

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN CIENCIAS Y SISTEMAS

CREACIÓN DE MODELO DE SOFTWARE PARA PONDERACIÓN
DE COMPATIBILIDAD EN TRASPLANTES CRUZADOS PARA
PACIENTES DIAGNOSTICADOS CON INSUFICIENCIA
RENAL CRÓNICA



CRISTIAN ALONSO RAMÍREZ GUZMÁN

CHIQUMULA, GUATEMALA, JUNIO 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN CIENCIAS Y SISTEMAS

CREACIÓN DE MODELO DE SOFTWARE PARA PONDERACIÓN
DE COMPATIBILIDAD EN TRASPLANTES CRUZADOS PARA
PACIENTES DIAGNOSTICADOS CON INSUFICIENCIA
RENAL CRÓNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

CRISTIAN ALONSO RAMÍREZ GUZMÁN

Al conferírsele el título de

INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS

En el grado académico de

LICENCIADO

CHIQUMULA, GUATEMALA, JUNIO 2022

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERIA EN CIENCIAS Y SISTEMAS**



RECTOR EN FUNCIONES

M. A. PABLO ERNESTO OLIVA SOTO

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Representante de Profesores:	M.Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso
Representante de Profesores:	M.Sc. Gildardo Guadalupe Arriola Mairén
Representante de Graduados:	Ing. Agr. Henry Estuardo Velásquez Guzmán
Representante de Estudiantes:	A.T. Zoila Lucrecia Argueta Ramos
Representante de Estudiantes:	Br. Juan Carlos Lemus López
Secretaria:	M.Sc. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	M.A. Edwin Rolando Rivera Roque
Coordinador de Carrera:	M.Sc. Rolando Darío Chávez Valverth

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	M.Sc. Rolando Darío Chávez Valverth
Secretario:	MBA. René Estuardo Alvarado González
Vocal:	Ing. Elder Avildo Rivera López

TERNA EVALUADORA

Presidente:	MBA. Samy Eunice Pinto Castañeda
Secretario:	M.A. Indira Marizela Valdés Ávila
Vocal:	M.A. Auder Morales Alarcón

Chiquimula, junio de 2022

Señores

Miembros del Consejo Directivo

Centro Universitario de Oriente

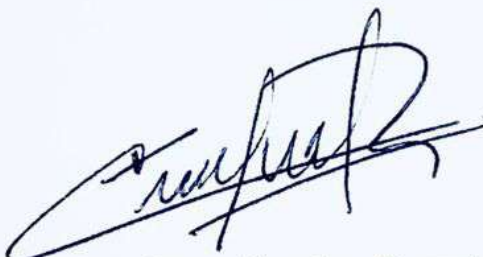
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetables Señores:

De conformidad con los estatutos establecidos por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala y del Centro Universitario de Oriente, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado **"CREACIÓN DE MODELO DE SOFTWARE PARA PONDERACIÓN DE COMPATIBILIDAD EN TRASPLANTES CRUZADOS PARA PACIENTES DIAGNOSTICADOS CON INSUFICIENCIA RENAL CRÓNICA"**, como requisito previo a optar al título de Ingeniero en Ciencias y Sistemas, con el grado académico de licenciado.

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Cristian Alonso Ramírez Guzmán', with a large, sweeping flourish at the end.

Cristian Alonso Ramírez Guzmán

CUI: 2410 63698 0102

Registro académico: 200924468

Chiquimula, 09 de febrero de 2021

MSc. Rolando D. Chávez Valverth
Coordinador de Carreras de Ingeniería
Centro Universitario de Oriente
Universidad de San Carlos de Guatemala

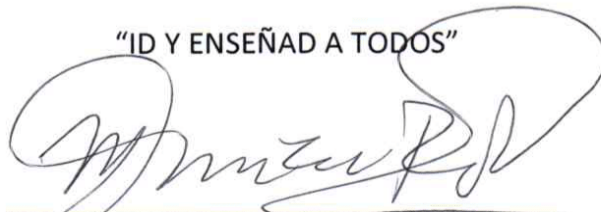
Señor Coordinador de Carreras de Ingeniería,

Me es grato informarle que de acuerdo con RESOLUCION-CICS-TG.01.19, asesoré el trabajo de graduación profesional del estudiante Cristian Alonso Ramírez Guzmán, que tituló: **"CREACIÓN DE UN MODELO DE SOFTWARE PARA PONDERACIÓN DE COMPATIBILIDAD ENTRE ANTÍGENOS LEUCOCITARIOS HUMANOS DE PACIENTES DIAGNOSTICADOS CON INSUFICIENCIA RENAL CRÓNICA"**.

En la investigación, el estudiante Ramírez Guzmán busca la aplicación de las tecnologías de información y comunicación para crear un sistema de software, con el objeto de apoyar al proceso de trasplante renal en pacientes diagnosticados con Insuficiencia Renal Crónica nivel 5, mediante la implementación de una búsqueda cruzada entre parejas paciente-donador en base a algoritmos específicos, generando así una nueva propuesta para el mecanismo de búsqueda para trasplante cruzado.

En mi opinión lo expuesto y desarrollado en el trabajo de graduación profesional cumple con los requerimientos de la guía metodológica de investigación para trabajos de graduación de la Carrera de Ingeniería en Ciencias y Sistemas del Centro Universitario de Oriente, por lo que recomiendo se autorice la impresión del presente trabajo, a fin de favorecer los procesos de graduación profesional del estudiante Cristian Alonso Ramírez Guzmán.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Dra. María Elena Ramírez Romero.
Co-asesor del trabajo de graduación.

CUI: 2327204010101

Colegiado Activo. 14,113.

Chiquimula, 09 de febrero de 2021

MSc. Rolando D. Chávez Valverth
Coordinador de Carreras de Ingeniería
Centro Universitario de Oriente
Universidad de San Carlos de Guatemala

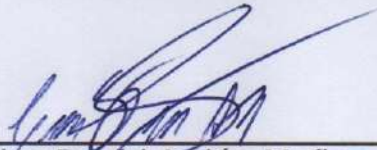
Señor Coordinador de Carreras de Ingeniería,

Me es grato informarle que de acuerdo con RESOLUCION-CICS-TG.01.19, asesoré el trabajo de graduación profesional del estudiante Cristian Alonso Ramírez Guzmán, que tituló: **"CREACIÓN DE UN MODELO DE SOFTWARE PARA PONDERACIÓN DE COMPATIBILIDAD ENTRE ANTÍGENOS LEUCOCITARIOS HUMANOS DE PACIENTES DIAGNOSTICADOS CON INSUFICIENCIA RENAL CRÓNICA"**.

En la investigación, el estudiante Ramírez Guzmán busca la aplicación de las tecnologías de información y comunicación para crear un sistema de software, con el objeto de apoyar al proceso de trasplante renal en pacientes diagnosticados con Insuficiencia Renal Crónica nivel 5, mediante la implementación de una búsqueda cruzada entre parejas paciente-donador con base en algoritmos específicos, generando así una nueva propuesta para el mecanismo de búsqueda para transplante cruzado.

En mi opinión lo expuesto y desarrollado en el trabajo de graduación profesional cumple con los requerimientos de la guía metodológica de investigación para trabajos de graduación de la Carrera de Ingeniería en Ciencias y Sistemas del Centro Universitario de Oriente, por lo que recomiendo se autorice la impresión del presente trabajo, a fin de favorecer los procesos de graduación profesional del estudiante Cristian Alonso Ramírez Guzmán.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Carlos David Ardón Muñoz
Asesor principal del trabajo de graduación
2550 09461 2001
Colegiado 14511



RTGIC.01.21

Chiquimula, 16 de septiembre de 2021.

Maestro en Ciencias
Rolando Darío Chávez Valverth
Coordinador Carreras de Ingeniería
CUNORI-USAC

Respetado M.Sc. Chávez Valverth:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado y efectuado las correcciones al trabajo de graduación titulado: **"CREACIÓN DE MODELO DE SOFTWARE PARA PONDERACIÓN DE COMPATIBILIDAD EN TRASPLANTES CRUZADOS DE PACIENTES DIAGNOSTICADOS CON INSUFICIENCIA RENAL CRÓNICA"**, elaborado por el estudiante Cristian Alonso Ramírez Guzmán.

Habiendo cumplido dicho informe los requerimientos, me permito aprobarlo en calidad de Revisor de Trabajos de Graduación de la carrera de Ingeniería en Ciencias y Sistemas.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MBA. Samy Eunice Pinto Castañeda
Coordinadora de Trabajos de Graduación
Carrera de Ingeniería en Ciencias y Sistemas
CUNORI - USAC

c.c. archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-
CARRERAS DE INGENIERÍA



ALTG.9.21

Chiquimula, 4 de octubre de 2021.

Maestro en Ciencias

Rolando Darío Chávez Valverth

Coordinador Carreras de Ingeniería

CUNORI-USAC

Respetado M.Sc. Chávez Valverth:

El propósito de la presente es para informarle que he procedido a revisar la parte lingüística, del trabajo de graduación titulado: **“CREACIÓN DE MODELO DE SOFTWARE PARA PONDERACIÓN DE COMPATIBILIDAD EN TRASPLANTES CRUZADOS DE PACIENTES DIAGNOSTICADOS CON INSUFICIENCIA RENAL CRÓNICA”**; elaborado por el estudiante **Cristian Alonso Ramírez Guzmán**.

El informe cumple con los requisitos exigidos por la carrera de Ingeniería en Ciencias y Sistemas; por lo tanto, recomiendo su aprobación para seguir con los trámites correspondientes.

Agradeciendo su atención a la presente,

Deferentemente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

M.Sc. Julio César Hernández Ortiz
Revisor Área Lingüística

c.c. archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-
CARRERAS DE INGENIERÍA



TGICYS.01-2022

Chiquimula, 11 de enero de 2022.

Ingeniero Agrónomo
Edwin Filiberto Coy Cordón
Director
CUNORI - USAC

Respetable Ing. Agr. Coy Cordón:

El coordinador de las carreras de Ingeniería del Centro Universitario de Oriente CUNORI de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer los dictamen del asesor principal el Ingeniero en Ciencias y Sistemas Carlos David Ardón Muñoz y de la co-asesor Dra. María Elena Ramírez Romero, el dictamen de la coordinadora de Trabajos de Graduación de la carrera de Ingeniería en Ciencias y Sistemas la Samy Eunice Pinto Castañeda, y luego de la revisión y aprobación del Maestro en Ciencias Julio César Hernández Ortiz, revisor del área de Lingüística, al trabajo de graduación del estudiante **Cristian Alonso Ramírez Guzmán**, titulado: **"CREACIÓN DE MODELO DE SOFTWARE PARA PONDERACIÓN DE COMPATIBILIDAD EN TRASPLANTES CRUZADOS DE PACIENTES DIAGNOSTICADOS CON INSUFICIENCIA RENAL CRÓNICA"**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo de graduación y recomendando la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M.Sc. Rolando Darío Chávez Valverde
Coordinador Carreras de Ingeniería
CUNORI - USAC



c.c. archivo

D-TG-ICS-014/2022

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó el estudiante **CRISTIAN ALONSO RAMÍREZ GUZMÁN** titulado **"CREACIÓN DE MODELO DE SOFTWARE PARA PONDERACIÓN DE COMPATIBILIDAD EN TRASPLANTES CRUZADOS DE PACIENTES DIAGNOSTICADOS CON INSUFICIENCIA RENAL CRÓNICA"**, trabajo que cuenta con el aval del Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Ingeniería en Sistemas. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación** a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, el uno de febrero de dos mil veintidós.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordon
DIRECTOR
CUNORI – USAC



AGRADECIMIENTOS A

La Santísima Virgen María

Por interceder por mí ante Tu Hijo iluminando mi camino. Gracias por Tus bendiciones.

Mis profesores

A cada maestro que tuve desde que cursé el kínder, y que me formó académicamente hasta el día de hoy.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Mi alma máter, por sus aulas y por lo que representa para la historia de nuestro país.

Centro Universitario de Oriente CUNORI

Por abrirme las puertas cuando lo necesité, estaré siempre agradecido.

Mis amigos

A cada uno con los que he compartido sueños y anhelos.

Mi familia

Quienes me han apoyado en cada paso que he dado.

Médicos del IGSS

Profesionales que ofrecieron sus conocimientos para validar esta investigación.

Médicos y profesionales de UNAERC

Al ser los primeros en creer en este proyecto y brindar el tiempo necesario para cuando fue requerido.

**Médicos y profesionales de
FUNDANIER**

Puesto que su labor y esfuerzo diario han servido de ejemplo y motivación para el desarrollo de este trabajo.

**Médicos y profesionales de
Hospital Nacional San Juan de
Dios**

Por su invaluable colaboración hacia esta investigación, sin la cual no hubiese sido posible sustentar la misma.

Mis asesores

Doctora Maria Elena Ramírez Romero e Ingeniero Carlos Ardón, por su acompañamiento durante todo el proceso de investigación.

ACTO QUE DEDICO A

Dios

Quien me ha permitido los momentos más felices y me ha acompañado en los difíciles.

Mi madre

María del Rosario Guzmán Girón, que nos quisimos desde el día en que nos vimos.

Mi padre

José Benjamín Ramírez Ruiz, quien me enseñó a ir tras mis proyectos, ha sido mi guía, mi mentor.

Mis hermanos

Gustavo Adolfo, quien ha sido mi modelo a seguir y a mi hermana Ana Graciela, el corazón de nuestra familia.

Mis abuelos

Anselmo y José Carmen, quienes ya no habitan entre nosotros, pero están presentes en cada paso doy.

Pacientes diagnosticados con insuficiencia renal crónica

Porque su lucha motivó está investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	I
LISTA DE SÍMBOLOS	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
INTRODUCCIÓN	IX
OBJETIVOS	XI
1. Conceptualización de la problemática	1
1.1. Investigación de campo	1
1.2. Investigación documental	5
1.2.1. Lista de espera	5
1.2.2. Intercambio emparejado	6
2. Metodología	13
2.1. Análisis de la información	13
2.2. Planteamiento del problema	14
2.3. Propuesta de solución	15
2.3.1. Requerimientos funcionales	15
2.3.2. Requerimientos no funcionales	16
2.3.3. Algoritmo ARTC	16
2.3.4. Tecnologías	24
2.4. Procesamiento de la información	24
3. Planificación y desarrollo	25
3.1. Metodología de desarrollo	30
3.2. Cronograma e iteraciones	32
3.3. Resultados y discusión	33

3.4.	Prototipos funcionales	35
3.5.	Identificación y mitigación de riesgos	40
4.	CONCLUSIONES	41
5.	RECOMENDACIONES	43
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
7.	APÉNDICES	49
8.	ANEXOS	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Intercambio emparejado	7
2.	Diagrama de comportamiento del algoritmo YRMH-IGYT	11
3.	Función: analizarCasosCruzados	19
4.	Función: buscarCasosCompatibles	20
5.	Función: establecerPorcentajeDeCompatibilidad	21
6.	Función: buscarDonante	22
7.	Diagrama de flujo de funciones en el ARTC	23
8.	Arquitectura básica de software de uso local	25
9.	Diagrama de clases	26
10.	Diagrama entidad-relación	27
11.	Caso de uso especializado: Sistema de búsqueda	28
12.	Diagrama de actividades	29
13.	Actividades de investigación	32
14.	Actividades de prototipado	33
15.	Búsqueda directa: afiliado 318	36
16.	Búsqueda cruzada: afiliado 318	37
17.	Búsqueda directa: afiliado 342	38
18.	Búsqueda cruzada: afiliado 342	39

TABLAS

1.	Gestión de riesgos	40
----	--------------------	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
/	Diagonal
-	Guion de no separación cuando se encuentre en una cadena de texto
%	Porcentaje
-	Signo negativo
+	Signo positivo
Omax	Complejidad algorítmica

GLOSARIO

ABO	El sistema de grupo sanguíneo ABO se usa para indicar la presencia de uno, ambos o ninguno de los antígenos A y B en los eritrocitos
ARTC	Algoritmo de Resolución de Trasplante Cruzado
Eficiencia de Pareto	Se define como el punto exacto de equilibrio. De esta forma, se llega a un punto en el que no es posible mejorar sin causar efecto negativo en otros.
Factor Rh	Proteína integrada en los glóbulos rojos o eritrocitos y por medio de su determinación se detecta el tipo de sangre, ya sea Rh + o -.
Fundanier	Fundación para el Niño Enfermo Renal
GNU GPL	Sistema operativo de tipo Unix con Licencia Pública General. Es una licencia de derecho de autor ampliamente usada en el mundo del software libre y código abierto.

HGSJDD	Hospital General San Juan de Dios
HLA	Antígenos leucocitarios humanos, del acrónimo inglés <i>Human leukocyte antigen</i> . Proteínas que intervienen en la diferenciación entre células propias y células ajenas al organismo.
IGSS	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social
Nefrología	Especialidad médica que se ocupa de la estructura y la función renal.
TFG	Tasa de filtración glomerular (TFG), indica el volumen de fluido filtrado por unidad de tiempo.
UML	Acrónimo inglés de <i>Unified Modeling Language</i> . Lenguaje de modelado de sistemas de software más conocido y utilizado en la actualidad.
UNAERC	Unidad Nacional de Atención al Enfermo Renal.
YRMH-IGYT	Mecanismo de intercambio, del inglés <i>You Request My House-I get your turn</i> .

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es proponer un modelo software que permita emparejar y ponderar posibles trasplantes cruzados para pacientes que hayan sido diagnosticados con insuficiencia renal crónica.

El protocolo de trasplante requiere de un gran esfuerzo por parte del cuerpo médico para analizar de manera efectiva la información de cientos de pacientes que requieren atención hospitalaria a causa de la enfermedad renal. Esto ha reflejado la necesidad de contar con sistemas de software que sean capaces de gestionar los datos en tiempo real, con el objeto de aliviar los obstáculos a los que se enfrenta el sistema de salud en cuanto a trasplantes se refiere, siendo uno de los mayores problemas la falta de donantes compatibles para cada paciente en una larga lista de espera.

Para abordar de manera eficiente el problema de la compatibilidad, se ha propuesto la adopción de un nuevo algoritmo para emparejamiento de órganos, conocido como trasplante cruzado. De esta manera, es posible aumentar la probabilidad de encontrar un donante bajo un intercambio transparente y justo. El sistema creado tiene la capacidad de identificar potenciales donadores, lo que ha permitido incrementar la generación de posibles trasplantes cruzados, y con ello disminuir el tiempo en una lista de espera de un paciente por trasplante de riñón compatible.

El sistema propuesto tiene como base un algoritmo de emparejamiento que, bajo la supervisión de nefrólogos y profesionales de la salud, ha podido suplir las necesidades básicas de una búsqueda de donante. Como resultado de una rigurosa investigación de campo, tanto en el contexto nacional como internacional, se pudieron identificar los requerimientos fundamentales con los

que el sistema de software debe contar para poder emparejar de manera cruzada pacientes con potenciales donantes.

La implementación del algoritmo propuesto en el prototipo de software desarrollado generó resultados sumamente alentadores, tomando como indicadores principales el rendimiento sobre la lista de espera, así como el índice de compatibilidad promedio. El rendimiento denota el porcentaje de pacientes en lista de espera beneficiados con un potencial donante. Se demostró un rendimiento de más del 90 por ciento de la lista de espera por un riñón, con un índice de compatibilidad promedio de 27 por ciento entre cada caso.

Los resultados generados denotan una disminución significativa de tiempo de espera en pacientes enlistados por un donante de riñón compatible. Cabe resaltar que estos datos han sido generados estadísticamente y revisados por profesionales en nefrología.

INTRODUCCIÓN

La tecnología enfocada en el trasplante renal en Guatemala ha cobrado más necesidad que nunca, esto se debe al aumento exponencial de casos reportados en los últimos años. El trasplante renal es la solución, por eficiencia, recomendada por los médicos nefrólogos a lo largo del mundo para pacientes que han sido diagnosticados con insuficiencia renal crónica estadio 5.

La siguiente investigación fue realizada con el ánimo de apoyar a cada uno de los agentes involucrados en un proceso de trasplante renal; profesionales en nefrología, donantes, pacientes diagnosticados con insuficiencia renal crónica e incluso a los familiares de estos.

Es bien sabido que la enfermedad renal generalmente posee un comportamiento crónico e irreversible y el mejor tratamiento es el trasplante renal. Este tratamiento quirúrgico se lleva a cabo si y solo si, el donador candidato es compatible, bajo términos sanguíneos e inmunológicos, entre otros. La incompatibilidad es una de las barreras más comunes con la que un paciente se topa cuando inicia un proceso de trasplante renal.

Este trabajo de investigación propone un sistema de software que logra aplicar la búsqueda cruzada entre parejas paciente-donador, con el fin de ponderar las mejores opciones de trasplante cruzado para el paciente en cuestión. Se ha propuesto un nuevo mecanismo de búsqueda para trasplantes cruzados, referenciando el uso teórico de algoritmos propuestos para resolver conflictos de bienes indivisibles como el *housing market*, *house allocation with existing tenants*, o algoritmos de análisis de mercados como el *top trading cycles*.

Los resultados demuestran un rendimiento mucho más eficiente respecto a las condiciones actuales, con índices favorables para los pacientes en espera de un donante compatible. El sistema tiene la capacidad de almacenar de manera anónima al donante y al paciente, lo que permite no solamente reducir drásticamente el tiempo en una lista de espera, sino también hacerlo de una manera segura.

En el primer capítulo se aborda la problemática, en la cual se describe la investigación de campo realizada, así como la investigación documental. Cada una de estas sustenta de manera práctica y teórica, respectivamente, la necesidad de agilizar el proceso de trasplantes.

La metodología se cubre en el segundo capítulo de este trabajo de investigación. Está compuesta por el análisis de la información obtenida en el capítulo primero, así como el planteamiento del problema, la propuesta de la solución y el procesamiento de la información obtenida de la aplicación del algoritmo propuesto.

El tercer capítulo cubre la planificación y desarrollo del prototipo de software en el que fue implementado el algoritmo propuesto. Cuenta con diferentes diagramas basados en *UML*. Esto con el fin de facilitar la comprobación de los resultados mediante la replicación del modelo propuesto, o bien, propiciar su mejora continua.

OBJETIVOS

General

Crear modelo de software para ponderación de compatibilidad entre antígenos leucocitarios humanos de pacientes diagnosticados con insuficiencia renal crónica.

Específicos

1. Proponer un modelo de software que agilice el proceso de identificación y almacenamiento de donantes.
2. Desarrollar un algoritmo de búsqueda para trasplantes cruzados, de manera que, en el caso que el paciente no cuente con donantes compatibles pueda optar a un trasplante cruzado como segunda opción.

1. CONCEPTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. Investigación de campo

Según la Sociedad Internacional de Nefrología, se estima que alrededor de 850 millones de personas en el mundo padecen de Enfermedad Renal Crónica (*International Society of Nephrology*, 2019).

La enfermedad renal puede presentar un comportamiento tanto agudo como crónico, siendo este último irreversible. Se define como “la presencia de alteraciones funcionales o estructurales del riñón, con o sin disminución de la tasa de filtración glomerular (TFG) durante 3 meses o más, independiente de la causa” (Valencia, 2012, p. 191).

En Guatemala, las cifras son poco alentadoras en cuanto a enfermedad renal respecta. Se calcula que, en 2019, el número de pacientes nuevos diagnosticados con enfermedad renal fue de 2835, lo que en promedio sería 8 personas al día. (Betancourt et al., 2020).

Según la *National Kidney Foundation* (s.f.), cuando los pacientes han sido diagnosticados con enfermedad renal crónica estadio 5, deberán atender un procedimiento llamado diálisis, hasta el momento en que cada uno pueda encontrar un donante compatible de riñón, con el objetivo de poder trasplantarse.

La diálisis es un procedimiento utilizado para limpiar la sangre del paciente mediante un mecanismo de purificación. Hay dos tipos de ejecución de la diálisis: hemodiálisis y diálisis peritoneal. La primera consiste en conectar al paciente a una máquina de purificación de sangre. La máquina tiene integrado un filtro llamado dializador, el cual limpia la sangre (Sánchez-García et al., 2012).

La diálisis peritoneal consiste en introducir un tubo flexible en el abdomen del paciente, conocido como catéter, por medio del cual ingresará un líquido dializador, el cual absorberá las toxinas para luego ser expulsadas por el mismo catéter (National Institute of Diabetes and Kidney Diseases, s.f.).

El tipo de terapia de reemplazo renal que el médico nefrólogo recomendará está basado en factores como; sus morbilidades, estatus socioeconómico y preferencias propias del paciente. Si bien la diálisis peritoneal es más económica para el paciente, con un costo promedio de Q 5,500.00 al mes, representa también una serie de complicaciones al ser de carácter ambulatorio. La hemodiálisis con un costo promedio de Q 11,000.00 por mes, es según los especialistas, el procedimiento más apropiado para liberar la sangre de toxinas.

Según el informe presentado por el Gobierno de Navarra concerniente a los tratamientos para pacientes diagnosticados con enfermedad renal:

El trasplante renal con éxito es en la actualidad y desde hace años, la terapia de elección para la mayoría de las causas de insuficiencia renal en la que está indicado. Mejora la calidad de vida al prescindir de la dependencia de la diálisis y de las dietas rigurosas, aumenta la supervivencia de los pacientes y es el tratamiento más económico cuando se compara con la diálisis (Martín, 2006, p. 80).

Uno de los desafíos más importantes en el trasplante renal, tanto en Guatemala como alrededor del mundo, es aumentar el número de procedimientos realizados, con el objeto de beneficiar a más pacientes y disminuir los costes en el cuidado del paciente con Enfermedad Renal Crónica avanzada.

Según datos del servicio de Trasplante Renal del Hospital General de Enfermedades del IGSS, desde sus inicios hasta el año 2019, se han realizado un total de 800 trasplantes renales, lo que evidencia la dificultad que atraviesa tanto el cuerpo médico como el paciente para encontrar a un donante compatible y en buenas condiciones (De León et al., 2020).

El proceso de los trasplantes tiene sus orígenes desde el siglo XIX con diversos experimentos sobre implantes de tejidos, de los cuales derivaron una serie de repetidos fracasos, incluso hasta mediados del siglo XX, tanto en Francia como en Estados Unidos. En junio de 1950, Richard Lawler, un cirujano estadounidense, extrajo un riñón de un paciente que había muerto por una enfermedad hepática y lo trasplantó a un paciente adulto que tenía una disfunción renal. Diez meses después se produjo el rechazo (Avendaño, 2012, p. 24).

El primer trasplante renal realizado en Guatemala se registra en 1982, en el Sanatorio Nuestra Señora del Pilar. Este procedimiento fue replicado dos años después en 1984, en el IGSS, del cual nació un programa estructurado para efectuar trasplantes de riñón en nuestro país.

En el sector público, el programa de trasplantes de riñón inició en 1989, en el Hospital General San Juan de Dios. Médicos dirigidos por el doctor Toledo Solares realizaron el primer trasplante el 12 de octubre de 1992. Años más tarde se realizó el primer trasplante cadavérico exitoso en Guatemala, el 1 de febrero de 1996. Más adelante, en el año 2006, el IGSS inició sus esfuerzos por afrontar la enfermedad renal, al crear el programa de Trasplante Renal Cadavérico fundado por el doctor Mollinedo Paniagua, el cual es liderado en la actualidad por el doctor Vicente Sánchez Polo (Lou-Meda, 2011).

El Hospital Roosevelt inició su programa de trasplantes en 2008, a través de un programa exclusivamente pediátrico por medio de la Fundación para el Niño Enfermo Renal (Fundanier), a cargo del doctor Randall Lou Meda (Lou-Meda, 2011).

Realizar un trasplante representa un reto tanto para el sistema de salud como para los sistemas de información. Esto se debe a la complejidad en términos de seguridad, transparencia y búsqueda.

Desde sus inicios los protocolos de trasplante se han regido por un riguroso proceso de selección y vigilancia. Sin embargo, existe una separación en los campos médico y de tecnología aplicado a la búsqueda de compatibilidades. Actualmente el sistema de salud nacional no cuenta con un registro unificado de información de donadores y pacientes en lista de espera.

Esta investigación demostró la preocupación por parte de nefrólogos debido al aumento de la tasa de pacientes diagnosticados por día, versus la cantidad de trasplantes realizados por año, tal como lo expresa la especialista en nefrología y profesional de la salud, Dra. M. E. Ramírez Romero (comunicación personal, diciembre 12, 2019).

Se entrevistó a diferentes profesionales de varias instituciones del país. Las entidades involucradas fueron: el Hospital General San Juan de Dios (HGSJDD), IGSS, la Unidad Nacional de Atención al Enfermo Renal (UNAERC) y la Fundación para el Niño Enfermo Renal (Fundanier). También se contó con la participación de pacientes en proceso de trasplante y donantes en proceso de selección.

Por otro lado, se contó con la colaboración en el ámbito legal, de profesionales de Cámara de Industria de Guatemala (CIG) y la firma de abogados y notarios Amado González. Respecto a la creación de un modelo viable de implementación y de negocio, se contó con el apoyo de diferentes entidades y programas como: Universidad Rafael Landívar, 7Zero, Empredate Guatemala, Emprende GT. Concerniente a la estimación de costes, se contó con el apoyo de VS Consulting y profesionales en el área de finanzas.

1.2. Investigación documental

El trasplante es el tratamiento preferido y recomendado por los médicos especialistas cuando un paciente ha sido diagnosticado con insuficiencia renal crónica. Sin embargo, es el más difícil de realizar.

El proceso de trasplante conlleva varios aspectos que se irán abordando en la presente investigación.

1.2.1. Lista de espera

Cuando un paciente es diagnosticado con Insuficiencia Renal Crónica el médico especialista sabrá recomendarle el tipo de diálisis a seguir, y eventualmente sugerir el trasplante renal. Para poder realizar un trasplante se necesita, un donante vivo o un donante cadavérico. Los trasplantes de donantes vivos generalmente reflejan una mejor adaptación al cuerpo del receptor que los cadavéricos.

El inicio del protocolo de trasplante depende de la salud y disposición del donante, también, si el trasplante es viable respecto a consideraciones médicas como, compatibilidad sanguínea y ausencia de anticuerpos cruzados positivos.

Si el donante propuesto no cumple con alguno de estos requisitos primarios, el paciente entra a la cola en espera por un donante cadavérico de riñón, mientras que el donador regresa a casa.

1.2.2. Intercambio emparejado

Existe un método aún más complejo para poder aprovechar la buena voluntad de un potencial donador que no es compatible, llamado intercambio emparejado.

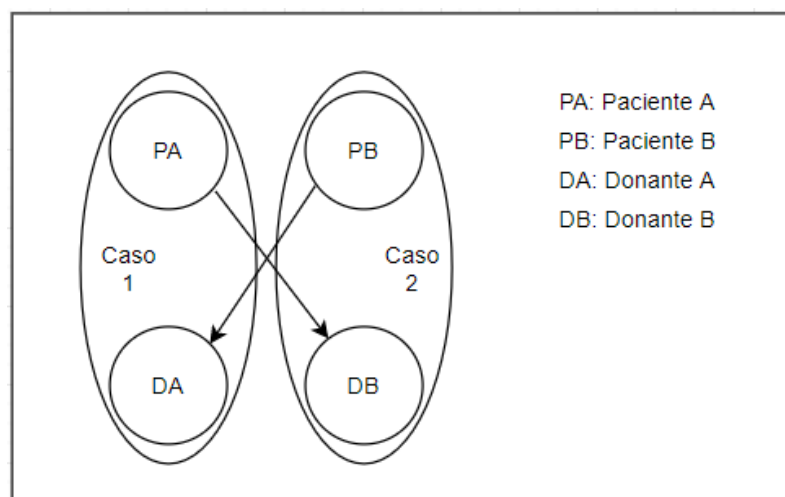
El trasplante simple involucra a una pareja de paciente-donador, en la cual cada persona enferma no tiene posibilidad de hacer un trasplante con su donante propuesto por motivos de compatibilidad. Derivado de esta situación, el intercambio emparejado propone que se tomen dos parejas de paciente-donador, y que cada paciente de cada pareja pueda recibir el trasplante del donador de la contraparte, creando una especie de intercambio, validando su compatibilidad. De esta manera se evita la pérdida de un potencial donante, que por motivos de compatibilidad no ha podido continuar con el protocolo de trasplante.

Respecto a la pérdida de potenciales donantes Rapaport (1986) establece que la eliminación continua de tantos donantes voluntarios de riñones físicamente elegibles y sanos, basado en requisitos inmunológicos no puede seguir siendo aceptada, en vista de la gran cantidad de personas necesitadas de este órgano. También explica que un enfoque factible para solventar esta problemática podría ser un intercambio internacional de donantes y receptores vivos relacionados, donde los riñones obtenidos del *pool* de donantes intrafamiliares incompatibles serían usados de manera interfamiliar, siguiendo los mismos lineamientos médicos éticos y morales que actualmente dirigen el trasplante de donante de riñón intrafamiliar vivo-relacionado.

Dicho registro internacional permitiría que los receptores, diagnosticados con enfermedad renal en etapa terminal, en cada familia junto con sus donantes vivos relacionados que no sean compatibles con ellos, sean colocados en un registro central de intercambio de órganos, lo que permitiría un intercambio directo de riñones entre dos familias determinadas, donde el donante A, que no es compatible con su propio receptor A, pero es compatible con el receptor B, sea la fuente de un riñón para el receptor B; mientras que el donante B, que es incompatible con su propio receptor B, pero es compatible con el receptor A, le daría un riñón al receptor A, como se muestra en la figura 1.

Por otro lado, debe prestarse especial atención a este proceso para hacer un intercambio emparejado de manera justa y eficiente, recordando las premisas éticas y las restricciones legales que engloban un proceso de trasplante (Congreso de la República de Guatemala, 1996). Existen algoritmos estadísticos que pueden ser aplicados a resolver el problema de la ordenación y asignación de paciente-donador.

Figura 1. **Intercambio emparejado**



Fuente: elaboración propia.

El modelo de *housing market* estudiado por Shapley y Scarf (1974), consiste en n agentes que poseen cada uno un bien indivisible, como una casa. Cada agente tiene derecho sobre todas las casas incluida la de él mismo, y no hay dinero en el mercado, lo que implica que el comercio solo es posible con casas. Derivado de este modelo, se presentaron diferentes algoritmos para la resolución de conflictos de bienes indivisibles.

El algoritmo *top trading cycle*, atribuido al economista y matemático norteamericano David Gale, calcula una asignación creando un intercambio virtual de prioridades, resolviendo problemas como la asignación justa de habitación en un complejo estudiantil, por ejemplo. A continuación, se describe el algoritmo *top trading cycle*.

Dado que el número de agentes es finito y que cada casa tiene un propietario, hay al menos un ciclo en un grafo dirigido resultante. En cada ciclo, se lleva a cabo la negociación correspondiente, debe recordarse que no hay dinero en el mercado y solo podrán ofrecer su propia casa a cambio de una de su preferencia, es decir, cada agente en el ciclo recibe la casa a la que apunta, para luego retirarse del mercado. Cabe recordar que un agente puede estar apuntando a su propia casa. El proceso continúa hasta que no queden agentes ni casas y la asignación final es aquella en la que cada agente recibe la casa con la que salió del mercado (Roth, Sónmez, & Ünver, 2003).

La prueba de que esta asignación es funcional es porque no puede existir colisión debido a que el agente que solicitó una casa ha salido ya del mercado, de modo que esa casa ya no está disponible y al agente le fue asignado la opción que necesitaba. La ineficiencia de este algoritmo se refleja cuando el mecanismo no puede garantizar que cada agente pueda adquirir una casa mejor que la que tenía anteriormente.

Entonces, es claro que el turno en que cada agente elije es fundamental. De modo que el primer agente en elegir tendrá una mayor probabilidad de encontrar la casa de su preferencia.

Abdulkadiroglu y Sónmez (1999) propusieron: el mecanismo *you request my house – I get your turn* (YRMH-IGYT) como propuesta evolutiva del *top trading cycle*. Con este algoritmo se podría asegurar que cada individuo en una lista de espera recibiera un beneficio igual o mejor que el que tenía actualmente, generando una eficiencia de Pareto.

El algoritmo YRMH-IGYT se denota de la siguiente manera:

- El orden de los agentes se elige de manera aleatoria
- Para cualquier lista de preferencias y ordenamiento, su salida se trabaja de la siguiente forma:
 - Asignar al primer agente su mejor opción, al segundo agente la mejor opción de las casas restantes, y continuar, hasta que alguien solicite la casa de un agente existente.
 - Si en ese punto el agente existente, a quien se le solicitó su casa, ya tiene otra casa asignada, entonces no interrumpir el proceso. De otra manera modificar el orden de la lista de tal forma que se coloque el agente existente al inicio de la lista y proceder con el mismo mecanismo.

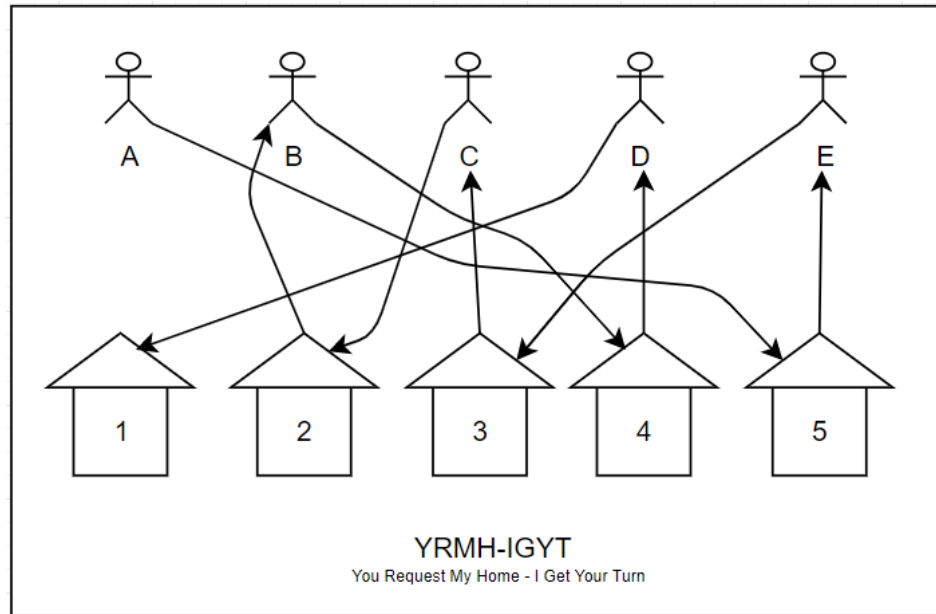
- Del mismo modo, mover cualquier agente existente a quien no se le ha asignado una casa, al inicio de la lista una vez que su casa haya sido asignada a alguien más.
- Si se forma un bucle en algún punto, remover todos los agentes del ciclo existente al asignarles las casas que solicitaron y continuar con el procedimiento.

La innovación clave del mecanismo YRMH-IGYT es que para cada persona a la que le fue solicitada su casa, se actualice su posición al inicio de la lista si es que aún no se le ha asignado una, y antes que su objeto de intercambio sea asignado. Como resultado el mecanismo YRMH-IGYT asegura a cada agente participante una casa mejor o igual que la propia, como se muestra en la figura 2.

Sin embargo, el campo de trasplante de riñón no solo consiste en pacientes con donadores, sino también en pacientes sin donadores, y donadores cadavéricos que no están relacionados con alguien en particular, lo que hace que estos algoritmos de ordenamiento y asignación sean cada vez más complejos.

Cabe recordar que lo que motivó a adaptar estos algoritmos en programas de intercambio de riñón, fue la pérdida constante de muchos donantes voluntarios elegibles, debido a incompatibilidades inmunológicas. Bajo estos procedimientos de intercambio un donador potencial, quien es incompatible con su receptor previsto, se le brinda el incentivo a continuar con el proceso, porque su donación hace posible que su receptor previsto sea trasplantado con un donante compatible.

Figura 2. **Diagrama de comportamiento del algoritmo YRMH-IGYT**



Fuente: elaboración propia.

2. METODOLOGÍA

2.1. Análisis de la información

Si bien existen similitudes claras entre el acomodamiento de casas y el intercambio de riñones, también hay diferencias importantes.

A manera de analogía, la contraparte de una casa y un agente existente, en el contexto de intercambio de riñón, sería una pareja donante-receptor. Este escenario permite representar como nuevos agentes, a los pacientes que no poseen donadores vivos relacionados. Las casas vacantes serían los donadores cadavéricos de riñón que no han sido asignados a algún paciente en particular. Esta analogía revela diferencias importantes entre los dos modelos: que la acomodación es estática, y que el conjunto de casas vacantes es finito.

El problema del intercambio de riñón, por otro lado, es dinámico y no es claro cuales donantes cadavéricos estarán disponibles, ni cuándo ni en qué condiciones. Esto es debido a la naturaleza de la donación cadavérica, puesto que esta ocurre cuando un ser humano ha fallecido bajo condiciones específicas, y ya sea la familia o la misma persona fallecida, con anterioridad y bajo consentimiento notarial, den la aprobación para una donación de órganos si fuera necesaria.

La propuesta contempla que los pacientes con donadores vivos incompatibles, sean asignados la lista de espera, reflejando prioridad en cada uno de ellos cuando el riñón de su donador registrado haya sido verificado como compatible con alguien de la misma lista.

2.2. Planteamiento del problema

En Guatemala, cada año, menos del 3 por ciento de personas que necesitan realizarse un trasplante de riñón logran hacerlo, según datos calculados con base en la investigación de campo realizada. Esto se debe en gran medida, a la dificultad que representa encontrar a un donador compatible, y a lo complicado que es para un médico gestionar una gran cantidad de datos. Lamentablemente, un gran porcentaje de potenciales donantes se pierden por términos de incompatibilidad con su paciente vivo no relacionado.

El trasplante renal es una de las dos opciones que se evalúan cuando una persona ha sido diagnosticada con insuficiencia renal crónica terminal, siendo esta la mejor opción ante cualquier otro tratamiento. La diálisis peritoneal y la hemodiálisis son procedimientos previos al trasplante, que se efectúan una vez el paciente es consciente de su condición y está en busca de un posible donante de riñón.

Los centros hospitalarios gubernamentales que ofrecen apoyo al paciente que ha sido diagnosticado con enfermedad renal crónica en Guatemala son:

- IGSS
- Hospital San Juan de Dios
- Hospital Roosevelt
- Fundanier
- Fundación AMOR
- UNAERC

Actualmente, los centros públicos de atención al enfermo renal cuentan con sistemas básicos de información para la administración y atención de los

pacientes con enfermedad renal. Estos sistemas ayudan en una administración básica, sin embargo, la alta demanda y la creciente prevalencia de la enfermedad hacen que el personal médico se vea limitado tanto en recursos como en tiempo de atención.

Si bien se conoce la necesidad de gestión de datos, es necesario ir más allá de un sistema de administración. La baja tasa de trasplantes de riñón al año, respecto a la demanda y necesidad que muestran los centros de atención al enfermo renal, reflejan la necesidad de adoptar nuevas formas de emparejamiento, como lo es el trasplante cruzado.

2.3. Propuesta de solución

Como resultado de la investigación realizada, se presenta una lista de requerimientos tanto funcionales como no funcionales, que denotan las necesidades fundamentales mínimas a cumplir y que fueron la guía respecto a la cual se desarrolló el prototipo de software.

2.3.1. Requerimientos funcionales

- Tener la capacidad de seleccionar al paciente del cual se necesita hacer la búsqueda de trasplante.
- Presentar los resultados de la búsqueda.
- Verificar el nivel de compatibilidad respecto al sistema ABO y el factor Rh.
- Buscar compatibilidades de forma directa.
- Buscar compatibilidades de forma cruzada.

2.3.2. Requerimientos no funcionales

- Salvaguardar la integridad física y emocional de los pacientes en lista de espera, al no exponer ni poner en riesgo de difusión los datos personales de los mismos.
- No exponer ni poner en riesgo de difusión los datos personales de los donantes involucrados en el proceso de selección de donante directo o cruzado.
- Utilizar bajo estrictos protocolos de seguridad los datos personales de los médicos involucrados en los posibles procesos de trasplante.
- Crear una búsqueda eficiente, tanto en tiempo como en la calidad de los resultados.

2.3.3. Algoritmo ARTC

Basado en las necesidades actuales del sistema de salud y con respecto a los requerimientos expresados por la jefe adjunto del servicio de trasplante renal del IGSS, la nefróloga Dra. María Elena Ramírez Romero, a finales de 2019, el Algoritmo de Resolución para Trasplante Cruzado (ARTC) ha sido creado, implementándolo en la propuesta de software que se ha estructurado de la siguiente manera:

- El médico selecciona el número de afiliación del paciente en cuestión. Cabe resaltar que, cada paciente en este sistema tiene al menos un donante vivo no relacionado en espera a ser seleccionado para un trasplante cruzado.

- Según el número de afiliación, el sistema hace una búsqueda en los resultados de los exámenes del paciente en cuestión, laboratorios y características físicas, como: peso, grupo sanguíneo, edad, entre otros.
- El sistema examinará, según el grupo sanguíneo recuperado, que grado de compatibilidad tiene el afiliado con el donador vivo no relacionado, previamente registrado en el sistema.
- El resultado se dará en formato de una cifra única, que será el porcentaje de compatibilidad. Este porcentaje es generado por el sistema bajo las siguientes premisas:
 - Se pondera el tipo de sangre en una escala de 1 a 100. Se asigna 10 puntos en el momento que sean compatible según tipo de sangre. Esto quiere decir que, si un paciente posee un tipo de sangre B+ podrá recibir una donación de O+ B+ O- B-, en cualquiera de estos casos se asignará 10 puntos al acumulado general, incrementando la ponderación mientras más difícil sea crear una compatibilidad, por ejemplo, para pacientes AB.
 - Se divide la distribución de antígenos en dos clases principales: clase 1 y clase 2. La primera de ellas está compuesta por antígenos de tipo HLA-A, HLA-B o HLA-C. La clase 2 contiene antígenos de tipo HLA-DR o HLA-DQ.
 - Se pondera la compatibilidad en una escala de 1 a 100, según cada antígeno. Esta ponderación estará basada en el tipo de antígeno leucocitario humano y la clase a la que pertenezca.

- Los antígenos de clase 1; HLA-A, HLA-B y HLA-C, recibirán una ponderación de 10 puntos, mientras que la clase 2; HLA-DR y HLA-DQ, recibirán una ponderación de 15 puntos cada vez que se compartan en paciente-donador.
- Cuando exista una coincidencia o *match* entre los antígenos paciente-donador, el sistema tomará la ponderación de ese antígeno para sumarlo al resultado acumulado general.
- Se suma la ponderación de cada individuo, para luego sumar el total de compatibilidad descrita en el inciso 4. Este proceso obtendrá el resultado de la compatibilidad de un paciente receptor, pero por ser un intercambio emparejado, el sistema también hará el análisis para la otra combinación donador-paciente.
- Luego de analizar el resultado de la compatibilidad en cada pareja de un trasplante cruzado, se hace un promedio para obtener un porcentaje de compatibilidad general.
- El resultado se expresa como un porcentaje, el cual será llamado índice de compatibilidad, y se ordenará respecto a la combinación con mejor probabilidad de éxito según los resultados de compatibilidad.
- Una vez el resultado sea mostrado, el médico nefrólogo podrá hacer uso de este reporte para evaluar el caso y de ser posible, iniciar con el protocolo de trasplante.

Cabe resaltar que el médico juega un rol fundamental en el proceso, puesto que es él quien podrá seleccionar al afiliado, del cual el algoritmo hará búsqueda de compatibilidad cruzada.

Las funciones principales utilizadas por el ARTC fueron construidas con base en las necesidades antes expuestas. Estas funciones son:

- buscarCompatibles()
- analizarCasosCruzados()
- establecerPorcentajeDeCompatibilidad()
- buscarDonante()

A continuación, se detallan las funciones principales del ARTC, utilizado en el prototipo de software:

Figura 3. **Función: analizarCasosCruzados**

```
analizarCasosCruzados(pacienteA, PCDA)

//PCDA : paciente compatible con donante del PACIENTE A
compatibilidad = 0

compatibilidadPrimeraPareja
= establecerPorcentajeDeCompatibilidad(pacienteA.ListaAntigenos[ ], PCDA.getDonador.ListaAntigenos[ ])

compatibilidadSegundaPareja
= establecerPorcentajeDeCompatibilidad(PCDA.ListaAntigenos[ ], pacienteA.getDonador.ListaAntigenos[ ])

//se hace un promedio de compatibilidades para tener un número único representativo
compatibilidad = ( compatibilidadPrimeraPareja + compatibilidadSegundaPareja )/2

devolver compatibilidad

fin analizarCasosCruzados
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Función: buscarCasosCompatibles**

```
buscarCasosCompatibles(listaTSCPA[ ], listaTSCDA[ ])
// Lista de donantes compatibles con PACIENTE A
nueva listaDCPA[ ]

// Lista de pacientes compatibles con DONANTE de PACIENTE A
nueva listaPCDA[ ]

//se hace la búsqueda de donantes compatibles con PACIENTE A
Recorrer desde i = 0 hasta listaPoolDeDonantesGeneral[ ].tamaño() cada i = i + 1
    Recorrer desde j = 0 hasta listaTSCPA[ ].tamaño() cada j = j + 1
        Si listaPoolDeDonantesGeneral[i].getDonante().getTipoSangreDonante()
            es igual a
                listaTSCPA[j].getTipoSangre() entonces
                    listaDCPA[ ].agregar( listaPoolDeDonantesGeneral[i].getDonante())
        fin Si
    fin Recorrer
fin Recorrer

/*Respecto a los donantes encontrados, se busca que pacientes de estos donantes
son compatibles con el DONANTE A */
Recorrer desde i = 0 hasta listaDCPA[ ].tamaño() cada i = i + 1
    Recorrer desde j = 0 hasta listaTSCDA[ ].tamaño() cada j = j + 1
        Si listaDCPA[i].getDonante().getPacienteRelacionado().getTipoSangre()
            es igual a
                listaTSCDA[j].getTipoSangre() entonces
                    listaPCDA[ ].agregar( listaDCPA[i].getPacienteRelacionado() )
        fin Si
    fin Recorrer
fin Recorrer

//esta lista representa a los pacientes compatibles con el DONANTE A
devolver listaPCDA[ ]

fin buscarCasosCompatibles
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Función: establecerPorcentajeDeCompatibilidad**

```
establecerPorcentajeDeCompatibilidad( pacienteListaAntigenos[ ], donadorListaAntigenos[ ] )  
  
compatibilidad = 10 //para este momento se asigna 10 puntos por compatibilidad sanguínea  
  
  Recorrer desde i = 0 hasta donadorListaAntigenos[].tamaño cada i = i + 1  
  
    Recorrer desde j = 0 hasta pacienteListaAntigenos[].tamaño cada j = j + 1  
  
      Si donadorListaAntigenos[i].getAntigeno()  
      Es igual a  
      pacienteListaAntigenos[j].getAntigeno() entonces  
  
        en caso que pacienteListaAntigenos[j].getClase() sea  
        //la clase 1 de antigenos representa a los tipos HLA-A, HLA-B, y HLA-C  
        clase 1  
        compatibilidad = compatibilidad + 10  
        salir  
  
        //la clase 2 de antigenos representa a los tipos HLA-DR y HLA-DQ  
        clase 2  
        //ponderación es mayor debido a que es mas difícil encontrar match  
        compatibilidad = compatibilidad + 15  
        salir  
  
      fin de casos  
  
    fin Si  
  
  fin Recorrer  
  
fin Recorrer  
  
devolver compatibilidad  
fin establecerPorcentajeDeCompatibilidad
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Función: buscarDonante**

```
buscarDonante(afiliacion)

//buscamos al paciente en la lista de espera respecto a su número de afiliación
pacienteA = buscarPaciente(afiliacion)

//buscamos al donador registrado del paciente en cuestión
buscarDonador(pacienteA)

Si pacienteA.tipoSangre() es compatible con donadora.tipoSangre()

    //aquí se evalúan trasplantes directos
    establecerPorcentajeDeCompatibilidad(pacienteA.listaAntigenos, donadorA.listaAntigenos)

    imprimir(porcentajeDeCompatibilidad)

//si no se encuentran directos se buscan cruzados
de lo contrario

    //Lista de tipos de sangre compatibles con el PACIENTE A
    listaTSCPA[ ] = buscarListaDeTiposDeSangreCompatibles(pacienteA)

    //Lista de tipos de sangre compatibles con el DONANTE del PACIENTE A
    listaTSCDA[ ] = buscarListaDeTiposDeSangreCompatibles(donadorA)

    listaPCDA[ ] = buscarCasosCompatibles(listaTSCPA[ ], listaTSCDA[ ])

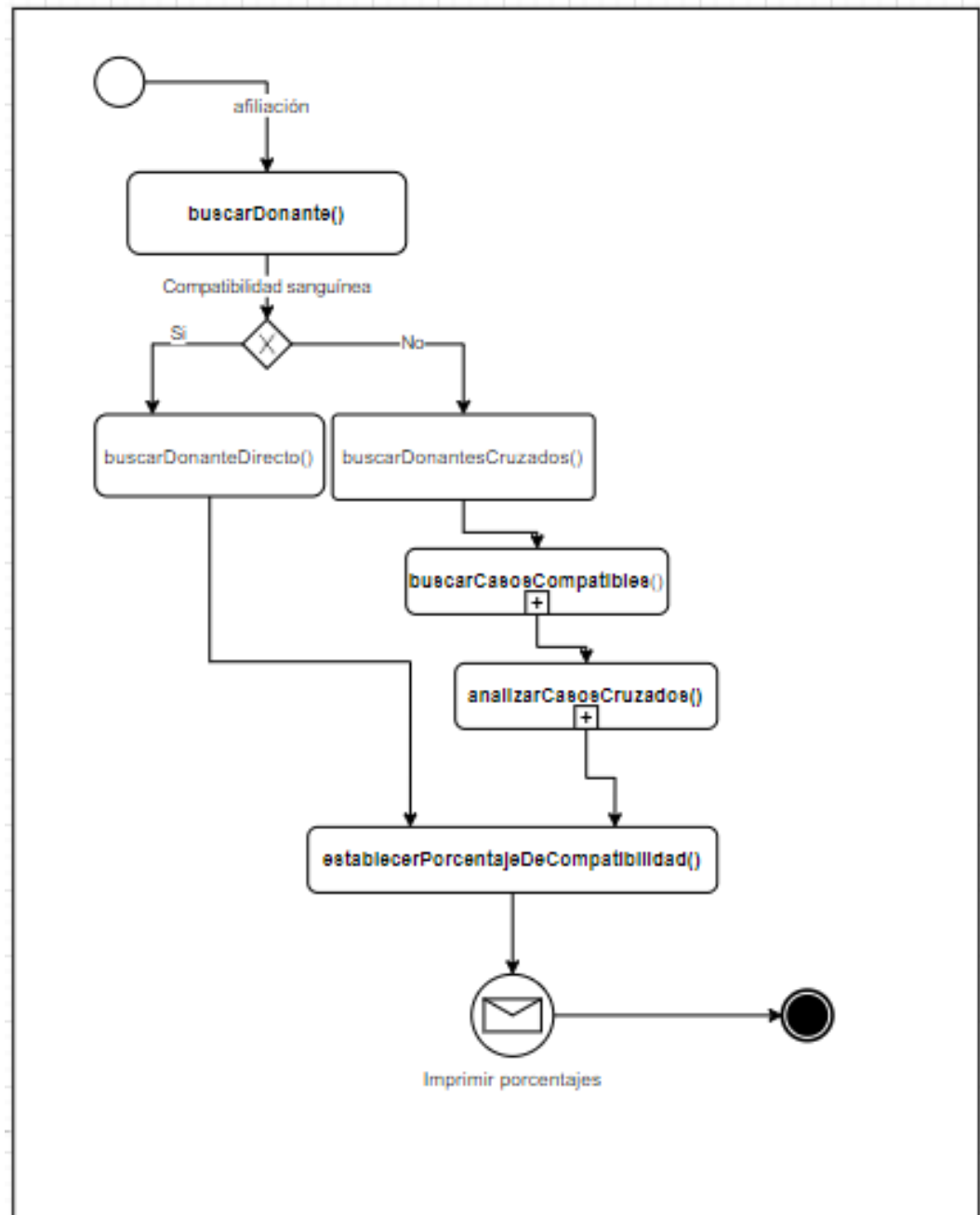
    Recorrer desde i = 0 hasta listaPCDA[ ].tamaño cada i = i + 1
        compatibilidad = analizarCasosCruzados(pacienteA, listaPCDA[ i ])
        listaCompatibilidades[ ].agregar(compatibilidad)
    fin Recorrer

    //Se imprime la lista de porcentajes de mayor a menor
    imprimir(listaCompatibilidades[ ].ordenar())

fin Si
fin buscarDonante
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Diagrama de flujo de funciones en el ARTC



Fuente: elaboración propia.

2.3.4. Tecnologías

El prototipo de software fue desarrollado con el lenguaje de programación *Java*, creado por *Sun Microsystems*, distribuido y gestionado a partir de 2010, por *Oracle* y cuenta con una licencia *GNU GPL/ Java Community Process*. La base de datos utilizada fue *Oracle Database 18c Express Edition*. El DBMS utilizado es fue *Oracle Sql Developer* versión 20.4.1, y *Java SE Runtime Environment 8*.

2.4. Procesamiento de la información

Los resultados fueron procesados mediante el método de síntesis de datos, tanto de la investigación de campo como de los resultados propios del ARTC.

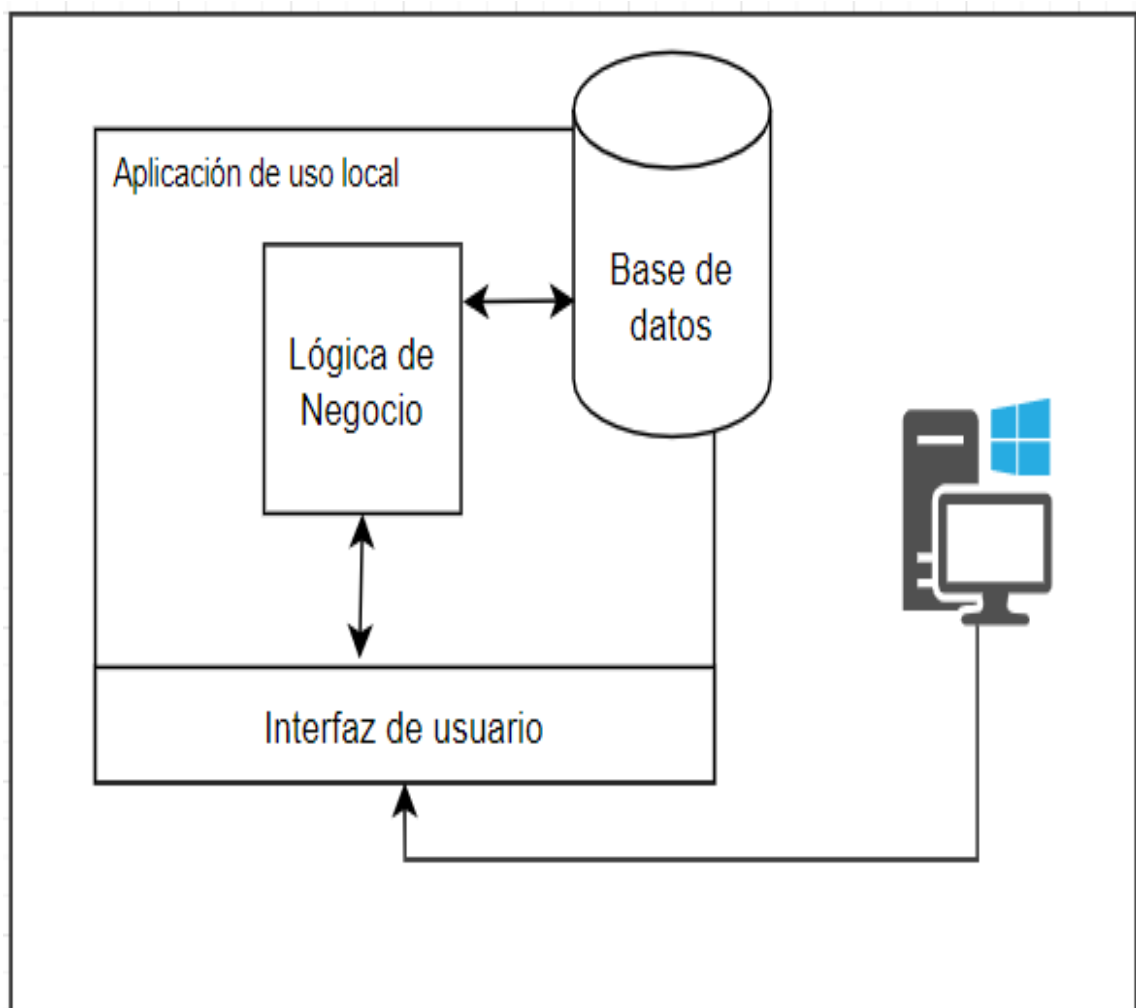
La síntesis de datos es la presentación ordenada y resumida de los elementos recopilados durante la investigación. Estos datos fueron procesados mediante hojas de cálculo Excel, distribuido por Microsoft Corp.

3. PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO

El prototipo de software desarrollado, en el cual fue implementado el ARTC, se delimita bajo ciertos parámetros que se describen en las siguientes figuras.

La arquitectura propuesta se basa en un modelo básico de software para el uso tecnológico en forma local, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. **Arquitectura básica de software de uso local**

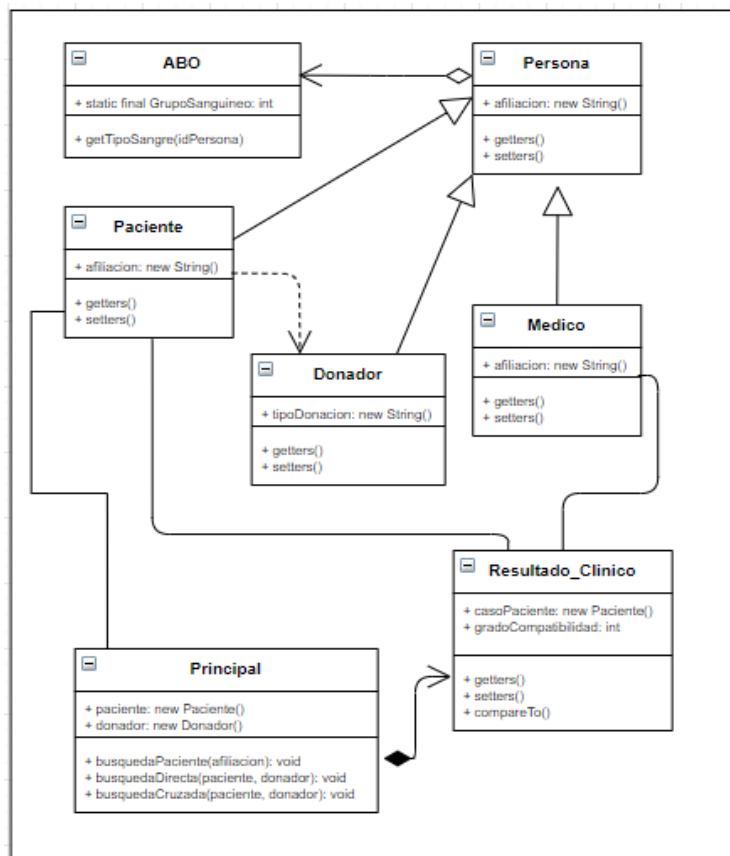


Fuente: elaboración propia.

Un diagrama de Clase es una representación gráfica de un conjunto de objetos que comparten características en común, en el cual se especifica el nombre, atributos y métodos asociados. En términos informáticos, es un conjunto de variables, métodos y eventos. Las clases principales y utilizadas en el prototipo se muestran en la figura 9.

Las clases paciente y médico se extienden de la clase persona, la cual se compone de atributos como, número de afiliación y datos personales. La clase ABO se refiere al código que lleva el control de los grupos sanguíneos, su ponderación y nomenclatura.

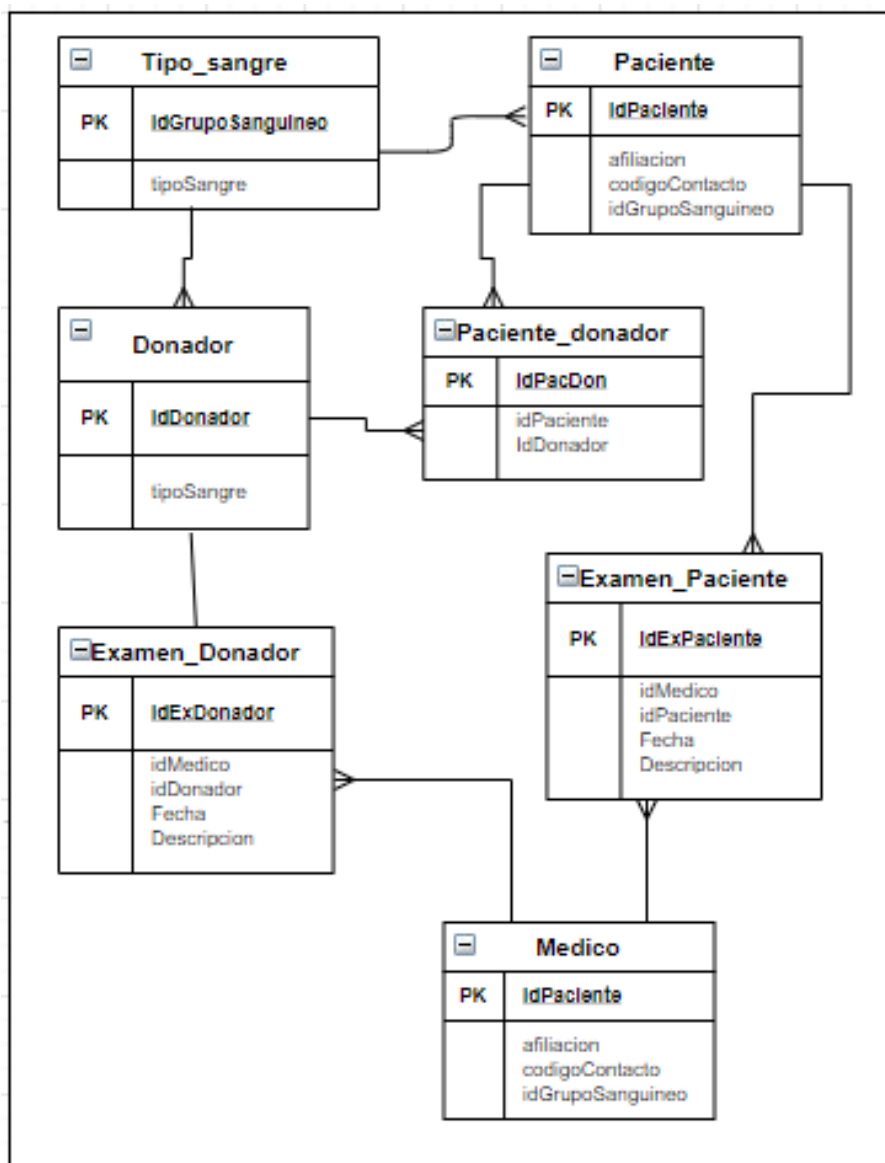
Figura 9. Diagrama de clases



Fuente: elaboración propia.

El diagrama Entidad-Relación muestra el flujo y relación entre entidades de que pertenecen a un mismo sistema. Para esta investigación se identificaron las entidades Paciente, Tipo_sangre, Donador, Paciente_donador, Examen_paciente, Examen_donador y Médico.

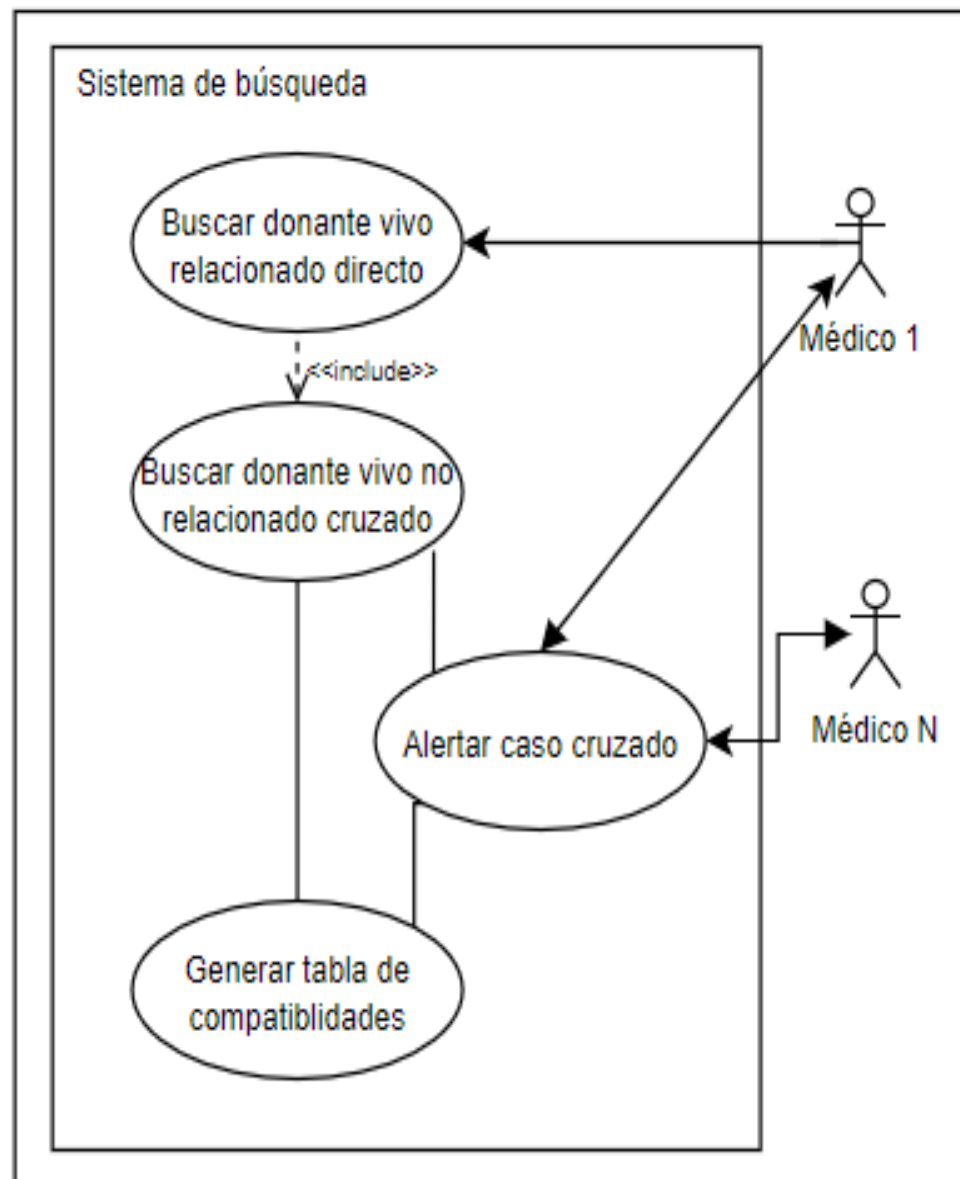
Figura 10. Diagrama Entidad-Relación



Fuente: elaboración propia.

El caso de uso especializado de la figura 11, busca representar el proceso básico por medio del cual un médico hace uso del sistema y como este debería procesar un caso típico.

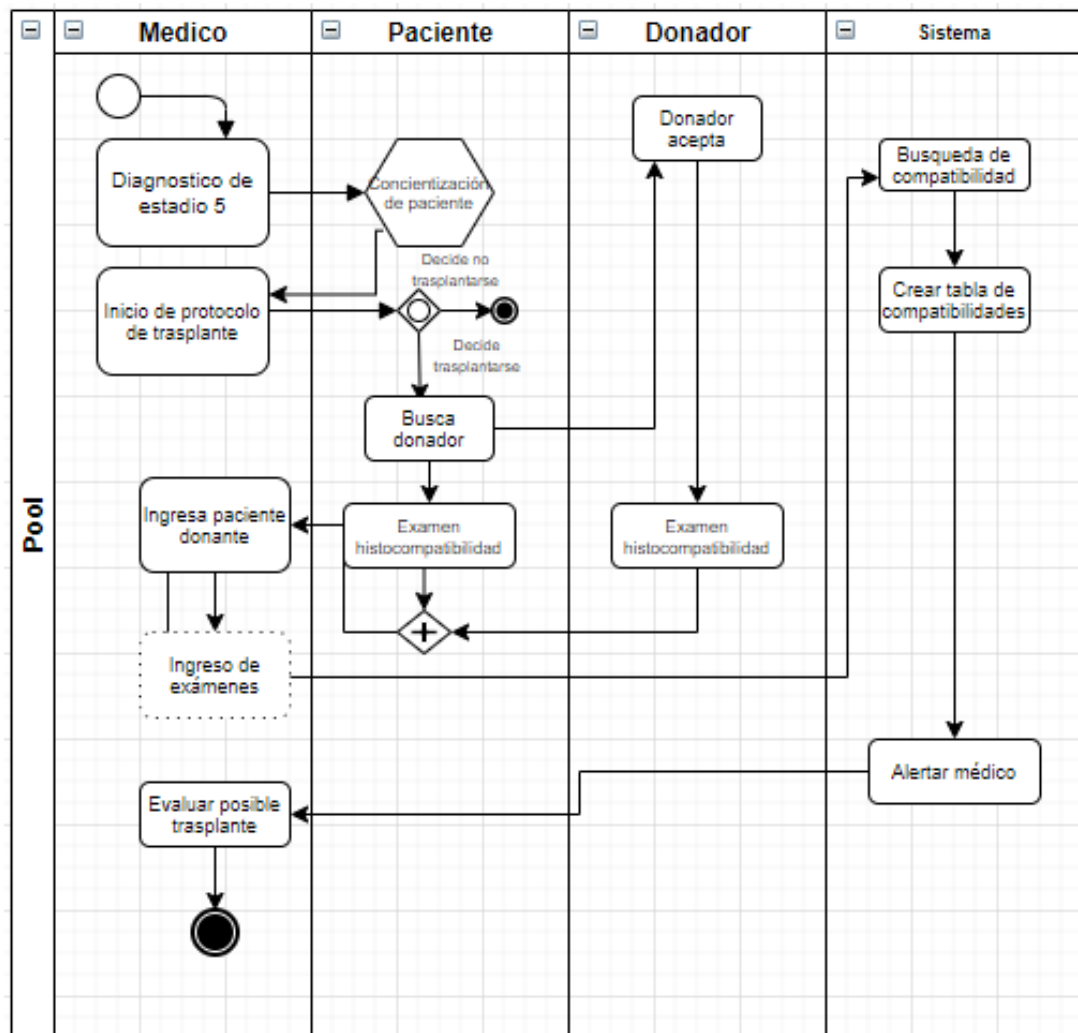
Figura 11. **Caso de uso especializado: Sistema de búsqueda**



Fuente: elaboración propia.

El diagrama de actividades muestra como los diferentes roles interactúan con el sistema. El médico es quien inicia cada proceso. Se ilustra como fluye su interacción con el paciente en un protocolo de trasplante ideal. Si el paciente decide trasplantarse entonces el proceso continua relacionando las diferentes actividades para realizar un trasplante cruzado, como se muestra en la figura 12.

Figura 12. Diagrama de actividades



Fuente: elaboración propia.

3.1. Metodología de desarrollo

La metodología se define como aquella disciplina que indicará que métodos y técnicas hay que usar en cada fase del ciclo de vida de desarrollo del proyecto. Existen diferentes metodologías para producir software de una forma organizada, empleando una colección de técnicas y convenciones de notación predefinidas, así como técnicas de diseño de programas (Besembel & Narciso, 2009).

Según Qumer y Henderson-Sellers (2008) la agilidad puede definirse como:

Comportamiento persistente o habilidad, de entidad sensible, que presenta flexibilidad para adaptarse a los cambios esperados o inesperados, rápidamente; persigue la duración más corta en tiempo, usa instrumentos económicos.

La metodología de desarrollo utilizada fue Scrum. Se entiende por Scrum a la forma ágil de trabajo aplicada al desarrollo de software. El término Scrum se ha acoplado al argot tecnológico debido a que representa, trabajo en equipo y extrema coordinación entre cada una de las partes.

Schwaber y Sutherland (2020) definen a *Scrum* como un marco ligero que ayuda a las personas, equipos y organizaciones a generar valor a través de soluciones adaptables para problemas complejos.

El Instituto Internacional de Scrum es una institución independiente que ayuda a organizaciones y profesionales a acreditarse con certificaciones reconocidas mundialmente. Esta institución define *Scrum* de la siguiente manera:

- *Scrum* es un marco de gestión ágil de proyectos, utilizado principalmente para el desarrollo de software. Describe un enfoque iterativo e incremental para la elaboración de proyectos.
- Scrum se puede utilizar en todo tipo de elaboración de software: para desarrollar paquetes completos, partes de sistemas más grandes para clientes o bien para proyectos internos.

La metodología *Scrum* posee varios componentes esenciales:

- Roles: *Scrum Master*, *Scrum Product Owner* y el *Scrum Team*.
- *Scrum Product Backlog*: contiene los requerimientos del usuario final.
- *Sprints*
- Eventos *Scrum*: *Sprint Planning Meeting*, *Daily Scrum Meeting*, *Sprint Review Meeting*, *Sprint Retrospective Meeting*.

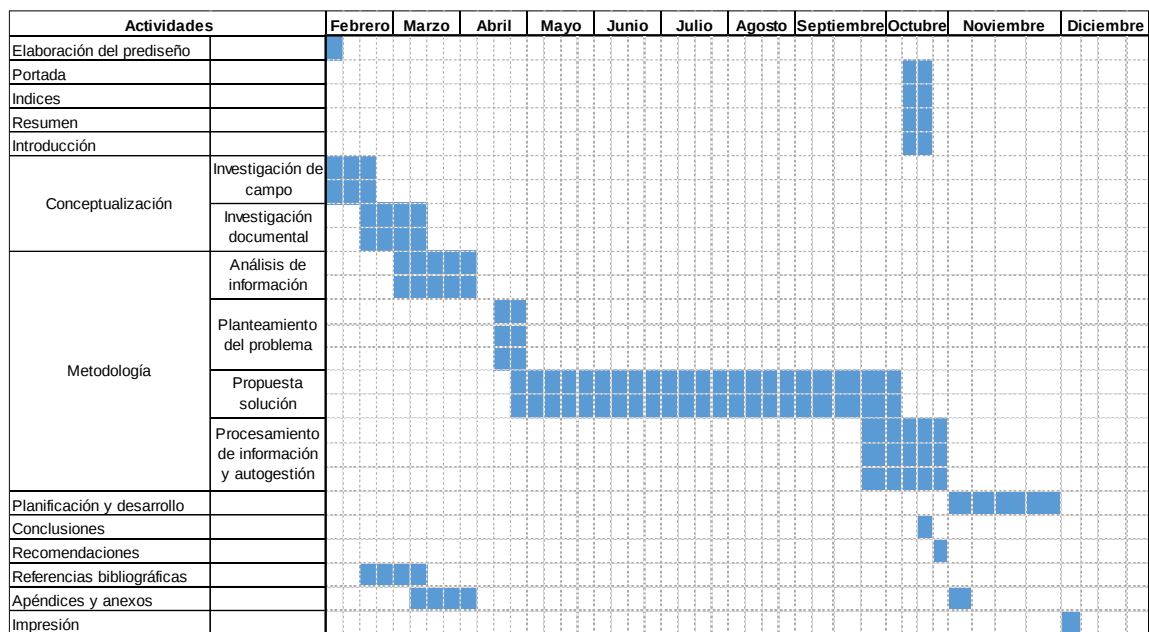
Cada uno de estos componentes se relacionan de tal manera que se incentive la comunicación y se agilicen los procesos. Esta metodología fue adaptada de tal modo que los componentes básicos pudieran usarse para el desarrollo del proyecto.

Bajo la metodología Scrum, cada requerimiento que se describe en el *Scrum Product Backlog* se realiza dentro de un periodo de tiempo definido, llamado Sprint, también conocido como iteración. En esta investigación se utilizaron *Sprints* de 4 semanas cada uno, reduciendo los 3 roles mencionados a uno solo, Scrum Master, bajo el cual se realizaron los eventos adecuándolos a un entorno individual, *Sprint Planning*, *Daily Scrum*, *Sprint Review* y *Sprint Retrospective*.

3.2. Cronograma e iteraciones

La investigación fue desarrollada en fases, tanto para el proyecto como para la presentación de la misma, desglosando en tiempo cada tarea específica. En la figura 13 se puede evidenciar la planificación y ejecución de actividades según su grado de esfuerzo, realizadas a lo largo del año 2020.

Figura 13. Actividades de investigación

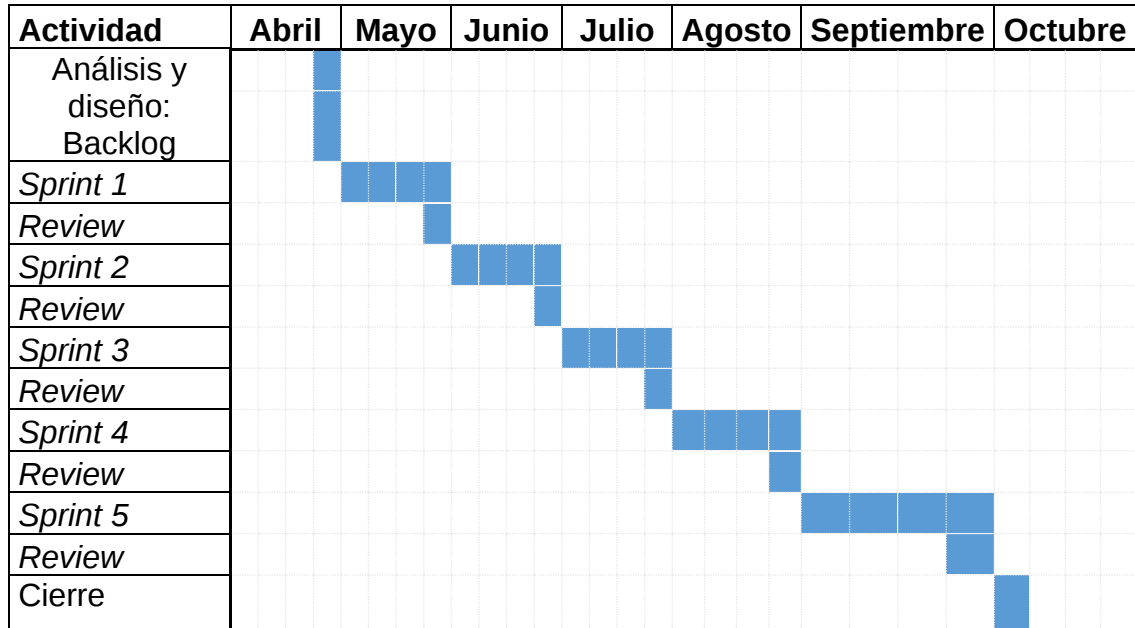


Fuente: elaboración propia.

Cada *Sprint* o iteración tuvo una duración de 4 semanas, siendo un total de 5 *Sprints*. Cada final de sprint se realizó una *Sprint Review* con el objetivo de evaluar los avances y ajustar los requerimientos descritos en el *Product Backlog*. También se realizó, una vez finalizado cada *Sprint*, un *Sprint Retrospective* con la finalidad de responder a preguntas basadas en:

- Aspectos y procesos positivos durante el *sprint*
- Aspectos y procesos negativos durante el *sprint*
- Aspecto y procesos que se puedan mejorar para el próximo *sprint*

Figura 14. Actividades de prototipado



Fuente: elaboración propia.

3.3. Resultados y discusión

El software realizado permite salvaguardar la identidad e integridad tanto del paciente, del donante y del médico a cargo del caso clínico. Se diseñó de tal manera que los datos personales no son utilizados ni consultados en el proceso, por lo mismo, toda la búsqueda se lleva a cabo de manera anónima. Esto permite cumplir con lo estipulado por el Congreso de la República de Guatemala (1996) en el decreto número 91-96, que en gran parte regula y evalúa a los bancos de órganos y tejidos, esto con el fin, de no exponer la identidad de ningún agente en el proceso de trasplante.

El software administra, empareja y pondera el grado de compatibilidad de cada paciente y donante en el proceso de intercambio emparejado. De esta manera permite a los médicos evaluar en tiempo real, la mejor opción de

trasplante cruzado para su paciente en cuestión, reduciendo así, una brecha enorme de tiempo y recursos, que actualmente los servicios de tecnología de salud no ofrecen.

El uso del algoritmo de software refleja en sus resultados, que puede emparejar basado en una búsqueda de donante directo en una taza de 54 por ciento de la lista total. Esto demuestra eficiencia en el proceso de búsqueda directa de donante relacionado y no relacionado. Sin embargo, esto implica que el 46 por ciento de la población en lista de espera no tendrá acceso a un trasplante. Este problema denota la situación actual de los pacientes que tienen la necesidad de ser trasplantados. Basado en este inconveniente, el algoritmo inicia un proceso de emparejamiento para potenciales trasplantes cruzados, demostrando un rendimiento del 43 por ciento de pacientes emparejados de manera cruzado sobre la lista de espera.

El índice de compatibilidad promedio es de 27 por ciento. Esto quiere decir que, cada caso de emparejamiento paciente-donador tiene como mínimo, 27 por ciento de compatibilidad. Si bien este parece un índice muy bajo, cabe recordar que este número surge de la sumatoria de características previamente ponderadas, como el tipo de sangre y la clasificación de antígenos. Por consiguiente, se puede deducir que el índice de compatibilidad es directamente proporcional al grado de ponderación de cada característica física, fisiológica y a la cantidad de características que se toman en cuenta como; peso, índice de masa corporal, edad, y ponderación que el médico haya otorgado al inicio del proceso.

Solo el 3 por ciento de la población de la lista de espera aplicaría una cadena de donación. Este término será utilizado cuando el algoritmo no encuentre relación directa ni cruzada para un paciente, lo que por consiguiente

podría suponer el uso de una cadena de donación, sin embargo, ese algoritmo no está contemplado en esta investigación.

Es posible ajustar los parámetros de búsqueda, los índices de respuesta y control de balances, siempre y cuando sea justificado por un médico profesional, de manera que se busque la mejora continua de la herramienta.

El ARTC posee una complejidad algorítmica lineal $O_{\max}(m)$, bajo la premisa que el proceso inicia con la búsqueda a partir de un paciente. La generalización del algoritmo para todos los pacientes tiene una complejidad algorítmica $O_{\max}(n*m)$, siendo n el número de pacientes en lista de espera por un riñón y m el número de donantes vivos relacionados y no relacionados que pertenecen al sistema.

3.4. Prototipos funcionales

El ARTC muestra evidencias satisfactorias cuando se comparan los resultados producidos mediante la búsqueda directa con los resultados de una búsqueda cruzada.

Cabe resaltar que parte de los propósitos de esta investigación es proponer un modelo que le permita al médico evaluar diferentes opciones de trasplante bajo una búsqueda cruzada, y que para el paciente que no tenía posibilidad de trasplantarse por medio de una donación directa, se le pueda ofrecer otra oportunidad mediante el trasplante cruzado. El ARTC genera un índice de compatibilidad de manera directa respecto al donante asociado, a la vez que, le muestra al médico una serie ordenada de casos compatibles bajo una búsqueda cruzada, para que pueda evaluar la mejor opción para el paciente en cuestión.

El ARTC muestra la descripción de un caso que no tenía compatibilidad directa alguna, entre paciente y donante. Analiza su tipo de sangre y hace una verificación de la compatibilidad respecto a esta, sin embargo, evalúa si existen antígenos en común y muestra la media aritmética de la compatibilidad entre antígenos. En la figura 15 se muestra como el caso del paciente con número de afiliación 318, posee al donante con código de identificación 38912, no tiene compatibilidad directa alguna. También, se muestran los antígenos asociados al paciente y donador que están siendo analizados.

Figura 15. **Búsqueda directa: afiliado 318**

Inicio Acerca de

Conexión: On

Búsqueda directa

Seleccionar afiliado: 318 ▼ Compatibilidad sanguínea: (?) No existe

Buscar Casos candidatos: 0

Media aritmética: (?) 20

Compatibilidad directa

ID	TRACK	ABO
PACIENTE	18485	A+
DONADOR	38912	B+

Antígenos

PACIENTE	DONANTE
23	25
15	23
36	29
45	40
59	55
58	58
71	83
70	74
92	89
85	90

Fuente: elaboración propia.

El ARTC analizó el caso del paciente con número de afiliación 318, el cual de manera directa se ha demostrado que no tiene compatibilidad. Cuando el análisis se hace con una búsqueda cruzada, su muestran 5 casos candidatos, ordenados según el índice de compatibilidad. Esto le permite al médico tener una visión objetiva, ordenada, limpia y transparente del proceso de selección y asignación de un posible trasplante cruzado.

Figura 16. **Búsqueda cruzada: afiliado 318**

Inicio Acerca de

Conexión: On

Búsqueda cruzada

Seleccionar afiliado: 318 ▼
 Compatibilidad sanguínea: ^(?) No existe
 Casos candidatos: 5
 Media aritmética: ^(?) 24

Buscar

Compatibilidad directa

ID	TRACK	ABO
PACIENTE	18485	A+
DONADOR	38912	B+

CASE	HOPE
62	40%
24	35%
32	22%
81	15%
39	10%

Antígenos

PACIENTE	DONANTE
9	20
5	11
35	38
47	45
55	53
57	58
74	82
67	79
90	89
86	87

Fuente: elaboración propia.

El caso con número de afiliación 342 muestra que existe compatibilidad sanguínea y que comparten entre paciente y donador un antígeno de clase A. Esto genera un índice de compatibilidad de 10. Si bien el médico puede concluir que existe posibilidad de iniciar un proceso de trasplante, el ARTC tratará de encontrar mejores opciones por medio de búsquedas cruzadas.

Figura 17. **Búsqueda directa: afiliado 342**

Inicio Acerca de

Conexión: On

Búsqueda directa

Seleccionar afiliado: 342
Compatibilidad sanguínea: ^(?) Existe
Casos candidatos: 1
Media aritmética: ^(?) 10
Buscar

Compatibilidad directa

ID	TRACK	ABO
PACIENTE	10312	A+
DONADOR	35776	O+

Antígenos

PACIENTE	DONANTE
4	2
7	19
41	39
34	35
55	51
54	57
80	68
81	79
86	93
88	90

Fuente: elaboración propia.

El beneficio generado por medio de la búsqueda cruzada radica no solo en correcta gestión de las identidades de los pacientes y donantes, sino en la reducción significativa en el tiempo de búsqueda.

Una vez analizado el caso con número de afiliación 342 de forma directa, se sugiere que a pesar de existir compatibilidad, se necesita saber si existe una forma más eficiente de emparejar al donante y al paciente en cuestión.

Figura 18. **Búsqueda cruzada: afiliado 342**

Inicio Acerca de

Conexión: **On**

Búsqueda cruzada

Seleccionar afiliado: 342

Compatibilidad sanguínea: ^(?) Existe
Casos candidatos: 37
Media aritmética: ^(?) 27

Compatibilidad directa

ID	TRACK	ABO
PACIENTE	10312	A+
DONADOR	35776	O+

CASE	HOPE
8	52%
44	42%
79	40%
65	40%
10	40%

Antígenos

PACIENTE	DONANTE
10	23
9	23
29	30
27	27
54	59
51	55
83	80
63	61
89	88
91	86

Fuente: elaboración propia.

El ARTC, respecto al paciente con número de afiliación 342 hace una búsqueda cruzada y encuentra 37 casos paciente-donador candidatos para poder hacer un trasplante cruzado. Esto refleja claramente una eficiencia en el proceso de búsqueda y asignación de donadores, encontrando un índice de compatibilidad promedio de 27, siendo el índice de compatibilidad más alto de 52.

3.5. Identificación y mitigación de riesgos

La gestión de riesgos puede entenderse como la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas con el fin de identificar, analizar, evaluar, tratar y realizar el seguimiento de un posible incidente (Hardaker,2004). Por la naturaleza de esta investigación, se presenta un análisis cualitativo de los riesgos asociados tanto en el uso del prototipo funcional, como riesgos de implementación y uso.

Tabla 1. Gestión de riesgos

Riesgo	Probabilidad	Prioridad	Impacto	Causa	Gestión
Conexión fallida a base de datos.	Baja	Alta	Alto	Credenciales de autenticación hacia base de datos no son las adecuadas.	Revisión de manual de instalación para una configuración adecuada.
				El IDE no puede encontrar la librería ojdbc.jar para poder establecer la conexión con la base de datos.	Descargar e instalar librería ojdbc7.jar. Puede encontrarse en https://www.oracle.com/database/technologies/jdbc-drivers-12c-downloads.html
					Colocar librería ODBC en la ruta adecuada. Las librerías se adjuntan en la carpeta raíz del proyecto.
Dificultad para interpretación de resultados.	Media	Alta	Bajo	Complicación para interpretación de encabezados.	Dirigirse al glosario de la investigación para identificar función de encabezados de tablas.
Dificultad para interpretación de compatibilidad sanguínea.	Baja	Baja	Bajo	Desconocimiento de tabla de compatibilidades sanguíneas.	Se ha colocado un cuadro de ayuda para interpretación de compatibilidades sanguíneas. Revisar manual de usuario.
Dificultad para interpretación de proceso de cálculo de media aritmética.	Baja	Baja	Bajo	Desconocimiento de cálculo de media aritmética.	Se ha colocado un cuadro de ayuda para interpretación de cálculo de media aritmética. Revisar manual de usuario.
Extracción ilegal o pérdida de base de datos.	Alta	Alta	Bajo	Mala gestión de protocolos institucionales.	La base de dato no almacena datos personales. Por lo que no puede encontrarse referencia personal ni de contacto de ninguno de los actores, dígame paciente o donador.

Fuente: elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

1. Si bien es clara la necesidad de implementar sistemas de información en el proceso de trasplante renal; el diseño, desarrollo e investigación requieren de un esfuerzo multidisciplinario, tanto del campo de tecnología como de salud. El modelo propuesto, ARTC, tiene la capacidad de identificar y almacenar a los potenciales donantes, lo que permite aumentar significativamente la probabilidad de crear un trasplante cruzado. Todo esto sin comprometer la integridad de los agentes involucrados en el proceso de trasplante.
2. El algoritmo desarrollado para búsqueda para trasplantes cruzados está propuesto como el siguiente paso de evolución en el proceso de trasplantes en el país, permitiendo que pacientes que no cuentan con donantes directos puedan optar a un trasplante cruzado como una alternativa viable.
3. La dificultad que representa para un paciente encontrar a un donante de riñón compatible, es actualmente uno de los principales retos que enfrenta el sistema de salud en Guatemala, teniendo un impacto directo tanto en el presupuesto, como en el tiempo. El modelo propuesto, al generar más del 40 por ciento de compatibilidades cruzadas sobre la lista de pacientes que necesitan un trasplante renal, permite reducir el tiempo de espera por un riñón, al crear los enlaces necesarios para aumentar la cantidad de casos potenciales de trasplantes cruzados y directos. Con esto no solo se reducen costes de manutención del enfermo renal, sino más importante aún, se aumenta la esperanza de vida del paciente trasplantado.

5. RECOMENDACIONES

1. Actualizar los datos de pacientes y donadores constantemente, esto con el fin de no crear emparejamientos erróneos o inexistentes en un contexto real.
2. Para obtener resultados más justos y eficientes, es necesario agregar más centros de trasplante a la red, de esta manera las probabilidades de encontrar donantes compatibles aumentarán y los tiempos de espera se reducirán.
3. Extender los estudios expuestos en este trabajo de investigación de modo que pueda someterse a un proceso de mejora continua.
4. Analizar la posibilidad de generar algoritmos para cadenas de donación, de modo que pueda asegurarse la eficiencia en el proceso de trasplante.
5. Con respecto al desarrollo de software, establecer procedimientos estandarizados en el desarrollo del prototipo, con el objeto reducir el tiempo de implementación para futuras pruebas.
6. Agregar parámetros clínicos, como: rango de edad ideal, índice de masa corporal, peso o condición física general, por ejemplo, para que los resultados estén mejor depurados.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdulkadiroglu, A., & Sónmez, T. (1999). *House allocation with existing tenants. Journal of economic theory*, 88(2), 233-260.

Avendaño, L. H. (2012). *Historia de la nefrología en España*. Barcelona, España: Grupo Editorial Nefrología. Recuperado de <https://cutt.ly/PFEbeoE>

Besembel, I., & Narciso, F. (2009). TDSO: una técnica para el diseño de software orientado por objetos. *Ciencia e Ingeniería*, 30(3), 193-200. Recuperado de <https://cutt.ly/IFRNFhO>

Hardaker, J. B, Lien, G., Anderson, J. R., & Huirne, R. B. M. (2015). *Coping with risk in agriculture: applied decision analysis* (3ra. ed.). Boston, USA: CABI. Recuperado de <https://cutt.ly/3FR7xGh>

Henao Velásquez, C. M. (2012). *Enfermedad renal crónica*. En asociación colombiana de nefrología e hipertensión arterial [Pág. web], Actualización del libro de nefrología básica 2, (pp. 189-205). Recuperado de <https://cutt.ly/jFR46wC>

Iniciativa de ley que dispone aprobar la ley para la disposición y trasplantes de órganos, tejidos y células humanas, 4712. Congreso de la república de Guatemala (02 de julio de 2019). Recuperado de <https://cutt.ly/VEJoXxF>

Lou-Meda, R. M. (2011). *La nefrología en Guatemala una historia vivida* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de humanidades, Guatemala.



Martín, P., & Errasti, P. (2006). *Trasplante renal. Anales del sistema sanitario de navarra*, 29(2), 79-92. Recuperado de <https://scielo.isciii.es/pdf/asisna/v29s2/original7.pdf>

National Institute of diabetes and digestive and kidney diseases. (s.f.). Kidney disease. U.S. Department of health and human services [Pág. web]. Recuperado de <https://cutt.ly/FEJiZRD>

National Kidney Foundation. (2015). Hemodialysis. National Kidney Foundation. Recuperado de <https://www.kidney.org/atoz/content/hemodialysis>

Qumer, A., Henderson-Sellers, B. (2008). *An evaluation of the degree of agility in six agile methods and its applicability for method engineering.* *Information and software technology*, 50(4), 280-295.

Rapaport, F.T. (1986). *The case for a living emotionally related international kidney donor exchange registry.* *Transplantation Proceedings*, 18(3) Suppl. 2, 5-9.

Rivera, S. E., López, I. W., Herrera Nájera, C. F., Menes, M. A., Soto, E. R., de León, M. R., & Ralón, O. D. (2020). Resultados del trasplante renal de donador cadavérico: sobrevida del injerto y del receptor. *Revista médica de cirujanos de Guatemala*, 26(2). Recuperado de <https://cutt.ly/gFE74KW>

Roth, A. E., Sónmez, T., & Ünver, M. U. (2003). *Kidney exchange (NBER working paper series 10002).* Massachusetts: National Bureau of Economic Research. Recuperado de <https://cutt.ly/TFRKkvk>



Sam Colop, B., Betancourt, C., Boj, J., Mazariegos, C., Davila, P., Randall, L., & Guzmán, C. (2019). *Registro guatemalteco de diálisis y trasplante renal: indicadores básicos*. Guatemala: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Recuperado de <https://cutt.ly/FFR3Nz3>

Sánchez-García, A., Zavala-Méndez, M. C., & Pérez-Pérez, A. (2012). Hemodiálisis: proceso no exento de complicaciones. *Revista de enfermería del instituto mexicano del seguro social*, 20(3), 131-137. Recuperado de <https://cutt.ly/VFR1PjQ>

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *The scrum guide*. Recuperado de <https://cutt.ly/cFRMTqr>

Shapley, L., & Scarf, H. (1974). On cores and indivisibility. *Journal of Mathematical Economics* 1, 23-37.

World kidney day. (2019). *Salud renal para todos en todos lados: día mundial del riñón*. Recuperado de <https://www.worldkidneyday.org/wkd-2019-spanish/>



7. APÉNDICES

1. *Product Backlog*
2. Entrevistas
3. Fotografías de eventos de divulgación
4. Página web
5. CD con prototipo del ARTC.

1. Product Backlog

Id	Historia de usuario	Estimación (semanas)	Prioridad	Sprint
5	Como médico deseo saber si existe compabilidad directa, entre el paciente y donador en cuestión, para identificar si es posible iniciar el protocolo de trasplante.	1	1	1
10	Como médico deseo saber si existe compatibilidad cruzada con alguna otra pareja registrada en la base de datos, para poder identificar un posible trasplante cruzado.	2	2	1
7	Como médico deseo saber que tan compatibles es un paciente donante, para poder identificar el mejor caso, de existir compatibilidad.	1	3	1
6	Como administrador deseo mostrar el índice de compatibilidad por cada caso, para poder mostrar cuan compatible es el caso.	1.5	4	2
12	Como administrador deseo mostrar el índice de compatibilidad por cada caso cruzado, para poder ordenar de manera descendente cada caso cruzado.	1	5	2
11	Como administrador deseo que se muestre una lista con todos los casos compatibles cruzados, para que el médico pueda identificar los casos cruzados existentes.	1.5	6	2
16	Como administrador deseo mostrar el índice de compatibilidad de cada caso directo.	1	7	3
15	Como administrador deseo mostrar la cantidad de casos compatibles encontrados.	1	8	3
14	Como médico deseo saber cuales son los antígenos de cada donante involucrado en un caso cruzado.	1	9	3
13	Como médico deseo saber cuales son los antígenos de cada paciente involucrado en un caso cruzado.	1	10	3
8	Como administrador deseo mostrar al médico cuales son los antígenos del paciente en cuestión, para que el médico pueda de forma rápida identificar los antígenos asociados al caso.	1	11	4
9	Como administrador deseo mostrar al médico cuales son los antígenos del paciente en cuestión, para que el médico pueda de forma rápida identificar los antígenos asociados al caso.	1	12	4
3	Como administrador deseo saber cual es el identificador único de cada paciente y donador.	1	13	4
2	Como médico deseo saber cual es el tipo de sangre del donante asociado al paciente en cuestión, para poder compararlo con el paciente.	1	14	4
1	Como médico deseo saber cual es el tipo de sangre del paciente en cuestión, para poder compararlo con el donador.	1	15	5
17	Como administrador deseo mostrar el índice de compatibilidad promedio de todos los casos cruzados asociados a un paciente.	1	16	5
4	Como administrador deseo mostrar como se identifican las compatibilidades sanguíneas, para poder revisar la base del cálculo.	1	17	5
18	Como administrador deseo mostrar como se calcula el índice de compatibilidad promedio de los casos cruzados asociados a un paciente.	1	18	5

2. Entrevistas



The Kidney Hope Project

Entrevista Presencial

Fecha: _____ 26 Julio 2019 _____

Nombre del encuestado: _____ Dr. Carlos Joaquín Bethancourt Monzón _____

Institución: _____ UNAERC Unidad Nacional de atención al enfermo Renal _____

Cargo que desempeña: _____ Director General UNAERC _____

Contacto: _____ promocion.salud@unaerc.gob.gt _____

Nombre del encuestador: _____ Cristian Ramírez _____

Presentación

Buenos días/tardes,

Estamos interesados en conocer su opinión respecto a "The Kidney Hope Project". Este proyecto busca incrementar la cantidad de pacientes trasplantados diagnosticados con Insuficiencia Renal Crónica. Como objetivo primordial es, no solo mejorar la calidad de vida del paciente, sino, por sobre todo, aumentar su esperanza de vida.

Descripción del producto

1.- En una escala del 1 al 5, dónde 5 es "muy interesante" y 1 es "nada interesante"

1	2	3	4	5
				X

¿Cuán interesante es "The Kidney Hope Project" para usted?

2.- ¿Considera realmente funcional este producto/servicio? ¿Por qué?

☒ Si ☐ No

Si, ayudaría enormemente a la población renal que requiere tratamiento sustitutivo de la función renal.

3.- ¿Qué problema resolvería este producto/servicio?

Mas trasplante. Menos gastos presupuestarios.

4.- ¿Recomendaría el uso de este producto/servicio al cuerpo médico especializado?

Si

Nota: Formato general de entrevistas presenciales. Doctor Carlos Bethancourt, director general de UNAERC, página 1.



The Kidney Hope Project

5. Tomando como muestra el total de equipo médico humano de nefrología y asistencia renal que usted conoce, ¿Qué porcentaje considera que utilizaría esta herramienta?

01% - 35%	35% - 75%	75% - 100% x
-----------	-----------	---------------------

6.- Partiendo de la base que el precio de este producto le pareciera aceptable... ¿qué probabilidad habría que la institución lo comprase?

01% - 35%	35% - 75%	75% - 100% x
-----------	-----------	---------------------

7.- ¿Cuánto la institución estaría dispuesta a invertir en caso el producto/servicio cumpliera sus expectativas?

☒ **No lo sé** USD: _____

Comentarios sobre el producto

8.- ¿Qué impacto tendría este producto/servicio en el proceso de atención al enfermo renal?

Le salvaría la vida.

9.- ¿Tiene algún comentario o sugerencia para "The Kidney Hope Project" sobre el producto?

Comunicarse con la comisión de trasplante renal de Guatemala. Dr. Rudolph del Hospital Herrera Llerandi

Muchas gracias por su amabilidad y por el tiempo dedicado a contestar esta encuesta.

Nota: Formato general de entrevistas presenciales. Doctor Carlos Bethancourt, Director General de UNAERC, página 2.



The Kidney Hope Project

The Kidney Hope Project

Fecha: 26 JULIO 2019

Nombre del encuestado: CARLOS BORGHINI BETHANCOURT MORALES

Institución: UNAERC

Cargo que desempeña: DIRECTOR MEDICO

Contacto: _____

Nombre del encuestador: _____

Introducción

Buenos días/tardes,

Estamos interesados en conocer su opinión respecto a "The Kidney Hope Project". Este proyecto busca incrementar la cantidad de pacientes trasplantados diagnosticados con insuficiencia Renal Crónica. Como objetivo primordial es, no solo mejorar la calidad de vida del paciente, sino, por sobre todo, aumentar su esperanza de vida.

Descripción del producto

1.- En una escala del 1 al 5, dónde 5 es "muy interesante" y 1 es "nada interesante".

¿Cuán interesante es "The Kidney Hope Project" para usted?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5

2.- ¿Considera totalmente funcional este producto/servicio? ¿Por qué?

☒ SI ☐ NO

AUSAR BACHMANN A LA POSIBILIDAD DE AL QUE
SE LE DA EL TRATAMIENTO GUSTATIVO DE LA INSUFICIENCIA

3.- ¿Qué problema resolvería este producto/servicio?

LOS TRASPLANTES DE RIÑONES SIN GASTO FINANCIERO

4.- ¿Recomendaría el uso de este producto/servicio al cuerpo médico especializado?

SI

El contenido incluido en este documento tiene información confidencial que pertenece a "The Kidney Hope Project", no podrá ser utilizada, reproducida, copiada o distribuida para cualquier propósito diferente a los indicados por "The Kidney Hope Project". "The Kidney Hope Project" tendrá el derecho de duplicar, utilizar o revelar la información, esta restricción de licencia otorga el derecho a utilizar información contenida en este documento que ha sido obtenida de otras fuentes sin restricción.

Nota: Copia auténtica de entrevista presencial al Doctor Carlos Bethancourt, Director General de UNAERC, página 1.



The Kidney Hope Project

The Kidney Hope Project

5. Tomando como muestra el total de equipo médico humano de nefrología y asistencia renal que usted conoce, ¿Qué porcentaje considera que utilizaría esta herramienta?

01% - 35%	35% - 75%	75% - 100%
-----------	-----------	------------

6. Partiendo en la base que el precio de este producto le pareciera aceptable... ¿qué probabilidad habría que la institución lo comprase?

01% - 35%	35% - 75%	75% - 100%
-----------	-----------	------------

7. ¿Cuánto la institución estaría dispuesta a invertir en caso el producto/servicio cumpliera sus expectativas?

☒ No lo sé USD: _____

8. ¿Qué impacto tendría este producto/servicio en el proceso de atención al enfermo renal?

9. ¿Tiene algún comentario o sugerencia para "The Kidney Hope Project" sobre el producto?

*COMUNICAR CON LA COMISIÓN DE TRANSPLANTE RENAL
DE GUATEMALA - DR. BETHANCOURT, 6 de mayo 2017
+ KAREN HERRERA*

Muchas gracias por su amabilidad y por el tiempo dedicado a contestar esta encuesta.

[Firma]
Dr. Carlos Bethancourt M.
DIRECTOR TÉCNICO MÉDICO
UNAERC

El presente contenido en este documento tiene información confidencial que pertenece a "The Kidney Hope Project", no podrá ser utilizado, fotocopiado, duplicado o revelado para cualquier propósito diferente a los indicados por "The Kidney Hope Project". "The Kidney Hope Project" tendrá el derecho de duplicar, utilizar o revelar la información, esta información no tiene o tiene el derecho a utilizar información contenida en este documento que ha sido obtenida de otras fuentes sin restricciones.

Nota: Copia auténtica de entrevista presencial al Doctor Carlos Bethancourt, director general de UNAERC, página 2.

3. Fotografías de eventos de divulgación



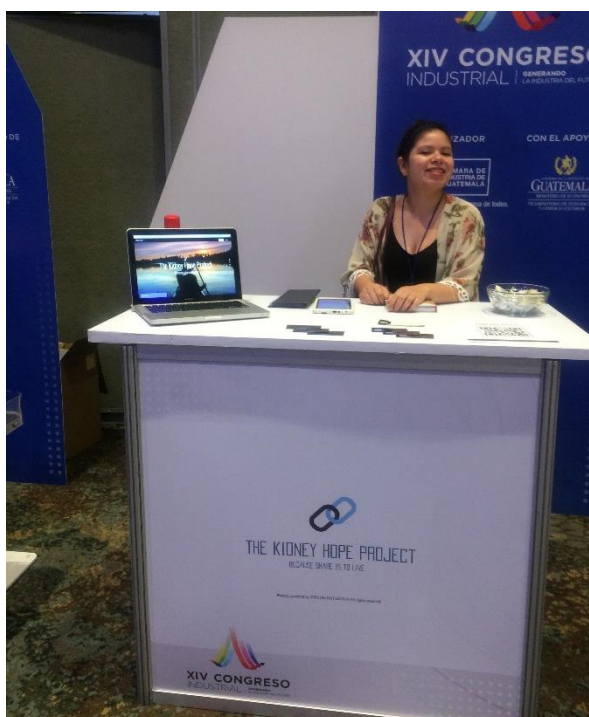
Nota: Culminación Fase 3 Guatemala Emprende, Cámara de Industria de Guatemala. Julio de 2019. De izquierda a derecha, Licda. Susana Cruz, Cristian Ramirez, Lic. Plubio Monterroso.



Nota: Exposición XIV Congreso Industrial, Cámara de Industria de Guatemala. Octubre de 2019, imagen 1.



Nota: Exposición XIV Congreso Industrial, Cámara de Industria de Guatemala. Octubre de 2019, imagen 2.



Nota: Exposición XIV Congreso Industrial, Cámara de Industria de Guatemala. Octubre de 2019, imagen 3.



Nota: Participación Empréndete Guate, URL, Claro, BAC, 7Zero. Noviembre de 2019.



Nota: Participación Feria Nacional de PYMES y Emprendedores, BAC Credomatic. Diciembre de 2019.

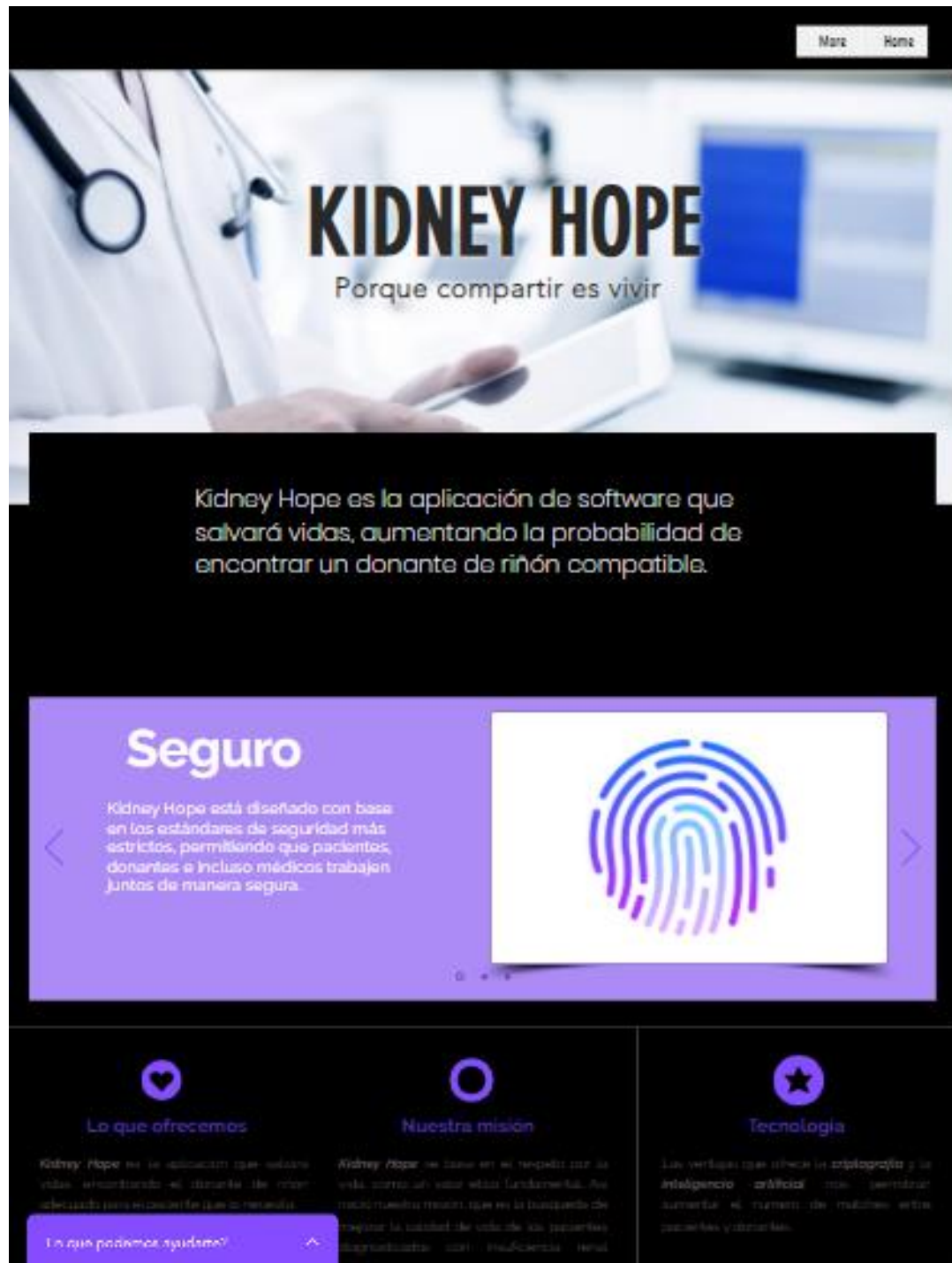


Nota: Reconocimiento de proyecto categoría de prototipos. Convocatoria nacional Tech Challenge 2020.



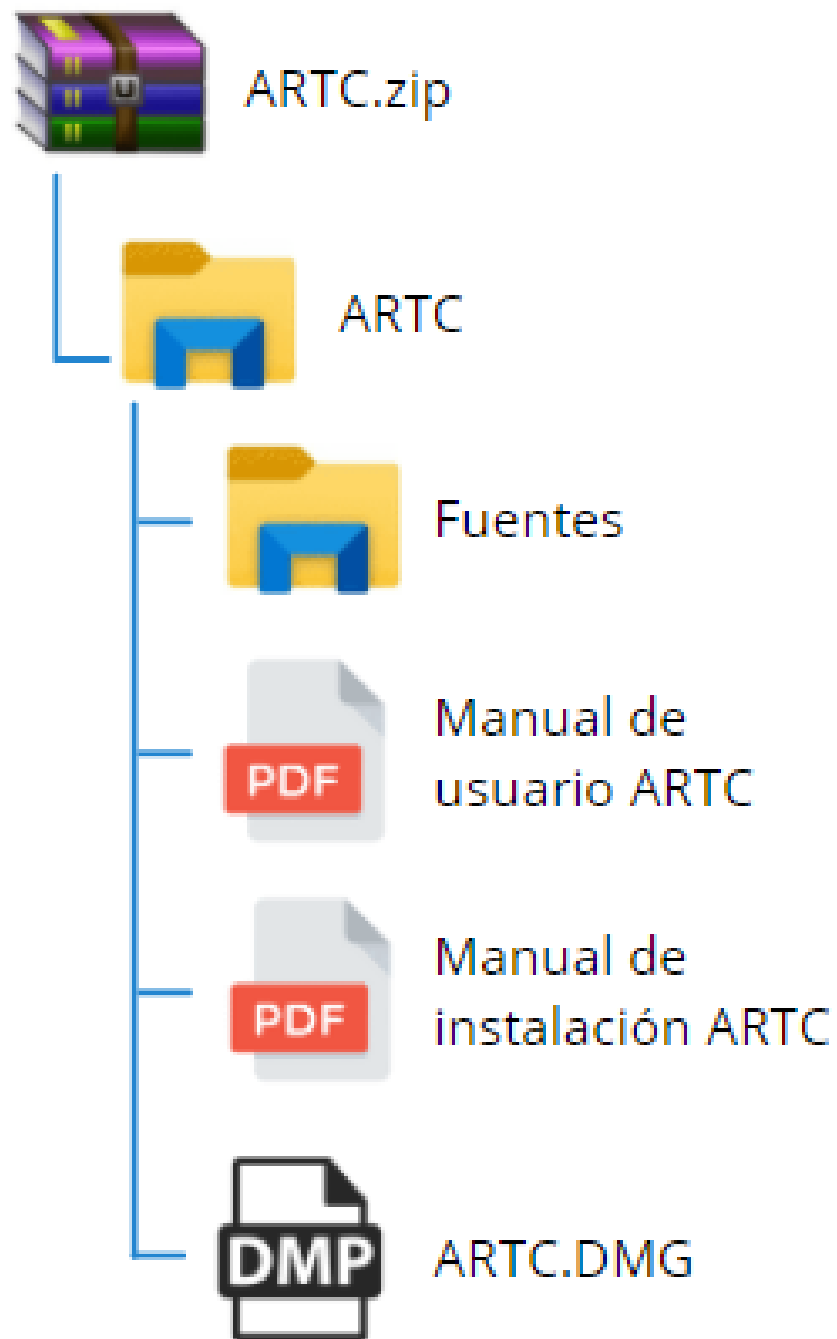
Nota: Presentación de proyecto a alumnos de Universidad del Valle de Guatemala. Marzo 2020.

4. Página Web



Nota: visitar www.zircondata.com

5. CD con prototipo del ART-C.



8. ANEXOS

1. Resolución de Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
2. Enfermedad Renal Crónica
3. Esperanza de vida: Trasplante versus Diálisis
4. Ley para la Disposición y Trasplante de Órganos,
Tejidos y Células Humanas

1. Resolución de Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social



Nota: Resolución de MSPAS respecto a consulta de cantidad de trasplantes en el Hospital General San Juan de Dios. Julio de 2020, página 1.



GOBIERNO de
GUATEMALA
DR. ALEJANDRO GUERRA

MINISTERIO DE
SALUD PÚBLICA Y
ASISTENCIA SOCIAL



HOSPITAL GENERAL
SAN JUAN DE DIOS

PROV. UIP-079-2020

UNIDAD DE INFORMACIÓN PÚBLICA HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE
DIOS. Guatemala 06 de julio de dos mil veinte.

RECIBIDO

07 JUL 2020
9:58
[Signature]
UNIDAD DE INFORMACIÓN PÚBLICA

ASUNTO:

Licda. Carla Arriola de la Unidad de
Información Pública del Ministerio de Salud
Pública y Asistencia, remite por medio del
oficio UNIP-01885-2020 la solicitud de
información de Cristian Ramirez.

Vuelva atentamente los documentos adjunto PROV.SDT. 248/2020 enviado por la
Licenciada Sandra Oliva Sub-Directora Técnica del Hospital General San Juan de
Dios a Licenciada Carla Arriola de la unidad de información pública del Ministerio de
Salud Pública y Asistencia Social para su conocimiento y efectos.

UNIDAD DE ACCESO A LA
INFORMACIÓN PÚBLICA
[Signature]
Licda. Lorena Morán V.
Unidad de Información Pública

Archiva/LM

[Signature]
Hospital General
San Juan de Dios
V. [Signature]
Dr. Jorge Armando Solares Ovalle
Director Ejecutivo
EJECUTIVO
Guatemala, G.A.

1ª. Avenida 10-60, zona 1, Guatemala, Guatemala. PBX: 23219191



www.hospitalensanjuanediostel.mspas.gub.gt

Síguenos en:



@Hospigan



@HospiganGT



Hospital General San Juan de Dios

Nota: Resolución de MSPAS respecto a consulta de cantidad de trasplantes en el
Hospital General San Juan de Dios. Julio de 2020, página 2.



GOBIERNO DE
GUATEMALA
DR. ANASTASIO SIERRA PATI

MINISTERIO DE
SALUD PÚBLICA Y
ASISTENCIA SOCIAL



HOSPITAL GENERAL
SAN JUAN DE DIOS

PROV. SDT. 249/2020

—SUBDIRECCION TÉCNICA DEL HOSPITAL GENERAL "SAN JUAN DE DIOS",
Guatemala uno de julio de dos mil veinte.

ASUNTO: Licda. Carla Arriola de la Unidad de
Información Pública del Ministerio de Salud
Pública y Asistencia Social, remite por medio
del Oficio UNIP-1685-2020 la solicitud de Cristian
Ramirez.

Vuelva atentamente los documentos que anteceden al Sr. Marvin Josué
Arias Morales, Jefe a.i. Unidad de Acceso a la Información, para remitirle lo
solicitado.

Licda. Sandra Aguilar Oliva
Subdirector Técnico a.i.



c.c. Archivo
SAOfic



www.hospitalsanjuanediostecnicos.gub.gt

Síguenos en:



@Hospigen



@HospigenGT



Hospital General San Juan de Dios

2ª. Avenida 10-50, zona 1, Guatemala, Guatemala PBX: 23219191 Ext: 6005-6004

Subdirección Técnica subdirecciontecnicahospigen@gmail.com

Nota: Resolución de MSPAS respecto a consulta de cantidad de trasplantes en el
Hospital General San Juan de Dios. Julio de 2020, página 3.



GOBIERNO de
GUATEMALA
DR. ALEXANDER GUERRA

MINISTERIO DE
SALUD PÚBLICA Y
ASISTENCIA SOCIAL



HOSPITAL GENERAL
SAN JUAN DE DIOS

Guatemala, 02 de julio de 2020

Licenciada
Sandra Abigail Abigail Oliva
Subdirector Técnico a.i.
Presente



De manera atenta me permito presentarle el dato solicitado en PRO.SDT.244/2020, de fecha 24 de junio de 2020:

Al respecto me permito informarle que, con base a las consultas efectuadas en el departamento de Nefrología, se nos informó que, en el año 2019, se efectuaron un promedio 36 trasplantes y lo que correspondiente a la lista de espera no se tiene un dato exacto en virtud de la situación actual de la pandemia. En relación a las diálisis, en este hospital no se realizan.

Atentamente,

Josué Chanchavac Martínez

24. Avenida 10-50, zona 1, Guatemala, Guatemala. PBX: 23215280 Ext. 6111 Unidad de Comunicación Estratégica
comestrategica.hospiged@gmail.com



www.hospitalarjundios.mspas.gob.gt

Síguenos en:



@hospiged



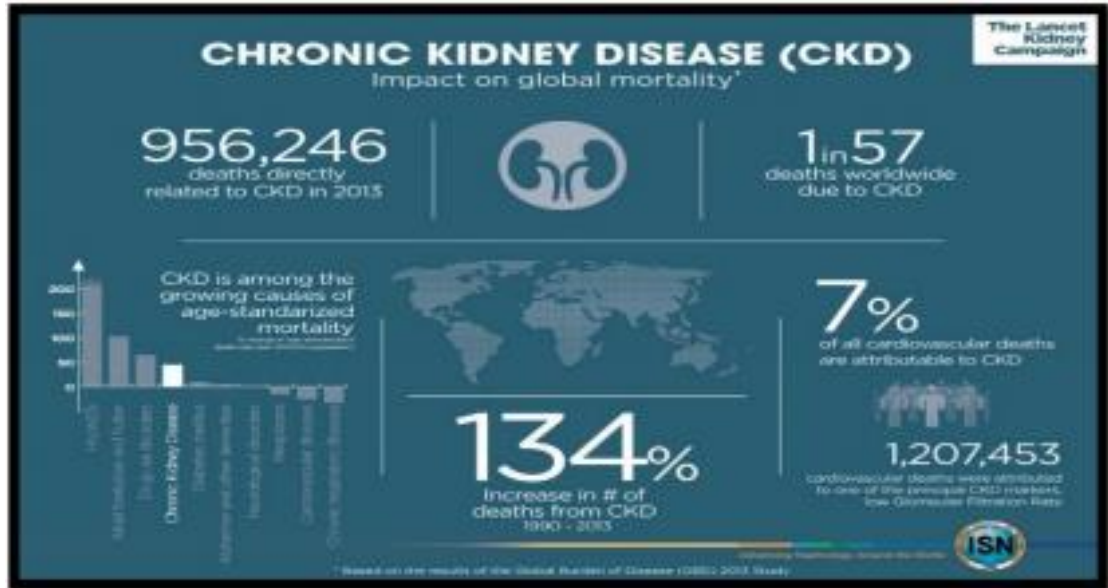
@hospigedGT



Hospital General San Juan de Dios

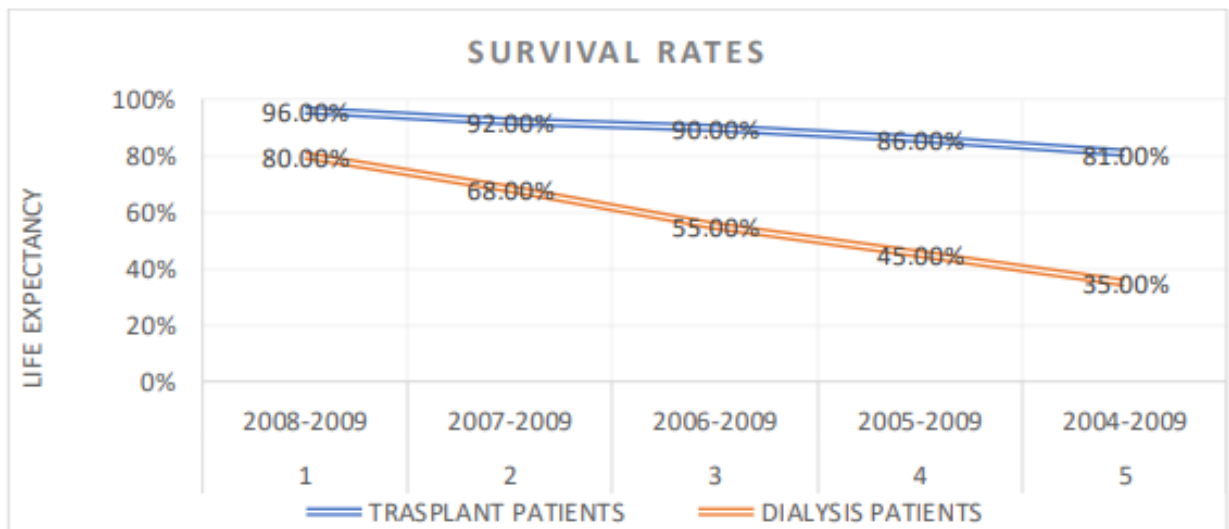
Nota: Resolución de MSPAS respecto a consulta de cantidad de trasplantes en el Hospital General San Juan de Dios. Julio de 2020, página 4.

2. Enfermedad Renal Crónica



Fuente: International Society of Nephrology. (2013). *Based on the results of the Global Burden of Disease (GBD)*.

3. Esperanza de vida: Trasplante versus Diálisis



Fuente: Adaptada de Biostatistics and Epidemiology International Journal. (2018)
Epidemiology and management of chronic renal failure: a global public health problema.
p. 14.

4. Ley para la Disposición y Trasplante de Órganos, Tejidos y Células Humanas



Diario de Centro América

Órgano oficial de la República de Guatemala
Decano de la Prensa Centroamericana

TOMO CCLV ■ Guatemala, miércoles 20 de noviembre de 1996 ■ Director: Héctor Cabañas Aguirre
Administradores: Alma Liliana Gervía
NUMERO 28

SUMARIO

ORGANISMO LEGISLATIVO
CONGRESO DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA
DECRETO NUMERO 91-96

ORGANISMO EJECUTIVO
MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES
Instrumento de Ratificación del Acuerdo por Cambio de Notas entre el Gobierno de la República de Guatemala y la Embajada de la República Federal de Alemania, sobre el Proyecto Asesoramiento del Gobierno en Materia de Planificación y Gestión Macroeconómica.

PUBLICACIONES VARIAS
MINISTERIO DE EDUCACION
JUNTA CALIFICADORA DE PERSONAL
RESOLUCION DE ASCENSOS NUMERO 3-96
NOMINA NUMERO 25-96

ANUNCIOS VARIOS
Matrimonios.—Líneas de transporte.—Solicitud de nacionalidad.—Constituciones de sociedad.—Disolución de sociedad.—Patentes de invención.—Registro de empresas.—Títulos esplotatorios.—Edictos.—Remates.

Banco del Agro, S. A.—Balance General Condensado al 31 de octubre de 1996.
Financiera Industrial, S. A.—Balance General Condensado al 31 de octubre de 1996.

ATENCION ANUNCIANTES

IMPRESION SE HACE CONFORME ORIGINAL.

Toda impresión en la parte legal del Diario de Centro América, se hace respetando el original. Por lo anterior, esta Administración ruega al público tomar nota.

ORGANISMO LEGISLATIVO

CONGRESO DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA

DECRETO NUMERO 91-96

El Congreso de la República de Guatemala,

CONSIDERANDO:

Que el Estado tiene la obligación de velar por la salud de sus habitantes, desarrollando acciones que tiendan a preservar, rehabilitar y recuperar la salud de las personas, para lo cual es indispensable la emisión de los instrumentos legales que faciliten el logro de tales fines;

CONSIDERANDO:

Que la ley para disposición de órganos y tejidos humanos constituye un avance científico de beneficio para la salud y bienestar de la humanidad, por lo que su utilización con fines terapéuticos, de docencia o de investigación debe normarse tratando de cumplir con las medidas delineadas por los comités mundiales y locales de bioética;

CONSIDERANDO:

Que en la actualidad el gran número de personas que se encuentran trabajando en trasplante de riñones y riñones está amparado legalmente en los Acuerdos Gubernativos 740-86, 741-86 y en el Decreto número 53-72, que regula el banco de ojos, pero, atendiendo a los avances que se han hecho en materia de trasplantes en la última década, es necesario que en cualquier modificación que se intente hacer a los acuerdos anteriores se incluya que se incorporen las modificaciones pertinentes y se emita la ley correspondiente;

CONSIDERANDO:

Que se ha demostrado estadísticamente que en los países donde se carece de una legislación adecuada las probabilidades que exista tráfico ilegal de órganos se mayor, de tal manera que surge en nuestro país alarmantemente no se ha establecido este problema, es importante legislar antes que se presente;

CONSIDERANDO:

Que debe permitirse a la población guatemalteca sin distinción de raza, clase o religión, la oportunidad de obtener el beneficio de un trasplante de órganos;

CONSIDERANDO:

Que deben reforzarse por medios legales las instituciones que respaldan la protección de los derechos humanos de menores de edad, individuos privados de su libertad, minorías indígenas, etcétera, mediante la ley,

POR TANTO,

En ejercicio de las atribuciones que le confiere el Artículo 167 y la literal a) del 171 de la Constitución Política de la República de Guatemala,

DECRETO

La siguiente:

LEY PARA LA DISPOSICION DE ORGANOS Y TEJIDOS HUMANOS

CAPITULO PRIMERO

DISPOSICIONES GENERALES

ARTICULO 1. Del Ministerio de Salud. Corresponde al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social la aplicación de la presente ley y su reglamentación, así como la programación, coordinación, supervisión y evaluación de las actividades reguladas en la misma.

ARTICULO 2. De la disposición de órganos y tejidos. Para los efectos de la presente ley, se entiende por "disposición de órganos y tejidos humanos", a la extracción, conservación, suministro y utilización de órganos y tejidos de seres humanos o de cadáveres, para ser utilizados con fines terapéuticos.

ARTICULO 3. De la autorización para el uso de los órganos y tejidos. Todos las personas mayores de 18 años se considerarán para los efectos de esta ley, como donadores potenciales de órganos y tejidos. Una ley específica regulará sobre esta materia.

CAPITULO II

DONACIONES Y TRASPLANTES DE ORGANOS Y TEJIDOS

ARTICULO 4. Trasplante. Se entiende por trasplante, el acto quirúrgico mediante el cual se traslada un órgano o una persona que se encuentra sufriendo de una deficiencia orgánica.

ARTICULO 5. Donación. Se entiende por donación de órganos o tejidos, la cesión hecha por la persona en forma voluntaria expresa y escrita. Esta donación puede ser para que en vida se disponga de un órgano o tejido, o para que en caso de muerte se lea de su cadáver para su utilización. En este último caso, cuando la donación fue efectuada por el individuo en el pleno uso de sus facultades, no podrá ser revocada por los parientes del donador. Se entiende por parientes los comprendidos entre el cuarto grado de consanguinidad y segundo de afinidad.

ARTICULO 6. Implicaciones de la donación. La donación de órganos o tejidos implica la extracción de los mismos y de las partes que con ellos se relacionan, así como los tejidos que sean necesarios, a efecto de que el trasplante tenga éxito.

ARTICULO 7. Consentimiento. Para el trasplante de órgano par o tejido entre personas en vida, se requiere del consentimiento de ambos en forma expresa y escrita.

ARTICULO 8. Donación gratuita. La donación de órganos y tejidos para trasplante será siempre gratuita. Las personas privadas de su libertad podrán otorgar su consentimiento para utilización de sus órganos y tejidos con fines terapéuticos, solamente cuando el receptor sea otorgante, concubinario, concubina, hijo o familiar con derecho legítimo. Las personas físicas y mentalmente incapacitadas, las que se encuentren en estado de inconsciencia, las mujeres embarazadas y las menores de edad, en ningún caso podrán donar órganos o tejidos.

Fuente: Congreso de la Republica de Guatemala. (1996, octubre). Ley para disposición de órganos y tejidos humanos. Recuperado de https://www.congreso.gob.gt/assets/uploads/info_legislativo/dictamen/e0bfa-dictamen-4712.pdf, p. 1.

ARTICULO 9. Prohibición. Queda terminantemente prohibida la venta y comercialización interna y exportación de cualquier órgano o tejido. Los esfuerzos de esta disposición serán sancionados según lo establecido en el Código de Salud, en detrimento de las sanciones penales que pudieran aplicarse.

ARTICULO 10. Causa médica favorable. Cuando el posible donador esté enmarcado dentro de un caso médico legal, la obtención de órganos y tejidos es necesaria para fines terapéuticos de trasplante se podrá realizar una vez que el médico licenciatario designado para tal caso haya presentado al posible donador los procedimientos que fomentan necesarios para efecto de la investigación judicial. El médico licenciatario puede autorizar el retiro de los órganos y materiales anatómicos, considerando dichos procedimientos como parte del proceso de autopsia, siempre y cuando se constatare que no afectan sus estudios y conclusiones.

ARTICULO 11. Bienes de herencia. Para el trasplante de órganos y tejidos de seres humanos o de cadáveres, de cualquier naturaleza como con el donante favorable de médicos cirujanos que tengan la calidad de colegiados activos y reconocidos como especialistas en la materia por el Colegio de Médicos y Cirujanos de Guatemala.

CAPITULO III

DONADORES Y RECEPTORES

ARTICULO 12. Donador vivo. Por donador vivo se entiende a la persona civilmente capaz, que libremente dispone de un órgano por o tejido para efectos de trasplante.

ARTICULO 13. Requisitos del donador. El donador vivo deberá reunir los siguientes requisitos:

- Ser mayor de edad y civilmente capaz,
- Presentar dictamen médico favorable,
- Demostrar compatibilidad con el sujeto receptor en las pruebas médicas,
- Haber recibido información completa sobre los riesgos de la operación, tanto para el donador, como las probabilidades de éxito para el receptor.

ARTICULO 14. Receptor. Se entiende por receptor a la persona a quien se trasplanta un órgano o tejido procedente de otra persona o de cadáver.

ARTICULO 15. Requisitos del receptor. El receptor deberá reunir los siguientes requisitos:

1. Sufrir deficiencia en órgano o tejido que pueda causar de manera eficaz por trasplante.
2. Ausencia de otras enfermedades que probablemente interfieran con el éxito del trasplante.
3. Previamente ser menor de 25 años, aunque la edad se sea limitada relativa, quedando a criterio del grupo de médicos especialistas en la materia la factibilidad de efectuar un trasplante.
4. Haber recibido información completa sobre los riesgos de la operación para el donador y probabilidades de éxito para el receptor.
5. Demostrar compatibilidad con el sujeto donador en las pruebas médicas.

ARTICULO 16. Selección de donadores y receptores. La selección de donadores y receptores de órganos o tejidos para trasplante, se hará por médicos y cirujanos especialistas en la materia reconocidos como tales por el Colegio de Médicos y Cirujanos de Guatemala.

CAPITULO IV

BANCOS DE ORGANOS Y TEJIDOS

ARTICULO 17. Definición de los bancos. Se entiende por Banco de Órganos y Tejidos al establecimiento médico que tenga por finalidad primordial la obtención de órganos y tejidos para su conservación y almacenar, para efectos de trasplante.

ARTICULO 18. Funcionamiento de los bancos. Los bancos podrán ser de carácter público o privado. Tienen deberes de actuar en coordinación con una institución hospitalaria del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social o del seguro social. Operan bajo la responsabilidad del coordinador designado por el comité de trasplantes de la institución sede del banco.

ARTICULO 19. Regulaciones para la autorización de los bancos. El Ministerio de Salud solamente podrá autorizar el funcionamiento de bancos de órganos o tejidos que reúnan condiciones del órgano o tejidos, o aquellos bancos que se encuentren adscritos a este tipo de hospitales, para la cual se hará la solicitud respectiva.

ARTICULO 20. Autorización para su funcionamiento. Los bancos sólo podrán funcionar con la correspondiente autorización escrita del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social que se otorgará una vez sean satisfechos los requisitos establecidos, en cuyo caso otorgará el certificado de acreditación correspondiente, que tendrá vigencia por un año y podrá prorrogarse por períodos iguales, previa comprobación de que se cumple con lo establecido en la presente ley.

ARTICULO 21. Requisitos para realizar su funcionamiento. Para obtener la autorización o que se refiere al artículo anterior, se presentará al Ministerio de Salud, una solicitud en triplicado avalada por el órgano administrativo que legalmente corresponde con los siguientes datos:

- a) Denominación y domicilio de la institución,
- b) Nombre del representante legal, en caso de ser persona jurídica,
- c) Nombre del médico y cirujano especialistas, según el tipo de banco, con calidad de colegiado activo, que actuará como responsable,
- d) Capacidad técnica de la institución hospitalaria a la que se encuentra integrado,
- e) Nombres, cargos de las personas que integran la organización del banco respectivo, según lo establece el reglamento respectivo,
- f) Recursos humanos, físicos y financieros con que privilegiará su funcionamiento, y,
- g) Los datos que establece el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

A la solicitud adjuntará la documentación necesaria para comprobar la información proporcionada.

ARTICULO 22. Estudios de donantes. Presentado la solicitud y según inspección, el Ministerio de Salud emitirá el dictamen respectivo para proceder a su inscripción correspondiente, emitiendo el certificado de acreditación respectivo.

ARTICULO 23. Establecimiento de los bancos. Podrán establecerse bancos de órganos y tejidos de:

- a) Corazón y pulmones,
- b) Corazón,
- c) Hígado,
- d) Riñónes,
- e) Huesos y cartílagos,
- f) Intestino delgado,
- g) Páncreas,
- h) Paredes intestinales,
- i) Pulmón,
- j) Piel y huesos,
- k) Riñones,
- l) Tráquea,
- m) Vaso sanguíneo,
- n) Los demás que autorice el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

CAPITULO V

REGISTRO NACIONAL DE TRASPLANTES

ARTICULO 24. Registro nacional. El Ministerio de Salud establecerá el Registro Nacional de Trasplantes, cuyos fines serán: registrar, conocer y proporcionar información de todos los expedientes relacionados con la disposición de órganos y tejidos de seres humanos o de cadáveres, que se lleva a cabo en las diferentes instituciones.

ARTICULO 25. Estadísticas. Para los efectos de estadística médica, las instituciones autorizadas a que se refiere esta ley, rindrán informes estadísticos al sistema de las actividades a la Dirección General de Servicios de Salud, que llevará el Registro Nacional de Trasplantes, incluyendo un resumen clínico, técnica empleada, evolución y resultado de los trasplantes practicados.

CAPITULO VI

DISPOSICIONES DE LOS CADAVERES UTILIZADOS

ARTICULO 26. Cadáver humano. Para los efectos de esta ley, se entiende por cadáver, al cuerpo humano que cumple criterios de muerte cerebral que se describen así:

- a) Cese profundo de respuesta a estímulos,
- b) Apnea,
- c) Ausencia de reflejos oculares,
- d) Ausencia de reflejos espinales,
- e) Electroencefalograma isoelectrico que no se modifique con estímulos dolorosos,
- f) Ausencia de movimientos voluntarios de los miembros de actividad, reflejos, hemiclónicas, hemiparesias,
- g) Para la condición aplicable contenida en los puntos anteriores, las circunstancias deberán persistir durante veinticuatro horas consecutivas,
- h) Cualquier otro recurso de diagnóstico que la tecnología médica pueda aportar.

Fuente: Congreso de la Republica de Guatemala. (1996, octubre). Ley para disposición de órganos y tejidos humanos. Recuperado de https://www.congreso.gob.gt/assets/uploads/info_legislativo/dictamen/e0bfa-dictamen-4712.pdf, p. 2.

Para los fines de esta ley, se considera también cadáver el cuerpo humano que tiene todos los signos de muerte cierta.

ARTICULO 21. Plantas asociativas. Son considerados también donantes en la categoría de "cadáveres", los órganos asociados por natura de la asociación congenita más común incompatible con la vida y que con apoyo médico básico pueda dar oportunidad para obtener y utilizar los órganos de una manera útil y efectiva. Para establecer diagnósticos de asociatividad, es necesario que al momento del nacimiento se presenten los siguientes criterios:

- a) Ausencia de banda umbilical;
- b) Corazón expuesto y anóxico;
- c) Falta de hemiflexión cardíaca;
- d) Talle corto y/o malicia ósea visible en la base del cráneo.

ARTICULO 22. Clasificación de cadáveres. Para los fines epidemiológicos, los cadáveres se clasifican en:

- a) De personas conocidas; y
- b) De personas desconocidas.

Los cadáveres se reclaman dentro de las 72 horas siguientes al diagnóstico de muerte cerebral según considerado dentro del grupo b):

ARTICULO 23. Utilización de cadáveres. Para la utilización de un cadáver para fines de trasplante se requiere:

- a) Consentimiento prestado en vida y no revocable;
- b) Consentimiento de los parientes dentro de los grados de ley, en ausencia del consentimiento prestado en vida. Este podrá prestarse al consentimiento después de ocurrido el fallecimiento, según los criterios señalados en los artículos 24 y 27.

ARTICULO 24. De personas desconocidas. En los casos del inciso b), del artículo 23, no se requiere permiso alguno para la disposición de los cadáveres humanos para fines de trasplante, investigación o donación.

CAPITULO VII

DOCENCIA E INVESTIGACION

ARTICULO 25. Utilización de cadáveres. Podrá utilizarse para fines científicos y docentes, los cadáveres de las personas cuyos parientes autoricen por escrito y también de quienes fallecidos en establecimientos asistenciales del Estado o del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, o aquellos que no fueron reclamados por sus herederos y de quienes en las mismas condiciones se encuentran en el Departamento de Medicina Forense del Organismo Judicial, siempre que se cumplan los requisitos o disposiciones anteriores y se inscriba la defunción en el Registro Civil de la localidad. Los órganos viables que se obtengan de dichos cadáveres, podrán también conservarse en los bancos de órganos respectivos.

ARTICULO 26. Requisitos para uso de cadáveres. Las facultades de medicina del país y las instituciones hospitalarias que usen cadáveres para fines de docencia, deberán cumplir los requisitos que el reglamento estipule que se elabora después de las condiciones en que deben operar los laboratorios y las condiciones en que deben almacenarse los cadáveres y/o órganos.

ARTICULO 27. Registro de cadáveres. Las instituciones a que se refiere el artículo anterior, llevarán un registro en el que se anote el número de cadáveres recibidos y autorizados para los efectos de docencia y serán responsables del uso adecuado y ético de los cadáveres.

CAPITULO VIII

CONTROL Y SANCIONES

ARTICULO 28. Medidas de seguridad. El Ministerio de Salud podrá dictar medidas de seguridad en caso que se determine que existe violación a las disposiciones de la presente ley y los reglamentos respectivos o al funcionamiento adecuado o adecuado de un banco de órganos. Para tal caso podrá proceder con las siguientes medidas:

- a) La suspensión de disposición de órganos y tejidos de seres humanos o de cadáveres;
- b) La clausura temporal, parcial o total de bancos de órganos y tejidos de seres vivos;
- c) Las demás medidas que determine el Ministerio de Salud.

ARTICULO 29. Clausura total. La clausura será total cuando resulte que la institución en su totalidad representa un grave peligro para la salud de donadores o receptores. La clausura parcial se limitará a la sección o secciones donde se origina el peligro.

ARTICULO 30. Confiscación. El Ministerio de Salud está facultado para retirar y confiscar órganos y tejidos, instrumentos, equipo, adyacencias, productos o aparatos, cuando se presume que pueden ser nocivos a la salud del donador o receptor, por la falta de observancia de las normas de esta ley o del Código de Salud, para el efecto controlado por el Ministerio de Salud a la institución o persona que, conforme a lo anterior,

ARTICULO 31. Tiempo de las medidas. Las medidas decretadas en el artículo anterior se mantendrán por el término que fije la autoridad administrativa correspondiente y durante el cual se comprobó la existencia del caso. Si la resolución es dictaminada, se procederá al desmonte o desmantelamiento según el caso. Cuando se establezca la necesidad de aplicar una o más medidas de seguridad, el Ministerio de Salud y el Ministerio Social las aplicará de inmediato, para lo cual requerirá del presupuesto o cargo del lugar o establecimiento para que preste su colaboración voluntaria. En el caso de oposición, el Ministerio de Salud y Asistencia Social podrá hacer uso de las medidas legales a su disposición.

ARTICULO 32. Incumplimiento de la ley. En caso de incumplimiento de la presente ley y las disposiciones que emita el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, se aplicarán las sanciones establecidas en el Código de Salud o el Código Penal, según sea el caso.

CAPITULO IX

DISPOSICIONES TRANSITORIAS Y DEROGATORIAS

ARTICULO 33. Disposiciones transitorias. El Ministerio de Salud elaborará los reglamentos para el funcionamiento de los bancos de órganos, en el plazo de 180 días a partir de la vigencia de esta ley.

ARTICULO 34. Los reglamentos de esta ley se tendrán efectos interpretativos.

ARTICULO 35. Disposiciones derogatorias. Quedan derogadas todas las leyes y disposiciones que se opongan a la presente ley, a excepción de la Ley sobre Bancos de Sangre y Medicina Transfusional, Decreto Número 27-90 del Congreso de la República.

ARTICULO 36. El presente decreto entrará en vigencia quince días después de su publicación en el diario oficial.

PASE AL ORGANISMO EJECUTIVO PARA SU SANCION, PROMULGACION Y PUBLICACION.

DADO EN EL PALACIO DEL ORGANISMO LEGISLATIVO, EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, A LOS QUINCE DIAS DEL MES DE OCTUBRE DE MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y SEIS.

CARLOS ALBERTO CARRERA REYES
PRESIDENTE

EMERSON CLOTE
SECRETARIO

RODRIGO M. MALLAS
SECRETARIO



FRANCIS BICHEL: Guatemala. Unión de científicos de mil universidades privadas y del.

PARLAMENTO Y CONGRESO



ABD. ESCOBAR

Ing. Marco Sella Escobar
Secretario de Asistencia Social



Fuente: Congreso de la Republica de Guatemala. (1996, octubre). Ley para disposición de órganos y tejidos humanos. Recuperado de https://www.congreso.gob.gt/assets/uploads/info_legislativo/dictamen/eObfa-dictamen-4712.pdf, p. 3.