entrevista y examen clínico general**

Se incluyen las hojas que poseen todas las anotaciones realizadas por el clínico. En ella se incluyen datos como los síntomas y signos identificados en el paciente, lista de problemas con sus características e inclinaciones diagnósticas [14].

### **5.2.4. Registro médico electrónico**

El Registro Médico Electrónico (también llamado Expediente Clínico Electrónico o Historia Clínica Electrónica) es el registro en formato digital de los datos de salud propios de

un sujeto humano o de un grupo, que incluye el estado de la salud en distintos momentos de la vida (del individuo o del grupo) y las acciones que se desarrollaron para determinarlo y/o modificarlo.

Los RME son propuestos como potenciales soluciones a muchas de las problemáticas descritas en los sistemas de salud actuales a nivel mundial. Existen informes que describen la complejidad de la adopción de RME, y si bien no hay una receta única que sirva como guía para una implementación eficaz, la mayoría de los países en la Región están promoviendo su adopción a diferentes niveles. A su vez, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) identifica a los RME como parte fundamental de la estrategia de e-Salud en las Américas.

### 5.3. Design Thinking

El uso de la metodología de design thinking no pretende eliminar ni cambiar los documentos explicados en la sección de historia clínica. Es más, esta asegura tomarlos en cuenta para que la solución sea de utilidad para los usuarios finales. Para ello, cada fase estrictamente requiere de entradas específicas de información para poder ser ejecutada. De esta forma, cada salida generada en las fases se convierte en una entrada para la siguiente, hasta llegar al resultado deseado. Este proceso es posible observarlo enseguida en la presente sección.

#### 5.3.1. Descripción

La frase “design thinking” fue popularizada por Rowe en 1991, para referirse a las formas en que los diseñadores se acercaban a los problemas de diseño [15]. Actualmente se define como un proceso analítico y creativo que involucra a una persona en las oportunidades de experimentar, crear y generar prototipos de modelos, obtener retroalimentación y rediseñar [16]. Este, es un proceso intencional con el fin de llegar a soluciones nuevas y pertinentes que crean impacto positivo [17]. De esta forma, se puede decir que design thinking se define en cuatro características principales:

1. Se encuentra centrado en el usuario y comienza desde lo más profundo de la empatía y la comprensión de las necesidades y motivaciones de las personas que componen el mundo cotidiano.
2. Es colaborativo, lo que implica que varias mentes brillantes son siempre más fuerte en la resolución de un reto, que una sola. Design Thinking se beneficia enormemente de las opiniones de múltiples perspectivas, y la creatividad de los demás.
3. Imparte la creencia fundamental de que todas las personas pueden crear un cambio, sin importar cuan grande es el problema, el tiempo o el presupuesto. No importa qué limitaciones existen a su alrededor, el diseño puede ser un proceso agradable.
4. Es experimental, permite fallar y aprender de los errores, ya que proviene de nuevas ideas, retroalimentaciones e iteraciones. Sin embargo, hay una expectativa subyacente de que los diseñadores deben tender a la perfección, para que no se cometan errores, lo cual lleva a modelos perfectos. Este tipo de expectativa hace que sea difícil tomar

riesgos. Limita las posibilidades de crear un cambio más radical, pero design thinking permite dejar esto atrás y tomar los riesgos necesarios.

Este sobresale por ser iterativo, exploratorio, y a veces un proceso caótico. Además de estas características, hay varios procesos que subyacen el proceso de design thinking. El diseño parte de algunas especificaciones abstractas, o lo que es conocido mejor como un brief, y termina con la descripción de un producto, que gradualmente se refina. Las especificaciones pueden cambiar en relación a las propuestas o problemas inesperados descubiertos durante el proceso. En este caso, el diseño sigue los ciclos de adaptación mutua entre las especificaciones y soluciones hasta que se alcance una solución definitiva [16].

Así, durante el proceso de diseño en design thinking, se participa en varios diferentes procesos cognitivos. Se pueden especificar básicamente cinco: (1) definición, (2) investigación, (3) síntesis, (4) exploración y (5) diseño de prototipos.

### 5.3.2. Proceso de definición

Esta es la primera etapa de diseño y establece cual es el problema. Cada proceso de diseño comienza con un problema específico e intencional al que se quiere dirigir el proyecto. A esto se le conoce como el desafío de diseño. Un desafío debe ser accesible, comprensible y aplicable, y debe de poseer un ámbito claro, no demasiado grande o demasiado pequeño, y no demasiado vago o demasiado simple [17].

Así, si un desafío de diseño se encuentra claramente definido guiará a las preguntas y ayudará a mantenerse en el camino a lo largo del proceso. Esto se alcanza al momento de la escritura de

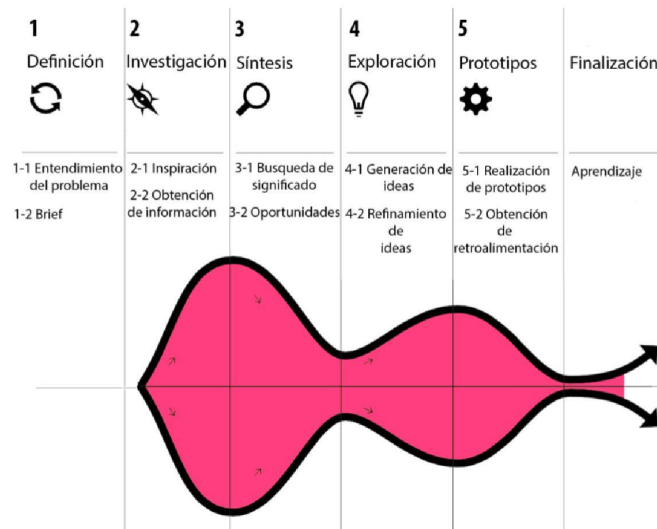


Figura 1: Descripción gráfica del proceso completo de Design thinking [17]

un breve párrafo conocido como un brief, que aclara el reto que se va a abordar. Además,

captura pensamientos sobre por que el desafío de diseño es un problema, y lo que será la oportunidad para el diseño [17].

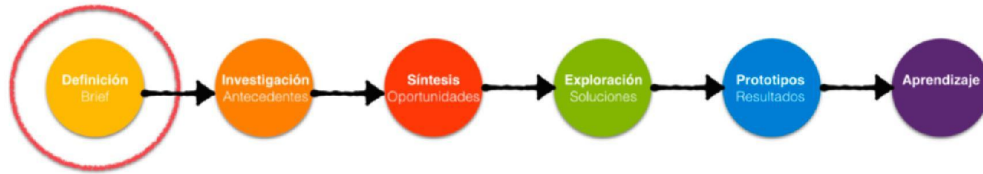


Figura 2: Definición en un diseño generado por design thinking [18]

### 5.3.3. Proceso de investigación

El proceso de investigación construye una base sólida para las ideas que se poseen sobre el problema de diseño. Además crea soluciones significativas para el equipo, comenzando con una profunda comprensión de las necesidades. Esta etapa significa tener la posibilidad de nuevas ideas y conseguir inspiración. Con la preparación adecuada, esto puede ser revelador y brindar una buena comprensión del desafío de diseño [17].

Una vez que el resumen o requisito de diseño ha sido definido y acordado, se comienza a buscar información para ser utilizada en el proceso creativo de la etapa de síntesis [18]. De esta forma, en este proceso se colecta la información de antecedentes. Para que esto sea posible, existen distintos métodos para la obtención de la información. Entre ellos se puede mencionar:

1. **Benchmarking:** se investiga sobre soluciones ya existentes y se aprende de ellas.
2. **Construcción de entrevistas semi-estructuradas:** Se realizan guiones de entrevistas para cada tipo de usuario que ha sido definido como objetivo de estudio.
3. **Observación:** Además de las entrevistas, también se pueden realizar observaciones donde se visita el lugar y usuarios a utilizar el producto. Se realiza una toma de notas y de imágenes.

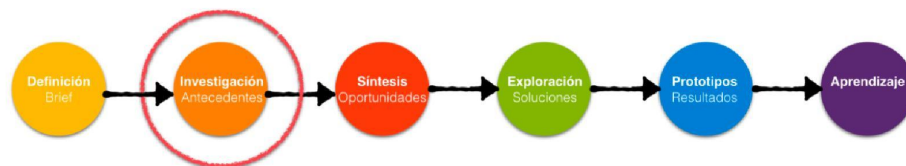


Figura 3: Investigación en un diseño generado por design thinking [18]

### 5.3.4. Proceso de síntesis

Aquí, se transforma la información recolectada en una perspectiva interesante. Esta tarea conlleva a encontrar significado y convertirlo en oportunidades viables para el diseño. Se trata de la narración de visitas y entrevistas, así como la clasificación y la condensación de pensamientos hasta que se logre encontrar un punto de vista convincente y una dirección clara [17]. El proceso conlleva cuatro pasos importantes (primeras cuatro etapas de la Figura 4 ), que se generan a partir de las codificaciones de la investigación de campo realizada en el proceso de investigación:

1. **Observaciones:** Se escriben en cada una de las codificaciones, las observaciones importantes que se realizaron. Estas son aprendizajes que contienen los recuerdos de lo que se destacó durante una conversación o una observación: citas directas, anécdotas, notas sobre los sonidos, olores, texturas, colores, etc. Se escriben en oraciones completas para capturar la historia [17].
2. **Temas:** Los temas se crean después de haber organizado las codificaciones en categorías. Son los titulares de grupos de aprendizajes similares [17].
3. **Insights:** A partir de cada tema, se encuentran revelaciones importantes que se pueden intuir del tema. Los insights son una expresión que describen lo que se ha aprendido de las actividades de investigación de campo. Estas siempre ofrecen una nueva perspectiva, incluso si no son nuevos descubrimientos [17].
4. **Oportunidades de diseño:** Basándose en los insights, se obtiene oportunidades de diseño en forma de pregunta. Estas, son el punto de partida para una sesión de lluvia de ideas en el siguiente proceso de exploración. Están escritas para una respuesta directa de una idea. Además se expresan de una forma optimista y emocionante para la generación de varias ideas [17].



Figura 4: Evolución de las notas durante el proceso de design thinking [18]

### 5.3.5. Proceso de exploración

En esta etapa se dan soluciones potenciales. Se realiza una lluvia de ideas para las oportunidades de diseño encontradas en la etapa anterior y se eligen las mejores a partir de la decisión del equipo de diseño. Aquí se obtienen ya las ideas principales que se van a tomar en cuenta para la creación de los prototipos.

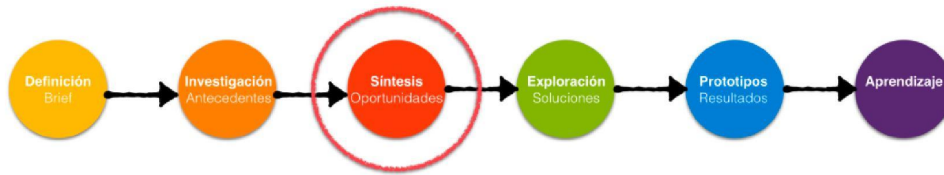


Figura 5: Síntesis en un diseño generado por design thinking [18]

La exploración significa entonces generar un montón de ideas (quinta etapa de la Figura 4). Su herramienta principal es la lluvia de ideas, que con una preparación cuidadosa y un conjunto claro de reglas, puede producir cientos de ideas frescas. Esto anima a pensar expansivamente y sin restricciones, dando lugar a ideas locas que despiertan pensamientos visionarios [17].

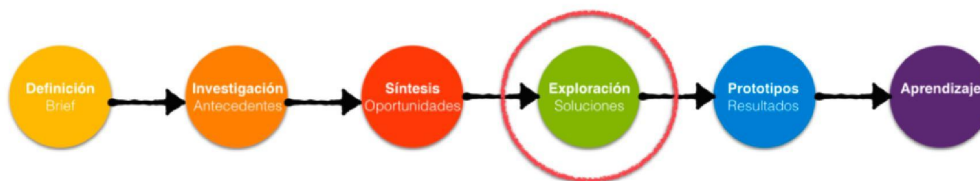


Figura 6: Exploración en un diseño generado por design thinking [18]

### 5.3.6. Proceso de diseño de prototipos

Por último, se da la resolución de las soluciones encontradas. La creación de prototipos es utilizada para la prueba de viabilidad técnica de la idea de diseño y para su comprobación de funcionamiento como un objeto físico. Además este también prueba los aspectos visuales del diseño y ofrecer la oportunidad de un diseño en tres dimensiones [18].

Por lo tanto, se puede decir que esta fase trae las ideas a la vida. La construcción de prototipos significa hacer las ideas tangibles. Además permite aprender mientras se construyen tales prototipos, para luego compartirlos con los usuarios objetivo. Incluso con prototipos tempranos y ásperos, es posible recibir una respuesta directa y aprender a mejorar y perfeccionar una idea [17]. Al realizar el prototipo, se le presenta a los usuarios y se toma realimentación de sus comentarios para la mejora, hasta llegar a un prototipo viable de una forma iterativa.

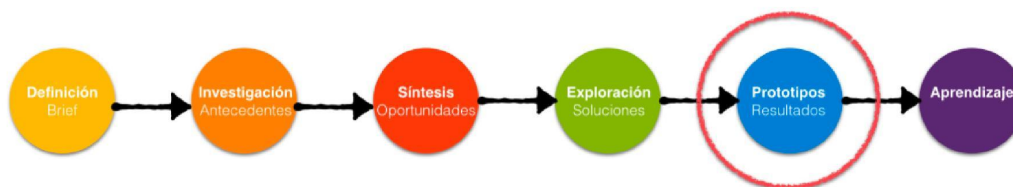


Figura 7: Generación de prototipos en un diseño generado por design thinking [18]

## 5.4. Blockchain

Blockchain es una bases de datos compartida para registrar una transacción (por ejemplo una transacción de compra-venta). Esta base de datos compartida registra la transacción apuntando en forma de código la fecha, participantes, cantidad, operaciones, al utilizar código, la criptografía y varias computadoras (de diferentes personas) tiene una mayor seguridad que otras formas de transacciones. Si alguien modifica una sola copia no es suficiente para alterar la transacción, ocuparía modificar todas las copias [19]. Su traducción quiere decir: cadena de bloques, y ésta se dedica a distribuir bases de datos. Dichas bases de datos funcionan como un “libro mayor”. El cual es un compendio de la información de un grupo de negocios o personas que funciona como un libro de registro compartido. Cada bloque se podría visualizar como una línea que se anexa a dicho libro por cada miembro del equipo[19]. El registro compartido, o blockchain, tiene la peculiaridad de que la información que contiene pueda ser distribuida fácilmente, pero al mismo tiempo es imposible de copiar. Su incorruptibilidad es su principal característica y la hace perfecta para combatir la inseguridad analógica[19].

### 5.4.1. ¿Qué es Blockchain?

En su nivel más básico, blockchain es literalmente solo una cadena de bloques, pero no en el sentido tradicional de esas palabras. Cuando decimos las palabras ‘bloque’ y ‘cadena’ en este contexto, en realidad estamos hablando de información digital (el ‘bloque’) almacenada en una base de datos pública (la ‘cadena’)[20]. Los ‘bloques’ en la cadena de bloques están formados por datos digitales. Específicamente, tienen tres partes las cuales se mostraran con el siguiente ejemplo ficticio de una compra en Amazon:

1. Los bloques almacenan información sobre transacciones como la fecha, la hora y el monto en dólares de su compra más reciente.
2. Los bloques almacenan información sobre quién participa en las transacciones. Un bloque para su compra registraría su nombre junto con Amazon.com, Inc. En lugar de usar su nombre real, su compra se registra sin ninguna información de identificación utilizando una ‘firma digital’ única, como un nombre de usuario.
3. Los bloques almacenan información que los distingue de otros bloques. Al igual que usted y yo tenemos nombres para distinguirnos unos de otros, cada bloque almacena un código único llamado ‘hash’ que nos permite distinguirlo de cualquier otro bloque. Supongamos que realizó su compra, pero mientras está en tránsito, decide que necesita una segunda. Aunque los detalles de su nueva transacción se verían casi idénticos a su compra anterior, todavía podemos distinguir los bloques debido a sus códigos únicos.

Si bien el bloque en el ejemplo anterior se está utilizando para almacenar una sola compra, la realidad es un poco diferente. Un solo bloque en la cadena de bloques puede almacenar hasta 1 MB de datos. Dependiendo del tamaño de las transacciones, eso significa que un solo bloque puede albergar unos pocos miles de transacciones bajo un mismo techo[20].

## 5.4.2. Características de Blockchain

### Funcionamiento

Cuando un bloque almacena nuevos datos, se agrega a la cadena de bloques. Blockchain, como su nombre lo indica, consiste en múltiples bloques unidos entre sí [20]. Sin embargo, para que se pueda agregar un bloque a la cadena de bloques, deben suceder cuatro cosas:

1. Una transacción debe ocurrir. Continuando con el ejemplo anterior de transacción. Después de hacer clic para realizar una compra.
2. Esa transacción debe ser verificada. Después de hacer esa compra, su transacción debe ser verificada. Con otros registros públicos de información, como la Comisión de Bolsa de Valores, Wikipedia o su biblioteca local, hay alguien a cargo de examinar las nuevas entradas de datos. Con blockchain, sin embargo, ese trabajo se deja a una red de computadoras. Estas redes a menudo consisten en miles (o en el caso de Bitcoin, alrededor de 5 millones) de computadoras repartidas por todo el mundo. Cuando realiza su compra, esa red de computadoras se apresura a verificar que su transacción se realizó de la manera que usted dijo. Es decir, confirman los detalles de la compra, incluido el tiempo de la transacción, el monto en dólares y los participantes.
3. Esa transacción debe almacenarse en un bloque. Después de que su transacción ha sido verificada como aprobada, obtiene luz verde. El monto en dólares de la transacción, su firma digital y la firma digital de Amazon se almacenan en un bloque. Allí, la transacción probablemente se unirá a cientos o miles de otros similares.
4. Ese bloque debe tener un hash. Una vez que se han verificado todas las transacciones de un bloque, se le debe dar un código de identificación único llamado hash. El bloque también recibe el hash del bloque más reciente agregado a la cadena de bloques. Una vez se ha realizado la operación de hash, el bloque se puede agregar a la cadena de bloques.

Cuando ese nuevo bloque se agrega a la cadena de bloques, está disponible públicamente para que cualquiera lo vea[20].

### Privacidad

Cualquiera puede ver el contenido de blockchain, pero los usuarios también pueden optar por conectar sus computadoras a la red blockchain. Al hacerlo, su computadora recibe una copia de la cadena de bloques que se actualiza automáticamente cada vez que se agrega un nuevo bloque, algo así como un Facebook News Feed que ofrece una actualización en vivo cada vez que se publica un nuevo estado[19].

Cada computadora en la red blockchain tiene su propia copia de la cadena de bloques, lo que significa que hay miles, o en el caso de Bitcoin, millones de copias de la misma cadena de bloques. Aunque cada copia de la cadena de bloques es idéntica, difundir esa información

en una red de computadoras hace que la información sea más difícil de manipular. Con blockchain, no hay una sola cuenta definitiva de eventos que puedan ser manipulados[21].

Sin embargo, al observar la cadena de bloques de Bitcoin, notará que no tiene acceso a la información de identificación sobre los usuarios que realizan transacciones. Aunque las transacciones en blockchain no son completamente anónimas, la información personal sobre los usuarios se limita a su firma digital o nombre de usuario[19].

## Seguridad

La tecnología Blockchain explica los problemas de seguridad y confianza de varias maneras. Primero, los nuevos bloques siempre se almacenan de forma lineal y cronológica. Es decir, siempre se agregan al ‘final’ de la cadena de bloques. Si se echa un vistazo a la cadena de bloques de Bitcoin, verá que cada bloque tiene una posición en la cadena, llamada ‘altura’ [20]. A partir de febrero de 2019, la altura del bloque había superado los 562,000.

Después de agregar un bloque al final de la cadena de bloques, es muy difícil regresar y alterar el contenido del bloque. Esto se debe a que cada bloque contiene su propio hash, junto con el hash del bloque anterior[22]. Los códigos hash se crean mediante una función matemática que convierte la información digital en una cadena de números y letras. Si esa información se edita de alguna manera, el código hash también cambia[21].

Esto es importante para la seguridad ya que supongamos que un hacker intenta editar su transacción para que realmente tenga que pagar su compra dos veces. Tan pronto como editen el monto en dólares de su transacción, el hash del bloque cambiará. El siguiente bloque de la cadena seguirá conteniendo el hash anterior, y la persona necesitaría actualizar ese bloque para cubrir sus pistas. Sin embargo, hacerlo cambiaría el hash de ese bloque. Y el siguiente, y así sucesivamente[22].

Para cambiar un solo bloque, entonces, una persona necesitaría cambiar cada bloque en la cadena de bloques. Volver a calcular todos esos hashes requeriría una enorme e improbable cantidad de potencia informática. En otras palabras, una vez que se agrega un bloque a la cadena de bloques, se vuelve muy difícil de editar e imposible de eliminar[22].

Para abordar el problema de la confianza, las redes blockchain han implementado pruebas para computadoras que desean unirse y agregar bloques a la cadena. Las pruebas, llamadas ‘modelos de consenso’, requieren que los usuarios se ‘prueben’ a sí mismos antes de poder participar en una red blockchain. Uno de los ejemplos más comunes empleados por Bitcoin se llama ‘prueba de trabajo’ [22].

En la prueba del sistema de trabajo, las computadoras deben ‘probar’ que han hecho ‘trabajo’ resolviendo un problema matemático computacional complejo. Si una computadora resuelve uno de estos problemas, se vuelve elegible para agregar un bloque a la cadena de bloques. Pero el proceso de agregar bloques a la cadena de bloques, lo que el mundo de las criptomonedas llama ‘minería’, no es fácil. De hecho, según el sitio de noticias blockchain BlockExplorer, las probabilidades de resolver uno de estos problemas en la red de Bitcoin eran de aproximadamente 1 en 5.8 billones en febrero de 2019. Para resolver problemas matemáticos complejos con esas probabilidades, las computadoras deben ejecutar programas

que les cuestan mucho. cantidades de poder y energía[22].

La prueba de trabajo no hace que los ataques informáticos sean imposibles, pero sí los hace algo inútiles. Si alguien quisiera coordinar un ataque en la cadena de bloques, necesitaría resolver problemas matemáticos computacionales complejos con 1 en 5.8 billones de probabilidades como todos los demás. El costo de organizar un ataque de este tipo seguramente superaría los beneficios[22].

## Hash Criptográfico

Las funciones de hash son una parte esencial de la ciberseguridad y de varios protocolos importantes de criptomonedas como Bitcoin

### ¿Qué es hashing?

El hash es un método de criptografía que convierte cualquier forma de datos en una cadena de texto única. Cualquier dato puede ser hash, sin importar su tamaño o tipo. En el hashing tradicional, independientemente del tamaño, tipo o longitud de los datos, el hash que produce cualquier dato es siempre de la misma longitud[23]. Un hash está diseñado para actuar como una función unidireccional: puede poner datos en un algoritmo de hash y obtener una cadena única, pero si encuentra un nuevo hash, no puede descifrar los datos de entrada que representa. Un dato único siempre producirá el mismo hash[23].

### Funcionamiento

El hash es una operación matemática que es fácil de realizar, pero extremadamente difícil de revertir. (La diferencia entre el hashing y el cifrado es que este último se puede revertir o descifrar con una clave específica). Las funciones de hashing más utilizadas son MD5, SHA1 y SHA-256. Algunos procesos de hashing son significativamente más difíciles de descifrar que otros[23].

### Qué es blockchain en comparación de bitcoin

En el año 2009 Satoshi Nakamoto lanzó al mundo Bitcoin y la tecnología que lo soporta. Nadie quién es Satoshi Nakamoto, pues nunca se ha dado a conocer su identidad, pero su sistema ha tenido éxito al punto que su desarrollo y crecimiento empiezan a ser imparables[19]. La criptomoneda tiene como tecnología base Blockchain que fue originalmente fue creado para almacenar únicamente datos financieros digitales, pero la comunidad informática está encontrando nuevos y diversos usos para este tipo de herramienta[19].

El objetivo de blockchain es permitir que la información digital se registre y distribuya, pero no se edite. [19].

La tecnología Blockchain se describió por primera vez en 1991 por Stuart Haber y W. Scott Stornetta, dos investigadores que querían implementar un sistema donde las marcas de

tiempo de los documentos no pudieran ser manipuladas. Pero no fue hasta casi dos décadas después, con el lanzamiento de Bitcoin en enero de 2009, que blockchain tuvo su primera aplicación en el mundo real[19].

El protocolo Bitcoin se basa en la cadena de bloques. En un trabajo de investigación que presenta la moneda digital, el creador seudónimo de Bitcoin, Satoshi Nakamoto, se refirió a él como ‘un nuevo sistema de efectivo electrónico que es completamente de igual a igual, sin un tercero confiable’[19].

### 5.4.3. Aplicaciones

#### Aplicación de Blockchain en salud

Los proveedores de atención médica pueden aprovechar blockchain para almacenar de forma segura los registros médicos de sus pacientes. Cuando se genera y firma un registro médico, se puede escribir en la cadena de bloques, lo que proporciona a los pacientes la prueba y la confianza de que el registro no se puede cambiar. Estos registros de salud personales pueden codificarse y almacenarse en la cadena de bloques con una clave privada, de modo que solo sean accesibles para ciertas personas, lo que garantiza la privacidad[24].

#### Import/Export

Blockchain también puede tener implicaciones interesantes para el comercio. Cada vez más, los consumidores se preocupan por el origen de los productos que compran (ya sea alimentos, prendas de vestir o consumibles), ya sea por razones éticas o de calidad. La expectativa es que, en cadenas de suministro cada vez más complejas, blockchain puede proporcionar pruebas de integridad del producto. Las PYME o los pequeños productores pueden aprovechar esta prueba para encontrar compradores para sus productos u obtener una ventaja comercial. También se cree que la capacidad de blockchain para proporcionar ‘contratos auto ejecutables’ (una transacción que se activa automáticamente cuando se cumplen todas las condiciones) es una ventaja para estos pequeños empresarios, ya que eliminaría el riesgo de impago y reduciría costos legales y procesales del cumplimiento de un contrato. [25]

El tiempo y el costo del despacho de mercancías para importación o exportación agregan una carga financiera significativa al comercio debido a las abundantes capas de autorizaciones para importar o exportar mercancías, como permisos, licencias, certificados sanitarios y otros, que se requieren por motivos de salud o seguridad humana, animal o vegetal. El árbitro final en una transacción fronteriza es la Aduana, cuya función es garantizar que se hayan obtenido todos esos permisos y que sean válidos y que las mercancías hayan sido declaradas legalmente y se hayan cumplido todos los requisitos reglamentarios. [25]

Lo ideal para Aduanas y otras agencias fronterizas sería un conjunto de documentos confiables (facturas, conocimientos de embarque, listas de empaque, etc.) que describan con precisión la naturaleza de los productos, su conformidad con los estándares requeridos, las inspecciones y autorizaciones que han sufrido cualquier transformación a través del proce-

samiento y cualquier cambio de manos a lo largo de toda la cadena de suministro con el propósito de transportar o reempaquetar. [25]

La realidad en este momento es que no toda la información anterior está disponible para las autoridades y la información que existe a menudo requiere verificación. Por lo tanto, los productos a menudo están sujetos a un alto nivel de escrutinio que incluye, potencialmente, inspecciones físicas o pruebas de laboratorio. Esto resulta en altos costos para los comerciantes, demoras en la limpieza de los bienes y un alto grado de recursos para las autoridades gubernamentales. [25]

¿Qué pasa si todos los pasos en la cadena de suministro, desde el origen hasta el destino, se capturaron blockchain? Esto podría proporcionar un grado de seguridad de que la información es correcta, ya que se origina en la fuente y no fue ‘manipulada’ en el camino. Si esta cadena de bloques fuera visible por la Aduana y las otras agencias, los bienes podrían despacharse sin más intervención. [25].

## Seguros

A pesar del aumento de los corredores en línea, muchos consumidores todavía llaman a los corredores de seguros por teléfono para comprar nuevas pólizas. Las políticas a menudo se procesan en contratos en papel, lo que significa que los reclamos y los pagos son propensos a errores y a menudo requieren supervisión humana. Para agravar esto, está la complejidad inherente del seguro, que involucra a consumidores, corredores, aseguradores y reaseguradores, así como el principal riesgo del producto del seguro. [26]

Cada paso en este proceso de colaboración representa un punto potencial de falla en el sistema general, donde la información se puede perder, las políticas se malinterpretan y los tiempos de liquidación se alargan. [26]

Aquí es todo ingresa la tecnología blockchain, una forma criptográficamente segura de mantenimiento de registros compartidos. La cual puede proveer las siguientes funcionalidades:

1. **Detección de fraude y prevención de riesgos:** al trasladar los reclamos de seguros a un libro de contabilidad inmutable, la tecnología blockchain puede ayudar a eliminar las fuentes comunes de fraude en la industria de seguros. [26]
2. **Seguro de propiedad y accidentes (P&C):** un libro mayor compartido y las pólizas de seguro ejecutadas a través de contratos inteligentes pueden brindar una mejora de orden de magnitud en la eficiencia del seguro de propiedad y accidentes. [26]
3. **Seguro de salud:** con la tecnología blockchain, los registros médicos se pueden proteger criptográficamente y compartir entre los proveedores de salud, lo que aumenta la interoperabilidad en el ecosistema del seguro de salud. [26]
4. **Reaseguro:** al asegurar contratos de reaseguro en blockchain a través de contratos inteligentes, la tecnología blockchain puede simplificar el flujo de información y pagos entre aseguradores y reaseguradores. [26]

## Retail

1. **Métodos de pago:** aceptar criptomonedas para pequeñas empresas no es un inconveniente. Son bastante fáciles de aceptar y, aparte de las fluctuaciones de precios frente a las monedas nacionales, como el dólar estadounidense, pueden ser un excelente método de pago de novedad. La novedad es una buena manera de comercializar, especialmente si es fácil de implementar. [27]
2. **Funcionalidades no transaccionales:** La tecnología Blockchain en sí misma se trata de grabar eventos. Hay aplicaciones para muchos otros casos de uso en el comercio minorista. rastrear envíos, centralizar bases de datos, detener fraudes y falsificaciones, y aumentar la transparencia. [27]  

Para reducir los costos, los minoristas con largas cadenas de suministro deben mantener plazos ajustados y cantidades de compra. Uno de los problemas que enfrentan los gerentes de la cadena de suministro es la desconexión entre varias partes de la cadena de suministro. Con blockchain, puede haber una única red a través de la cual se comunican todos los participantes de la cadena de suministro. Además, esta red será controlada por una sola entidad, creando una herramienta de comunicación de cadena de suministro verdaderamente global. [27]
3. **Bases de datos:** La ventaja sobre las bases de datos internas tradicionales es que la cadena de bloques se distribuye, por lo que es más difícil de manipular. La base de datos tradicional también es más susceptible a manipulaciones. [27]
4. **Reducción del fraude y la falsificación:** En la misma línea que la base de datos centralizada, las bases de datos entre empresas pueden rastrear productos y garantizar que las falsificaciones no ingresen al sistema. Si alguien intenta introducir una falsificación, no coincidirá con registros anteriores.[27]
5. **Transparencia:** Este caso de uso tiene variaciones en su aplicación, pero la idea principal es aumentar la transparencia interna y externa. Las partes interesadas pueden estar seguras de que las publicaciones son fieles a la situación financiera al exigir declaraciones derivadas de registros financieros basados en blockchain. Los clientes pueden asegurarse de que los reclamos publicitarios, especialmente con respecto a la ética, sean ciertos al exigir pruebas inteligentes basadas en contratos. Y los empleados y la gerencia pueden garantizar que los eventos profesionales y corporativos se graben con precisión y sin cambios después de la grabación.[27]
6. **Garantías:** Se puede realizar un seguimiento de las garantías de los clientes a través de blockchain, lo que permite a los clientes un fácil acceso a los servicios a los que tienen derecho. Además, estas garantías pueden almacenar lo que se ha hecho con ese producto en particular, en una amplia gama de actores [27]

### 5.4.4. MetaMask

Es una extensión del navegador que le permite ejecutar aplicaciones descentralizadas sin ser parte de la red Ethereum como un nodo Ethereum. Esto lo logra inyectando una biblioteca de JavaScript llamada web3.js en el espacio de nombres de cada página que carga

su navegador. Esta librería está escrito por el equipo central de Ethereum y tiene funciones que las páginas web normales pueden usar para hacer solicitudes de lectura y escritura en la cadena de bloques que sean consistentes con el protocolo existente. [28]

Además, MetaMask permite a los usuarios especificar a qué nodo Ethereum enviar estas solicitudes. La capacidad de enviar solicitudes a nodos fuera de las computadoras del usuario es importante porque significa que las personas pueden usar Ethereum sin tener que descargar un nodo que consiste en la cadena de bloques de más de 10 GB en sus computadoras. [28]

#### 5.4.5. IPFS

IPFS significa Interplanetary File System y es un protocolo hipermedia distribuido de código abierto entre pares que tiene como objetivo funcionar como un sistema de archivos ubicuo para todos los dispositivos informáticos. Es un proyecto complejo y muy ambicioso con algunas implicaciones serias y profundas en el futuro desarrollo y estructura de Internet tal como la conocemos [29].

La iteración actual de Internet no está tan descentralizada como se pensaba idealmente e inicialmente. También se basa en algunos protocolos obsoletos que han llevado a una gran cantidad de problemas. Los problemas abordados por IPFS giran en torno a los asociados con el protocolo HTTP actual de Internet[29].

HTTP, básicamente sustenta la comunicación de datos en todo Internet. Fue inventado en 1991, adoptado por los navegadores web en 1996, y establece fundamentalmente cómo se transmiten los mensajes a través de Internet, así como cómo los navegadores deben responder a los comandos y los servidores responden a las solicitudes. Básicamente, es el protocolo subyacente de cómo navegamos por la web y la columna vertebral del protocolo del paradigma cliente-servidor [29].

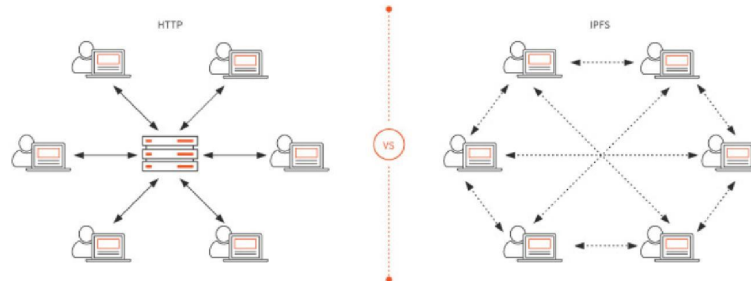


Figura 8: HTTP vs IPFS [29]

Si bien HTTP nos ha proporcionado Internet tal como la conocemos hoy en día, se ha vuelto obsoleta y, después de más de 20 años, los problemas prevalecientes se vuelven cada vez más evidentes. Los problemas clave derivados de la implementación de HTTP hoy en día son el resultado del aumento masivo en el tráfico de Internet y los puntos de estrés resultantes que se han ampliado. Con la implementación actual de HTTP, han surgido problemas como los siguientes:

1. Entrega de contenido ineficiente derivada de la descarga de archivos de un solo servidor a la vez [29].
2. Costos costosos de ancho de banda y duplicación de archivos que conducen a un almacenamiento inflado[29].
3. Aumento de la centralización de servidores y proveedores que conduce a una mayor censura de Internet[29].
4. Historial frágil de información almacenada en Internet y vida útil corta de páginas web[29].
5. Conexiones intermitentes que conducen a un mundo en desarrollo fuera de línea y velocidades de conexión lentas[29].

No es de extrañar que una tecnología de más de 20 años esté desactualizada en una era de innovación tecnológica. IPFS proporciona el almacenamiento distribuido y el sistema de archivos que Internet necesita para alcanzar su verdadero potencial[29].

En lugar de descargar archivos de servidores individuales, en IPFS, se le pide a sus pares en la red que le den una ruta a un archivo en lugar de que provenga de un servidor central. Esto permite la distribución de datos de alto volumen con alta eficiencia, versiones históricas, redes resistentes y disponibilidad persistente de contenido asegurado y verificado a través de hashing criptográfico y distribuido a través de una red de pares [29].

## Funcionamiento

Básicamente, IPFS es un concepto similar a la World Wide Web tal como lo conocemos hoy en día, pero se parece más a un enjambre de BitTorrent que intercambia objetos dentro de un único repositorio de Git. Los archivos se distribuyen a través de un protocolo basado en BitTorrent. Es importante destacar que IPFS actúa como una especie de combinación de Kademila, BitTorrent y Git para crear un subsistema distribuido de Internet [30].

El diseño del protocolo proporciona versiones históricas de Internet como con Git. Cada archivo y todos los bloques que contiene tienen un identificador único, que es un hash criptográfico. Los duplicados se eliminan en la red y se rastrea el historial de versiones para cada archivo. Esto lleva a un contenido persistentemente disponible donde las páginas web no desaparecen debido a un servidor fallido o un servidor web en quiebra. Además, la autenticidad del contenido está garantizada a través de este mecanismo y al buscar archivos, esencialmente le está pidiendo a la red que encuentre nodos que almacenen el contenido detrás del hash de identificación único asociado con ese contenido[30].

Los enlaces entre los nodos en IPFS toman la forma de hashes criptográficos, y esto es posible debido a su arquitectura de datos Merkle DAG (Gráficos Acíclicos Dirigidos). Los beneficios de Merkle DAGs para IPFS incluyen los siguientes:

1. **Direccionamiento de contenido:** el contenido tiene un identificador único que es el hash criptográfico del archivo[30].

2. **Sin duplicación:** los archivos con el mismo contenido no pueden duplicarse y solo almacenarse una vez[30].
3. **Prueba de manipulación:** los datos se verifican con su suma de verificación, por lo que si el hash cambia, IPFS sabrá que los datos están alterados[30].

IPFS vincula estructuras de archivos entre sí mediante enlaces Merkle y cada archivo se puede encontrar mediante nombres legibles por humanos mediante un sistema de nombres descentralizado llamado IPNS. La implementación de los Gráficos Acíclicos Dirigidos de Merkle (DAGS) son importantes para la funcionalidad subyacente del protocolo[30].

Cada nodo solo almacena el contenido que le interesa e indexa la información que le permite averiguar quién está almacenando qué. El marco para IPFS elimina fundamentalmente la necesidad de servidores centralizados para entregar contenido del sitio web a los usuarios. Finalmente, este concepto puede empujar completamente el protocolo HTTP a la irrelevancia y permitir a los usuarios acceder al contenido localmente, sin conexión. En lugar de buscar servidores como con la infraestructura actual de Internet, los usuarios buscarán identificaciones únicas (hashes criptográficos), lo que permitirá que millones de computadoras le entreguen el archivo en lugar de un solo servidor[30].

La implementación principal actual de IPFS está en Go con implementaciones en Python y Javascript en camino. Es compatible con Linux, MacOSX, Windows y FreeBSD. Al ser un proyecto de código abierto y dirigido por la comunidad, se puede contribuir en su página de Github o operando un nodo IPFS[30].

#### 5.4.6. Ventajas y desventajas de la tecnología

A pesar de toda su complejidad, el potencial de blockchain como una forma descentralizada de mantenimiento de registros es casi ilimitado. Desde una mayor privacidad del usuario y una mayor seguridad hasta tarifas de procesamiento más bajas y menos errores, la tecnología blockchain puede ver aplicaciones más allá de las descritas anteriormente[19][22].

Ventajas	Desventajas
Precisión mejorada al eliminar la participación humana en la verificación	Costo tecnológico significativo asociado con la minería
Reducciones de costos al eliminar la verificación de terceros	Bajas transacciones por segundo
La descentralización hace que sea más difícil manipular	Alta curva de aprendizaje
La descentralización hace que sea más difícil manipular	Baja adopción
Las transacciones son seguras, privadas y eficientes	No estandarización de protocolos

## 5.5. Ejemplos de Blockchain

### 5.5.1. Ethereum

Ethereum es una plataforma abierta que permite a los desarrolladores crear e implementar aplicaciones descentralizadas, como contratos inteligentes y otras aplicaciones legales y financieras complejas. Puede pensar en Ethereum como un Bitcoin programable donde los desarrolladores pueden usar la cadena de bloques subyacente para crear mercados, libros compartidos, organizaciones digitales y otras posibilidades infinitas que necesitan datos y acuerdos inmutables, todo sin la necesidad de un intermediario[31]. Lanzado en 2015, Ethereum es una creación de Vitalik Buterin, quien vio los posibles usos de la tecnología blockchain subyacente de Bitcoin como los próximos pasos para impulsar la expansión de la comunidad blockchain[31]. Ethereum es actualmente la criptomoneda con la segunda capitalización de mercado más alta y se espera que algunos supere a Bitcoin como una inversión valiosa y como la criptomoneda más popular del mundo[31].

#### La cadena de Ethereum y la maquina virtual

Lo interesante de las blockchains que vinieron antes de Ethereum es que sus sistemas operativos solo fueron diseñados para intercambiar artículos codificados específicos sobre transacciones, principalmente siendo la criptomoneda compatible de la red[31]. Vitalik Buterin vio esto como una característica que tenía mucho espacio para la expansión, y en respuesta propuso una solución que permitiría a los desarrolladores personalizar la forma de los datos que podrían enviar y almacenar a través de una red blockchain. Esto fue posible con la introducción de Ethereum Virtual Machine y su correspondiente lenguaje de programación Solidity que permite a los desarrolladores desarrollar transacciones personalizables conocidas como contratos inteligentes[31].

#### Smart Contracts

Cuando Vitalik Buterin amplió la tecnología de transacciones seguras de Bitcoin, descubrió en un nivel abstracto que una transacción en sí misma está asegurada con un contrato. En pocas palabras, un contrato es un acuerdo entre dos partes que garantiza la promesa de un intercambio de una o dos vías[31]. Por lo tanto, Buterin diseñó la máquina virtual Ethereum con esto en mente; que cualquier transacción a través de la red blockchain debe ejecutarse automáticamente una vez que ambas partes lo acuerden y debe registrarse en un libro público de blockchain. Esta autoejecución es lo que hace que estos contratos sean ‘inteligentes’ y, por lo tanto, abren un universo completamente nuevo para la responsabilidad empresarial y, a su vez, una nueva economía[31].

#### Ether y la economía del gas

Al igual que la cadena de bloques de Bitcoin y todas las cadenas de bloques que vienen antes, Ethereum requiere que los mineros mantengan y aseguren la red, incentivados por

la recompensa de una ficha de Ethereum, conocida como Ether[31]. Si bien Ether se puede usar como Bitcoin para enviar tokens de una dirección a otra, también se pueden usar para pagar el gas Ethereum[31].

Gas ejecuta la red Ethereum. Cada transacción realizada en la máquina virtual Ethereum y cada contrato inteligente ejecutado cuesta gas. La cantidad de gas requerida para llevar a cabo la transacción está determinada por el tamaño del contrato o transacción. Este sistema de gas evita que la red desperdicie recursos en transacciones prolongadas[31]. Si un desarrollador crea una aplicación de contrato inteligente que no suministra suficiente gas para completar las transacciones, los mineros en la red abandonarán la validación en esa tarea. Esto plantea un problema para los desarrolladores que ingenuamente desarrollan aplicaciones en la máquina virtual Ethereum: si la aplicación no asigna suficiente gas a contratos específicos, esos contratos no se llevarán a cabo a través de la red[31]. Esto afectará negativamente la confiabilidad de la aplicación y la experiencia general de la base de usuarios de la aplicación. En última instancia, este sistema mantiene la potencia computacional aportada a la red por los mineros que trabajan con plena eficiencia económica[31].

También puede pensar en el gas Ethereum como el salario de las contribuciones mineras. Ethereum Virtual Machine programa a los mineros en tareas específicas para mantener la máquina funcionando de la manera más eficiente. A pesar de la cantidad de transacciones que suceden a través de la red, este esquema de eficiencia mantiene la validación de la transacción oportuna y, por lo tanto, la velocidad de las confirmaciones de blockchain es mucho más corta que las blockchain que optaron por no utilizar un sistema de gas[31].

### 5.5.2. NEO

NEO es un proyecto de código abierto impulsado por la comunidad. Utiliza la tecnología blockchain e identidades digitales para digitalizar activos y automatizar la gestión de activos digitales mediante contratos inteligentes. Usando una red distribuida, su objetivo es crear una ‘economía inteligente’[32]. NEO fue fundada en 2014 y de código abierto en GitHub en junio de 2015. Su MainNet se lanzó en octubre de 2016 y ha estado funcionando en capacidad estable durante dos años. Su visión de una ‘economía inteligente’ se estableció junto con el cambio de marca del proyecto en 2017[32]. La plataforma usa dos tokens diferentes (similares a Ethereum): el primero también se llama NEO, el segundo es GAS. Ambos tokens tienen usos específicos en la plataforma NEO. El objetivo principal de NEO es convertirse en una plataforma digital, descentralizada y distribuida para activos no digitales mediante el uso de contratos inteligentes. Esto significa que su objetivo es convertirse en una alternativa digital para las transferencias de activos que actualmente no son digitales. Un ejemplo sería pagar el alquiler mediante un contrato inteligente que se activa automáticamente una vez al mes en lugar de establecer un pago bancario[32].

### NEO VS GAS

Los dos tokens nativos de la plataforma NEO tienen diferentes propósitos:

- Los tokens NEO representan la propiedad de la cadena de bloques NEO. Se usan para

crear bloques y administrar la red, y cuando mantienes NEO en tu billetera, serás recompensado con tokens GAS[32].

- Los tokens GAS te dan el derecho de usar la cadena de bloques NEO. Al igual que Ether a la red Ethereum, GAS es el combustible que impulsa las transacciones en el sistema NEO[32].

## Qué lo diferencia

### Unidades indivisibles

La unidad más pequeña de NEO siempre será una acción, y esto no se puede dividir de la misma manera que otras monedas como bitcoin. La razón principal de esto es que, al igual que las acciones de una empresa o servicio, NEO no se puede dividir en fracciones[32]. Esto podría convertirse en un problema en el futuro si el valor de NEO aumenta, pero los intercambios ya tienen sus propios métodos para dividir la moneda[32].

### Generando GAS

La mayor característica diferenciadora es el sistema de dos niveles de NEO y GAS. Aunque GAS se puede comprar y vender en un puñado de intercambios, los usuarios suelen comprar tokens NEO, que representan su participación en el futuro de la plataforma[32]. El beneficio del sistema de dos niveles entra en juego en el momento en que transfiere NEO a su billetera compatible con NEO.

Mientras mantiene presionado NEO, comienza a generar GAS automáticamente a medida que la construcción de la cadena de bloques genera más bloques. Con cada nuevo bloque generado, se distribuyen 8 GAS para los 100 millones de NEO existentes[32].

Esto es similar a Ethereum pero muy diferente de la minería en bitcoin en que el valor de GAS está desacoplado del valor de NEO. Esto está en contraste con bitcoin, donde el valor de un bitcoin extraído es el mismo que el valor de un bitcoin comprado. GAS se utiliza para pagar las tarifas de transacción en la red NEO[32].

### 5.5.3. EOS

El objetivo de EOS es construir una cadena de bloques descentralizada que pueda procesar transacciones rápidas y gratuitas. También permitirá la creación de contratos inteligentes, lo que permitirá a los desarrolladores lanzar dApps [33]. No solo esto, sino que EOS quiere construir una plataforma que funcione como un sistema operativo, lo que hará que sea realmente fácil de usar. Un ejemplo de aplicación descentralizada (DApp) que podría usarse en EOS blockchain es una versión descentralizada de Facebook, donde nadie controla la red, y nadie puede acceder a su información personal[33].

Otro objetivo de EOS es poder procesar millones de transacciones por segundo. Esto resolvería un gran problema, ya que otras cadenas de bloques pueden reconocer contratos inteligentes, pero ninguno de ellos puede funcionar tan rápido. Por ejemplo, a pesar de que

Ethereum es la cadena de bloques de contrato inteligente más popular, solo puede manejar 15 transacciones por segundo[33].

Esto último es tan importante por ejemplos como los siguientes:

- Se producen más de 52,000 Me gusta en Facebook por segundo y cada uno de esos Me gusta es una transacción separada que nunca se ve[33].
- La industria financiera que necesita procesar más de 100,000 transacciones por segundo[33].

Otra solución que EOS está buscando resolver es el tema de la usabilidad. Por ejemplo, tanto Steem como BitShares pueden procesar alrededor de 100,000 transacciones por segundo y usar tecnología de contrato inteligente. Sin embargo, es realmente difícil para los desarrolladores insertar funciones básicas como la recuperación de cuentas y la programación de tareas[33].

Al utilizar un protocolo de sistema operativo, EOS tendrá todas estas funciones básicas integradas, lo que permitirá a los desarrolladores hacer lo que mejor saben hacer[33].

El Hospital General San Juan de Dios es responsable de brindar atención médica de calidad, la cual contribuye con la salud de la población. El hospital es de tercer nivel según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala, entidad pública que brinda atención médica integral. Se encuentra ubicado en la primera avenida 10-50 de la zona 1. Algunas de las especialidades y servicios que brinda el hospital son: cardiología, cirugía, dermatología, endocrinología, fisioterapia y rehabilitación, gastroenterología, ginecología y obstetricia, hematología, infectología, maxilofacial, medicina interna, nefrología, neumología, neurocirugía y neurología (Hospital San Juan de Dios , 2019 [34]).

Por último, el Hospital General Roosevelt es un centro el cual brinda atención a guatemaltecos y ciudadanos de otros países. Ofrece servicios médicos de forma gratuita en medicina interna, cirugía, ortopedia, traumatología, maternidad, ginecología, pediatría y oftalmología. Se encuentra ubicado en la Calzada Roosevelt y quinta calle de la zona 11 en la ciudad de Guatemala. En el hospital trabajan más de 3 mil 100 colaboradores entre los cuales se encuentran médicos, enfermeros, auxiliares, técnicos, nutricionistas, trabajadores sociales, atención al usuario, personal de seguridad, intendencia y administrativo (Hospital Roosevelt , 2019 [35]).

El trabajo está planteado para realizarse completamente en los hospitales anteriormente mencionados. Realizando entrevistas en diferentes áreas(consulta externa, enfermería y administración) tanto en el Hospital Roosevelt, como en el San Juan de Dios. La metodología a seguir será Design Thinking, la cual se puede observar en la siguiente figura.



Figura 9: Proceso de Design Thinking [17]

## 6.1. Definición

En el mes de febrero de 2019, se trabajó en la determinación de la problemática, que era la base fundamental del proyecto. Esta se define como un pequeño párrafo, que delimita el tema en torno al cual investigar, que en este caso era el Hospital Roosevelt. Se busca brindar un giro en torno a la tecnología y las mejoras que esta le podría brindar al hospital. Y que se pudieran luego expandir a todo el sistema de salud guatemalteco.

Para este proceso se realizó un primer párrafo que expresaba en palabras propias el tema. Luego este mismo se fue reescribiendo tomando en cuenta las observaciones realizadas y la retroalimentación de personal del hospital. Esto dio como resultado una problemática final, con la mejor descripción posible del proyecto como se observa en siguiente figura.



Figura 10: Proceso de definición en Design Thinking

## 6.2. Investigación

A partir del mes de marzo de 2019, se comenzó con la fase de investigación (Figura 11), en la cual se recolectó toda la información necesaria para la etapa de síntesis. Con el objetivo de lograr abarcar la mayoría de la información existente, se realizaron varios procesos, que pueden ser divididos en tres grandes grupos: benchmarking, realización de entrevistas semi-estructuradas y observaciones.



Figura 11: Proceso de investigación en Design Thinking

El primer proceso fue el de benchmarking, que se realizó a partir del 17 de marzo al 3 de abril. Se investigaron soluciones ya existentes relacionadas al requisito de diseño definido por el planteamiento de la problemática.

Esto implicaba la búsqueda, tanto de soluciones que fueran similares, como aquellas de las cuales se pudiera aprender.

Seguido de esto, se realizó una construcción de entrevistas semi-estructuras. El primer punto fue la definición de los perfiles de los usuarios de interés, con el fin de identificar las necesidades (2 de marzo). Los perfiles de estudio definidos fueron los siguientes:

1. Médico
2. Enfermero/a
3. Paciente
4. Administrativo (Archivo e Informática)
5. Aseguradora

A partir de la definición de estos, se procedió a realizar guiones de entrevistas para cada uno (3 al 24 marzo), los cuales fueron de tipo semi-estructurado(anexos). Estas comenzaban con una parte introductoria en la que se presentaba y explicaba el fin de entrevista, luego se continuaba con preguntas generales respecto al entrevistado para poder conocer mejor a su persona y funciones. Por último dependiendo el perfil se le preguntaban preguntas específicas en las cuales se se tenía total libertad de expresión y no se daba opinión de parte del entrevistador.

Así los días 13,14 y 15 de marzo se realizaron visitas al Hospital Roosevelt, donde se llevaron a cabo las entrevistas a cada uno de los perfiles establecidos. Es importante mencionar que a cada entrevistado se le preguntó al inicio, si era posible la grabación de voz o tomar apuntes en caso su respuesta fuera negativa. Además, todas las entrevistas fueron realizadas únicamente dentro de las instalaciones correspondientes a cada persona. El proceso de observación inicial se realizó al mismo tiempo que las entrevistas, esto ya que al momento de efectuarlas se observaba el lugar u objetos que el perfil quería mostrar. Para esto se tomaba nota de las observaciones e imágenes para un análisis posterior. También en cada una de las visitas se realizó un conteo visual del uso de teléfonos inteligentes en pacientes solo en las áreas de atención a estos.

De igual manera a partir de marzo del año 2019 se inicio la investigación de tecnologías blockchain e soluciones existentes relacionadas a las condiciones de infraestructura, presupuesto y administrativas.

### 6.3. Síntesis

Con lo recopilado en la fase anterior, se procedió al periodo de síntesis , que tuvo lugar en el mes de abril del 2015. Se comenzó con la realización de la codificación de todas las entrevistas (17 de marzo al 24 de marzo). Este proceso significaba volver a escuchar la entrevista realizada al igual que revisar los apuntes y tomar las frases o ideas más importantes mencionadas por el entrevistado. Cada una de estas ideas se escribían en una hoja, junto con la foto del entrevistado o del perfil para determinar que tipo de rol había dado la idea. A esto se le añadía una observación que sintetizaba la opinión que se estaba describiendo en la codificación. Esta estructura utilizada se pueden encontrar en la sección de anexos.

Con todas las entrevistas codificadas, se procedió a la separación en temas (3 de abril). Esto consiste en la lectura de todas las codificaciones y la realización de subconjuntos con aquellas que mencionan ideas o pensamientos en común. Este proceso fue iterativo ya que la generación de un tema podría significar la separación de otros. De esta forma se procedió a colocar las codificaciones, en un lugar visible, donde se identificaba con un papel el nombre del tema.



Figura 12: Proceso de síntesis en Design Thinking

Como siguiente punto se procedió a la generación de los insights (10 al 13 de abril), que eran conocimientos sorprendivos o poco intuitivos que se podían inferir a partir de observa-

ciones realizadas. Así, por cada tema que se tenía, se generó por lo menos un insight. Por último, a partir de cada insights, se determinó un área de oportunidad de diseño (17 al 20 de abril) donde se expresaba en forma de pregunta y era el resultado final del proceso de la síntesis.

## 6.4. Exploración

A partir de la primera semana de mayo hasta el 22 de junio, se comenzó con la generación de lluvia de ideas (Figura 13). Para cada sesión se eligió una o dos oportunidades identificadas en la fase de síntesis, y se generaron todas las ideas de diseño posibles. Si se tenía una idea, lo primero que se hacía era dibujarla y colocarle una pequeña descripción, para luego evaluar la factibilidad de la misma. Cada sesión tuvo una duración de aproximadamente una hora. De esta forma, cada oportunidad generó un conjunto de ideas.



Figura 13: Proceso de exploración en Design Thinking

## 6.5. Diseño de prototipos

El proceso de creación y desarrollo de prototipos (Figura 14) inició el 22 de junio y culminó a finales de octubre del 2019. Primero, se realizó un proceso de eliminación de ideas para llegar a las mejores (22 junio al 2 julio). Comenzando con 35 con el fin de tener un set de 5 finalistas. El proceso de eliminación, se llevó a cabo de la siguiente manera, en sesiones de una hora:

1. Se tenía 30 papeles en la primera ronda, que representaban 30 votos y estos se reducían por 5 luego de cada ronda para llegar a tener los finalistas en la última ronda.
2. Todas las ideas estaban desplegadas y se revisaba cada una.
3. Cuando una idea resaltaba se le colocaba un voto a la misma.
4. Se tomaban las ideas con votos y se repetía el proceso desde el paso 1

Desde el 6 de julio hasta finales de septiembre del 2019, a partir de las ideas ganadoras, se diseñaron posibles propuestas para generar un sistema en conjunto que permitiera cumplir los objetivos planteados para resolver la problemática inicial. Este proceso consistía en pasar

por una amplia fase de retroalimentación y mejora, hasta que los prototipos pudieran ser utilizados de forma apropiada por el usuario. Se puede decir que la fase se dividió en dos grandes etapas: (1) validación interna y (2) validación externa. El objetivo de las iteraciones era determinar qué elementos del sistema no se adaptan bien al usuario y cuales sí. Al mismo tiempo la utilización de prototipos en papel traía los beneficios de que una corrección era rápidamente añadida y se podía presentar de inmediato una versión mejorada.



Figura 14: Proceso de diseño de prototipos en Design Thinking

### 6.5.1. Validación interna

La primera etapa fue la de validación interna. Esta consistió en crear el primer borrador del diseño para su validación por el autor de este trabajo; este borrador es llamado storyboard. El storyboard es un libreto corto, hecho en papel, que ilustra de forma breve y simple como el usuario usa el sistema. Más allá de solo mostrar posibles pantallas del mismo, este libreto muestra el contexto de la situación en la que el usuario usa el sistema, su progreso en el mismo y los efectos que tiene en la vida real. Además, incluye los resultados finales que se obtienen y un prototipo inicial de la apariencia del sistema. Para cada idea de diseño elegida se desarrolló un storyboard propio, y este fue mejorado iterativamente. Estas iteraciones duraron casi un mes a partir del 6 de julio hasta el 6 de septiembre.

### 6.5.2. Validación externa

#### Validación de los storyboards

La siguiente etapa comenzó el 6 de septiembre (validación de los usuarios). Debido a que se buscaba tener una retroalimentación de una mayor cantidad de personal de hospitales y posibles usuarios se establecieron visitas durante una semana al Hospital San Juan de Dios y al Hospital Roosevelt. En estas visitas se realizaron las validaciones correspondientes con los usuarios y personal de los hospitales, presentándoles los storyboards generados en la validación interna.

#### Entrevistas a posibles pacientes

Al mismo tiempo, durante las visitas en las áreas cercanas a los hospitales se realizaron entrevistas con el objetivo de conseguir información que permitiera encauzar el diseño

para alguno de los módulos (en concreto, los módulos que gestionaban el registro médico electrónico).

Debido al mayor apoyo e interés encontrado en el Hospital Roosevelt, se determinó que el estudio seguirá en este. Una vez establecido esto, se tomaron los sistemas representados en los storyboard y con la retroalimentación obtenida se pasaron a una versión con ligeramente más alta definición, pero aún en papel, y se les mostró a los usuarios para obtener nuevamente sus pensamientos antes de pasar a un prototipo programado.

Al terminar la segunda ronda de retroalimentación se procedió a la programación de un primer prototipo.

## Programación

Para determinar la cadena de blockchain a utilizar se utilizaron los siguientes criterios para el área de plataforma:

- **Posibilidad de creación de red privada:** se verificó las facilidades que se tienen para crear una red privada de Blockchain de cada una, para esto se buscó si los creadores habían publicado documentación para esto, en dado caso se calificó como media. Si solo habían sido terceros como baja y si habían sido ambos como alta.
- **Escalabilidad:** se verificó si al hacer una red privada la cantidad de transacciones por segundo se podía modificar. Si se podían obtener más de mil se calificó como alta, entre mil y quinientas media y menor a esto baja.
- **Seguridad:** para este criterio se evaluó la cantidad de nodos de consenso que se tienen. Esto ya que por la manera en que funciona blockchain si se tiene más del 50% de la red se controla la misma, al tener una poca cantidad de estos se eleva el riesgo que los mismos sean vulnerados por atacantes. Si se tiene menos de diez se calificó como baja, entre diez y cien media y una cantidad mayor alta.
- **Compatibilidad con IPFS:** se tomaron los resultados del artículo ‘ Ipfs-content addressed, versioned, p2p file system ’ [30] en el cual exploran las compatibilidades del sistema con las diferentes cadenas al igual que los problemas y facilidades que se tienen con cada una.

Y para evaluar el área de adopción se utilizaron los siguientes:

- **Trayectoria y estabilidad de la cadena:** si tiene más de diez años y no ha tenido se calificó como alta, entre diez y cinco media y menor a cinco baja. La estabilidad de la misma se evaluó la cantidad de problemas que ha tenido, si han sido más de 10 se le bajo la calificación por dos (por ejemplo de alta a baja), si han sido entre 10 y 5 se bajo por uno y si no ha tenido se dejó igual. De esta manera se puede saber que tan sólida se ha vuelto y si la misma ha tenido problemas a lo largo de su historia.
- **Curva de aprendizaje:** se hizo una búsqueda en el sitio stackoverflow de la cantidad de preguntas por cada cadena. El resultado de esto se dividió entre la cantidad que la

misma lleva lanzada para tener un promedio de dudas abiertas por año. Si el mismo era mayor a mil se califico como alta, entre mil y quinientos media y menor se tomo como baja.

- **Información y tutoriales disponibles:** se buscó en Google y en Youtube la cantidad de resultados que despliega el busca 'x tutorial' siendo x el nombre de la cadena. Para la parte de vídeos se contó solo los que tenían las palabras en el título y no en la descripción para reducir la búsqueda. Si la cantidad total de la suma de ambas búsquedas es mayor a cinco mil se califico como alta, entre diez mil y cinco mil media y menor que esta cantidad baja.
- **Cantidad de apps en ella:** se tomó los resultados de la página stateofthedapps [36], si eran más de mil se calificó como alto, entre mil y quinientos medio y bajo si eran menos.

De igual manera para determinar el lenguaje a utilizar para el front-end se hizo un sondeo de la infraestructura del hospital al igual que el conteo de teléfonos inteligentes tanto de personal como de pacientes.

Tras determinar la tecnología a utilizar se procedió a programar un prototipo funcional del 7 de septiembre al 14 de octubre, para presentarlo a posibles usuarios del 15 al 22 de octubre, según su retroalimentación realizar cambios. Este proceso se realizo dos veces realizando los cambios los fines de semana y las pruebas con usuario entre semana para terminar el 8 de noviembre. A cada posible usuario se le daba una hoja con instrucciones de las tareas y pruebas que tenia que realizar, durante este proceso se tomo el tiempo al igual que apuntes de dificultades que se observaban. Las tareas a realizar eran las siguientes:

- **Doctor:** crear usuario, ingresar a cuenta, revisar historial de paciente, realizar diagnostico
- **Paciente:** crear usuario, ingresar a cuenta, revisar su historial, darle acceso a doctor, revocar acceso a doctor, contratar seguro
- **Aseguradora:** crear usuario, ingresar a cuenta, aprobar reclamo de paciente

#### 7.1. Definición

Para el proceso de definición, se resaltan las características de: tecnología, informática, salud y desarrollo, y se planteó en un pequeño párrafo como propuesta para la problemática a resolver

- Muchas empresas, incluyendo hospitales, han implementado sistemas efectivos para el manejo de recursos, clientes y procesos. Sin embargo, existe aún un gran vacío en la forma en que se captan, almacenan y digitalizan los datos. ¿Cómo se pueden mejorar los sistemas y procesos utilizando tecnología para mejorar la experiencia de los médicos y pacientes para capturar y digitalizar datos médicos?

#### 7.2. Investigación

Se realizó entrevistas a un total de 24. Cada una teniendo un promedio de duración de 30 minutos. Los resultados cualitativos de estas se puede observar en la sección de Anexos (codificación de entrevistas semi-estructuradas).

Perfil	Cantidad de personas	Cantidad de codificaciones
Médico	10	67
Enfermero/a	3	14
Paciente	3	8
Administrativo (Archivo e Informática)	8	76
Aseguradora	2	10
Total	26	175

Cuadro 3: Número de personas y codificaciones por perfil entrevistado

El contenido de las entrevistas por ser de tipo semi-estructuradas, no pueden ser resumidas en una sola tabla, ya que las preguntas eran abiertas y daban lugar a que los perfiles relataran historias o hechos. Sin embargo, se pueden resaltar algunas para que el lector tenga una idea sobre las ideas mencionadas:

- Todo [el registro de datos del paciente] lo hacemos a mano
- Hay algunos [historial del paciente] que se pierden o cuando los suben traen heces de rata
- Si quiero ir a otro lugar me tengo que memorizar todo [...] ni se pronunciar la mitad de las cosas que me dicen que tengo
- Seguimos usando FoxPro para las bases de datos [...] hay problemas de pacientes con código repetido y nos alegan pero no nos dan presupuesto

### 7.3. Síntesis

Después de la separación iterativa de los temas, se llegó a la determinación de un total de 11 temas generales en el hospital. El Cuadro 4 muestra la proporción de codificaciones, por perfil, pertenecientes a cada tema. Este permite observar más a detalle la relevancia de cada uno de los mismos con los usuarios objetivo.

Tema	Médico	Enfermer@	Paciente	Administrativo	Aseguradora
Documentos de procesos	9	5	0	0	3
Datos del paciente	10	0	0	12	4
Documentos a mano	8	6	0	0	1
Expediente	5	0	3	14	1
Tecnología	6	0	1	13	1
Necesidad del personal	5	3	0	5	0
Necesidad del paciente	7	0	4	7	0
Procesos	11	0	0	9	0
Referencias	6	0	0	16	0

Cuadro 4: Proporción de codificaciones por perfil en temas generales

A partir de la separación de temas, a cada uno fue posible determinar un conjunto de insight. Además como último paso, también se determinaron las oportunidades de diseño de cada uno.

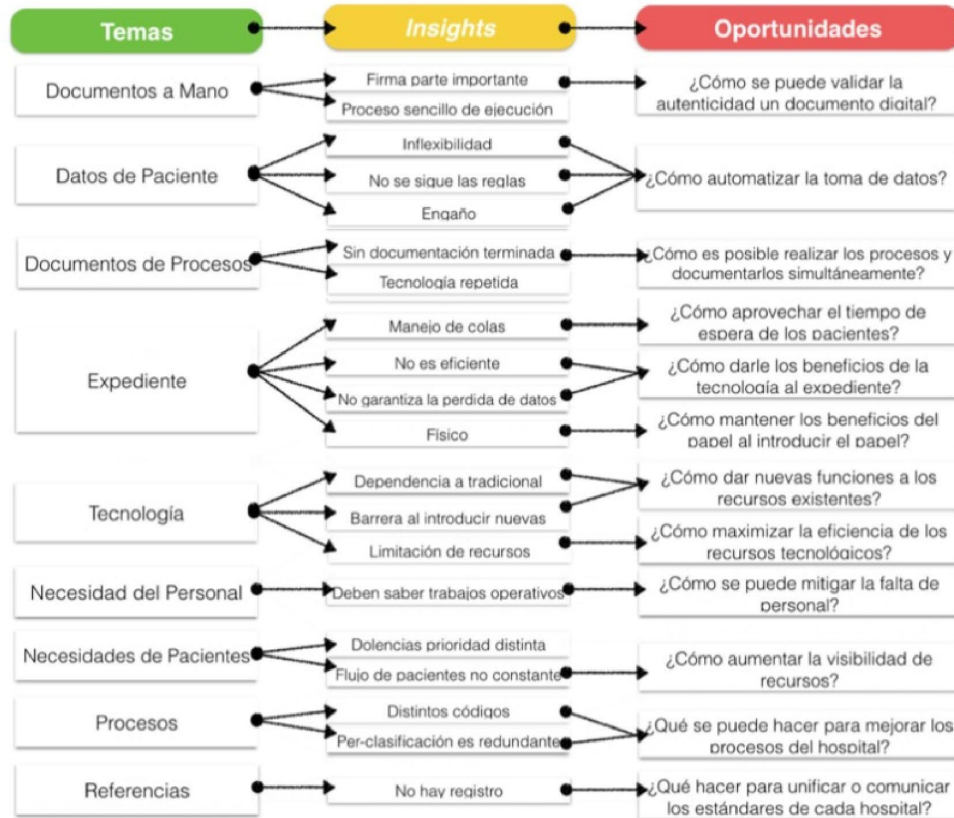


Figura 15: Evolución de temas a insights y a oportunidades de diseño

## 7.4. Exploración

A partir de las oportunidades de diseño de la etapa anterior, se diseñaron una serie de propuestas solución en un lluvia de ideas. El resumen del contenido de todas las propuestas se muestra en el siguiente cuadro

Oportunidad	Ideas de diseño
¿Cómo se puede validar la autenticidad de un documento digital?	4
¿Cómo automatizar la toma de datos?	3
¿Cómo es posible realizar los procesos y documentarlos de manera simultánea?	2
¿Cómo mantener al paciente involucrado en su evolución?	1
¿Cómo darle los beneficios que ofrece la tecnología al expediente?	5
¿Cómo mantener los beneficios del papel al introducir tecnología?	5
¿Cómo maximizar la eficacia de los recursos tecnológicos?	9
¿Cómo se puede mitigar la falta de personal usando tecnología?	6
¿Cómo mantener el expediente actualizado a lo largo del proceso?	6
¿Qué hacer para unificar o comunicar los estándares de cada hospital?	2

Cuadro 5: Cantidad de propuestas por oportunidad

## 7.5. Diseño de prototipos

La primera fase del diseño de prototipos llevó a una votación de todas las ideas generadas en el proceso anterior. A partir de tales votaciones, se eligieron cinco ideas de diseño, las cuales se convirtieron en las funcionalidades a trabajar.

1. Historia clínica Electrónica del paciente
2. Diagnostico tomado de manera digital y adjuntado directamente al historial del paciente
3. Registro electrónico de nuevo paciente
4. Acceso para aseguradora en caso de activarse póliza de seguro a ver el historial clínico del paciente y que se pueda contratar de manera digital
5. Historia clínica Electrónica accesible solo para personal que necesite verlo y paciente

Con la generación de la idea de los módulos, se comenzó con el trabajo del prototipo. Debido a que se buscaba la mayor cantidad de retroalimentación se visito el hospital Roosevelt como principal y el hospital San Juan de Dios como secundario para la validación de prototipos por parte de los doctores.

### 7.5.1. Validación externa

En esta sección se comienza con una de las fases más importantes para el diseño del sistema, ya que gracias a los resultados de estas validaciones se tomaron decisiones claves. Para la validación interna de los prototipos, los cambios realizados fueron mínimos: cambios en redacción, presentación de los dibujos y nombres de los integrantes de la historia de usuario. Por ello, no se realizó un capítulo que hablara solamente de ellos. Sino que a continuación se presentan los resultados importantes encontrados en las validaciones externas.

#### Validación de los storyboards

El siguiente cuadro muestra los resultados de las validaciones externas en las cuales se validó el prototipo de baja fidelidad. Para esto se le mostró el storyboard al usuario al que correspondía, al momento de darle el prototipo se dejaba que el usuario lo explorara solo y luego se le hacían tres preguntas. La primera siendo que explicara el proceso solo viendo el storyboard, esta se calificó de manera que sí comprendía y explicaba de manera correcta más del 75% se colocó como respuesta sí en caso contrario no. Luego se le preguntaba sus pensamientos.

Pregunta	Médico		Paciente		Asegura	
	sí	no	sí	no	sí	no
Puede explicar el proceso	4	6	5	5	1	1
¿Lo preferiría realizar de esta manera?	5	5	7	3	2	0
¿Cree que esto ayudaría a solucionar el problema?	8	2	7	3	2	0
Total por usuario	10		10		2	

Cuadro 6: Resultados de primera iteración de storyboard

Luego de obtener los resultados de la primera iteración se realizaron los cambios según la retroalimentación obtenida y se realizó el procedimiento de nuevo solo que ahora con un prototipo de papel con mayor definición. De igual manera, se buscó que fueran los mismos usuarios encuestados durante la primera.

Pregunta	Médico		Paciente		Asegura	
	sí	no	sí	no	sí	no
Puede explicar el proceso	8	2	7	3	2	0
¿Lo preferiría realizar de esta manera?	7	3	8	2	2	0
¿Cree que esto ayudaría a solucionar el problema?	9	1	8	2	2	0
Total por usuario	10		10		2	

Cuadro 7: Resultados de segunda iteración utilizando prototipo de papel en alta definición

Luego de haber obtenido una versión final del prototipo de papel basado en los comentarios de la segunda iteración se procedió a la programación de un primer prototipo. Cabe resaltar que existe una resistencia al cambio de parte de médicos, a pesar que sienten que el sistema ayudaría a solucionar el problema.

## 7.5.2. Prototipo programado

### Validación de aparatos móviles

En cada visita al hospital se realizó un conteo visual, esto con el fin de verificar que se pudiera realizar una solución la cual iba a poder ser usada por los posibles usuarios.

Hospital	Cantidad de visitas realizadas	Inteligente	No inteligente	Total
Roosevelt	15	1916	19	1935
San Juan	3	174	4	178
Total	18	2090	23	2113

Cuadro 8: Conteo visual de teléfonos durante las visitas a hospitales

Basado en estos datos se confirma que el desarrollo de una aplicación web si es una solución factible que podrá ser usada por la gran mayoría de usuarios que laboran y visitan los dos hospitales. Del tercer usuario, aseguradora, no se realizó una tabla ya que son solo dos y se pudo confirmar durante las visitas que poseen un teléfono inteligente.

### Validación de infraestructura tecnológica

Durante las visitas se realizó una inspección de la infraestructura tecnológica del hospital Roosevelt, en la misma se busco el equipo de computo y red que se utiliza actualmente. Para poder comprobar que esta pudiera soportar una aplicación web sin necesidad de invertir en mas equipo.

Equipo	Cantidad	0 a 5 años	5 a 10 años	Mayor a 10 años
PC	21	4	2	15
Router	9	6	2	1
Servidor	5	1	2	2
Total	35	11	6	18

Cuadro 9: Infraestructura tecnológica de Hospital Roosevelt

Según lo anterior se puede notar que 18 de los 35 aparatos del equipo tecnológico del hospital está en la categoría de obsoleto por su antigüedad. De igual manera 6 de los 35 están llegando al final de su ciclo de vida óptimo. Basado en esto se decidió hacer la aplicación lo mas ligera posible y compatible con la mayor cantidad de exploradores y equipo posible. De igual manera se buscaron las razones por las que no ha sido actualizado y la respuesta "no hay presupuesto" fue la mas recurrente ya que no es visto como prioridad.

### Blockchain

Tras haber realizado la investigación pertinente, se procedió a efectuar una comparación de las tres diferentes cadenas basado en los criterios detallados en la sección de metodología:

Para el área de plataforma se obtuvieron los siguientes resultados:

Plataforma	Posibilidad de creación de red privada	Escalabilidad	Seguridad	Compatibilidad con IPFS
Ethereum	Alta	Alta	Alta	Alta
NEO	Alta	Alto	Media	Media
EOS	Alta	Alta	Baja	Media

Cuadro 10: Comparación entre cadenas de Blockchain basada en criterios de plataforma

Y para el área de adopción:

Plataforma	Trayectoria y estabilidad	Curva de aprendizaje	Información y tutoriales disponibles	Cantidad de apps en ella
Ethereum	Media	Media	Alta	Alta
NEO	Media	Media	Media	Baja
EOS	Baja	Alta	Media	Baja

Cuadro 11: Comparación entre cadenas de Blockchain basada en criterios de adopción

Con lo cual podemos observar que dentro de las cadenas seleccionados para esta investigación, Ethereum es la que tiene la mejor compatibilidad en general con lo que se quiere realizar. Esto se debe a que tiene el mejor resultado o el mismo que otras cadenas en cada una de las categorías evaluadas.

### Prototipo de aplicación

El front-end del prototipo fue programado usando HTML, CSS, JavaScript y para el backend se utilizó NodeJS, Ethereum y IPFS esto ya que se buscó que tuviera compatibilidad con la mayor cantidad de dispositivos por lo que se puede utilizar en los siguientes exploradores:

- **Windows:** compatible con Internet Explorer 7, lanzado en el año 2006.
- **Chrome:**
  - Versión Móvil: Android Ice Cream Sandwich
  - Versión PC: 2.0, lanzada en el año 2009
- **Firefox:**
  - Versión Móvil: 4, lanzada en el año 2010
  - Versión PC: 4, lanzada en el año 2010

Se realizó una prueba de compatibilidad del front-end y visualización de archivos de IPFS con un dispositivo Android KitKat(2013) y Windows PC utilizando Internet Explorer

7, en ninguno de los dos casos se tuvo problemas para interactuar con el sitio web. Cabe resaltar que debido a que es un prototipo se utilizó MetaMask para la interacción del usuario con Ethereum (ingreso al app y interacción con contrato).

## Arquitectura

Para la arquitectura se buscó que la aplicación tuviera la mayor cantidad de redundancia posible, no tuviera necesidad de acceso a internet, fuera segura con datos inmutables, pudiera correr en equipo antiguo y fuera lo más óptima con el espacio. Como se resultó se obtuvo el siguiente diagrama.

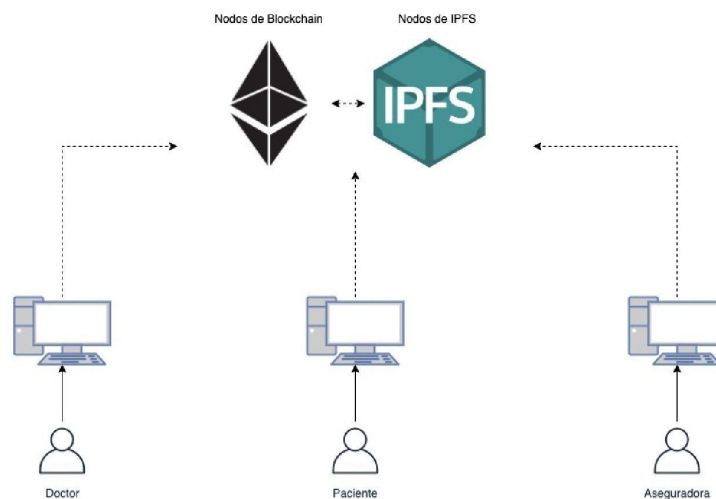


Figura 16: Arquitectura de aplicación RME

Al utilizar IPFS como la base de datos de los archivos y almacenamiento del front-end, se tienen los siguientes beneficios

- El historial del paciente se guarda en una dirección hash la cual es única para el paciente y se crea según su dirección de ethereum, su nombre y su edad
- El historial solo puede ser modificado por el doctor cuando el paciente le da acceso al mismo, en caso contrario no es posible.
- Cada archivo subido como parte del historial se guarda en su propia dirección la cual es generada a partir del hash de este, si el mismo ya estaba subido en la red no se sube para no generar duplicidad y ocupar espacio de más
- Por ser búsqueda basada en contenido, si en un momento se cae el nodo principal y el contenido está en otra computadora de la red este podrá ser accesado sin ningún problema
- La página siempre podrá ser accesada dentro de la red, ya que en cualquier momento al menos un usuario tendrá una copia por ser una red descentralizada

De igual manera por utilizar Ethereum se obtuvieron los siguientes beneficios:

- Historial inmutable de transacciones en la red (dar permiso a doctor, enviar diagnóstico, aprobar reclamo de seguro)

### 7.5.3. Iteraciones de prototipo

Se realizaron dos pruebas del prototipo en las cuales la persona tenía que realizar un listado de acciones específicas de su tipo de usuario. Para la selección de estos se buscó que fuera un usuario al que se creía que se le iba a dificultar más el uso de la misma. De esto se tomó en apuntes de cuánto tiempo se tardaba en realizar cada una y si la había podido realizar. A continuación se muestran los resultados de la primera iteración.

Tarea	Tiempo en segundos	Terminada exitosamente
Crear usuario	254	Sí
Ingresar a cuenta	70	Sí
Revisar su historial	12	Sí
Darle acceso a doctor	28	Sí
Revocar acceso a doctor	14	Sí
Contratar seguro	23	Sí

Cuadro 12: Primera iteración de prototipo con usuario Paciente

Al realizar esta primera iteración se verificó que las dos tareas que más tiempo toman son la de crear el usuario y ingresar. Esto se pudo observar que era debido a que los pacientes tenían que copiar su llave pública desde MetaMask para luego pegarla en el ingreso. Por esta razón se buscó la manera de simplificar el proceso.

Tarea	Tiempo en segundos	Terminada exitosamente
Crear usuario	483	No
Ingresar a cuenta	184	Sí
Revisar historial de paciente	49	Sí
Realizar diagnóstico de paciente	39	Sí

Cuadro 13: Primera iteración de prototipo con usuario doctor

En el caso el doctor tuvo problemas con la creación del usuario, el mismo no logró terminar la tarea ya que no lograba copiar y pegar la llave pública desde MetaMask. De igual manera sucedió al momento de ingresar a su cuenta, solo que sí la logró completar.

Al igual que con los demás usuarios se tuvo problemas con la interacción de Metamask, con las funcionalidades adentro de la aplicación no se tuvo ningún problema.

Tarea	Tiempo en segundos	Terminada exitosamente
Crear usuario	283	Sí
Ingresar a cuenta	124	Sí
Aprobar reclamo	15	Sí

Cuadro 14: Primera iteración de prototipo con usuario aseguradora

Al finalizar esta ronda se buscó simplificar la manera en la que se realizó el registro e ingreso a la aplicación para los usuarios ya que es el mayor problema encontrado. De igual manera se cambio la redacción de algunas palabras y se cambiaron botones de posición. Al realizar estos cambios se hizo una segunda iteración con diferentes usuarios a los de la primera ronda, pero con perfiles similares.

Tarea	Tiempo en segundos	Terminada exitosamente
Crear usuario	24	Sí
Ingresar a cuenta	5	Sí
Revisar su historial	10	Sí
Darle acceso a doctor	15	Sí
Revocar acceso a doctor	13	Sí
Contratar seguro	20	Sí

Cuadro 15: Segunda iteración de prototipo con usuario paciente

Al realizar esta segunda iteración se pudo comprobar que los cambios realizados mejoraron sustancialmente los tiempos para realizar las tareas Al igual que basado en los comentarios la interfaz es más fácil de utilizar.

Tarea	Tiempo en segundos	Terminada exitosamente
Crear usuario	30	Sí
Ingresar a cuenta	11	Sí
Revisar historial de paciente	34	Sí
Realizar diagnóstico de paciente	25	Sí

Cuadro 16: Segunda iteración de prototipo con usuario doctor

Al igual que en el caso del paciente se logro mejorar los tiempos de las tareas y se lograron terminar todas en comparación de la primera en donde no se había logrado crear el usuario.

Al igual que con los demás usuarios se obtuvo una mejoría en los tiempos.

Luego de haber obtenido una mejor interacción de los usuarios con la aplicación, ya que se lograron terminar todas las tareas de manera exitosa y los tiempos mejoraron se procedió a realizar los últimos cambios basados en la retroalimentación de esta ronda. Estos fueron de

Tarea	Tiempo en segundos	Terminada exitosamente
Crear usuario	18	Sí
Ingresar a cuenta	8	Sí
Aprobar reclamo	14	Sí

Cuadro 17: Segunda iteración de prototipo con usuario aseguradora

colores de botones para que resaltaran mas y redacción de palabras. En la siguiente sección se muestra el prototipo final de la aplicación basado en esta segunda iteración.

### Vista de ingreso

Debido a que la aplicación está pensada para correr en un dispositivo personal y el ingreso se está manejando con la cuenta de MetaMask se hizo el ingreso de manera que fuera lo más simple y seguro. De esta manera el usuario solo podrá ingresar a su cuenta que ha tenido que ser autenticada primero por MetaMask, ya que se realiza una comparación con los datos de esta contra las cuentas creadas en la aplicación.



Figura 17: Vista de ingreso de RME

### Vista de registro

Se le solicita al usuario su nombre, edad y el tipo de usuario que es. Al momento de registrarse se toma la llave publica de Metamask y junto a los datos del usuario se crea su dirección específica de IPFS al igual que su cuenta. Cabe resaltar que aunque el usuario se registre como doctor, sin serlo, él no podrá realizar ninguna interacción con el historial de un paciente sin que este le dé permiso.

### Vista de paciente

Se le muestra al paciente su información personal al igual que en dónde está guardado su historial. Luego se dé la opción de darle acceso a un doctor el cual puede escoger de un listado. De igual manera puede ver que doctores tienen acceso actualmente a su historial y les puede revocar el mismo si así lo desea. Por último, tiene la opción de contratar un seguro

**Porfavor ingrese sus datos para registrarse**

**Nombre:**

**Edad:**

**Registrar como:**

Figura 18: Vista de registro de RME

para ciertas dolencias en específico y se le da la opción de escoger su aseguradora al igual que se le muestra el total de cuanto le costará y la cantidad que obtendrá por cada reclamo exitoso.

**Informacion Personal**

**Nombre:** Prueba Paciente

**Edad:** 40

Su historial esta guardado en:  
<http://localhost:8080/ips/QmdtovQESyK16hH7X6pAS6HctXjoz89LWq74STUnMQDKdm>

**Compartir su Historia Clinica**

**Doctor:**

**Titulares con acceso actualmente a su historial**

Doctor	Llave Publica	Revocar acceso
Doctor 2	0x7b748d50858aedc9a483193b139a0d08858b9f7	<input type="button" value="Revocar Acceso"/>

**¿Quiere adquirir una poliza de seguro?**

**Aseguradora:**

**Escoger dolencias:**

- Cancer
- Ataque cardiaco
- Tumor Cerebral
- Anemia
- Alzheimer
- Gastroenteritis
- Tuberculosis
- Espondilolistesis

Tendra que pagar 0 ETH cada año.  
Obtendra 4 ETH por cada reclamo exitoso.

Figura 19: Vista de paciente de RME

## Vista de doctor

Se le muestra al doctor su información personal, luego se le da la opción de ver los RME a los que tiene permiso actualmente. De cada uno de estos puede ver el nombre del paciente, su llave pública y el historial completo de este. Para la parte de diagnóstico luego de retroalimentación se dejó la opción que escoja el diagnóstico de un listado, para luego poner más detalles del mismo y por último, agregar un archivo si es que hubiera. Al momento de enviar el diagnóstico a este se le agrega el nombre del doctor, la llave pública de este y la fecha en que fue realizado. Luego de enviarlo se le revoca automáticamente el acceso al doctor para que se tenga un nivel de privacidad mayor al igual que la cantidad de historiales que tiene accesibles no se acumule.

**Informacion Personal**

<b>Nombre:</b>	Doctor 2
<b>Edad:</b>	28

**RME Accesibles**

Paciente	Llave Publica	Accion
Prueba Paciente	0x4e38066d2dedf54d63157aee13b6cfbeb5c357bf	<a href="#" style="color: red; text-decoration: none;">Esconder RME</a>

**Name:** Prueba Paciente  
**Public Key:** 0x4e38066d2dedf54d63157aee13b6cfbeb5c357bf

**Diagnosed By:** Doctor 2  
**Doctor's Public Key:** 0x7b748d58858aecdca9483193b139a0d88858b9f7  
**Time:** 2019-11-22 23:7:54  
**Diagnosis:** Brain Tumour  
**Comments:** Prueba  
**File:** http://127.0.0.1:8080/1pfs/QmV3LACwBokhCG96to3KHu7dKGL9YkeHJR6R1vMJFFCE9b

**Diagnosed By:** Doctor 2  
**Doctor's Public Key:** 0x7b748d58858aecdca9483193b139a0d88858b9f7  
**Time:** 2019-11-22 23:9:25  
**Diagnosis:** Heart Attack  
**Comments:** Dos  
**File:** http://127.0.0.1:8080/1pfs/QmThTEvRoCZV1sFXkxwSNgnZhk6DSvJraszwBRoFJn9EBm

**Diagnostico:**

**Detalles:**

**Archivo:**  No file chosen

Figura 20: Vista de paciente de RME

## Vista de aseguradora

Se le muestra a la aseguradora su nombre y la cantidad de clientes que tienen contratados sus servicios actualmente. Al momento de que un doctor diagnostica a un paciente con una dolencia para la cual tiene un seguro contratado con la aseguradora se le muestra a estos toda la información del paciente. Esta incluye el nombre, llave pública, historial completo, nombre del doctor que lo diagnosticó y el nombre del padecimiento. Esto se realizó de esta

manera ya que uno de los problemas mencionados por las aseguradoras es que muchas veces es muy complicado recolectar todo el historial de un paciente ya que tendrían que llamar a todos los hospitales y doctores para ver si han tenido una interacción con el paciente. Por lo que al realizarlo de esta manera ellos ya tienen todo en un solo lugar y la información no puede ser modificada por nadie evitando de esta manera fraudes.

**Informacion Personal**

---

<b>Nombre:</b>	Aseguradora
<b>Cantidad de clientes:</b>	3

---

**Reclamos Activos**

Paciente	Llave Publica	Ver Historial	Doctor	Padecimiento	Accion
Paciente2	0xa99db8671326a75ae079709e0d890edd00e32a1	<a href="#" style="color: red; text-decoration: none;">Esconder Historial</a>	Doctor 2	Brain Tumour	<a href="#" style="color: green; text-decoration: none;">Liberar Reclamo</a>

```

Name: Paciente2
Public Key: 0xa99db8671326a75ae079709e0d890edd00e32a1

Diagnosed By : Doctor
Doctor's Public Key : 0x506a5beee09972ec846216cac51d5192b863741b
Diagnosis : Cancer
Comments : Prueba subida archivo
Time : 2019-11-7 20:08:8

Diagnosticado por : Doctor 2
Llave Publica Doctor: 0x7b748d50858aecdca9483193b139a0d08858b9f7
Fecha : 2019-11-25 10:13:44
Diagnostico : Brain Tumour
Comentarios : Se le diagnostico luego de haber realizado una tomografia la cual esta adjuntada.
Archivo : http://127.0.0.1:8080/dfs/QmXKFKFtVEEdEnL31cPJXkte8BP3tapiw9noJ2qV4sC4k
        
```

Figura 21: Vista de aseguradora de RME

- Se diseñó un prototipo de registro médico electrónico el cual es descentralizado. Teniendo como beneficios registros inmutables, redundancia en la disponibilidad de archivos, seguridad y no duplicidad de archivos en la red.
- Se escogió Ethereum como cadena Blockchain, ya que esta cuenta con la mejor seguridad, siendo esto algo prioritario por tratarse de información privada. Permite escalar el sistema en caso fuese necesario, haciendo que el mismo no se encuentre limitado. Da la posibilidad de crear una red privada, agregando una capa mas de seguridad y mayor velocidad. Tiene una alta compatibilidad con el sistema de almacenamiento descentralizado IPFS, mejorando la integración con este. Y su adopción como tecnología es mayor basado en la trayectoria y estabilidad, curva de aprendizaje, información y tutoriales disponibles y cantidad de aplicaciones.
- Se creó un prototipo funcional del diseño propuesto para el registro médico electrónico de un paciente en cuatro iteraciones de desarrollo.
- Se descubrieron que los desafíos tecnológicos para implementar el sistema son: falta de presupuesto del hospital, haciendo la digitalización de los sistemas una meta no prioritaria. Infraestructura tecnológica en decadencia, restringiendo el uso de tecnologías actuales y resistencia al cambio de procesos por parte de personal hospitalario.
- El prototipo permite su uso satisfactorio, para el almacenamiento del registro electrónico de un paciente, de parte de sus tres actores involucrados (paciente, doctor, aseguradora) habiendo realizado pruebas de funcionalidad con cada uno y no haber presentado problemas.

---

### Recomendaciones

---

- Se recomienda para futuras versiones realizar un sistema de interacción con la cadena Ethereum en la nube, quitando de esta manera el uso de MetaMask y haciendo la compatibilidad del sistema mayor al igual que la facilidad de uso.
- Se debe de trabajar una campaña informativa de los beneficios del uso de la tecnología para optimizar procesos para el personal hospitalario, con el fin que exista la menor resistencia al cambio.
- Se deben realizar pruebas de enlace entre hospitales del sistema nacional, creando nodos de IPFS y Ethereum en cada uno con el fin de comprobar el sistema a gran escala.
- Se recomienda realizar un análisis financiero para la renovación de la infraestructura tecnológica del hospital Roosevelt. Que incluya la cantidad de inversión que se tendría que hacer, los beneficios que traería y maneras en que podría financiarse.
- Se recomienda realizar las pruebas de instalación y funcionamiento en la red local del Hospital Roosevelt, con el fin de probar el funcionamiento del prototipo en esta.
- Se recomienda explorar el ámbito legal, específicamente la existencia de una ley en Guatemala que proteja el expediente del paciente. En dado caso dicha ley este vigente, se debería establecer como podría afectar el uso del prototipo y que este cumpla con los requerimientos de esta.
- Se recomienda explorar si es ético que el paciente puede explorar todo su historial médico, tomando en cuenta las implicaciones que esto podría tener al igual que las consecuencias tanto para el como para los doctores al momento de dar un diagnóstico. De igual manera, como podrían ser manejados estos permisos para tener la mayor eficiencia y menor cantidad de riesgos.

- 
- [1] I. N. de Estadística. (2012). Proyecciones de INE al 30 de julio del 2012, dirección: <http://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/02/26/5eTCcFlHErnaNVeUmm3iabXHaKgXtw0C.pdf>.
  - [2] V. Becerril-Montekio y L. Lopez-Davila, “Sistema de Salud en Guatemala”, *Salud Publica Mex LIII*, págs. 197-208, 2011.
  - [3] W. Stead y H. Lin. (2012). Computational technology for effective health care: immediate steps and strategic directions, dirección: [https://www.nlm.nih.gov/%20pubs/reports/comptech\\_2009.pdf](https://www.nlm.nih.gov/%20pubs/reports/comptech_2009.pdf).
  - [4] A. Azaria, A. Ekblaw, T. Vieira y A. Lippman, “MedRec: Using Blockchain for Medical Data Access and Permission Management”, *2016 2nd International Conference on Open and Big Data (OBD)*, 2016. DOI: 10.1109/obd.2016.11.
  - [5] W. J. Gordon y C. Catalini, “Blockchain Technology for Healthcare: Facilitating the Transition to Patient-Driven Interoperability”, *Computational and Structural Biotechnology Journal*, vol. 16, págs. 224-230, 2018. DOI: 10.1016/j.csbj.2018.06.003.
  - [6] P. T. S. Liu, “Medical Record System Using Blockchain, Big Data and Tokenization”, *Information and Communications Security Lecture Notes in Computer Science*, págs. 254-261, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-50011-9\_20.
  - [7] A. A. Omar, M. S. Rahman, A. Basu y S. Kiyomoto, “MediBchain: A Blockchain Based Privacy Preserving Platform for Healthcare Data”, *Security, Privacy, and Anonymity in Computation, Communication, and Storage Lecture Notes in Computer Science*, págs. 534-543, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-72395-2\_49.
  - [8] M. de Salud Pública y Asistencia Social. (2016). Por que hay crisis en el sector salud de Guatemala, dirección: <https://www.mspas.gob.gt/images/files/cuentasnacionales/publicaciones/MSPAS2016PorquehaycrisisenelsectorsaluddeGuatemala.pdf>.
  - [9] O. M. de la Salud. (2016). Registros Médicos Electrónicos en América Latina y el Caribe, dirección: [http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/28209/9789275318829\\_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/28209/9789275318829_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

- [10] H. Cottom, “Análisis crítico del sistema nacional de salud en Guatemala”, *Tesis Universidad Rafael Landívar*, 2004.
- [11] J. Carnicero y A. Fernandez, “Manual de salud electrónica para directivos de servicios y sistemas de salud”, *Santiago de Chile, Naciones Unidas*, pág. 414, 2011.
- [12] J. Santizo, “Implementación y adopción de la firma electrónica en Guatemala”, *Universidad de San Carlos de Guatemala*, 2010.
- [13] L. Castro y M. Gamez. (2002). Historia clínica. In Farmacia Hospitalaria - Tomo I (pp. 295 - 305). España: Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria, dirección: <http://www.sefh.es/bibliotecavirtual/fhtomo1/cap22.pdf>.
- [14] J. Santizo, “Lecciones de Semiología, Sexta Edición Guatemala. Ambrose, G. & Harris, P.”, *Design Thinking. Ava Publishing.*, pág. 2010, 2008.
- [15] P. Gestwick y B. Mcely. (2013). A case study of a five-step design thinking process in educational museum game design, dirección: [http://meaningfulplay.msu.edu/proceedings2012/%20mp2012\\_submission\\_37.pdf](http://meaningfulplay.msu.edu/proceedings2012/%20mp2012_submission_37.pdf).
- [16] R. Razzouk y V. Shute. (2013). What Is Design Thinking and Why Is It Important?, dirección: <http://myweb.fsu.edu/vshute/pdf/designthinking.pdf>.
- [17] I. Attributions, *Design Thinking for Educators*, segunda ed. IDEO, 2012.
- [18] G. Ambrose y P. Harris, *Design Thinking*. Ava Publishing, 2010.
- [19] S. Underwood, “Blockchain beyond bitcoin”, *Communications of the ACM*, vol. 59, n.º 11, págs. 15-17, 2016.
- [20] G. Zyskind, O. Nathan y col., “Decentralizing privacy: Using blockchain to protect personal data”, en *2015 IEEE Security and Privacy Workshops*, IEEE, 2015, págs. 180-184.
- [21] M. Swan, *Blockchain: Blueprint for a new economy*. "Reilly Media, Inc.", 2015.
- [22] I. Bashir, *Mastering blockchain: Distributed ledger technology, decentralization, and smart contracts explained*. Packt Publishing Ltd, 2018.
- [23] J. Pieprzyk y B. Sadeghiyan, *Design of hashing algorithms*. Springer, 1993.
- [24] M. Pilkington, “11 Blockchain technology: principles and applications”, *Research handbook on digital transformations*, vol. 225, 2016.
- [25] E. Ganne. (2018). Can Blockchain revolutionize international trade?, dirección: <https://www.ibm.com/downloads/cas/KJDPQKBE>.
- [26] V. Gatteschi, F. Lamberti, C. Demartini, C. Pranteda y V. Santamaria, “Blockchain and smart contracts for insurance: Is the technology mature enough?”, *Future Internet*, vol. 10, n.º 2, pág. 20, 2018.
- [27] A. Chakrabarti y A. K. Chaudhuri, “Blockchain and its scope in retail”, *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 4, n.º 7, págs. 3053-3056, 2017.
- [28] W.-M. Lee, “Using the MetaMask Chrome Extension”, en *Beginning Ethereum Smart Contracts Programming*, Springer, 2019, págs. 93-126.
- [29] B. Confais, A. Lebre y B. Parrein, “An object store service for a fog/edge computing infrastructure based on ipfs and a scale-out nas”, en *2017 IEEE 1st International Conference on Fog and Edge Computing (ICFEC)*, IEEE, 2017, págs. 41-50.
- [30] J. Benet, “Ipfs-content addressed, versioned, p2p file system”, *arXiv preprint arXiv:1407.3561*, 2014.

- [31] G. Wood y col., "Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger", *Ethereum project yellow paper*, vol. 151, n.º 2014, págs. 1-32, 2014.
- [32] E. Elrom, "NEO Blockchain and Smart Contracts", en *The Blockchain Developer*, Springer, 2019, págs. 257-298.
- [33] I. Grigg, "Eos-an introduction", *Whitepaper) iang. org/papers/EOS\_An\_Introduction.pdf*, 2017.
- [34] H. S. J. de Dios. (2019). Hospital General San Juan de Dios, dirección: [http://www.hospitalsanjuandediosguatemala.com/pages/inicio.php#%20.Vfnh0\\_1\\_0ko](http://www.hospitalsanjuandediosguatemala.com/pages/inicio.php#%20.Vfnh0_1_0ko).
- [35] H. Roosevelt. (2019). Hospital Roosevelt Gobierno de Guatemala, dirección: <http://www.hospitalroosevelt.gob.gt/hr/>.
- [36] (2019). Explore Decentralized Applications, dirección: <https://www.stateofthedapps.com/>.

## 11.1. Entrevistas semi-estructuradas basadas en el brief del estudio

### **Introducción del entrevistador:**

- Diga quién es y por qué está allí
- Qué rol juega el entrevistado
- Explicar: voy a hacer preguntas redundantes y muchos porqués
- Preguntar si se puede grabar, en caso contrario tomar notas
- ¿Cómo puedo llamarlo?
- Tiempo aproximado

### **Preguntas generales:** tienen el fin de conocer al entrevistado

- ¿Edad?
- ¿Para qué viene al hospital?
- (Si es trabajador) ¿Cuáles son sus actividades principales?
- (Si es paciente) ¿A qué se dedica?
- ¿Cada cuánto tiempo viene?
- ¿Cuánto tiempo pasa en el hospital?
- ¿A quién conoce / con quién se relaciona (en el hospital)?

- ¿Qué artefactos del hospital utiliza más? (e. g. computadoras, aparatos especializados, clipboards)
- ¿Cómo utiliza la tecnología (smartphone, laptop...) para realizar su trabajo?

**Preguntas específicas:** tienen el fin de comenzar la conversación y obtener mayor información

#### **Entrevista Médico:**

- ¿Para el médico es relevante quien le proporcione la información del paciente?
- ¿Cuál es su experiencia atendiendo a pacientes, que se la hace fácil/difícil?
- ¿Alguna vez ha perdido información del paciente?
- ¿Cómo utiliza/no utiliza los recursos tecnológicos conforme va atendiendo el paciente?
- ¿Cómo utiliza la tecnología (smartphone, laptop...) para realizar su trabajo?
- ¿Qué tipo de tecnología prefiere?
- ¿Cómo maneja el procedimiento médico?

#### **Entrevista enfermero/a:**

- ¿Qué actividades realiza durante el día?
- ¿Utiliza algún programa o aparato para realizar una tarea o proceso?
- ¿Cuál ha sido su experiencia utilizando los aparatos?
- ¿Qué tareas se le dificultan? ¿Cree que hay algo que pueda hacer para mejorarlas?
- ¿Podría contarme si alguna vez ha tenido un problema con un paciente? ¿Por qué?

#### **Entrevista Paciente:**

- ¿Normalmente viene acompañado al hospital? ¿Con quién? ¿Por qué?
- ¿Cómo cree que podría mejorar la atención en el hospital? ¿Cada cuánto acude a cita?
- ¿Cuál es el tiempo que tardan en atenderle? (Podría contarme su experiencia en el hospital desde que llega hasta que se retira...)
- ¿Qué hace para recordar sobre sus citas?
- ¿Qué hace para recordarse de los exámenes?
- ¿Qué pasa cuando pierde una cita?
- ¿Qué pasa si pierde algún papel? papel (carnet, examen, receta, resultados medicos..).

**Entrevista administrativo [archivo e informática]:**

- ¿Qué actividades realiza para el hospital?
- ¿Qué procesos son necesarios para realizarlas?
- ¿Con qué áreas del hospital se relaciona más? ¿Por que?
- ¿Qué dificultades encuentra al momento de realizar su trabajo?
- ¿Cómo mantiene control de lo que realiza?

**Entrevista aseguradora:**

- ¿Qué procesos son necesarios para realizar la contratación de un seguro?
- ¿Cómo revisan el historial de un paciente?
- ¿Qué dificultades encuentra al momento de realizar su trabajo?
- ¿Cómo mantiene control de los reclamos abiertos?

**11.2. Plantilla utilizada para la codificación de las entrevistas semi-estructuradas**

Se coloca la foto o imagen del rol

Observación, Cita o Historia

Texto va aquí - Debe ser lo más preciso y descriptivo posible. No se debe parafrasear.

Significado Posible

Lo que la observación podría significar o información sobre el contexto que no se muestra.

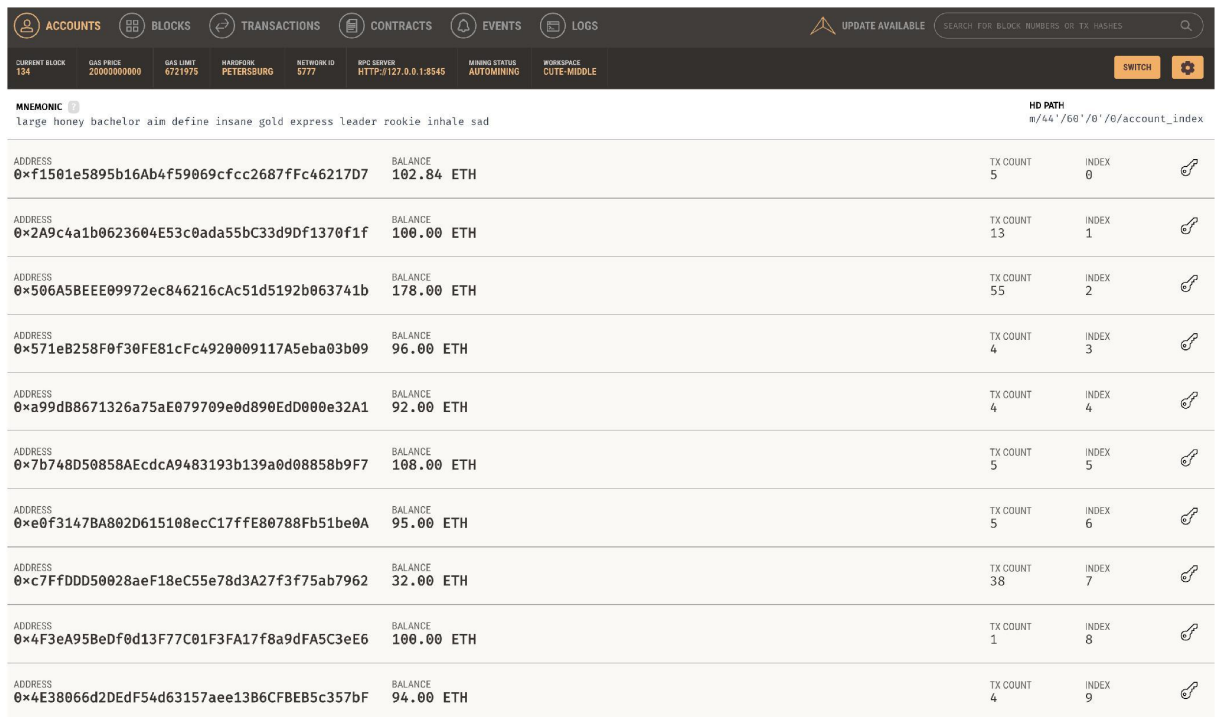
Figura 22: Plantilla de codificación de las entrevistas

### 11.3. Repositorio

Se adjunta el link al repositorio con el código final del prototipo desarrollado

- <https://github.com/pabloiarriola/electronic-health-records>

### 11.4. Red local Ethereum



ADDRESS	BALANCE	TX COUNT	INDEX
0xf1501e5895b16Ab4f59069cfc2687fFc46217D7	102.84 ETH	5	0
0x2A9c4a1b0623604E53c0ada55bC33d9Df1370f1f	100.00 ETH	13	1
0x506A5BEE09972ec846216cAc51d5192b063741b	178.00 ETH	55	2
0x571eB258F0f30FE81cFc492009117A5eba03b09	96.00 ETH	4	3
0xa99dB8671326a75aE079709e0d890EdD000e32A1	92.00 ETH	4	4
0x7b748D50858AEcdcA9483193b139a0d08858b9F7	108.00 ETH	5	5
0xe0f3147BA802D615108ecC17ffe80788Fb51be0A	95.00 ETH	5	6
0xc7FDD50028aeF18eC55e78d3A27f3f75ab7962	32.00 ETH	38	7
0x4F3eA95BeDf0d13F77C01F3FA17f8a9dFA5C3eE6	100.00 ETH	1	8
0x4E38066d2EdF54d63157aee13B6CFBEB5c357bF	94.00 ETH	4	9

Figura 23: Red local de Ethereum

### 11.5. Nodo de IPFS

```
Pablo-MacBook-Pro:~$ ipfs daemon
Initializing daemon...
go-ipfs version: 0.4.22-
Repo version: 7
System version: amd64/linux
GoLang version: go1.12.7
Swarm listening on /ip4/127.0.0.1/tcp/4001
Swarm listening on /ip4/192.168.1.28/tcp/4001
Swarm listening on /ip6:::1/tcp/4001
Swarm listening on /ipm-inet4
Swarm announcing /ip4/127.0.0.1/tcp/4001
Swarm announcing /ip4/192.168.1.28/tcp/4001
Swarm announcing /ip6:::1/tcp/4001
API server listening on /ip4/127.0.0.1/tcp/5001
WEBUI: https://127.0.0.1:5001/webui
Gateway (read-only) server listening on /ip4/127.0.0.1/tcp/8080
Daemon is ready
```

Figura 24: Nodo de IPFS

## 11.6. Aprobación del Hospital Roosevelt

 DEPARTAMENTO DE DOCENCIA E INVESTIGACION  
HOSPITAL ROOSEVELT, GUATEMALA

FORMULARIO HR-1

JEFES DE DEPARTAMENTO DEL HOSPITAL ROOSEVELT DONDE REALIZARÁ EL ESTUDIO:

NOMBRE: \_\_\_\_\_ NOMBRE: \_\_\_\_\_  
Firma y Sello: \_\_\_\_\_ Firma y Sello: \_\_\_\_\_

NOMBRE: \_\_\_\_\_ NOMBRE: *Julio C. Diaz-Sere*  
Firma y Sello: \_\_\_\_\_ Firma y Sello: *[Firma]*

**AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR TRABAJO EN HOSPITAL ROOSEVELT**

El presente trabajo de investigación ha sido revisado y autorizado por el COMITÉ DE DOCENCIA E INVESTIGACIÓN dejando constancia para ello. Presentarla al solicitar documentos propios del hospital.

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE DOCENCIA E INVESTIGACION:

Fecha: 24 SEP 2019 Acta No. 623 Punto No. 310

NOMBRE: *Dr. José Luis Chavarría Montiel*

DIRECCIÓN MÉDICA: *Dr. Maynor Alberto Herrera Méndez*

NOMBRE: \_\_\_\_\_

NOTA: Al concluir su trabajo y realizar su informe, FAVOR PRESENTAR a la oficina del Departamento de Docencia e Investigación: EL INFORME FINAL, con espinal, adjuntar la **NOTA DEL ASESOR Y REVISOR** que se ha realizado eficientemente su trabajo con una fotocopia de esta forma, dejando la original en el Depto. De Docencia.

Fecha de Entrega: \_\_\_\_\_ Secretaria: \_\_\_\_\_

JEFE DEPARTAMENTO DE DOCENCIA E INVESTIGACION: \_\_\_\_\_ F: \_\_\_\_\_

CS Número: *witb* Firma y Sello: \_\_\_\_\_  
CamScanner

Figura 25: Aprobación de parte del Hospital Roosevelt

## 11.7. Hoja de historia clínica

**HOSPITAL ROOSEVELT** **HISTORIA CLINICA** **70**  
**GUATEMALA, C.A.**

Si esta hoja no es suficiente para poner todos los datos del caso, se usará las hojas de historia o exámenes físicos para pacientes hospitalizados.  
 Marque con  si los datos importantes y descriptivos en el espacio de izquierda. El resto de lo investigado, marque con

M. C. \_\_\_\_\_

**CLASIFICACION**  
 CONSULTA:  PRIMERA  REINGRESO  SEGUIDA  OTRO

**ANTECEDENTES:**

**PATOLÓGICOS**  
 \_amigdalitis \_tuberculosis  
 \_neumonia \_cardiaca  
 \_escuratosis \_poliposoma  
 \_diarrea \_ent. venereas  
 \_neumonía \_otras enf.  
 \_laberinticos \_graves  
 \_alergia, asma \_traumatismo  
 \_parasitario \_operaciones  
 \_intestinal \_hábitos

**HISTORIA FAMILIAR**  
 (estado de salud o causa de muerte de madre/padre/hermanos/otros)  
 \_cancer \_tuberculosis  
 \_diabetes \_hemofilia  
 \_enf. renal \_cardiopatías  
 \_artritis \_alergia

**REVISIÓN SISTEMAS**  
 \_nutrición \_fuerza  
 \_cambios de peso \_garganta  
 \_cabeza \_ojos  
 \_cuello \_pecho  
 \_abdomen \_genitales

**RESPIRATORIO Y CARDIOVASCULAR**  
 \_ritmo \_frecuencia  
 \_sonidos \_ruidos  
 \_sibilancias \_estertores  
 \_hemoptisis \_edemas

**GENITO URINARIO**  
 \_ritmo \_color  
 \_color y aspecto \_olor  
 \_disuria \_hematuria

**GENITALES MASCULINOS**  
 \_testículos \_escrotos

**GENITALES FEMENINOS**  
 \_menstruación \_vagina  
 \_ritmo \_color  
 \_consistencia \_pelo

**MUSCULO-ESQUELETO**  
 \_movilidad \_deformidad  
 \_dolor \_hinchazón  
 \_color, forma \_temperatura

**NERVIOS**  
 \_sensibilidad \_reflejos  
 \_parálisis \_parosmia

Fecha \_\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_\_ Reg. médico No. \_\_\_\_\_ Domicilio \_\_\_\_\_  
 Nombre \_\_\_\_\_ Edad \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_

Figura 26: Hoja de historia clínica Hospital Roosevelt

**HOSPITAL ROOSEVELT** **EXAMEN FISICO** **70**  
**GUATEMALA, C.A.**

Marque con  si lo que encuentra normal. Con  si lo anormal y describa en el espacio libre.

**PIEL**  
 \_color \_sensibilidad  
 \_erupciones

**CABEZA/ODOS**  
 \_pupilas \_pupilas  
 \_reflejos \_reflejos  
 \_escleróticas \_escleróticas  
 \_conjuntivas \_conjuntivas

**OIDOS**  
 \_audición \_tímpano  
 \_serotoninas

**NARIZ**  
 \_mucosa \_secreción

**BOCA**  
 \_labios \_amigdalitas  
 \_garganta \_tonsiloides  
 \_dientes

**CUELLO**  
 \_tráquea \_tráquea  
 \_tiroides

**LINFÁTICOS**  
 \_supraclaviculares \_axilares  
 \_cervicales \_sublinguales  
 \_suboccipitales

**TORAX**  
 \_simetría \_masaje

**PULMONES**  
 \_percutánea \_crackles  
 \_auscultación \_vocal

**CORDON**  
 \_fuerza \_ritmo  
 \_reflejos \_reflejos

**ABDOMEN**  
 \_contorno \_contractura  
 \_dientes \_masaje  
 \_hígado \_esplenomegalia  
 \_azoar \_hepatomegalia

**GENITALES MASCULINOS**  
 \_color \_dureza  
 \_ritmo \_masaje

**GENITALES FEMENINOS**  
 \_vagina \_cervix  
 \_cuello

**RECTAL**  
 \_fuerza \_masaje  
 \_reflejos \_proctosigmoidoscopia  
 \_hemorroides

**COLUMNA VERTEBRAL**  
 \_movilidad \_deformidad  
 \_dolor \_hinchazón

**EXTREMIDADES**  
 \_movilidad \_deformidad  
 \_dolor \_hinchazón

**NEUROLÓGICO**  
 \_sensibilidad \_reflejos  
 \_parálisis

IMPRESIÓN CLINICA \_\_\_\_\_

Evaluated por \_\_\_\_\_ Nombre y sello médico interno  
 Evaluated por \_\_\_\_\_ Nombre y sello médico residente  
 Médico jefe

Figura 27: Hoja de examen físico Hospital Roosevelt