



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

SISTEMA DE ASIGNACIÓN RENAL PARA EL  
INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS MÉDICAS  
Y NUTRICIÓN SALVADOR ZUBIRÁN

**REPORTE DE TRABAJO  
PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA  
COMPUTACIÓN

P R E S E N T A:

**JOSÉ ANGEL BAUTISTA RUÍZ**

TUTOR:  
DR. JAVIER GARCÍA GARCÍA

2015





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno

Bautista

Ruíz

José Angel

59 91 39 20

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Ciencias de la Computación

304014356

2. Datos del tutor

Dr.

Javier

García

García

3. Datos del sinodal 1

Dra.

Hanna

Jadwiga

Oktaba

4. Datos del sinodal 2

M. en C.

Isidoro Aczel

Sánchez

Cedillo

5. Datos del sinodal 3

M. en I.

Gerardo

Avilés

Rosas

6. Datos del sinodal 4

M. en I.

Miguel Ehécatl

Morales

Trujillo

# Índice general

<b>Lista de figuras</b>	<b>IV</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>V</b>
<b>Introducción</b>	<b>VI</b>
<b>1. Requerimientos médicos y los métodos de asignación</b>	<b>2</b>
1.1. Definiciones médicas . . . . .	4
1.2. Asignación por Registro en espera . . . . .	11
1.3. Asignación por (emparejamiento) Cruzado . . . . .	12
1.4. Asignación por Dominó . . . . .	13
<b>2. Desarrollo del sistema</b>	<b>16</b>
2.1. Metodología de desarrollo . . . . .	17
2.2. Base de datos . . . . .	24
2.3. Histórico de la información . . . . .	31
2.4. Desarrollo de Cruzado y Dominó . . . . .	31
2.4.1. Intercambio renal Cruzado . . . . .	37
2.4.2. Intercambio renal Dominó . . . . .	38
2.5. Desarrollo de Registro en espera . . . . .	39
2.5.1. Fase 1 . . . . .	41
2.5.2. Fase 2 . . . . .	42
2.5.3. Fase 3 . . . . .	43
2.6. Complejidad de los algoritmos . . . . .	44
2.7. Operaciones Alta, Baja, Modificación y Consulta . . . . .	44
2.8. Tecnologías utilizadas . . . . .	47
<b>3. Resultados</b>	<b>48</b>

4. Conclusiones y trabajo futuro	50
Apéndices	52
Bibliografía	63

# Índice de figuras

1.1. Asignación por Registro de espera . . . . .	11
1.2. Asignación por emparejamiento Cruzado . . . . .	13
1.3. Asignación por Dominó . . . . .	15
2.1. Desarrollo en cascada . . . . .	17
2.2. Diagrama general de casos de uso . . . . .	20
2.3. Diagrama de clases del sistema . . . . .	22
2.4. Diagrama de la Base de Datos Parte 1 . . . . .	25
2.5. Diagrama de la Base de Datos Parte 2 . . . . .	26
2.6. Modificación de los parámetros . . . . .	32
2.7. Interacción de los algoritmos en Cruzado . . . . .	37
2.8. Interacción de los algoritmos en Dominó . . . . .	38
2.9. Diagrama de secuencia del Sistema . . . . .	45
2.10. Alta receptor, sus ADEs y sus antígenos . . . . .	46
4.1. Descripción de datos para Dominó y Cruzado . . . . .	52
4.2. Cruzado 1 como resultado del sistema . . . . .	53
4.3. Cruzado 2 como resultado del sistema . . . . .	54
4.4. Cruzado 3 como resultado del sistema . . . . .	55
4.5. Dominó 1 en prueba piloto . . . . .	56
4.6. Dominó 2: mismos elementos que Dominó 1 pero en diferente orden . . . . .	57
4.7. Tríptico Dominó parte externa . . . . .	58
4.8. Tríptico Dominó parte interna . . . . .	59
4.9. Tríptico Cruzado parte externa . . . . .	60
4.10. Tríptico Cruzado parte interna . . . . .	61

# Índice de tablas

1.1. HLA de un donante . . . . .	5
1.2. Compatibilidad ABO. C=Compatible I=Incompatible . . . . .	7
1.3. Puntaje genérico Sexo . . . . .	8
2.1. Ponderación actual . . . . .	18
2.2. Porcentaje base . . . . .	32
2.3. Porcentaje Antígenos . . . . .	33
2.4. Porcentaje ADEs . . . . .	33
2.5. Porcentaje Edad . . . . .	34
2.6. Porcentaje Grupo Sanguíneo . . . . .	34
2.7. Porcentaje Sexo . . . . .	35
2.8. Puntaje registro en espera . . . . .	39
2.9. Puntaje PRA . . . . .	40
2.10. Puntaje HLA . . . . .	40
2.11. Puntaje ADEs . . . . .	41
2.12. Puntaje Edad . . . . .	41
2.13. Complejidad algorítmica . . . . .	44

# Introducción

El presente trabajo reporta la experiencia profesional que se obtuvo al trabajar en el desarrollo del Sistema de Asignación Renal para el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (en adelante Instituto de Nutrición o solo Instituto).

El sistema se concibió para atender una necesidad por parte del Instituto para implementar metodologías de asignación de órganos, en particular, riñones[17]. Las mencionadas metodologías actualmente no están implementadas en México y en ese sentido este trabajo es pionero en nuestro país. Las metodologías que se trabajaron comprenden: Cruzado, Dominó y Asignación por Registro en espera. Previo al presente trabajo, únicamente se había implementado la Asignación por Registro en espera mediante hojas de cálculo.

El equipo de trabajo se conformó por un grupo de médicos especializados en trasplante renal y, en su parte informática, un profesor de la Facultad de Ciencias y por el que suscribe. Mi rol fue el de analista e ingeniero de software. Entre las actividades que realicé estuvieron las de: levantar requerimientos, desarrollar la base de datos (análisis, diseño e implementación), desarrollo web, seguimiento de pruebas y errores, programación de las soluciones, documentación y capacitación a los usuarios finales en el uso del software.

Este reporte pretende describir las soluciones que se desarrollaron para los tres métodos mencionados(Cruzado, Dominó y Registro en espera), mismos que serán descritos a detalle en el capítulo 1, así como presentar los módulos principales del sistema. Gracias a los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ciencias de la Computación y el conocimiento obtenido en materia de trasplantes, fue que se pudo desarrollar este trabajo. A continuación una breve descripción del contenido del reporte

- **Capítulo 1**

En el primer capítulo se describen todos los requerimientos médicos que se necesitaron así como una descripción de los métodos de asignación desarrollados.



- **Capítulo 2**

En este capítulo se muestra la descripción general del sistema y sus principales componentes. La tecnología usada y la metodología de desarrollo.

- **Capítulo 3**

En este apartado se encuentran los resultados generados a partir del sistema.

- **Capítulo 4**

En el último capítulo se pueden ver las conclusiones y propuestas de trabajo futuro del sistema.

Es importante resaltar que como resultado de este trabajo se logró iniciar la tramitación de un producto protegido por el INDAUTOR consistente en un Sistema informático de Asignación Renal bajo la figura de derechos de autor. Se aclara asimismo que en las bases de datos que aquí se presentan se omiten todos los nombres de los receptores y donantes para guardar la identidad de éstos, pero los demás datos como edad, sexo, HLA y Anticuerpos son datos reales.

# Capítulo 1

## Requerimientos médicos y los métodos de asignación

Las enfermedades crónico-degenerativas como la obesidad, diabetes mellitus e hipertensión arterial son uno de los principales problemas de salud pública de las sociedades actuales. Los estilos de vida sedentarios y poco saludables, junto con la transición epidemiológica, han favorecido el incremento de la incidencia y prevalencia de padecimientos como la Enfermedad Renal Crónica (ERC), la cual ocasiona la necesidad de un trasplante, pero el acceso al trasplante renal es un problema debido a la poca disponibilidad de órganos y recursos.

El estudio realizado por la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México en conjunto con la Secretaría de Salud (SSA) en el 2005 sobre la ERC en México[10] es de las pocas fuentes recientes dadas a la tarea de dimensionar el problema de esta enfermedad en el país, y sus resultados no fueron alentadores. Se le atribuyeron cerca de 10,000 muertes anuales, siendo la décima causa de fallecimiento a nivel nacional. Se estimaron también cerca de 129,000 pacientes con ERC terminal, de los cuales solamente menos de la mitad (cerca de 60,000) recibían alguna forma de terapia sustitutiva, como diálisis peritoneal o hemodiálisis, como tratamiento de su enfermedad. Para el año 2025, se estima que la cifra total de pacientes ascenderá a 212,000 casos, con casi 160,000 muertes atribuidas a la ERC.

En el mes de mayo de 2015, en México, 19,429 personas requerían recibir un trasplante de algún órgano ó tejido. Del total de estas personas, 11,751 esperan recibir un trasplante renal[5]. El dato más preocupante se observa, tal vez, en el número de trasplantes renales de donante fallecido (TRDF) realizados anualmente en el país;

en el año 2014 se realizaron solamente 748 TRDF, de un total de 2,610 trasplantes renales. Cabe mencionar que ese número de TRDF corresponde solamente a 459 donaciones multiorgánicas ocurridas en todo el país, lo cual le otorga a México una tasa de apenas 3.86 donantes por millón de población (pmp); en contraste, países de América Latina como Uruguay y Argentina cuentan con tasas de 20 y 15 donantes pmp, respectivamente. A nivel mundial, España es el líder en donación multiorgánica, con cifras que rondan los 40 donantes pmp.

El trasplante renal, en comparación con las otras opciones de terapia sustitutiva, es claramente la mejor alternativa de tratamiento de reemplazo de la función renal. Está demostrado que la sobrevida en pacientes postrasplantados mejora en 68 % comparado con los pacientes en registro en espera, y la supervivencia a 1 año postrasplante del paciente y el injerto se acercan al 95 % y 90 %, respectivamente. En contraste, se estima que cerca de la mitad de los pacientes en diálisis peritoneal o hemodiálisis fallecen antes de los 5 años. No menos importante, la calidad de vida de un paciente postrasplantado es drásticamente superior a la de una persona en terapia de reemplazo renal, pudiendo reintegrarse completamente a la vida laboral y sector productivo de la sociedad, teniendo desarrollo pleno en todas las esferas, previamente limitado por la enfermedad.

Dada la escasez de órganos disponibles para trasplante, se ha requerido desarrollar modelos que permitan volver más eficientes la generación y el uso de este recurso[6]. La novedosa implementación de métodos como el trasplante Cruzado o Dominó[21] han hecho factible la realización de numerosos trasplantes a partir de una población previamente descartada, como las parejas incompatibles por grupo sanguíneo o por prueba cruzada positiva, generando una opción más para los pacientes en espera de un riñón. Por otro lado, se generan redes de colaboración e intercomunicación entre pacientes y médicos que van más allá de lo común para crear nuevas formas de tratamiento que beneficien a más pacientes y solidarice a la sociedad en torno al tema de donación y trasplante de órganos. Con el sistema informático desarrollado en el presente trabajo, se pretende automatizar la asignación de órganos de los métodos Cruzado y Dominó y de esta forma ofrecer una opción a los pacientes con enfermedad renal que tengan un donante altruista no compatible. Estos dos métodos consisten en buscar intercambiar donantes con otros pacientes en una situación similar para ofrecerles a los pacientes un trasplante como tratamiento definitivo.

Además los beneficios de participar en un programa de intercambio (Cruzado y Dominó) son:

- Recibir un riñón de forma más rápida, quizás antes de que el paciente se tenga que someter a diálisis.

- Para el donante puede ser una experiencia muy enriquecedora, por que no sólo ayuda a su receptor, también ayuda a otras familias.
- Recibir un riñón más compatible, lo que llevaría a que se usen menos fármacos.
- Por lo general un riñón de un donante vivo tiene una sobrevida mayor que el de uno fallecido.

## 1.1. Definiciones médicas

En el sistema existen dos actores principales que son:

- **Receptor**

El receptor es todo aquel paciente con enfermedad renal y que necesita de un trasplante. Éste a su vez esta dividido en los siguientes tipos de receptor

- En Registro en espera: está en espera de ser trasplantado por un donante fallecido.
- En Cruzado o Dominó: tiene una pareja para participar en este método, pero esta pareja es incompatible.

- **Donante**

Los donantes se clasifican de la siguiente manera:

- Donante fallecido: se genera a partir de pacientes que han sufrido muerte cerebral.
- Donante Cruzado o Dominó: es la pareja de un receptor en Cruzado o Dominó, incompatible con su receptor.
- Donante altruista (buen samaritano): es una persona que esta dispuesta a donar un riñón con motivo de crear un Dominó o simplemente donar a alguien en Registro en espera.

A continuación se describen las variables médicas que usa el sistema, se especifica si sólo son del receptor o también incluyen al donante.

- **Antígenos Leucocitarios Humanos (HLA por sus siglas en inglés) Receptor y Donante**

HLA son proteínas que se localizan en la superficie de las células blancas y en otros tejidos del cuerpo. Existen dos tipos:

- **Clase 1**
  - A
  - B
  - C
  
- **Clase 2**
  - DP
  - DQ
  - DR

El receptor y el donante cuentan con dos cadenas que incluyen 6 antígenos, 3 de clase 1 y 3 de clase 2, en la siguiente Tabla se muestra un ejemplo:

Tabla 1.1: HLA de un donante

<b>Antígeno donante</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>DP</b>	<b>DQ</b>	<b>DR</b>
Cadena 1	A1	B13	Cw1	DP1	DQ2	DR7
Cadena 2	A2	B18	Cw10	DP10	DQ4	DR7

El HLA tiene influencia en la supervivencia y función del injerto por la compatibilidad entre donante y receptor. Es posible actualmente medir cada antígeno y anticuerpo que compone la “identidad inmunológica” de cada persona de manera específica, y la comparación entre éstos para determinar la compatibilidad histológica entre un receptor y un potencial donante es un punto esencial del estudio de cada pareja para asegurar el éxito del trasplante[16]. Se puede ahondar en que sólo se utilizan A, B, y DR ya que son los que más impacto tienen en la función postrasplante de un injerto y se correlacionan de manera más marcada en los eventos de rechazo. Además, son las regiones más estudiadas del HLA, y son consideradas por los distintos sistemas de puntaje y asignación alrededor del mundo (EEUU, Chile, Australia, Europa, Canada)[13].

■ **Anticuerpos Donante Específico (ADE) sólo receptor**

El anticuerpo es una proteína, presente en el suero que puede perjudicar a las células del donante atacando el HLA [22]. El anticuerpo sólo perjudicará a las células del HLA del donante. No todos tienen anticuerpos contra los HLA, esto quiere decir que un receptor puede tener 0,1,2...n anticuerpos. Cabe destacar que el anticuerpo ‘cabe’ en el HLA, como una llave y su respectiva cerradura, esto es si tenemos un HLA-A: A1 existe un anticuerpo A1 que lo ataca (de

hecho en el sistema se usa el mismo catálogo para antígenos y anticuerpos). Existen diferentes razones por las que un receptor haya desarrollado anticuerpos, las más comunes son: transfusiones, trasplantes previos y embarazos.

Además cada anticuerpo tiene una *Fluorescencia* que se expresa en unidades MFI (Mean Fluorescence Intensity), de acuerdo a técnicas de tipificación y determinación de anticuerpos, se sabe que con fluorescencias mayores a 5,000 existen pruebas cruzadas positivas<sup>1</sup> ya sea por sólo un anticuerpo o la suma de fluorescencias de varios de ellos. Por tal razón en los métodos de Cruzado y Dominó, el sistema usa como filtro una máxima fluorescencia de 5,000. En la base de datos actual la mínima fluorescencia reportada es de 407 y la máxima es de 25,500.

- **Panel de Anticuerpos Reactivos (PRA por sus siglas en inglés) sólo receptor**

Es una prueba de laboratorio que busca los niveles de ADEs en la sangre, estos niveles se monitorean para pacientes en espera de un trasplante. El PRA se mide en porcentajes que van del 0 al 99, esto representa una proporción de la población a la que el receptor atacará con sus anticuerpos. Si un paciente tiene un nivel de PRA de 70% por ejemplo, quiere decir que 70 de cada 100 donantes no son compatibles con este paciente. Individuos con PRA alto se les denomina pacientes *sensibilizados*, es decir, desarrollaron anticuerpos por las razones expuestas en los ADEs (transfusiones, trasplantes previos y/o embarazos). Cabe aclarar que estos pacientes son más difíciles de trasplantar.

Los altos niveles de PRA incrementan las probabilidades de una prueba cruzada positiva, es por esto que es más difícil encontrar un donante compatible, que puede ser un problema si se necesita de un trasplante urgente. Como ya se vio en los ADEs, el PRA esta dividido en clase 1 y clase 2. Cabe resaltar que el porcentaje PRA es relativo a una población estadounidense, donde se estandarizó esta prueba. Esto significa que el porcentaje de PRA es generalmente contra una población estadounidense, pero dado que en México no existe un estudio similar, se usa como un equivalente. El PRA no está ajustado a la población mexicana y se usa como parámetro estimado.

- **Edad. Receptor y Donante**

---

<sup>1</sup>Una prueba cruzada positiva quiere decir que no se puede trasplantar.

En el sistema se captura la fecha de nacimiento tanto de receptor y donante, se busca que entre estos dos exista una diferencia de edades lo más pequeña posible, por ejemplo, un receptor de 25 años y un donante de 25 años sería el escenario idóneo, ya que se sabe que la edad tiene un efecto significativo en la sobrevivencia del injerto trasplantado[2].

■ **Grupo Sanguíneo. Receptor y Donante**

Existen 4 diferentes tipos de sangre A, B, AB y O. Las compatibilidades quedan a continuación:

- Donantes con tipo A pueden donar a receptores con tipo A y AB.
- Donantes con tipo B pueden donar a receptores con tipo B y AB.
- Donantes con tipo AB pueden donar a receptores con tipo AB únicamente.
- Donantes con tipo O pueden donar a receptores con tipo A, B, AB y O (O es el donante universal).
  
- Receptores con tipo O pueden recibir de tipo O únicamente.
- Receptores con tipo A pueden recibir de tipo A y O.
- Receptores con tipo B pueden recibir de tipo B y O.
- Receptores con tipo AB pueden recibir de tipo A, B, AB y O (AB es el receptor universal).

Toda la información anterior se simplifica en la siguiente Tabla de compatibilidades:

Tabla 1.2: Compatibilidad ABO. C=Compatible  
I=Incompatible

<b>Receptor/Donante</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>AB</b>	<b>O</b>
<b>A</b>	C	I	I	C
<b>B</b>	I	C	I	C
<b>AB</b>	C	C	C	C
<b>O</b>	I	I	I	C

El grupo sanguíneo es una de las variables filtro junto con los ADEs. Sin compatibilidad por grupo sanguíneo no se puede realizar un trasplante (a diferencia de, por ejemplo, trasplante hepático que se puede realizar sin importar el grupo

sanguíneo). Actualmente existen técnicas para trasplantes con incompatibilidad por grupo sanguíneo, pero son procedimientos que se siguen estudiando. A pesar de esto, se realizan cada vez más trasplantes de este tipo en el mundo y se está avanzando en su entendimiento e implementación.

- **Sexo. Receptor y Donante**

Los riñones de los hombres tienden a ser más grandes y le brindan una mejor función al trasplantarse en mujeres, por proporción a su superficie corporal. No así de mujer a hombre, dado que son más pequeños. Esta variable no tiene tanto peso en el trasplante renal, sin embargo, en la siguiente Tabla se da un puntaje genérico de las preferencias que se tiene sobre el sexo del receptor y el donante:

Tabla 1.3: Puntaje genérico Sexo

<b>Receptor</b>	<b>Donante</b>	<b>Puntaje</b>
Femenino	Masculino	+++
Femenino	Femenino	++
Masculino	Masculino	++
Masculino	Femenino	+

- **Tiempo en Registro en espera sólo Receptor**

Cuando el receptor es diagnosticado con enfermedad renal crónica terminal, se agrega al Registro en espera en una fecha específica, sin embargo, el receptor puede esperar en promedio en el Instituto de Nutrición hasta 1.3 años (esto puede variar entre hospitales e incluso a nivel nacional). Esta variable no se usa en Cruzado ni Dominó.

- **Tiempo en diálisis sólo receptor**

La diálisis es una terapia sustitutiva que sirve para eliminar los desechos peligrosos del cuerpo, el exceso de sal y agua, cuando los riñones dejan de trabajar correctamente. Los dos tipos más comunes son diálisis peritoneal y la hemodiálisis. Por lo general, los pacientes requieren un tratamiento continuo a menos que reciban un trasplante renal. Es una variable bastante compleja ya que no existe un registro de cuando los pacientes empezaron con la terapia sustitutiva, es por esta razón que se necesita hacer un registro de Enfermedad Renal Crónica, para considerar la diálisis como criterio de asignación, de manera certera y exacta. El tiempo apenas es mayor al promedio de Registro en espera. Esta variable no se usa en Cruzado ni Dominó.



- **Acceso Vascular sólo receptor**

Los accesos vasculares son conocidos como fístulas arteriovenosas, procedimientos complejos donde se conectan venas y arterias para aumentar el flujo de sangre que permita una mejor terapia de hemodiálisis. El hecho de que no hayan lugares disponibles en un paciente para realizar un acceso vascular es importante porque si no tiene accesos, es urgente trasplantarlo porque no se puede someter a diálisis para mantenerlo vivo.

- **Seroteca sólo receptor**

La seroteca consiste en la conservación de muestras del receptor para realizar pruebas de histocompatibilidad cuando se requieran (por ejemplo, una donación de fallecido). Se hacen de manera periódica. Es un estimado de qué tan bien cumplen su protocolo e indicaciones los pacientes. Gente que nunca va a seroteca tiene un muy mal apego a sus consultas y tratamiento, y por lo tanto mal pronóstico para el trasplante renal. Además, si no van a seroteca, no se pueden cruzar, por lo que no se trasplantan y se alarga el tiempo en espera.

Como ya se mencionó existen tres tipos de receptores que son: Registro en espera, Cruzado y Dominó, existen diferencias en cuanto al uso de variables, a continuación se muestran las diferencias:

- **Receptor Cruzado y Dómino**

Estas variables son tanto para pacientes en Cruzado como Dominó

- Grupo Sanguíneo
- ADEs
- HLA
- Sexo
- Edad

- **Receptor en Registro en espera**

Estas son las variables para la versión base<sup>2</sup>

- ADEs
- HLA

---

<sup>2</sup>En una actualización futura se pretende trabajar algunas excepciones: Receptores jóvenes/añosos, accesos vasculares y donación previa, no obstante estas variables ya están reflejadas en la base de datos actual.

- Edad
- PRA (Clase I y Clase II)
- Tiempo en Registro en espera
- Tiempo en diálisis

A continuación se define la prueba definitiva para saber si un receptor puede recibir de un donante.

■ **Prueba cruzada (CrossMatch)**

Es una prueba de laboratorio que determina si el receptor tiene ADEs vs el potencial donante:

- Prueba cruzada positiva: No hay compatibilidad. No se trasplanta.
- Prueba cruzada negativa: Existe compatibilidad. Se puede trasplantar.

Finalmente uno de los propósitos del sistema es hacer pruebas cruzadas *virtuales*. Cuando estas pruebas cruzadas virtuales recomienden el trasplante es entonces que se realiza las pruebas cruzadas de laboratorio, cuyos resultados son definitivos para decidir si se trasplanta o no. El llevar un registro de la sobrevida de los receptores y de sus variables podrá servir en un futuro para ajustar el sistema y mejorar la compatibilidad y los resultados. El costo de una prueba cruzada es de aproximadamente \$1,500.00 M.N. Sin embargo el costo puede ser mucho mayor, principalmente si se realiza en el medio privado, donde se hacen la mayoría de las pruebas en México, incluidas las subrogadas por los servicios de salud. Por tal motivo, la prueba cruzada "virtual" realizada por el sistema, provoca un ahorro de una prueba cruzada real en caso de que el resultado de la prueba virtual salga positiva

## 1.2. Asignación por Registro en espera

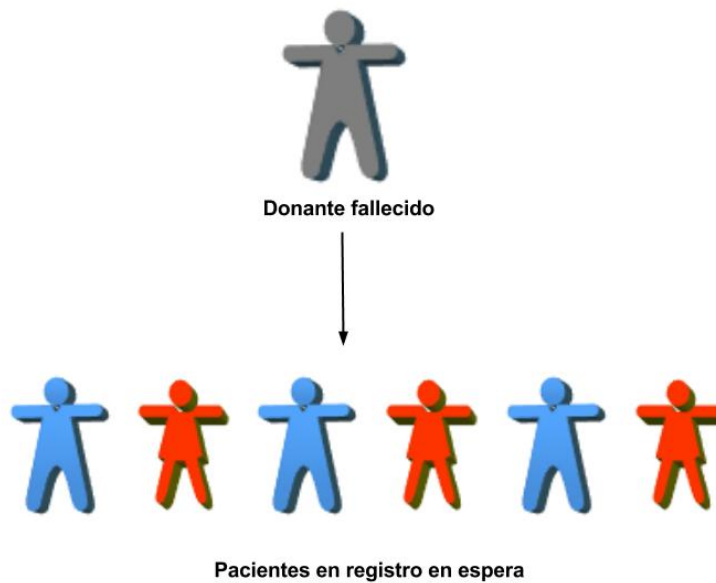


Figura 1.1: Asignación por Registro de espera

A la fecha del presente estudio, mayo 2015, en el Instituto existen 80 pacientes en Registro en espera para trasplante renal.

### ■ Problema

Desde la parte del tecnológica: el Instituto requería mejorar su método de asignación de Registro de espera, anteriormente se usaba una hoja de cálculo (esta hoja de cálculo se llama Asignator) con las siguiente variables.

- Tiempo en Registro en espera
- Tiempo en diálisis
- PRA
- Edad

Nuestro sistema adopto estas variables, pero se reimplementaron en cuanto a su sistema de puntaje, que se verá con mayor detalle en el capítulo del desarrollo del sistema. Desde el punto de vista médico tenemos lo siguiente: se tiene un Registro de receptores con Enfermedad Renal Crónica que generalmente no cuentan con un donante, o cuentan con una persona que desearía donar un riñón pero son incompatibles. La alternativa para estos casos de incompatibilidad es Cruzado y Dominó.

- **Solución**

Se genera una donación a partir de un donante fallecido y se busca el receptor más compatible en cuanto a las nuevas variables definidas. (Figura 1.1)

### 1.3. Asignación por (emparejamiento) Cruzado

La donación por emparejamiento Cruzado (de ahora en adelante sólo Cruzado) es un método que tuvo su primer trasplante en el año 2000 en EEUU, la idea fue planteada en el año 1986.

- **Problema**

Son pacientes que cuentan con un potencial donante, saludable y con función renal apta, pero que es incompatible por grupo sanguíneo o prueba cruzada positiva.

- **Solución**

Una pareja receptor/donante (como por ejemplo una madre y su hijo) que este dispuesta a participar en el programa se agrega a la base de datos para que se busque otra pareja que pudiera ser compatible. (Figura 1.2)

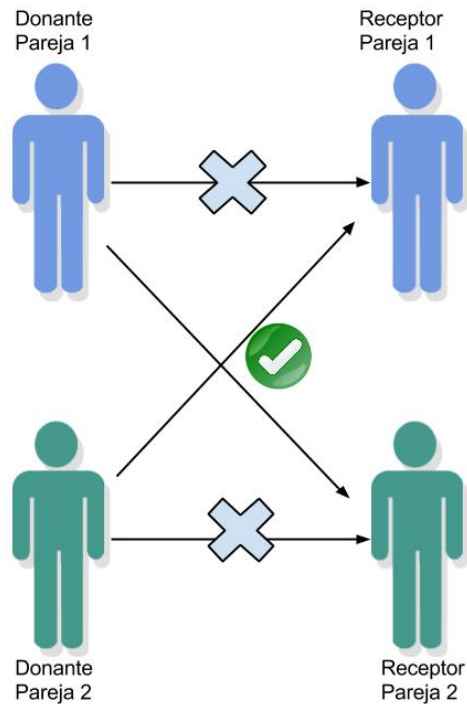


Figura 1.2: Asignación por emparejamiento Cruzado

Finalmente cuando se encuentran dos parejas compatibles se hacen las pruebas cruzadas para confirmar compatibilidad, si estas pruebas resultan negativas se calendariza una fecha de trasplante para ambas parejas ya que los trasplantes deben de ser simultáneos para evitar que alguno de los donantes cambie de opinión y decida no trasplantarse. Al finalizar el mes de abril de 2015 se contaban con 20 parejas listas para Cruzado.

## 1.4. Asignación por Dominó

Desafortunadamente el método Cruzado no maximiza las compatibilidades existentes en el conjunto de parejas (receptor/donante), ya que éstas tienen que ser compatibilidades ida y vuelta (Cruzado), y en el conjunto tenemos muchas compatibilidades de ida por lo tanto no se generaron Cruzados. En la literatura este método es conocido como Cadena o Dominó, también existe otra variante conocida como

NEAD (Never Ending, Altruistic Donor) *Donante Altruista que Nunca Termina*. En este documento sólo nos referiremos al método Dominó.

- **Problema**

Se enuncia el problema igual que Cruzado.

- **Solución**

Además del conjunto de parejas receptor/donante incompatibles, existe otro actor que es el donante altruista (buen samaritano), este donante da su riñón a algún receptor compatible del conjunto de parejas, después el donante de este receptor le da su riñón a otro receptor y se repite el proceso. (Figura 1.3)

Una de las ventajas que tiene este método sobre Cruzado es que los trasplantes no tienen que realizarse de manera simultánea, además, la cadena puede tener distintas variantes a pesar de tener pocas parejas<sup>3</sup>. Por otro lado, dado que nadie está obligado (nadie firma un contrato) a donar después de que su receptor haya recibido el riñón, la cadena podría cortarse sin afectar a ninguna pareja. Observe que este método se puede realizar cuando existe un donante altruista.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup>En nuestros primeros resultados tenemos cadenas de hasta 10 receptores de los 20 que existen en la base de datos.

<sup>4</sup>Se espera que a corto plazo se pueda usar un donante fallecido.

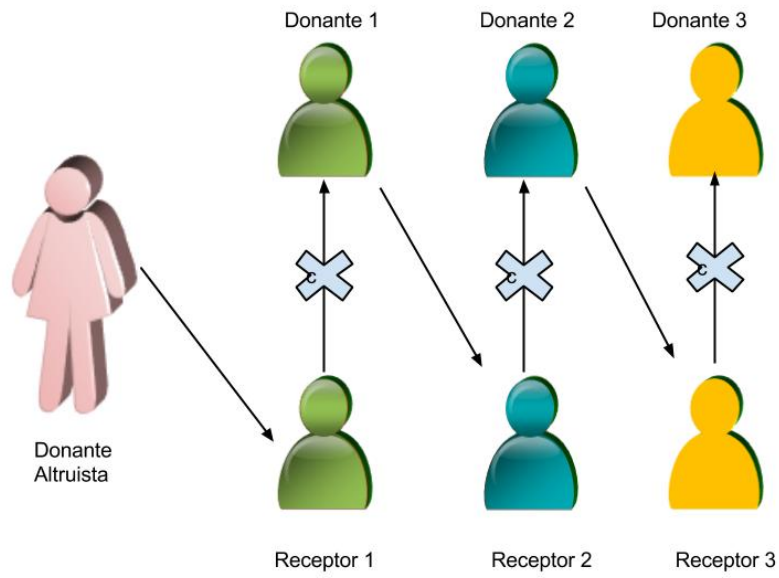


Figura 1.3: Asignación por Dominó

# Capítulo 2

## Desarrollo del sistema

Alrededor del mundo se pueden encontrar diversos sistemas dedicados completamente al trasplante: por ejemplo en Estados Unidos la *United Network for Organ Sharing*<sup>1</sup> (UNOS) cuenta con el *Kidney Allocation System*, en Europa cuentan con el *Eurotransplant Kidney Allocation System*<sup>2</sup> (ETKAS) que consta de 8 países como son: Austria, Bélgica, Alemania entre otros. Por otro lado existe el *Sistema Nacional de Información de Procuración y Trasplante de la República Argentina*<sup>3</sup> (SINTRA).

En México el Centro Nacional de Trasplantes (CENATRA) está a cargo del *Sistema Informático del Registro Nacional de Trasplantes*<sup>4</sup> (SIRNT). Sistema que es el encargado de gestionar toda la información sobre los receptores, donantes, Centros de Trasplante, Órganos, Trasplantes Realizados, etcétera. Este sistema ha operado por más de 10 años.

Los sistemas mencionados a pesar de ser sistemas muy completos, sólo UNOS y ETKAS trabajan con métodos de asignación Cruzada y Dominó de forma permanente. En México se espera que con la experiencia que se genere en el Instituto de Nutrición, este sistema pueda implementarse a nivel zona, a nivel estatal y finalmente a nivel nacional. Esperamos que en el lapso de entre 5 y 10 años se pueda consolidar este tipo de sistema a nivel Nacional.

Los trasplantes Cruzado y Dominó abordan a la enfermedad desde distintos niveles, dado que se toma en consideración aspectos, socioeconómicos, emocionales, médicos y genéticos de cada paciente. Es por ello que la solución propuesta en el presente trabajo también debe de ser múltiple, en donde el cómputo es una rama esencial

---

<sup>1</sup><http://unos.org/> consultado en mayo de 2015.

<sup>2</sup><https://www.eurotransplant.org/cms/> consultado en mayo de 2015.

<sup>3</sup><http://sintra.incucai.gov.ar/> consultado en mayo de 2015.

<sup>4</sup><http://www.cenatra.gob.mx/> consultado en mayo de 2015.



que colabora con las demás áreas para hacer posible este sistema, que beneficia a la sociedad.

## 2.1. Metodología de desarrollo

Antes de comenzar a describir los puntos clave del sistema, describo la metodología de desarrollo del Sistema de Asignación Renal. La metodología que se usó fue la de cascada (Figura 2.1). Cabe mencionar que siempre se trabajó junto con los médicos, lo que permitió que adquiriese el conocimiento actual en materia de trasplantes renales. En esta sección no profundizaré en los módulos del sistema ya que más adelante se describirán a detalle.

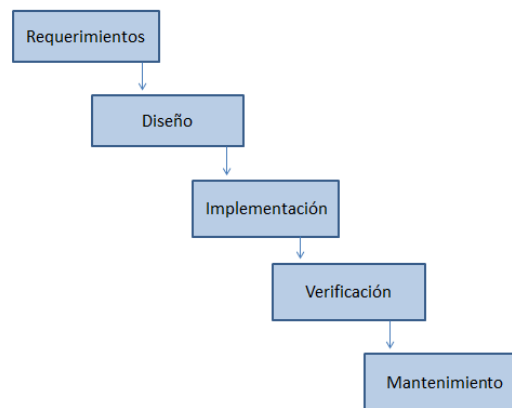


Figura 2.1: Desarrollo en cascada

A continuación la descripción de como se trabajó cada parte del desarrollo:

- **Requerimientos**

El Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán" buscó los servicios de la Facultad de Ciencias para desarrollar una aplicación que pudiera asignar parejas no compatibles con otras que si lo fueran, utilizando los métodos Cruzado y Dominó. Hasta ese momento no se tenía en mente implementar Registro en espera, pero después de discusiones y pláticas se llegó al consenso que también era importante trabajar con Registro en espera, esto con el fin de tener una base de datos unificada con los nuevos métodos y la actualización del Registro, esto causo que el alcance del proyecto creciera.

Otra de las características que se contemplaron al inicio fueron la de agregar todos los estudios pretrasplantes tanto para el receptor y donante, estos estudios incluían: enfermedades neoplásicas, enfermedades infecciosas, gastrointestinal, entre otras. Pero el alcance crecía por lo que se descartó la idea, por lo tanto se asumió que si el receptor estaba en Registro en espera o en el conjunto de asignación Cruzada o Dominó es por que no tuvo problemas en la evaluación pretrasplante así como el donante.

En el levantamiento de requerimientos hubo muchos términos médicos que para mi eran totalmente nuevos, sin embargo, los médicos me dieron todas las definiciones y la importancia de cada variable que pudieran ser relevantes para el trasplante. Hubo variables que fueron consideradas inicialmente pero que fueron descartadas debido a que se llegó a la conclusión de que no eran relevantes para el trasplante, algunos ejemplos sobre estas variables son: peso<sup>5</sup>, talla, demografía, situación económica.

Después de varias reuniones, se llegó a lo que serían las *variables mínimas* de un receptor y un donante, así como a lo que llamamos una *compatibilidad mínima*[7] que es con lo que se trabajó a lo largo del desarrollo.

Posteriormente, se discutieron ponderaciones de las variables. Para el caso de Cruzado y Dominó hubo largas discusiones pero hubo un consenso general y la ponderación actual (ver Tabla 2.1) es la que se determinó como la definitiva. Por otro lado, Registro en espera era un problema distinto ya que para este método se debían de tomar decisiones éticas y morales, en ese sentido la pregunta a responder era: ¿A quién se le dona el riñón: al receptor *más compatible* o al que lleva *más tiempo* en Registro en espera? por lo que se trató de dar una ponderación igual a estos dos criterios.

El tiempo de trabajo para esta etapa fue de 2 meses.

Tabla 2.1: Ponderación actual

Variable	Porcentaje
Antígenos compartidos	30
ADEs	30
Edad	10
Grupo Sanguíneo	10
Sexo	10

---

<sup>5</sup>Sólo con Índice de Masa Corporal mayor a 30, el paciente no es candidato a trasplante hasta que éste baje, sin embargo, esta valoración es pretrasplante.

Total	100
-------	-----

## ■ Diseño

No se tenía referencia alguna de sistemas sobre asignación en México, sólo el *Asignator*.<sup>6</sup> Sin embargo, esta implementación sirvió como base para desarrollar el método Registro en espera en nuestro sistema. Tuvimos que revisar lo que se había desarrollado al respecto a nivel mundial. Sin embargo, lo que observamos en los sistemas era la parte externa de la aplicación, sin poder ver la solución que se adoptaba en la implementación de los métodos de asignación renal. Por tal motivo, nos dimos a la tarea de investigar los algoritmos y variables que se consideraban en los sistemas.

Después de múltiples reuniones con los médicos se acordó el desarrollar los métodos de asignación en módulos y al final se construyeron los siguientes módulos en este orden:

1. Cruzado
2. Registro en espera
3. Dominó

A pesar de que lo lógico era desarrollar el método Dominó en segundo lugar (por todas las funciones compartidas con Cruzado) se decidió que fuera Registro en espera, debido a que históricamente el Instituto no había tenido un donante altruista en lo que llevaba su programa de trasplantes. Además el uso de donante fallecido todavía no figuraba como parte de la solución.

Toda la información debía estar guardada en una sola base de datos centralizada, que además fuera robusta y que estuviera siempre disponible. En cuanto al software utilizado se decidió hacer el desarrollo usando el sistema manejador de base de datos Microsoft SQL SERVER, dado que el Instituto utiliza este software como institucional.

El tiempo de trabajo para esta etapa fue de 2 meses.

## ■ Implementación

Dado que el proyecto fue implementado desde sus raíces, comenzamos con uno de los componentes más importantes: la base de datos. Esta base de datos debía

---

<sup>6</sup>Nombre que se le dió a la solución que se usó en Registro en espera en el Instituto y que se implementó en una hoja de cálculo.

de alojar a los diferentes tipos de receptor y de donante, contar con integridad referencial y en la medida de lo posible usar catálogos.

Después de terminar el diseño de la base de datos y la implementación de ésta en el sistema manejador de base de datos, se procedió a implementar los casos de uso (Figura 2.2). Para esto se optó por utilizar el paradigma de programación Orientado a Objetos. Se decidió usar un ORM<sup>7</sup> para agilizar más el desarrollo y enfocarse más a los métodos de asignación, dado que el ORM más utilizado para las tecnologías de Microsoft es el Entity Framework<sup>8</sup>, se optó por esta tecnología para el desarrollo.

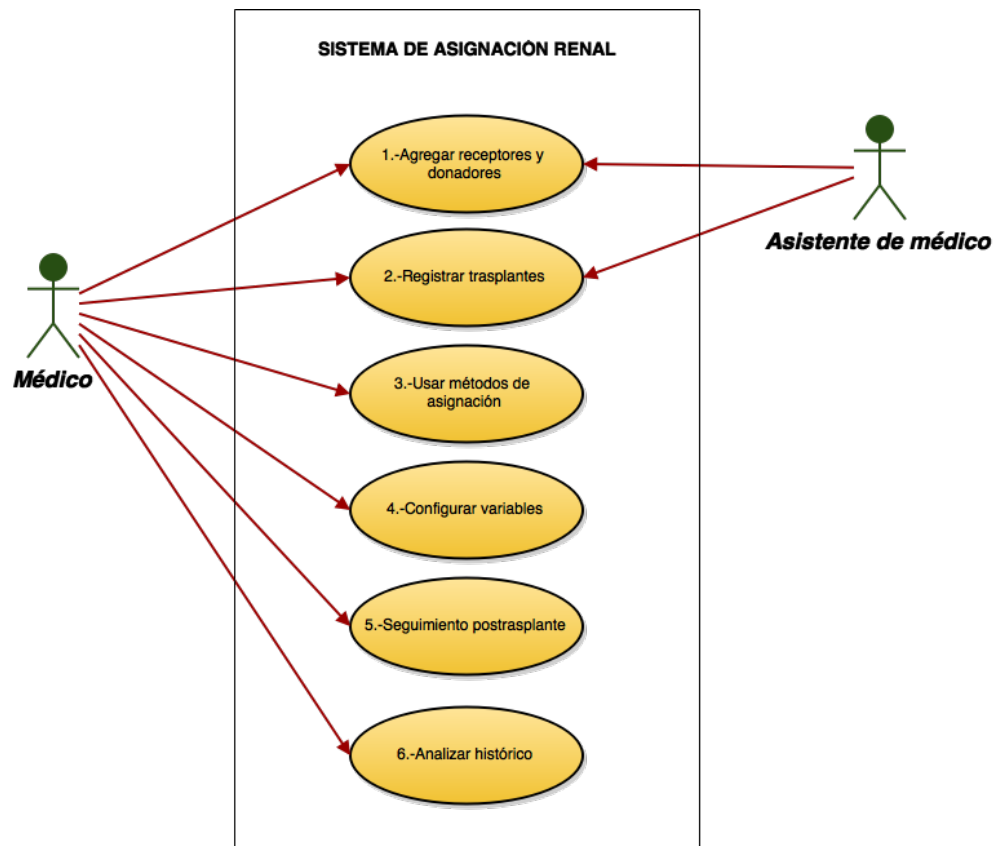


Figura 2.2: Diagrama general de casos de uso

En la Figura 2.3 podemos ver el modelo generado a partir de la base de datos,

<sup>7</sup>Object Relational Mapping.

<sup>8</sup>Versión más reciente al momento: 6 (15/5/15).

no todas las tablas se agregaron al modelo, por ejemplo las históricas, esta forma de generar el modelo usando Entity Framework se llama *Base de Datos primero*<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup>Existen otros dos enfoques para usar Entity Framework que son: *Código primero* y *Modelo primero*.

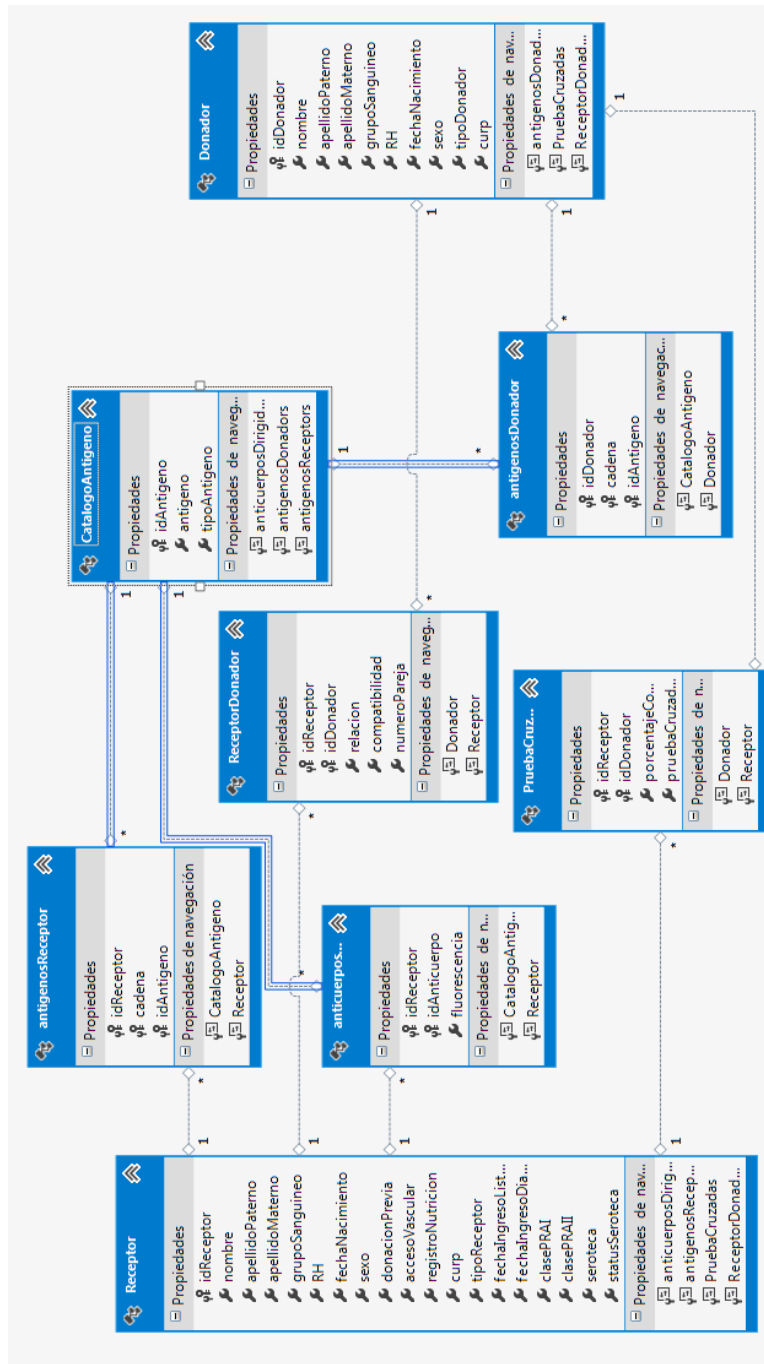


Figura 2.3: Diagrama de clases del sistema

Una vez desarrollado el modelo en Entity Framework, se desarrolló la función de filtrado, los métodos de compatibilidad mínima y la función de compatibilidad total (estos métodos se describen más adelante).

Posteriormente se trabajó el método Cruzado, no sin antes poblar la base de datos. Dado que aún no estaba desarrollada la interfaz (pero era necesario hacer las pruebas) se insertaron los datos usando archivos en Excel y cargándolos con un script diseñado para esta tarea.

Es importante resaltar que se usaron datos de receptores reales y no datos creados por algún programa, lo que nos acercaba más al producto terminado. Finalmente cuando se concluyó el desarrollo del método Cruzado, se ejecutó la aplicación y se obtuvieron 3 posibles resultados a partir de las 20 parejas posibles, los resultados se pueden ver en el Apéndice A (Sección 4). Desafortunadamente de las 3 parejas posibles sólo se podían concretar 2 de ellas ya que los resultados tenían parejas en común. Sin embargo, con esta solución se podían beneficiar 4 receptores. Es importante resaltar que las parejas que estaban participando en el programa ya tenían una idea del proyecto de automatización del método Cruzado, por lo que estos resultados se podían llevar a la realidad.

A continuación se construyó la interfaz del sistema consistente en la automatización de las funciones *ALTA*, *BAJA*, *MODIFICACIÓN* y *CONSULTA* de datos, cuyos componentes principales tienen que ver con el receptor, donante, pruebas cruzadas y trasplantes.

Siguiendo el orden de desarrollo establecido, se procedió a desarrollar el método de Registro en espera. Inesperadamente, apareció una donante altruista que fue llevada por una pareja que además quería participar en el programa de intercambio. La donante estaba muy entusiasmada en participar en el programa pero teníamos un problema: no teníamos programado Dominó. Debido a lo anterior tuvimos que suspender el desarrollo de Registro en espera<sup>10</sup> para iniciar la automatización del método Dominó.

Para realizar la programación del método Dominó se reutilizaron las funciones que este método comparte con el método Cruzado. Finalmente se obtuvieron resultados satisfactorios mismos que pueden observarse en el Apéndice B (Sección 4).

Al final las cadenas que se seleccionaron para valoración beneficiaban hasta 6

---

<sup>10</sup>Como ya se mencionó el Instituto contaba con el Asignator por lo que esto no iba a entorpecer los trabajos de trasplante en el Instituto.

personas<sup>11</sup>. Cabe aclarar que hubo cadenas de mayor tamaño pero los médicos decidieron comenzar con cadenas con alta probabilidad de éxito o sea con la menor fluorescencia posible.

Como se puede ver en los párrafos anteriores quise mostrar los eventos como sucedieron con el objeto de dejar ver que un desarrollo como el que se describe, si bien se puede planear, los eventos que suceden en la vida real pueden cambiar el planteamiento inicial. Gracias a que optamos por usar metodologías de desarrollo flexibles pude adaptar la construcción del sistema a los nuevos escenarios que se iban presentando.

El tiempo de trabajo para esta etapa fue de 6 meses.

- **Verificación** En el proceso de implementación por lo general, siempre trabajé de la mano de los médicos, por lo que ciertos errores y mejoras, se corrigieron y programaron en paralelo con el desarrollo, además los comentarios de los médicos como usuarios finales nos ayudaron a crear un sistema a la medida. El tiempo de trabajo para esta etapa fue de 1 mes.
- **Mantenimiento** Hay muchas mejoras que se le pretenden dar al sistema pero éstas se describen y detallan en el Capítulo Conclusiones y trabajo futuro. El tiempo de trabajo para esta etapa fue de 1 mes.

## 2.2. Base de datos

En las Figuras 2.4 y 2.5 se puede ver el diagrama de Base de Datos del Sistema, tiene 2 componentes: la primera permite hacer trabajo transaccional sobre la base de datos y la segunda mantener un histórico de la información, esto se discutirá a fondo en la sección *Histórico de la información*.

En el diagrama se muestran todas las tablas de la base de datos, los campos de cada una de ellas y sus interrelaciones.

---

<sup>11</sup>Pueden ser 7 si el último dona a Registro en espera o incluso más en lo que llegan más parejas al programa y se generen nuevas cadenas.



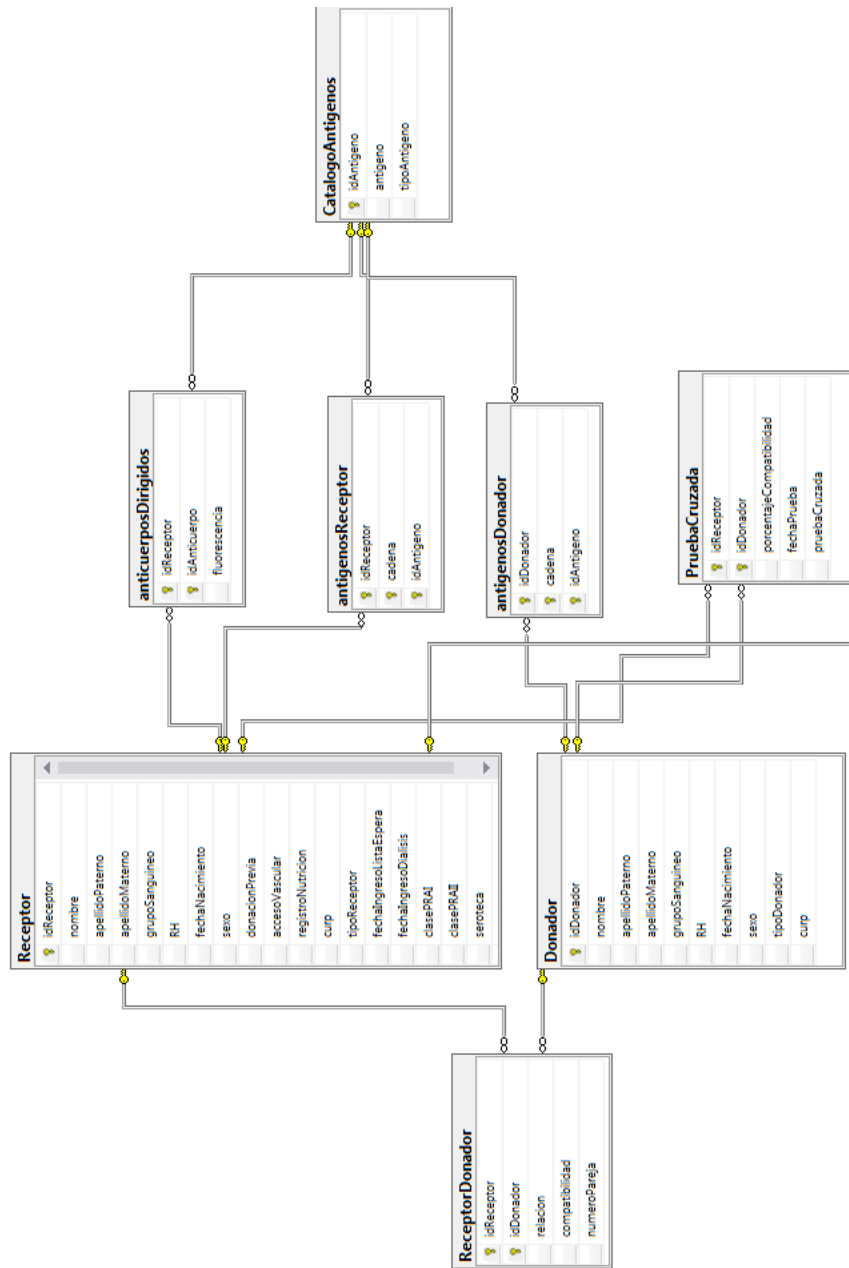


Figura 2.4: Diagrama de la Base de Datos Parte 1

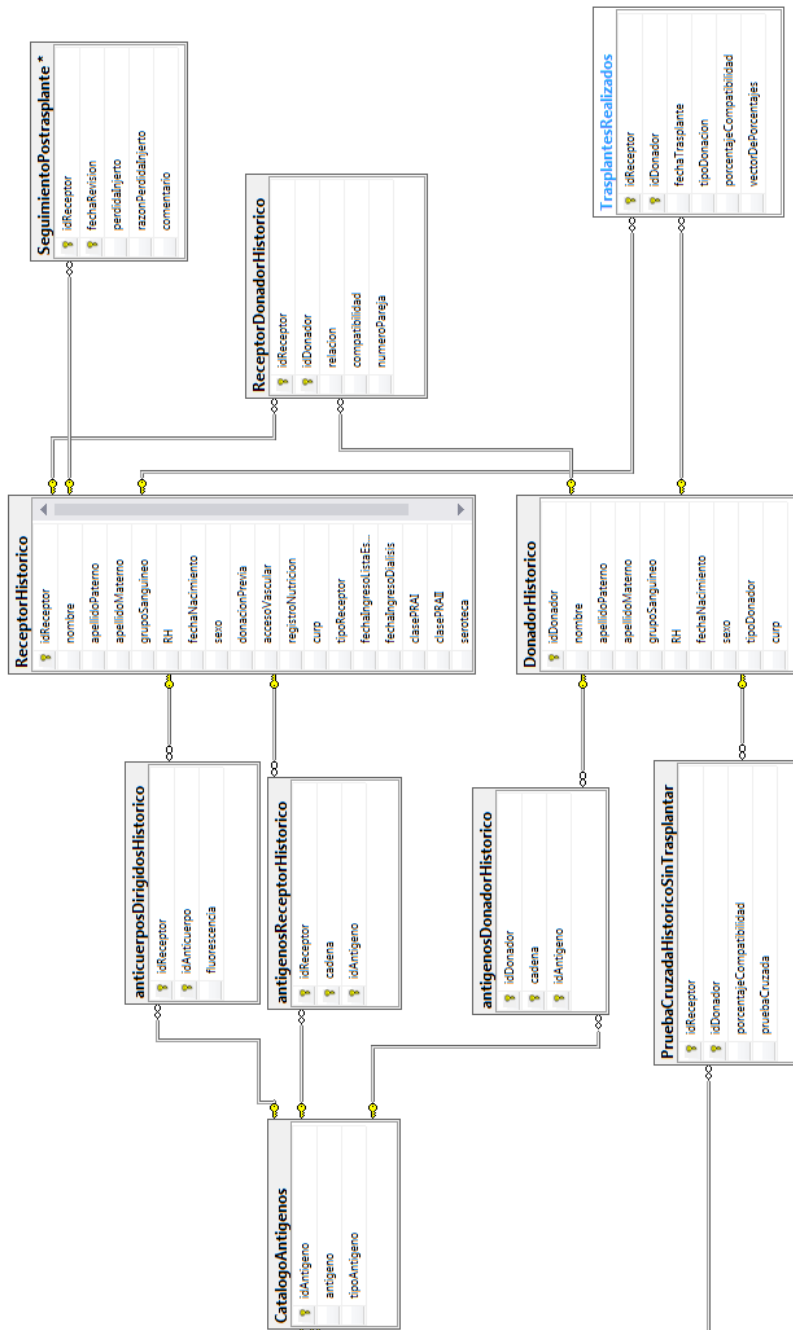


Figura 2.5: Diagrama de la Base de Datos Parte 2

A continuación se explica el contenido de las tablas:

## 1. Receptor y Receptor Histórico

- *idReceptor* (INT) (Llave Primaria).
- *nombre* (VARCHAR).
- *apellidoPaterno* (VARCHAR).
- *apellidoMaterno* (VARCHAR).
- *registroNutrición* (VARCHAR): con el fin de que otros departamentos puedan buscar a los pacientes, este registro puede ser de 6 caracteres para Pacientes del Instituto o 9 caracteres para pacientes sin registro definitivo.
- *curp* (VARCHAR): código alfanumérico único de identidad de 18 caracteres.
- *grupoSanguíneo* (VARCHAR): A, B, O y AB.
- *RH* (CHAR): +, -.
- *fechaNacimiento* (DATE): año/mes/día.
- *sexo* (CHAR): M = Masculino, F = Femenino.
- *accesoVascular* (CHAR): S = Si, N = No.
- *tipoReceptor* (VARCHAR): Registro en espera, Cruzado o en ambas.
- *fechaIngresoRegistroEspera* (DATE): año/mes/día.
- *fechaIngresoDiálisis* (DATE): año/mes/día.
- *clasePRAI* (INT): de 0 a 99.
- *clasePRAII* (INT): de 0 a 99.
- *seroteca* (VARCHAR): identificador de 5 caracteres para cada receptor, es un valor único.
- *statusSeroteca* (CHAR): A = Activa, I = Inactiva.

## 2. Catálogo Antígenos

- *idAntigeno* (INT) (Llave Primaria)
- *tipoAntigeno* (VARCHAR): A, B, C, DP, DQ, DR, DRP.

- *antígeno* (VARCHAR): Cada tipo tiene un número diferente de elementos<sup>12</sup>: A tiene 21, B tiene 43, C tiene 15, DP tiene 17, DQ tiene 7, DR tiene 15 y DRP tiene 3.

### 3. Antígenos eceptor y Antígenos Receptor Histórico

- *idReceptor* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Receptor(idReceptor)) (Llave primaria).
- *idAntígeno* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Catálogo Antígenos(idAntígeno)) (Llave primaria).
- *cadena* (INT) (Llave primaria): 1 o 2.

### 4. Anticuerpos Dirigidos y Anticuerpos Dirigidos Histórico

- *idReceptor* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Receptor(idReceptor)) (Llave primaria).
- *idAnticuerpo*<sup>13</sup> (INT) (Llave foránea que hace referencia a Catálogo Antígenos(idAntígeno)) (Llave primaria).
- *fluorescencia* (DECIMAL).

### 5. Donante y Histórico

- *idReceptor* (INT) (Llave Primaria).
- *nombre* (VARCHAR).
- *apellidoPaterno* (VARCHAR).
- *apellidoMaterno* (VARCHAR).
- *curp* (VARCHAR): código alfanumérico único de identidad de 18 caracteres.
- *grupoSanguíneo* (VARCHAR): A, B, O y AB.
- *RH* (CHAR): +, -.

---

<sup>12</sup>Estos son los más comunes pudiendo agregar más elementos de ser necesarios.

<sup>13</sup>Recordando que los anticuerpos y los antígenos usan el mismo catálogo ya que para cada antígeno existe un anticuerpo.

- *fechaNacimiento* (DATE): año/mes/día.
- *tipoDonante* (VARCHAR): Fallecido, Cruzado o Altruista.

## 6. Antígenos Donante y Antígenos Donante Histórico

- *idDonante* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Donante(idDonante)) (Llave primaria).
- *idAntigeno* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Catálogo Antígenos(idAntígeno)) (Llave primaria).
- *cadena* (INT) (Llave primaria): 1 o 2.

## 7. Receptor/Donante y Receptor/Donante Histórico

- *idReceptor* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Receptor(idReceptor)) (Llave primaria).
- *idDonante* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Donante(idDonante)) (Llave primaria).
- *relación* (VARCHAR): Padre, Madre, Hermano, etcétera.
- *compatibilidad*<sup>14</sup> (CHAR): +, -.
- *numeroPareja* (INT).

## 8. Prueba cruzada

- *idReceptor* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Receptor(idReceptor)) (Llave primaria).
- *idDonante* (INT) (Llave foránea que referencia a Donante(idDonante)) (Llave primaria).
- *porcentajeCompatibilidad* (DECIMAL): se genera a partir del método Registro en espera.
- *fechaPrueba* (DATE): fecha en que se realizó la prueba cruzada.
- *pruebaCruzada* (CHAR) : + = Positiva, - = Negativa.

---

<sup>14</sup>Esto en términos de la prueba cruzada, si es positiva quiere decir que no es compatible por lo tanto no hay trasplante.

## 9. Prueba Cruzada Histórico Sin Trasplantar

- *idReceptor* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Receptor(idReceptor)) (Llave primaria).
- *idDonante* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Donante(idDonante)) (Llave primaria).
- *porcentajeCompatibilidad* (DECIMAL): se genera a partir del método Registro en espera.
- *fechaPrueba* (DATE): fecha en que se realizó la prueba cruzada.
- *pruebaCruzada* (CHAR) : + = Positiva, - = Negativa.

## 10. Trasplantes Realizados

- *idReceptor* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Receptor Histórico(idReceptor)) (Llave primaria).
- *idDonante* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Donador Histórico(idDonante)) (Llave primaria).
- *fechaTrasplante* (DATE): año/mes/día.
- *tipoDonación* (VARCHAR): Cruzado, Registro en espera, Dominó.
- *porcentajeCompatibilidad* (DECIMAL): el porcentaje de compatibilidad que se obtuvo.
- *vectorDePorcentajes* (VARCHAR): descripción de los porcentajes de compatibilidad.

## 11. Seguimiento Postrasplante

- *idReceptor* (INT) (Llave foránea que hace referencia a Receptor Histórico(idReceptor)) (Llave primaria).
- *fechaRevisión* (DATE): fecha en que se vio por última vez al receptor.
- *pérdidaInjerto* (CHAR): S=Si, N=No.
- *razónPérdida* (VARCHAR).
- *comentario* (VARCHAR): para que el médico escriba información extra.

## 2.3. Histórico de la información

El histórico de la información es relevante para los médicos ya que con éste se pueden hacer diferentes tipos de análisis tanto de los receptores como de los donantes. Esta información se entregará a los médicos vía hojas de Excel directamente de la base de datos y a partir de consultas diseñadas para tal razón. Como por ejemplo:

- De los Receptores (Dominó, Cruzado y Registro en espera)
  - La media de porcentajes de compatibilidad de los diferentes tipos de trasplante.
  - Los anticuerpos que aparecieron de forma recurrente.
  - El número de veces que participó<sup>15</sup> en pruebas cruzadas tanto positivas como negativas y los porcentajes de compatibilidad.
  - Correlación de los anticuerpos que aparecieron en las pruebas cruzadas negativas y positivas.
  - Media del tiempo de espera en registro y el trasplante realizado.
  - Seguimiento<sup>16</sup> del receptor sobre su injerto, si lo perdió y después de cuanto tiempo lo perdió.
- De los donantes (Dominó, Cruzado y registro en espera)
  - Media de la edad de los donantes.
  - Antígenos comunes.

Se espera que esta información sea de utilidad para ajustar las variables, ver tendencias y/o correlaciones que pudieran ayudar al receptor. Dada las características de la base de datos, está se puede extender para dar otro tipo de capacidades analíticas, que se vayan requiriendo a futuro.

## 2.4. Desarrollo de Cruzado y Dominó

Los métodos de asignación Cruzado y Dominó comparten las mismas variables, además de los porcentajes sobre ellas. Esto se debe a que se trata de que exista la

---

<sup>15</sup>Tanto receptor trasplantado como no trasplantado.

<sup>16</sup>La Sociedad Mexicana de Trasplantes tiene un sistema totalmente dedicado a esto llamado Registro Mexicano de Seguimiento de Trasplantes (REMESET).

mayor equidad posible. En la Tabla 2.2 se puede ver el porcentaje base que se usó en el sistema, este porcentaje fue producto de discusiones con el comité de trasplantes del Instituto de Nutrición.

Además, la máxima fluorescencia permitida es de 5,000. Sin embargo todos estos elementos son totalmente configurables (Figura 2.6) para que el médico pueda ver diferentes resultados<sup>17</sup> y/o ajustarlos a la medida.

Tabla 2.2: Porcentaje base

Variable	Porcentaje
Antígenos compartidos	30
ADEs	30
Edad	20
Grupo Sanguíneo	10
Sexo	10
Total	100

Parametros iniciales, si requiere modificarlos hagalo ahora.  
La suma de los porcentajes debe de ser 100.

Máxima fluorescencia: 5000

ADEs: 30

Antigenos compartidos: 30

Edad: 20

Grupo sanguíneo: 10

Sexo: 10

Reset Calcular

Figura 2.6: Modificación de los parámetros

Para que exista una *Compatibilidad mínima* entre un donante y un receptor, se deben de cumplir los siguientes dos requisitos:

- Ser compatibles por grupo sanguíneo.

<sup>17</sup>En cuanto a la máxima fluorescencia la recomendación base queda como 5000.



- Estar por debajo de la máxima fluorescencia permitida.<sup>18</sup>

Si no se cumplen estos dos requisitos no se continua con la evaluación para ver la compatibilidad total entre el receptor y el donante. A continuación se describe como quedan los porcentajes distribuidos para cada variable:

### 1. Antígenos compartidos

Esta variable recibe el 30 % del total. Para este caso sólo se tomaran en cuenta (como ya se mencionó en los requerimientos) los antígenos A, B y DR. La distribución de este porcentaje se muestra en la Tabla 2.3:

Tabla 2.3: Porcentaje Antígenos

Antígenos compartidos	Porcentaje
6	30
3, 4 ó 5	15
0, 1 ó 2	0

### 2. Anticuerpos Donante Específico

Esta variable recibe el 30 % del total. La distribución de este porcentaje se muestra en la Tabla 2.4:

Tabla 2.4: Porcentaje ADEs

Anticuerpos	Porcentaje
0 en contra	30
1 en contra	20
n en contra	10

### 3. Edad

Esta variable recibe el 20 % del total. Se toma como diferencia de años  $\pm 10$ . La distribución de este porcentaje se muestra en la Tabla 2.5:

---

<sup>18</sup>Se insiste en que la fluorescencia máxima es 5000, inclusive algunos médicos del Instituto proponen que sea menos pero esa es otra discusión.

Tabla 2.5: Porcentaje Edad

Diferencia de edad	Porcentaje
$\pm 1$ año	20
$\pm 2$ años	18
$\pm 3$ años	16
$\pm 4$ años	14
$\pm 5$ años	12
$\pm 6$ años	10
$\pm 7$ años	8
$\pm 8$ años	6
$\pm 9$ años	4
$\pm 10$ años	2
más de 10 años	1

#### 4. Grupo sanguíneo

Esta variable recibe el 10% del total. La distribución de este porcentaje queda en la Tabla 2.6:

Tabla 2.6: Porcentaje Grupo Sanguíneo

Receptor/Donante	A	B	AB	O
A	10	-	-	6.66
B	-	10	-	6.66
AB	6.66	6.66	10	3.33
O	-	-	-	10

## 5. Sexo

Esta variable recibe el 10 % del total. La distribución de este porcentaje queda en la Tabla 2.7:

Tabla 2.7: Porcentaje Sexo

Receptor	Donante	Puntaje
Femenino	Masculino	10
Femenino	Femenino	6.66
Masculino	Masculino	6.66
Masculino	Femenino	3.33

Como ya se mencionó estos porcentajes son la configuración estándar del sistema, pero si estos se modifican los valores se recalculan en base al porcentaje asignado. Los siguientes métodos son comunes para los algoritmos Cruzado y Dominó.

- Para la compatibilidad mínima

### Algoritmo 1: Compatibilidad por Grupo Sanguíneo

**Input:** *Receptor, Donador*

**Output:** *True, False*

El Algoritmo 1 compara un receptor con un donante, regresa True si son compatibles por Grupo Sanguíneo y False lo contrario.

### Algoritmo 2: Fluorescencia Mínima

**Input:** *Receptor, Donador*

**Output:** *True, False*

El Algoritmo 2 compara la Fluorescencia de los Anticuerpos del receptor contra el HLA del donante, regresa True si la Fluorescencia es menor a 5000 y False lo contrario.

- Para el porcentaje total

### **Algoritmo 3: Puntaje Fluorescencia**

**Input:** *Receptor, Donador*

**Output:** *Double*

El Algoritmo 3 regresa el puntaje generado entre el receptor y el donante en cuanto a la Fluorescencia de los ADEs.

### **Algoritmo 4: Puntaje por Antígenos**

**Input:** *Receptor, Donador*

**Output:** *Double*

El Algoritmo 4 regresa el puntaje generado entre el receptor y el donante en cuanto a los Antígenos compartidos.

### **Algoritmo 5: Puntaje Edad**

**Input:** *Receptor, Donador*

**Output:** *Double*

El Algoritmo 5 regresa el puntaje generado entre el receptor y el donante en cuanto a la diferencia de edades.

### **Algoritmo 6: Puntaje por Grupo Sanguíneo**

**Input:** *Receptor, Donador*

**Output:** *Double*

El Algoritmo 6 regresa el puntaje generado entre el receptor y el donante en cuanto a Grupo Sanguíneo.

### **Algoritmo 7: Puntaje por Sexo**

**Input:** *Receptor, Donador*

**Output:** *Double*

El Algoritmo 7 regresa el puntaje generado entre el receptor y el donante en cuanto a Sexo.

### 2.4.1. Intercambio renal Cruzado

El método de intercambio renal Cruzado se ha trabajado en los Estados Unidos desde hace mas de 10 años [18][19][20], con algoritmos complejos que consideran variables como etnicidad, si el receptor desea viajar o no, si el receptor es un Infante. Este algoritmo considera variables aplicables a nuestro país aunque se inspira en los algoritmos descritos en las referencias.

#### Algoritmo 8: Algoritmo de Cruzado

**Input:** *Conjuntodeparejas*

**Output:** *ListadeCruzados*

El Algoritmo 8 recibe un conjunto de parejas, de tamaño n y regresa una lista con las parejas que son candidatas a un trasplante cruzado, esto lo hace probando los criterios de compatibilidad de cada donante con cada receptor. Además regresa el porcentaje de compatibilidad total y una descripción detallada de como se distribuyeron los porcentajes, los ejemplos se pueden ver en el Apéndice A (Sección 4). En la Figura 2.7 se muestra la interacción de los algoritmos en Cruzado.

Diagrama de estados de una pareja contra todas las parejas en la Asignación Cruzada

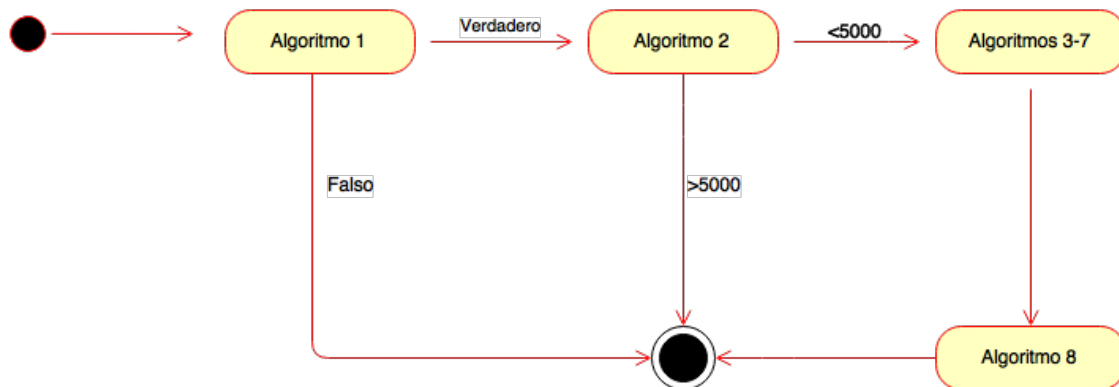


Figura 2.7: Interacción de los algoritmos en Cruzado

## 2.4.2. Intercambio renal Dominó

El problema de Dominó se reduce a buscar el camino más largo en una gráfica general, se sabe que este problema es NP-Completo. Recientemente en este año 2015 se publicó un Artículo en el que se busca la solución mediante una variante del *Travel Salesman Problem*[1].

### Algoritmo 9: Algoritmo de Dominó

**Input:** *DonadorAltruista, Parejas*

**Output:** *ListadeDominos*

El Algoritmo 9 recibe un donante altruista y un conjunto de parejas de tamaño ,n regresa una lista con los Dominós (cadenas posibles), además regresa el porcentaje de compatibilidad total y una descripción detallada de como se distribuyeron los porcentajes, los ejemplos se pueden ver en el Apéndice B(Sección 4). Este algoritmo utiliza lo ciclos del algoritmo cruzado y este a su vez se repite a lo más el número máximo de parejas. En la figura 2.8 se muestra la interacción de los algoritmos en Dominó.

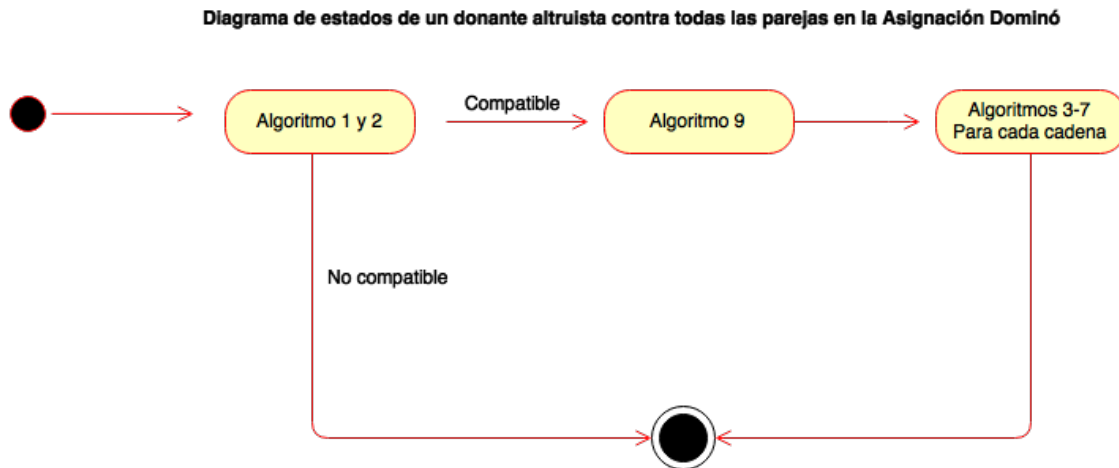


Figura 2.8: Interacción de los algoritmos en Dominó

## 2.5. Desarrollo de Registro en espera

En 2010 se propuso un sistema de puntaje para la asignación de pacientes en Registro en espera[4] pero no fue sino hasta el 2013 que se empezó a usar un sistema de puntaje[14] utilizando una hoja de cálculo (Asignator). La implementación hecha en el sistema es una evolución de ese sistema de puntaje.

Este método de asignación tiene una logística diferente a los dos anteriores, ya que el tiempo en que se genera una donación y el momento en que se debe de trasplantar es de aproximadamente 18 horas, por lo tanto se debe de tener una herramienta eficaz para valorar a los mejores candidatos para el injerto generado. Las variables de mayor relevancia son tiempo de espera, tiempo en diálisis y PRA.

En la Tabla 2.8 se ven los puntajes dados para cada variable:

Tabla 2.8: Puntaje registro en espera

Variable	Puntos
Tiempo en espera (días)	2/365 por cada día
Tiempo en diálisis (días)	2/365 por cada día
PRA	Hasta 55
HLA	Hasta 15
ADEs	Hasta 5
Edad	Hasta 5

El receptor con mayor tiempo de espera en el Instituto es de 20 años. La mitad de los receptores en diálisis fallecen a los 5 años de comenzar el tratamiento. Y las variables que comparten con Cruzado y Dominó son HLA, ADEs y Edad.

A continuación se describe la distribución del puntaje por cada variable:

### 1. Tiempo en registro en espera

El receptor recibe 2/365 puntos por cada día en registro en espera, tomando en cuenta que el receptor con más tiempo en el Instituto lleva 20 años, entonces el máximo puntaje que tendrá es de hasta 40 puntos.

### 2. Tiempo en diálisis

El receptor recibe 2/365 puntos por cada día que lleva en diálisis, tomando en cuenta que después de 5 años en diálisis empieza a ser fatal, el máximo puntaje que se tendrá es de hasta 5 puntos.

### 3. PRA

El receptor recibe hasta 55 puntos por estar altamente sensibilizado, en la siguiente Tabla 2.9 se muestra la distribución del puntaje.

Tabla 2.9: Puntaje PRA

PRA (%)	Puntos
0-10	0
11-20	0
21-30	2.5
31-40	5
41-50	7.5
51-60	15
61-70	25
71-80	35
81-90	45
91-99	55

### 4. HLA

El receptor recibe hasta 15 puntos por las coincidencias HLA, en la siguiente Tabla 2.10 se muestra la distribución del puntaje.

Tabla 2.10: Puntaje HLA

Coincidencias	Puntos
0	0
1	2
2	4
3	6
4	8
5	10
6	15

### 5. ADEs

El receptor recibe hasta 5 puntos por las ADEs, en la siguiente Tabla 2.11 se muestra la distribución del puntaje.



Tabla 2.11: Puntaje ADEs

<b>ADEs</b>	<b>Puntos</b>
0 ADEs	5
1 ADE (Fluorescencia <5000)	3
n ADEs (Fluorescencia <5000)	1.5
n ADEs (Fluorescencia >5000)	0

Aquí es importante notar que no se descarta al receptor a pesar de una alta fluorescencia, sólo se descarta en la prueba cruzada.

## 6. Edad

El receptor recibe hasta 5 puntos por diferencia de edades, en la siguiente Tabla 2.12 se muestra la distribución del puntaje.

Tabla 2.12: Puntaje Edad

<b>Rangos de edad</b>	<b>Puntos</b>
0-5 años	5
6-10 años	3.75
11-15 años	2.5
16-20 años	1.25
>20 años	0

A continuación se describen las fases para poder realizar un trasplante de donante fallecido.

### 2.5.1. Fase 1

Al generarse un donante fallecido se realizan las pruebas de laboratorio, mismas que se llevan a cabo hasta que el injerto llegue al Instituto, por lo que solo se consideran las siguientes variables para dar un orden de compatibilidad.

- Tiempo en registro en espera
- Tiempo en diálisis
- Diferencia de edades

Los siguientes métodos se usan en esta fase:

### Algoritmo 10: Puntaje por tiempo en registro en espera

**Input:** *Receptor*

**Output:** *Double*

El Algoritmo 10 regresa el puntaje generado por el tiempo en registro en espera

### Algoritmo 11: Puntaje por tiempo en diálisis

**Input:** *Receptor*

**Output:** *Double*

El Algoritmo 11 regresa el puntaje generado por el tiempo en diálisis.

### Algoritmo 12: Puntaje por diferencia de edades

**Input:** *Receptor, Donador*

**Output:** *Double*

El Algoritmo 12 regresa el puntaje generado por la diferencia de edades entre el donante y el receptor.

## 2.5.2. Fase 2

El injerto llega al Instituto, a los primeros 24<sup>19</sup> receptores que tengan la más alta compatibilidad después de ejecutar los algoritmos en la Fase 1 se les hará la prueba cruzada con el donante. Se hacen las pruebas de laboratorio y se obtiene el HLA del donante, y los resultados de las pruebas cruzadas con los 24 receptores. Se vuelve a ejecutar la compatibilidad pero ahora con las siguientes variables:

- HLA
- ADEs

Los siguientes métodos se usan en esta fase:

---

<sup>19</sup>No se les puede hacer la prueba cruzada a todos los pacientes en registro de espera debido al costo de esta prueba.

### Algoritmo 13: Puntaje por HLA

**Input:** *Receptor, Donador*

**Output:** *Double*

El Algoritmo 13 regresa el puntaje generado a partir de los antígenos compartidos entre el receptor y el donante.

### Algoritmo 14: Puntaje por Anticuerpos dirigidos

**Input:** *Receptor, Donador*

**Output:** *Double*

El Algoritmo 14 regresa el puntaje generado a partir de los anticuerpos dirigidos de cada receptor contra el donante en turno.

### 2.5.3. Fase 3

En esta fase ya se cuenta con los resultados de las pruebas cruzadas. A continuación se actualiza la lista de receptores con los resultados de las pruebas, mismas que pueden ser positivas o negativas. Se ejecuta el último método pero ahora considerando la siguiente variable:

- PRA

El siguiente método se usa en esta fase:

### Algoritmo 15: Puntaje por PRA

**Input:** *Receptor*

**Output:** *Double*

El Algoritmo 15 regresa el puntaje generado por el PRA del receptor.

A continuación regresa a los receptores cuya prueba cruzada haya sido negativa. Finalmente el médico escoge el receptor<sup>20</sup> con mayor compatibilidad; si éste no pudiera trasplantarse por cualquier circunstancia, se selecciona el siguiente de la lista y así sucesivamente.

---

<sup>20</sup>Pudieran ser 2 receptores en caso de que lleguen 2 riñones al Instituto.

## 2.6. Complejidad de los algoritmos

Como ya se mostró en el apartado anterior, el sistema cuenta con distintos algoritmos, algunos de ellos con complejidades constantes en el número de operaciones. Por otro lado en la Tabla 2.13 se muestran los algoritmos cuya complejidad es la mayor en cada método de asignación.

Tabla 2.13: Complejidad algorítmica

Método de asignación	Algoritmo de mayor complejidad	Complejidad
Cruzado	Algoritmo 8	$O(n^2)$
Dominó	Algoritmo 9	$O(n^3)$
Registro en espera	Algoritmo 14	$O(n^*g^*c)$

Donde  $n$  es el número de parejas en Cruzado y Dominó, el número de pacientes en el caso del Registro en espera,  $g$  es el número de antígenos y  $c$  es el número de anticuerpos.

Ahora bien, la solución integral para el método Dominó que incluye entre otros una variante del Algoritmo 8 y Algoritmo 9, es un problema NP (combinatorio), dado que su solución es equivalente a la del problema de encontrar el camino más largo en una gráfica general.

## 2.7. Operaciones Alta, Baja, Modificación y Consulta

Uno de los componentes principales para el usuario final (además de mostrar los resultados) es el de las operaciones Alta, Baja, Modificación y Consulta (CRUD, por sus siglas en inglés), estas operaciones están reflejadas en el sistema. La de Alta del receptor se puede ver en la Figura 2.10. Además de las restricciones y la integridad referencial que tiene la base de datos, también se validan los datos del Cliente. Las operaciones se reflejan en las siguientes entidades:

- Receptor y todos sus datos base, además de sus ADEs y sus Antígenos
- Donante y todos sus datos base, además de sus Antígenos
- Receptor y donante como pareja para Cruzado y Dominó
- Catálogo Antígenos

En la Figura 2.9 se observa el diagrama de secuencia del Sistema del presente trabajo.

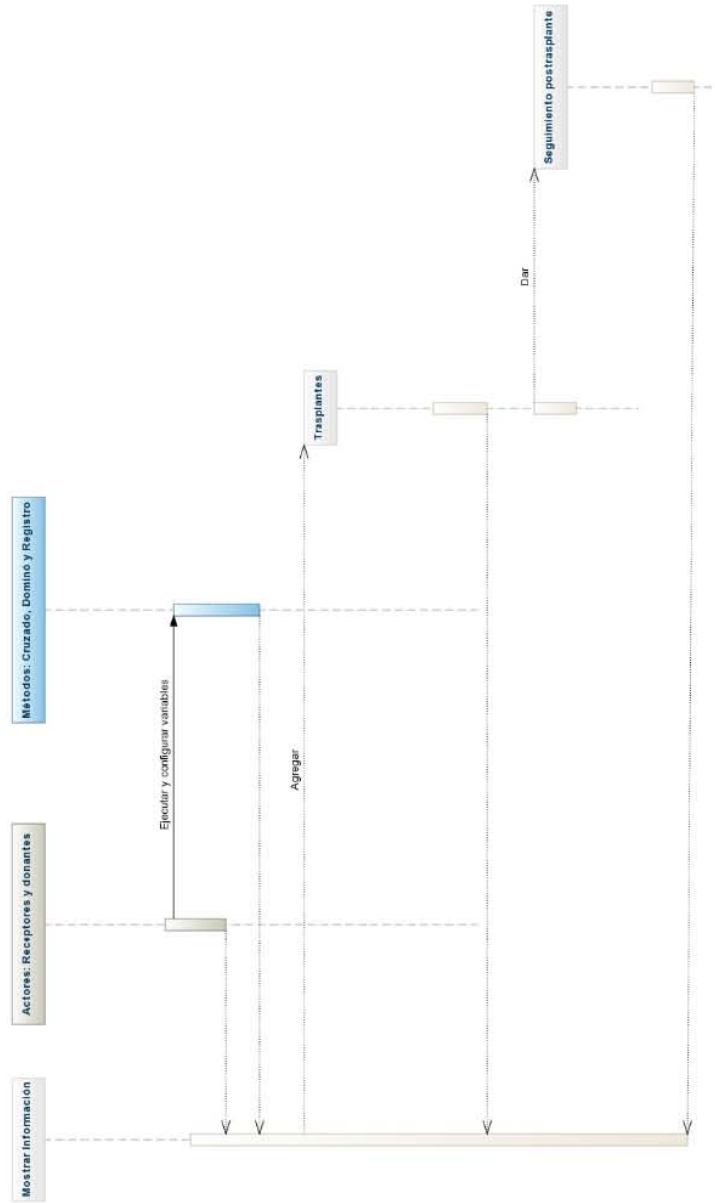


Figura 2.9: Diagrama de secuencia del Sistema

**Agregar Receptor \***

Nombre:

Apellido paterno:

Apellido materno:

Grupo sanguíneo:

RH:

Fecha de nacimiento: 11/08/2015

Sexo:

Donación previa:

Acceso vascular:

Registro Nutricional:

corp:

**Tipo de receptor:**

Fecha de ingreso a Registro en espera:

Fecha de ingreso a Dialisis:

Porcentaje PRA:

Porcentaje PRA2:

Serología:

Estatus serología:

Anticuerpos dirigidos: Antígeno receptor

Anticuerpos dirigidos: FLUORESCENCIA

ANTICUERPO DIRIGIDO

Guardar Actualizar

Figura 2.10: Alta receptor, sus ADEs y sus antígenos

## 2.8. Tecnologías utilizadas

Este sistema se implementó con las siguientes tecnologías<sup>21</sup>:

- **Microsoft Visual C#**  
En la Facultad de Ciencias se tuvo la oportunidad de aprender el lenguaje Java y estructuras de datos[15]. Gracias a este conocimiento la comprensión del lenguaje C# se logró de manera satisfactoria.
- **Microsoft SQL SERVER**  
El sistema manejador de base de datos está basado en el modelo relacional. Este sistema contiene el lenguaje T-SQL[3] que incluye operaciones *DDL*<sup>22</sup>, *DML*<sup>23</sup> y *DCL*.<sup>24</sup>
- **Entity Framework**  
El esquema de base datos se implementó gracias a la herramienta Entity Framework en su versión 6[8], esta herramienta que sigue el paradigma objeto relacional me permitió proveer de flexibilidad a la programación y así incluir operaciones de acceso a la base de datos.
- **Microsoft ASP.NET**  
Esta tecnología nos permitió crear el contenido dinámico para la aplicación web del usuario final. Gracias al uso del lenguaje C# y otras tecnologías complementarias como HTML, CSS, se desarrolló todo el front end del sistema[9].
- **Microsoft Internet Information Services (IIS)**  
Es el servidor web que aloja la aplicación. Entre los servicios que ofrece están: comunicaciones seguras, cifrado canalizado por servidor, restricciones de dominio de internet e IP y almacenamiento de certificados.
- **Microsoft Visual Studio IDE**<sup>25</sup>  
Toda la tecnología ya mencionada se pudo usar de manera conjunta en Visual Studio.

---

<sup>21</sup>El Instituto solicitó el uso de Microsoft SQL SERVER y a partir de esta tecnología definimos las demás.

<sup>22</sup>Data Definition Language.

<sup>23</sup>Data Manipulation Language.

<sup>24</sup>Data Control Language.

<sup>25</sup>Integrated Development Environment.

# Capítulo 3

## Resultados

A la fecha (mayo de 2015), el estado del sistema es el siguiente:

- **Módulo Registro en espera**

En cuanto al módulo Registro en espera, actualmente se trabaja en la migración de la información contenida en la hoja de cálculo *Asignator* al módulo en cuestión. Cabe aclarar que debido a que no comparten todas las variables, ha sido necesario trabajar en la consistencia de los datos. Se espera que para el mes de julio del presente se haya migrado toda la información de manera satisfactoria.

- **Módulo Emparejamiento Dominó**

En el Apéndice A podemos ver dos cadenas generadas por el sistema (de las diferentes opciones generadas), las primeras pruebas cruzadas ya fueron realizadas y resultaron exitosas, en particular las de la donante altruista con los dos posibles receptores. Este proceso de pruebas cruzadas está calendarizado para realizarse durante el mes de junio, por lo que a finales de ese mes se obtendrán todos los resultados de las pruebas cruzadas. Después de estos resultados se pretende realizar nuevas pruebas a las donantes para verificar que estén totalmente saludables y puedan donar sin ninguna contraindicación.

El proceso descrito es laborioso por lo que se estima que los trasplantes renales se puedan realizar en el mes de agosto de 2015.

- **Emparejamiento Cruzado**

Todos los resultados que generó el sistema (Apéndice B) también fueron generados en el Emparejamiento Dominó por lo que se le está dando prioridad a



esa modalidad. Se espera que cuando haya más parejas, se puedan generar más cruzados.

Entre las principales bondades del sistema actual tenemos las siguientes:

- Gestión centralizada de la información.
- Información histórica para análisis posteriores.
- Uso de tecnología de punta.
- Único en México.
- Extensible.

Se planea que en la página del Instituto en breve exista un apartado que describa los métodos de asignación, las vías de comunicación y toda la información concerniente al programa de trasplante renal. Asimismo se han difundido los programas de trasplantes descritos en el presente trabajo mediante trípticos como los que se muestran en el Apéndice C.

Todo el desarrollo del sistema fue realizado con el apoyo de los médicos: Aczel Sánchez y José André Madrigal, y el sistema fue realizado por el que suscribe, José Angel Bautista Ruíz y el Dr. Javier García García.

Finalmente, es importante mencionar que se está tramitando el registro, ante el Instituto Nacional de Derecho de Autor (INDAUTOR), del sistema presentado en este trabajo bajo el nombre de *Sistema Informático de Asignación Renal* bajo la autoría de: el que suscribe, José Angel Bautista Ruíz, Javier García García, José André Madrigal Bustamante, Isidoro Aczel Sánchez Cedillo (en orden alfabético). Los derechos patrimoniales del sistema corresponden a la Universidad Nacional Autónoma de México y al Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán en partes iguales, por lo que este es un resultado importante del convenio de colaboración que tienen las instituciones mencionadas.

# Capítulo 4

## Conclusiones y trabajo futuro

Es un hecho que con el sistema descrito en el presente trabajo se pretende dar una herramienta de apoyo al Instituto e incrementar los trasplantes de donante vivo, pero esto es sólo el comienzo y hay mucho que hacer en el mediano y largo plazo, tanto en el aspecto computacional como en el médico. A continuación describo las líneas de acción que vislumbro como trabajo futuro:

- **Participación de parejas compatibles en Cruzado**[\[11\]](#)

A pesar de que los métodos de asignación pueden ayudar a encontrar un donante para un receptor, esto es aún más difícil para pacientes altamente sensibilizados, por lo que ampliar las posibilidades siempre son bienvenidas. Además la Pareja altruista podría tener dos beneficios importantes: (1) encontrar un donador con edad similar<sup>1</sup> y/o (2) evitar riesgos inmunológicos (pérdida del injerto, rechazos) en parejas hijo-madre o esposo-esposa. Otra razón para llevar a cabo lo mencionado es por una razón meramente altruista. Falta contemplar la automatización de este caso.

- **Uso de donante fallecido como altruista**

Como ya se mencionó, para poder crear un Dominó es necesario tener un donante altruista, y dado que es un proyecto piloto no se sabe con certeza cada cuando se tendrá uno de estos tipos de donantes. Por otro lado, el Instituto puede recibir hasta dos riñones de algún donante fallecido que se haya generado pudiendo aprovechar uno para Registro en espera y el otro para Dominó, sin embargo, esto podría conllevar una logística más complicada.

- **Módulo dedicado al seguimiento Postrasplante**

---

<sup>1</sup>Recordemos que a menor diferencia de edades mejor sobrevivida del receptor.

El sistema cuenta con un apartado de seguimiento postrasplante, pero sería adecuando un módulo totalmente dedicado para poder incluir más variables de análisis como los inmunosupresores usados después del trasplante, si el receptor tuvo complicaciones médicas antes, durante ó después del trasplante, un seguimiento al donante vivo, por decir algunos ejemplos.

- **Aplicarlo a múltiples centros**

Esto puede ser de dos formas, que los centros hagan pruebas piloto como el Instituto de Nutrición o que se trabaje en conjunto con otros centros para que crezca el número de parejas del sistema.

- **Cruzado de 3 parejas**

Logísticamente hablando ya es complicado hacer un Cruzado de 2 parejas pero hacerlo de 3 es mucho más complicado debido a que todos se tienen que hacer al mismo tiempo, pero para poder incrementar las opciones a los receptores puede ser otra alternativa.

# Apéndices

## Apéndice A



Figura 4.1: Descripción de datos para Dominó y Cruzado



Figura 4.2: Cruzado 1 como resultado del sistema

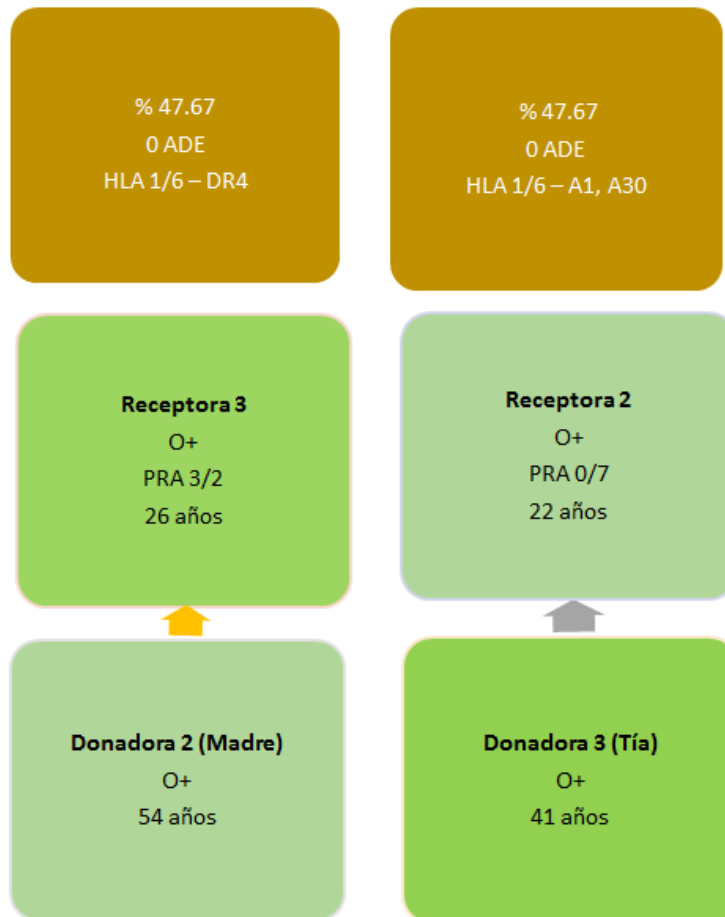


Figura 4.3: Cruzado 2 como resultado del sistema



Figura 4.4: Cruzado 3 como resultado del sistema

# Apéndice B



Figura 4.5: Dominó 1 en prueba piloto





Figura 4.6: Dominó 2: mismos elementos que Dominó 1 pero en diferente orden

# Apéndice C

**¿Qué necesito para participar en el programa?**

1. Tener un donante sano que no sea compatible con usted
2. Deseo de participar en el intercambio
3. Firmar un consentimiento informado
4. Confirmar el tipo sanguíneo
5. Realizar la tipificación HLA de la pareja
6. Proporcionar datos generales en la Coordinación de Donación

**¿En dónde me inscribo?**

Acude a la Coordinación de Donación de Órganos, en el Departamento de Trasplantes, frente a la fuente del Quijote del Instituto

Horario:  
Lunes a viernes de 8 a.m. a 2 p.m.



Para mayor información:  
Dr. Mario Vilatoba  
Jefe del Departamento de Trasplantes

Dr. Aczel Sanchez Cedillo  
Dr. José André Madrigal B.  
José Angel Bautista Ruiz

Teléfono: 54870900 ext. 2502

Correo electrónico:  
madrigaljose@gmail.com  
aczel@ciencias.unam.mx



INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS MÉDICAS Y NUTRICIÓN "SALVADOR ZUBIRÁN"

**TRASPLANTE RENAL EN CADENA**



**Departamento de Trasplantes**

Figura 4.7: Tríptico Dominó parte externa

### ¿Qué es el trasplante en cadena?

Imagine la siguiente situación:

Alguien cercano a usted desea donarle un riñón. Su donante es una persona que goza de bienestar físico, mental y social; que no presente obesidad u otra enfermedad. Pero que no es compatible con usted por grupo sanguíneo o prueba cruzada positiva.

El proceso inicia con un donante que tenga deseo desinteresado de beneficiar a otros (donante altruista), cuyo riñón se trasplanta en el receptor de esa pareja incompatible, y el donante otorga su riñón a otra pareja, continuando la cadena de donación y trasplante.

### ¿Qué necesito para participar en el programa?

1. Tener un donante que no sea compatible con usted y cuente con adecuado estado de salud.
2. Deseo de participar en el intercambio.
3. Firmar un consentimiento informado.
4. Confirmar el tipo sanguíneo.
5. Realizar estudios de compatibilidad (tipificación HLA de la pareja).
6. Proporcionar datos generales en la Coordinación de Donación.

### ¿Cuáles son los beneficios para participar?

- Menor tiempo de espera para el trasplante.
- Recibir un riñón de un donante vivo.
- Asegurar que el donante y el receptor sean compatibles.

Es una experiencia gratificante para el donante, puesto que ayuda a varias fa-

### ¿Qué es el trasplante en cadena?

¡Realizar la cadena permite que varios receptores puedan recibir un riñón a partir de un solo donante!

Participar en el programa de trasplante en cadena:

**NO** interfiere con la inscripción al registro de donante fallecido

**NO** retrasa el protocolo de estudio para trasplante

Figura 4.8: Tríptico Dominó parte interna

**¿Qué necesito para participar en el programa?**

1. Tener un donante sano que no sea compatible con usted
2. Deseo de participar en el intercambio
3. Firmar un consentimiento informado
4. Confirmar el tipo sanguíneo
5. Realizar la tipificación HLA de la pareja
6. Proporcionar datos generales en la Coordinación de Donación



**¿En dónde me inscribo?**

Acude a la coordinación de donación de órganos en el Departamento de Trasplantes, frente a la fuente del Quijote.

Horario:  
Lunes a viernes de 8 a.m. a 2 p.m.



INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS MÉDICAS Y NUTRICIÓN "SALVADOR ZUBIRAN"

**DONACIÓN RENAL CRUZADA**



Donar un riñón .. es regalar vida

Para mayor información:  
Dr. Mario Vilatoba  
Jefe Departamento de Trasplantes

Dr. Aczel Sánchez Cedillo  
Dr. José André Madrigal  
José Ángel Bautista Ruiz

Teléfono: 54870900 ext. 2502  
Correo: madrigalJose@gmail.com  
aczel@ciencias.unam.mx

**Departamento de Trasplantes**

Figura 4.9: Tríptico Cruzado parte externa


### ¿Qué es la donación cruzada?

Imagine la siguiente situación:

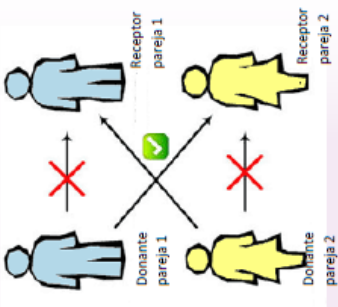
Alguien cercano a usted desea donarle un riñón. Su donador es una persona sana (sin contraindicación para donar), pero no es compatible con usted por grupo sanguíneo o prueba cruzada positiva

Ahora, imagine a otra pareja en la misma situación.

¿Qué sucedería si pudieran intercambiar donantes?



Al hacer el intercambio, ¡Ambos pueden recibir un trasplante!



LA CIRUGÍA DE LAS DOS PAREJAS SE REALIZA AL MISMO TIEMPO

### ¿Quién puede participar?

**Donante:** Una persona médica y psicológicamente sana que acepte participar en el programa de donación cruzada

**Receptor:** Paciente que cuente con un donante sano, pero que es incompatible

### ¿Cuáles son los beneficios de participar en el programa?

- Menor tiempo de espera para el trasplante
- Recibir un riñón de un donante vivo
- Asegurar que el donante y el receptor sean compatibles

Es una experiencia gratificante para el donante, puesto que ayuda a varias familias

Participar en el programa de donación cruzada:

- NO interfiere con la inscripción en lista de espera de donante fallecido
- NO retrasa la valoración médica

Figura 4.10: Tríptico Cruzado parte interna

# Bibliografía

- [1] Ross Anderson, Itai Ashlagi, David Gamarnik, y Alvin Elliot Roth. Finding long chains in kidney exchange using the traveling salesman problem. 112(3), 2015.
- [2] Javier Barba Abad, Egoitz Tolosa Eizaguirre, Aníbal Rincón Mayans, David Rosell Costa, José Enrique Robles García, Juan Zudaire Bergera, José María Berián Polo, e Ignacio Pascual Piedrola. Influence of donor age on graft survival. *Actas Urológicas Españolas (English Edition)*, 34(8):719–725, January 2010.
- [3] Itzik Ben-Gan. *Microsoft® SQL Server ® 2012 T-SQL Fundamentals*. 2012.
- [4] Gabriela Calderón y Alexander Elbittar. Asignación de trasplantes renales en México. Estimación de un sistema de puntaje. *El Trimestre Económico*, LXXVII(305):43–67, 2010.
- [5] Cenatra. Cenatra: estadísticas, 2015.
- [6] Javier Domínguez, Rodrigo Harrison, y Diego Contreras. Effectiveness of different kidney exchange mechanisms to improve living donor transplantation in Chile. *Transplantation Proceedings*, 43(6):2283–2287, 2011.
- [7] Ilias Doxiadis. Compatibility and Kidney Transplantation: The Way to Go. *Frontiers in Immunology*, 2:111, 2012.
- [8] Brian Driscoll, Nitiin Gupta, Robert Vettor, Zeeshan Hirani, y Larry Tenny. *Entity Framework 6 Recipes*. 2013.
- [9] Tom Dykstra. Getting Started with the Entity Framework Using ASP.NET MVC. 2010.

- [10] Francisco Franco-Marina, Laura Leticia Tirado-Gómez, Aída Venado Estrada, José Andrés Moreno-Lopez, Reyna Lizette Pacheco-Domínguez, Luis Durán-Arenas, y Malaquías López-Cervantes Una estimación indirecta de las desigualdades actuales y futuras en la frecuencia de la enfermedad renal crónica terminal en México. *Salud Pública de México*, 53:506-5015, 2011.
- [11] Sommer Gentry, Dorry Segev, Mary Simmerling, y Robert Montgomery. Expanding kidney paired donation through participation by compatible pairs. *American Journal of Transplantation*, 7(10):2361–2370, 2007.
- [12] Lerman Julia. *Programming Entity Framework*. Second edition, 2010.
- [13] Bruno a Lima y Helena Alves. The Portuguese Match Algorithm in the Kidney Paired Donation Program. *Organs, Tissues & Cells*, 13(13):25–32, 2010.
- [14] José André Madrigal-Bustamante, Mario Vilatobá-Chapa, Alan Contreras-Zaldivar, Aczel Sánchez-Cedillo, Héctor Octavio Castañeda-González, José Luis López-Jiménez, Josefina Alberú-Gómez, y Guillermo Cantú-Quintanilla. Sistema de puntaje para asignación de riñones de donante fallecido a pacientes en lista de espera para trasplante. *Revista Mexicana de Trasplantes*, 3:49–55, 2014.
- [15] Michael Mcmillan. *Data Structures and algorithms Using C#*. 2007.
- [16] Gerhard Opelz. Impact of HLA compatibility on survival of kidney transplants from unrelated live donors. *Transplantation*, 64(10):1473–5, 1997.
- [17] José Carlos Peña. Historia del trasplante renal en el INCMNSZ. *Revista de investigación clínica*, 57(2):120–123, 2005.
- [18] Alvin Elliot Roth. Kidney Exchange. *Transplantation*, pages 1–30, 2004.
- [19] Alvin Elliot Roth, Tayfun Sönmez, y Utku Ünver Pairwise kidney exchange. *Journal of Economic Theory*, 125(2):151–188, 2005.
- [20] Dorry Segev. Kidney Paired Donation and Optimizing the Use of Live Donor Organs. *Jama*, 293(15):1883, 2005.
- [21] Tayfun Sönmez y Utku Ünver. Matching, allocation, and exchange of discrete resources. *Handbook of Social Economics*, 1(1 B):781–852, 2011.
- [22] Caner Süsal y Gerhard Opelz. Impact of HLA matching and HLA antibodies in organ transplantation: a collaborative transplant study view. *Methods in molecular biology*, 882:267–77, 2012.