



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

# ASIGNACIÓN OPTIMA DE MÓDULOS PARA ESTUDIANTES DE RADIOLOGÍA EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL

GABRIELA CONSTANZA COLOMA GÓMEZ

PROFESORA GUÍA:  
ALEJANDRA PUENTE CHANDÍA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
CAROLINA SEGOVIA RIQUELME  
MARÍA JOSÉ CONTRERAS ÁGUILA

SANTIAGO DE CHILE  
2023

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL  
POR: GABRIELA CONSTANZA COLOMA GÓMEZ  
FECHA: 2023  
PROFESOR GUÍA: ALEJANDRA PUENTE CHANDÍA

## **Asignación óptima de módulos para estudiantes de radiología en una institución de educación superior**

La problemática que enfrenta la carrera de especialización de Radiología de la Universidad de Chile se centra en la falta de automatización en el proceso de programación de módulos. Hasta la fecha, esta tarea se realiza manualmente, requiriendo aproximadamente un mes por parte del coordinador.

A pesar de que ingresan entre 9 a 11 estudiantes anualmente, la complejidad de la programación radica en las numerosas restricciones que deben cumplirse, ya que se planifica para los tres años de duración de la carrera.

Ante esta situación, se identifica la oportunidad de abordar el problema mediante la modelación matemática de la programación de rotaciones. Es crucial detallar con precisión las restricciones existentes para realizar un análisis de sensibilidad, permitiendo evaluar el impacto de aumentar el número de estudiantes, ya sea por módulo o en la cantidad que ingresa anualmente. Este proceso se lleva a cabo utilizando Python y Gurobi, y los resultados de las rotaciones se reflejan en Excel para facilitar el acceso y comprensión.

Tras el análisis de sensibilidad de algunas restricciones y capacidades, se identifican tres escenarios de modelado (original, moderado y optimista), cada uno requiriendo ajustes específicos en las capacidades de rotación. Estos ajustes ofrecen beneficios diversos para la institución; por ejemplo, en el escenario optimista, se observa un aumento del 33% en la cantidad de alumnos que podrían ingresar a la carrera. Esto se traduce en un aumento del 33% en los ingresos de la institución en comparación con la situación original.

## **Dedicatoria**

Este trabajo de título es dedicada primero a Dios, quien permitió esto y todo lo que viví en este proceso. Quien fue mi escudo y fortaleza, quién abrió caminos, quién movió montañas y quién en todo tiempo me gritó: ¡No te rindas, Yo estoy contigo!

Segundo a mi familia, en especial a mis padres: nunca crean que son menos por no tener estudios, sin su entrega y esfuerzo nada de esto habría sido posible, son lo más valioso que tengo aquí en la tierra. A mis hermanos: Un perfecto ejemplo no lo soy, pero por favor, luchen por los sueños que Dios tiene para sus vidas.

Y por último dedico esto a todos los estudiantes de esta u otra carrera que no les ha sido fácil, de hecho casi imposible el cursar la carrera, solo les diré: necesitan de Dios, porque con nuestras fuerzas no es posible, búsquenle y Él les responderá así como lo hizo conmigo en los momentos más oscuros.

## **Agradecimientos**

Sin dudas ha sido un proceso largo y muy difícil. Con altos y bajos, con mucho llanto, pero también alegrías que alentaban a continuar luchando. Todo esto sería nada si no fuese por Dios, quien me sostuvo de mi mano derecha y me dijo que no temiera que Él estaba conmigo. Y así fue.

Quiero agradecer primeramente a Dios, que me hizo aprender a valerme de Él y no de mis fuerzas o capacidades. Me enseñó lo que es tener Fe y lo que es ser resiliente en la tormenta.

También agradecer a mi familia que me consoló, soportó y animó cuando ya no podía más. Gracias a todos mis amigos, hermanos, pastores y conocidos por creer que este día llegaría, incluso lo creían mucho más que yo. A todos ustedes muchas gracias por sus oraciones y mensajes, no imaginan cuanta bendición y consuelo fueron para mi vida.

Agradezco a mis profesores, a aquellos que pudieron descubrir mis fortalezas y debilidades, aquellos que creyeron en mí y me animaron cuando más lo necesité.

Muchas gracias a todos, porque sin duda en este proceso de crecimiento, madurez y muchos aprendizajes. Hoy no soy la misma que entré y agradezco por esto, ya que hoy siento que con esta nueva herramienta puedo ser de bendición para muchas personas y por qué no para alguna empresa que quiera trabajar conmigo.

No puedo finalizar sin agradecer por este regalo inmerecido que Dios me ha dado, su gracia. Que sería de mí sin ella en este proceso. Muchas gracias Dios, por permitir que llegara a mi tierra prometida y muchas gracias por no cerrar ninguna puerta ni ventana, cuando todo el mundo así lo quería.

# Tabla de contenido

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b> .....	VI
<b>ÍNDICE DE ECUACIÓN</b> .....	VIII
<b>ÍNDICE DE RESTRICCIONES</b> .....	VIII
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
I. FACULTAD DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE .....	2
II. RADIOLOGÍA EN LA FM-UCH .....	3
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	4
<b>OBJETIVOS Y ALCANCES</b> .....	6
A) OBJETIVO GENERAL: .....	6
B) OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	6
C) ALCANCES: .....	6
<b>MARCO CONCEPTUAL</b> .....	8
I) PROBLEMAS DE PLANIFICACIÓN .....	8
II) PARÁMETROS .....	8
ii.1. <i>Parámetro <math>\alpha</math></i> .....	9
ii.2. <i>Parámetro <math>\beta</math></i> .....	10
ii.3. <i>Parámetro <math>\gamma</math></i> .....	12
<b>METODOLOGÍA</b> .....	13
(1) RECOPIACIÓN DE DATA .....	14
(2) MODELAMIENTO MATEMÁTICO .....	14
(3) ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	14
(4) DISEÑO DEL RESULTADO .....	14
<b>DESARROLLO METODOLÓGICO</b> .....	15
(1) RECOPIACIÓN DE LA DATA .....	15
a. <i>Relación de los módulos y periodos en la programación</i> .....	16
b. <i>Relación de los módulos y localidad en donde son realizados.</i> .	19
c. <i>Capacidades de los módulos</i> .....	20
d. <i>Rotaciones</i> .....	23
(2) MODELAMIENTO MATEMÁTICO .....	25
a. <i>Variables</i> .....	26

<i>b. Parámetros</i> .....	26
<i>c. Función objetivo</i> .....	30
<i>d. Restricciones</i> .....	31
(3) ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y DISEÑO DEL RESULTADO .....	39
<i>a. Modificaciones en los requisitos</i> .....	39
<i>b. Modificaciones en los valores de las capacidades</i> .....	40
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>52</b>
I. RECOMENDACIONES .....	53
II. TRABAJO FUTURO .....	54
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>55</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>56</b>
ANEXO A. ROTACIONES .....	56
<i>A.1. Programaciones de los años anteriores</i> .....	56
ANEXO B. VARIABLES .....	58
<i>B.1. Unidades de Radiología sin bloques</i> .....	58
<i>B.2. Factibilidad de los módulos</i> .....	59
ANEXO C. FUNCIÓN OBJETIVA .....	60
<i>C.1. Resultado del modelo matemático en Python</i> .....	60
ANEXO D. MODIFICACIONES EN LOS VALORES DE LAS CAPACIDADES.....	61
<i>D. 1. Resultado del modelamiento en la situación original</i> .....	61
<i>D. 2. Resultado del modelamiento en la situación moderada</i> .....	62
<i>D. 3. Resultado del modelamiento en la situación optimista</i> .....	63

# Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Listado de las universidades que realizan residencias de radiología en Chile. ....	1
Ilustración 2: mapa conceptual de los tipos de máquinas. Elaboración propia. ....	9
Ilustración 3: Diagrama de la metodología. ....	13
Ilustración 4: Muestra los rangos de periodos disponibles, que presenta cada módulo para ser realizado durante el Año 1. Elaboración propia. ....	17
Ilustración 5: Muestra los rangos de periodos disponibles, que presenta cada módulo para ser realizado durante el Año 2. Elaboración propia. ....	18
Ilustración 6: Muestra los rangos de periodos disponibles, que presenta cada módulo para ser realizado en el Año 3. Elaboración propia. ....	19
Ilustración 7: Muestra la cantidad de módulos que son impartidos en las diferentes localidades involucradas en la especialidad de Radiología en la Universidad de Chile. ....	20
Ilustración 8: Capacidades de los módulos. Elaboración propia. ....	21
Ilustración 9: Cambios en las capacidades de ciertos módulos, podrían generar un retraso en el proceso. ....	22
Ilustración 10: Ejemplo de la programación manual que se clonará, teniendo el resultado de 3 generaciones distintas, ya que cada año ingresarán 9 estudiantes a la carrera. Se utilizó la misma programación de años anteriores para replicarlo en los 3 años. Elaboración propia. ....	24
Ilustración 11: Representación de los módulos con su respectivos ID. ....	26
Ilustración 12: Bloques de las unidades involucradas en el trabajo de programación. ....	27
Ilustración 13: Ejemplo de ciertos módulos que son adyacentes entre sí. ....	28
Ilustración 14: Ejemplo de los requisitos previos que tienen ciertos módulos. ....	28
Ilustración 15: Equivalencia de módulos, si se cursa la opción A de cierto modulo, el modelo no considerará como opción futura la Opción B ya que son equivalentes. ....	29
Ilustración 16: Capacidades del modelo original para los 41 módulos. Elaboración propia. ....	41
Ilustración 17: Programación de las rotaciones del modelo original. Elaboración propia. ....	42

Ilustración 18: Cuadro de las capacidades para la situación moderada. Elaboración propia .	45
Ilustración 19: Programación de las rotaciones para los 10 alumnos de la situación moderada. Elaboración propia.	46
Ilustración 20: Capacidades de la situación optimista. Elaboración propia.	48
Ilustración 21: Programación de las rotaciones para 12 alumnos en una situación optimista. Elaboración propia.	50
Ilustración 22: Programación manual de las rotaciones de 9 alumnos que ingresaron en el año 2020 . Elaborada por el coordinador.	56
Ilustración 23: Programación manual de las rotaciones de 9 alumnos que ingresaron en el año 2020, pero que están cursando el segundo año académico.	57
Ilustración 24: programación manual de las rotaciones de 9 alumnos que ingresaron en el año 2020, pero que están cursando el tercer año académico.	57
Ilustración 25: Unidades que participan en el plan de estudios pero que no tienen un bloque definido. Elaboración propia.	58
Ilustración 26: Periodos factibles de cada módulo (celdas en color verde), donde 1 equivale a que si se puede cursar en ese periodo i. Elaboración propia.	59
Ilustración 27: Resultado de correr la función objetivo en Python, en la cual se obtiene la siguiente suma (este print muestra solo una parte de la sumatoria) que representa las evaluaciones que realiza el modelo hasta obtener las rotaciones definitivas.	60
Ilustración 28: resultados obtenidos del modelamiento original, luego de haber aplicado ciertos filtros en Excel, que permiten llegar a esta vista.	61
Ilustración 29: Resultados obtenidos del modelamiento a la situación moderado, se llega a esta vista luego de haber aplicado ciertos filtros en Excel. Elaboración propia.	62
Ilustración 30: Resultados obtenidos del modelamiento a la situación optimista, se llega a esta vista luego de haber aplicado ciertos filtros en Excel.	63

## Índice de Ecuación

Ecuación 1: Función objetivo del modelamiento matemático .....	30
----------------------------------------------------------------	----

## Índice de Restricciones

Restricción 1: Asignación del módulo 0 en el periodo 0. Elaboración propia. ....	31
Restricción 2: Permite asignar el número de rotaciones obligatorias. ..	31
Restricción 3: Mediante esta ecuación se busca cumplir con .....	32
Restricción 4: Permite respetar el que una vez asignado el módulo, ya no .....	32
Restricción 5: Permite asignar un módulo por periodo.....	33
Restricción 6: Cumple la equivalencia de los módulos .....	33
Restricción 7: Permite respetar la capacidad máxima por módulo.....	33
Restricción 8: permite respetar la adyacencia de los módulos.....	34
Restricción 9: permite cumplir con la adyacencia y la equivalencia de los módulos al mismo tiempo. ....	34
Restricción 10: permite cumplir con los requisitos previos de cursar cierto módulo. ....	35
Restricción 11: Permite realizar solo uno de los módulos equivalentes.	35
Restricción 12: permite asignar los módulos respetando la factibilidad de cada uno. ....	35
Restricción 13: : Permite respetar la Capacidad máxima del bloque de Tórax. ....	36
Restricción 14: Para cumplir con la capacidad máxima del bloque de Radiología Musculoesquelética. ....	36
Restricción 15: para respetar capacidad máxima del bloque de Eco Musculo. ....	36
Restricción 16: para respetar capacidad máxima de los bloques neurología HSJ.....	37
Restricción 17: Para respetar capacidad máxima de los bloques neurología HCUCH. ....	37
Restricción 18: para respetar capacidad máxima de los bloques de Abdomen Pelvis HCUCH.....	37

Restricción 19: Para respetar capacidad máxima de los bloques de Abdomen Pelvis HSJ. ....	38
Restricción 20: Para respetar capacidad máxima de los bloques de ECO Abdomen Pelvis HCUCH. ....	38
Restricción 21: Para respetar capacidad máxima de los bloques de Radiología Intervencional HCUCH. ....	38
Restricción 22: Para respetar capacidad máxima de los bloques de Imágenes Mamarias.....	39

# Capítulo 1

## Introducción

El presente trabajo de título es realizado específicamente para la Escuela de Postgrado de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile. Sin embargo, es necesario presentar cierta información relevante sobre la carrera de radiología y sobre la institución en la que se realiza el trabajo.

A continuación, se presenta un listado de las universidades que imparten el programa de Residencias de Radiología según lo informado por SOCHRADI (Programas de residencia, 2023), de las cuales solo estudiaremos a la Universidad de Chile.

Universidades	Vacantes	Duración	Jefe de programa
U. de Chile	9 por año	3 años	Dr. Jorge Díaz Jara
Pontificia Universidad Católica	10 por año	3 años	Dra. Florencia De Barbieri
U. de Concepción	6 por año	3 años	Dr. Martín Einersen
U. Autónoma de Chile	3 por año	3 años	Dr. Víctor Retamal
U. Católica del Norte	2 por año	3 años	Dr. Rodrigo Araya
U. del Desarrollo - Clínica Alemana	4-5 por año	3 años	Dra. Georgette Pose
U. de Los Andes	4 por año	3 años	Dr. Sergio Soto
U. Mayor	4 por año	3 años	Dr. Cristián Varela
U. de Santiago	5 por año	3 años	Dr. Sergio Hott
U. Andrés Bello	3 por año	3 años	Dr. Marcelo Castro
U. de Valparaíso	4 por año	3 años	Dr. Rodrigo Valenzuela
U. de la Frontera	2 por año	3 años	Dr. Pablo Avaria

*Ilustración 1: Listado de las universidades que realizan residencias de radiología en Chile.*

Fuente: Sochradi, programa de residencias.

Elaboración propia.

## I. Facultad de Medicina de la Universidad de Chile

Esta pertenece a una de las 12 universidades que imparten esta especialidad. A continuación se menciona su misión y visión, debido a que estas son relevantes y aportan gran valor a este trabajo de título.

“La misión de la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile es contribuir a mejorar la salud de la población en el ámbito nacional e internacional, mediante la búsqueda de la excelencia en la investigación, formación de recursos humanos, extensión y asistencia técnica.” (*Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, 2023 p.1*)

Además, se tiene la siguiente visión:

“La Escuela será una institución académica relevante para la salud de la población, reconocida y respetada a nivel nacional e internacional por su excelencia como centro de conocimiento avanzado, pluralista y líder en el campo de la Salud Pública, con capacidad para generar ideas y comprometerse en su realización, y con un elevado sentido de compromiso social. En consonancia con esta perspectiva, se buscará generar y fortalecer alianzas con universidades nacionales y extranjeras, de manera de concertar estrategias para mejorar la Salud Pública.” (*Facultad de medicina de la Universidad de Chile, 2023*)

Debido a que esta institución académica busca obtener profesionales de excelencia, será necesario tener una correcta y eficaz programación de los módulos de clases. Lo cual sin dudas permite avalar la idea de que existe la oportunidad de mejora y que este trabajo de título tendrá un valor significativo para la institución, en específico para la especialidad de Radiología en la FM-UCH.

## II. Radiología en la FM-UCH

Se conoce que la escuela de postgrado de la FM-UCH ofrece, a los médicos cirujanos certificados en Chile, la especialización en Radiología, la cual se denomina Imagenología. Esta especialidad corresponde a una rama de la medicina que utiliza técnicas de imágenes para el diagnóstico, tratamiento de enfermedades y lesiones. (Radiología en la FM-UCH, 2023).

Con el fin de disminuir la brecha que tiene la radiología en el ámbito de atención a lo largo de Chile (Grupo prensa digital, 2023), la FM-UCH imparte un programa de título especialista (PTE) en Radiología, con el propósito de contribuir a la formación de especialistas de excelencia en Radiología.

Según el programa de la Universidad de Chile el proceso de especialización consiste en lo siguiente:

“La especialización se efectúa en 3 años, que corresponden a seis semestres a tiempo completo (49 semanas efectivas anuales), con un horario de trabajo de 44 horas semanales más los turnos de residencia que determina el Departamento, presenciales, por lo que el plan de estudios totaliza 7.147 horas, equivalentes a 240 créditos. Se desarrolla principalmente en torno a las Rotaciones y Actividades Prácticas por las Unidades Clínicas organizadas en rotaciones comunes a todos los residentes, y una electiva, complementadas con Cursos Teóricos y otras actividades académicas de Aula. (Radiología en la FM-UCH, 2023).

# Capitulo 2

## Planteamiento del problema

Este trabajo de título se desarrolla según el contexto de la programación de módulos en la especialización de Radiología. El cual es realizada manualmente por una única persona. Si bien esta situación sería mucho más compleja en otro contexto, dado que la cantidad de alumnos no es muy grande, esta sí presenta sus complejidades, las cuales son notorias al momento de programar y sobre todo si esta es manual.

Todas las complejidades las enfrenta un coordinador, quien debe tomar múltiples decisiones al asignar manualmente las rotaciones de módulos para cada estudiante, cabe mencionar que esto se realiza para los 3 años de la carrera, es decir, no se realiza la programación semestral, como por lo general otras instituciones acostumbran a hacerlo. Esta programación se concluye en aproximadamente un mes de trabajo del coordinador.

En la actualidad, el programa de Radiología ofrece hasta 11 cupos anuales para nuevos estudiantes, aunque durante los últimos años se ha programado para 9 o 10 estudiantes. Es importante mencionar que un alumno muchas veces se ve perjudicado por la planificación de rotaciones, por ejemplo, cuando esta obliga a que el estudiante congele a lo menos un semestre para poder satisfacer las restricciones del sistema (la cual consiste en que solo se ingresa o reincorpora al plan de estudio a inicios del año académico), lo cual implicaría que ese alumno deba cumplir retrasos innecesarios.

Por lo tanto, el problema principal radica en el elevado tiempo de respuesta y el complejo proceso de programación de los módulos, considerando los diversos requisitos de capacidad, disponibilidad de periodos, pre-requisitos y la necesidad de respetar las programaciones de años anteriores.

Adicionalmente, se le suma el problema que enfrentan los programas de Radiología de las distintas facultades de medicina, ya que estas han declarado que existe un déficit en la cantidad de radiólogos

egresados (Grupo prensa digital, 2023), con tan solo 50 estudiantes graduados por año en todo el país.

En comparación con estándares internacionales, la brecha es significativa, siendo solo 6,6 radiólogos por cada 100,000 habitantes en Chile, frente a los 13 en Europa (Grupo prensa digital, 2023).

Considerando que el 80% de las decisiones médicas se basan en aplicaciones de imagenología según la Organización Mundial de la Salud (Grupo prensa digital, 2023), surge la necesidad de incrementar la cantidad de radiólogos en el país. Por lo tanto, es fundamental el poder encontrar soluciones óptimas, ya que esto permitiría simular distintos escenarios de acuerdo con el número de cupos que se pudieran abrir cada año.

El problema que enfrenta el coordinador se espera resolver mediante un modelamiento matemático de la asignación de módulos, pasando de una programación manual a una computacional, mediante la optimización de recursos. Además se busca generar un posible aumento en el total de alumnos que cursan la carrera, con tal de contribuir a mitigar el déficit de radiólogos en el país.

Sin dudas este modelamiento no solo permitirá reducir el tiempo de programación de las rotaciones para los estudiantes. Sino que también se busca generar propuestas que puedan traducirse en un aumento potencial de recursos monetarios para la Universidad de Chile.

# Capítulo 3

## Objetivos y Alcances

### a) Objetivo General:

Realizar un modelo matemático usando la información del PTE, en donde se respalde y optimice la planificación de rotaciones médicas de los estudiantes de la especialidad de Radiología de la FM-UCH, con tal de analizar y evaluar el potencial aumento en los cupos de alumnos anuales que la institución puede admitir.

### b) Objetivos Específicos:

1. Levantar el proceso actual que experimenta el centro de Radiología de la FM-UCH, con el fin de entender el contexto en el que se llevará a cabo el trabajo.
2. Modelar matemáticamente las restricciones del problema actual con la intención de representar la situación que presenta el Centro de Radiología.
3. Analizar la sensibilidad de las restricciones, con tal de maximizar la capacidad de estudiantes en diversas situaciones propuestas a la institución.
4. Sintetizar los resultados matemáticos obtenidos en la optimización del modelo, con el propósito de facilitar la toma de decisiones y la comunicación efectiva de los resultados.

### c) Alcances:

En relación con los datos de años anteriores, se presentarán diversas situaciones de beneficios y acciones que podrá realizar la institución.

El modelo será implementado en Python; sin embargo, los resultados se reflejarán en Excel. Esto se hace con el objetivo de facilitar la comprensión rápida de los resultados del análisis. En este último, se

presentarán los distintos escenarios y programaciones de rotaciones propuestas para la institución. En donde cada una implica diversas acciones que la institución podría tomar y también proporciona distintos beneficios.

Es importante señalar que este trabajo solo estudiará el caso de los nuevos estudiantes que ingresen a la carrera. En futuros trabajos de título, se podría continuar trabajando sobre este mismo modelo para abordar la situación de tener nuevos y antiguos alumnos simultáneamente.

# Capítulo 4

## Marco conceptual

Existen diferentes tipos de problemas de planificación, en donde la mayor dificultad que enfrentan estos tipos de problemas, corresponde al de encontrar una configuración óptima, dado que dependen de las cantidades de objetos/máquinas/personas que puedan realizar dicha actividad.

A continuación, se definirá algunos conceptos claves que se ven involucrados en los problemas de planificación:

### i) Problemas de planificación

En términos generales, los problemas de planificación se pueden dividir en dos. Los modelos determinísticos, los cuales son aquellos en los que todos los datos del problema son conocidos y no hay incertidumbre alguna. Y Por otro lado, se tiene los modelos estocásticos que corresponden a modelos que presentan incertidumbre y variabilidad en sus resultados.

Este tipo de problemas determinísticos suelen ser utilizados en situaciones en donde se busca entender y predecir el comportamiento de los sistemas bajo condiciones específicas y bien definidas (Linear Programming, s.f.).

Por lo tanto, se determinará que el problema enfrentado por el programa de especialidad es del primer tipo, es decir, es un modelo determinístico ya que se conocen todos los parámetros a utilizar y de hecho el modelo, siempre y cuando no cambie sus valores, genera un mismo resultado, características que corresponden a los modelos determinísticos.

### ii) Parámetros

En 1979 Graham y sus colaboradores se basaron en tres preguntas que son utilizadas como criterios de optimización: quién, qué y para qué, para idear su esquema triparamétrico  $\alpha$  |  $\beta$  |  $\gamma$  (Sociedad de estadística,

SEIO, Volumen 2 p.13). Este a pesar de ser antiguo, ha demostrado ser robusto, ya que, con el tiempo, los nuevos problemas y modelos de planificación que han aparecido fueron fácilmente incorporados al esquema. Hoy en día, es utilizado para modelizar o catalogar diferentes problemas de planificación (Sociedad de estadística, SEIO, Volumen 2 p.13).

A continuación, se da una definición del esquema triparamétrico, mencionado anteriormente:

### ii.1. Parámetro $\alpha$

Está relacionado con las características de las  $m$  máquinas o procesadores  $M_i$  ( $i = \{1, \dots, m\}$ ) (Sociedad de estadística, SEIO, Volumen 2 p.13).

En la ilustración 2 se encuentra un mapa conceptual de los tipos de máquinas. En ella se resaltan los modelos de tipo *Job shop*, ya que este es el tipo de problemas con el que se puede modelar el problema abordado en este trabajo de título.



Ilustración 2: mapa conceptual de los tipos de máquinas. Elaboración propia.

En los problemas del tipo Job shop, el subconjunto de máquinas que procesa un trabajo y el orden del proceso, son conocidos pero irrelevantes.

En contexto con la problemática que se aborda en este trabajo de programación de las rotaciones de Radiología, los estudiantes corresponden a los trabajos  $J_j$  y las rotaciones médicas a las máquinas

$M_i$  . Además, el problema no se considera tan complejo como para considerar diferenciación en criterios. Sin embargo, podrían existir ciertas preferencias, por ejemplo, que un alumno al que solo le quedan dos rotaciones para obtener su título sea prioridad (en cuanto a no retrasarse) frente a uno de segundo año con 5 rotaciones reprobadas.

Si bien las situaciones anteriores no serán estudiadas en este trabajo, estas consideraciones pueden ser incorporadas en un próximo modelo matemático, a través de ciertas modificaciones en las restricciones, presentes en el modelamiento. Con esto se evitaría complejizar el modelo de manera innecesaria.

En unos ítems más adelante se abordará este tema al hablar de los criterios de optimalidad  $\gamma$ .

## ii.2. Parámetro $\beta$

Está relacionado con las características de los  $j$  trabajos o tareas a procesar  $j_i$  ( $i = \{1, \dots, n\}$ ). Las condiciones necesarias para la ejecución de los trabajos se pueden caracterizar de la siguiente manera (Sociedad de estadística, SEIO, Volumen 2 p.15).:

- i. Interrupciones (pmtn): significa que durante el tiempo de procesamiento de alguna operación, el proceso se pueda detener y continuar más tarde.
- ii. Relaciones de precedencia: esto sucede cuando el inicio del procesamiento de un trabajo está condicionado al termino de otro.
- iii. Existencia de fechas de disponibilidad; está representada por  $r_j$ , en donde este parámetro permite diferenciar problemas dinámicos de estáticos.
- iv. Cotas al número de operaciones: Esta condición es necesaria para casos específicos de Job shop, donde el número de máquinas es inferior al de operaciones.
- v. Tiempos de proceso: hay problemas que son resolubles de forma unitaria y no de forma general.
- vi. Recursos adicionales: estos son definidos al principio del modelamiento matemático por lo que no cumplen las mismas funciones que las máquinas, a pesar de que en el contexto real sean lo mismo. Por ejemplo, un profesional puede crear un modelo

donde algunas de sus máquinas correspondan a los recursos adicionales del modelo de otra persona o viceversa.

Si la información vista anteriormente, se asocia a la especialidad de Radiología de la FM-UCH, se puede concluir que el problema abordado se caracteriza por un parámetro beta del siguiente tipo, obteniendo las siguientes restricciones:

- i. No permite interrupciones: Un estudiante no puede detener una rotación en la semana 3 y continuarla en semana 6, ya que esto aumentaría la cantidad de topes en la programación ya existente, generando que la decisión de una persona, afecte a las restricciones de capacidad de dos periodos o más.  
Además, según lo informado por el coordinador, cuando un alumno presenta una licencia médica por un periodo no menor, a ese alumno se le reprueba ese módulo y tiene que reprogramar nuevamente aquel módulo completo.
- ii. No tiene relaciones de precedencia: Esto se debe a que, no existe favoritismo con ningún estudiante, respecto a quién debe tomar un módulo primero.
- iii. Es un problema estático: Debido a que, según lo acordado con el coordinador de la especialidad, no se requiere agregar diferencias en los tiempos de inicio de las rotaciones, ya que se decidió no complejizar el modelo y solucionar esto planificando solo al inicio del periodo académico.  
Para que la reprogramación no perjudique las planificaciones de los alumnos que prosiguieron con sus estudios, se vuelve a optar para que las funciones de coste de la función objetivo sean las que favorezcan a los alumnos que van al día.
- iv. Existe una cota de 38 operaciones que corresponden a la cantidad necesaria de rotaciones que un estudiante debe cumplir para obtener el título de especialidad en Radiología.
- v. Los tiempos del proceso serán agrupados en 4 semanas, de esta forma el tiempo de duración de cada módulo corresponde a un periodo de tiempo.
- vi. No se utilizarán recursos adicionales y se considerará a todos los módulos como máquinas.

### ii.3. Parámetro $\gamma$

El último campo denominado Criterios de Optimalidad, define el número de funciones objetivo (FO) que buscará optimizar el problema y sus características (Sociedad de estadística, SEIO, Volumen 2 p.15-16).

Una vez completada una planificación, es posible calcular a cada trabajo, los siguientes indicadores (KPI) :

- i. Tiempo de termino  $C_j$  asociado al momento en el que trabajo  $j$  completa todas sus operaciones.
- ii. Tiempo de demora, que se obtiene de calcular  $L_j = C_j - d_j$ ; en la cual se tiene que  $d_j$  equivale a la fecha límite y  $C_j$  al tiempo de realización de la planificación.  $L_j$  representa un retraso en caso de ser positiva y representa un término anticipado cuando es negativa.
- iii. Tiempo de tardanza, que se calcula según la fórmula  $T_j = \max\{0, d_j\}$
- iv. Indicador de trabajo tardío  $U_j$  que valdrá 1 si el trabajo no se concluye antes de su fecha límite, sino es igual a 0.

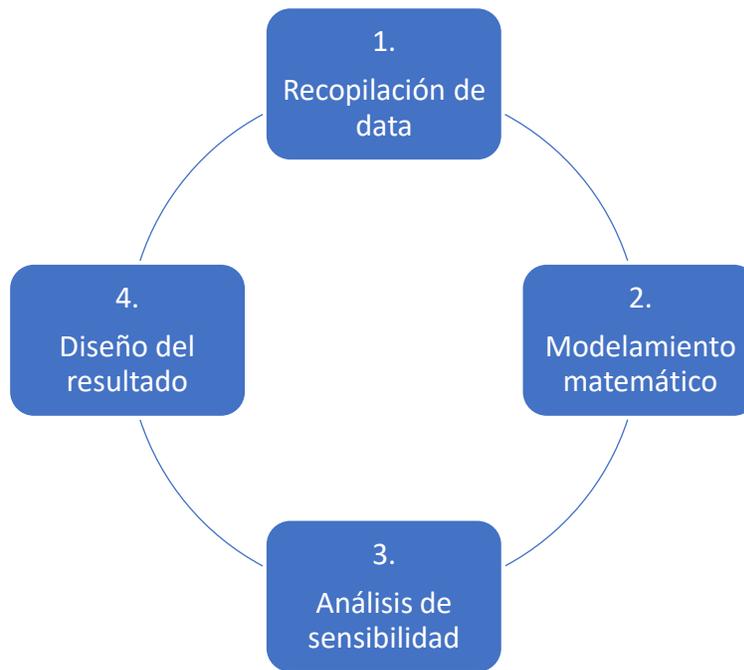
Por lo tanto, basándose en los indicadores expuestos anteriormente, se definen las funciones objetivo a minimizar. Para poder castigar más a los escenarios en los que ocurre un retraso, se puede utilizar funciones crecientes en el tiempo.

# Capítulo 5

## Metodología

Debido a que este trabajo de título es más similar a un trabajo de investigación, este cuenta de ciertos procedimientos necesarios de realizar, con tal de obtener los resultados esperados.

A continuación, se detalla el procedimiento representado en el siguiente diagrama:



*Ilustración 3: Diagrama de la metodología.*

*Elaboración propia.*

### (1) Recopilación de data

En esta etapa inicial se realiza la recopilación de la data, tanto la otorgada por el coordinador de la especialidad de Radiología como la encontrada en internet sobre la institución o la carrera a fin. Mediante esta información será necesario entender el rol de la carrera en la actualidad, en qué consisten las programaciones actuales de la institución y cuál es la problemática a la que se enfrenta la institución.

### (2) Modelamiento matemático

Se transcribe la información recopilada a un modo matemático, con tal de que el problema se pueda comprender en una programación lineal (PPL) que describa correctamente la situación. En esta etapa se especifica la función objetiva, variables, parámetros y las restricciones que serán modeladas.

### (3) Análisis de sensibilidad

Posterior a la etapa anterior, se estudia la sensibilidad del modelo ante cambios en los valores de las capacidades y/o restricciones, además, se determina la efectividad de cada una de las restricciones, con tal de ver si se puede facilitar el modelamiento. Dichos cambios podrían generar beneficios y costos a la institución.

### (4) Diseño del resultado

Finalmente, con la información y resultados obtenidos previamente, se mostrarán los resultados de las programaciones de las rotaciones y cambios que debería realizar la institución. Presentando los beneficios y costos de implementar cada una de las opciones obtenidas.

Por último, cabe mencionar que las etapas del ciclo no necesariamente son continuas, ya que puede suceder que de la etapa 4 se vuelva a la 3 continuamente, esto se debe a que, a medida que se analiza la situación pueden surgir nuevas ideas.

# Capítulo 6

## Desarrollo metodológico

A continuación se muestra el desarrollo de las etapas mencionadas en el capítulo 5: "Metodología", con tal de poder cumplir los objetivos mencionados en el capítulo 3: "Objetivos y alcances".

### (1) Recopilación de la data

Una parte de la información que se necesita conocer, fue entregada al inicio de este trabajo de título, la cual consiste en la información de la facultad y de la especialidad de Radiología. Pero también es necesario mostrar información recibida de parte del coordinador de carrera, la cual será muy útil al momento de ejecutar las siguientes etapas de la metodología.

Según lo anterior, a continuación se entrega algunas de las restricciones que el coordinador debe cumplir al momento de programar los horarios de los estudiantes de la especialidad de Radiología. Cabe mencionar, que en el ítem (2) parte d, se mostrarán de forma matemática las restricciones.

- Los estudiantes deben aprobar un total de 38 módulos (en este trabajo de título se le llamará módulos a lo que, por lo general, se le conoce como asignatura o ramo), en donde cada uno tiene una duración de 4 semanas.
- Los estudiantes deben cursar 3 periodos de vacaciones, es decir, estos equivalen a 3 módulos (Vacaciones I, Vacaciones II y Vacaciones III). Los cuales sólo pueden ser tomadas entre los meses de enero-marzo. El último módulo, Vacaciones III, debe cursarse en el período 38, siendo este el término de la carrera.
- Existen módulos en donde es necesario utilizar equipamiento médico e infraestructura de ciertos hospitales. Es por esto, que existen restricciones de capacidad de acuerdo con la disponibilidad de los equipos.

- Existen módulos, que tienen una restricción de capacidad determinadas por un docente (Radiólogos subespecialistas), ya que no pueden enseñar a un número mayor de estudiantes, este número se determina según cada módulo.

A continuación, se da detalles de la información obtenida por parte del coordinador. Esta información es relevante al momento de querer estudiar la sensibilidad y de recomendar ciertos cambios a la institución, los cuales serán los pasos terminales del trabajo de título:

a. Relación de los módulos y periodos en la programación

1. No solo el último periodo tiene definido el módulo que deben cursar todos los estudiantes (Vacaciones III), sino que esto también es para el primer periodo, el cual corresponde al módulo "Fundamentos de los Métodos de Exploración Diagnóstica por Imágenes", por lo tanto, en esos periodos se tiene una capacidad sin límites de cupos. Lo cual sin dudas, ayuda al momento de programar las rotaciones porque ya se tiene definido los extremos del proceso.
2. Para los otros módulos, estos tan solo tiene definido en que rango de periodos deben realizarse, es decir, existen los módulos que deben cursarse en cierto año, el cual corresponde a un rango de periodos determinados, por ejemplo: Radiología de Tórax Cardiovascular I, puede ser realizado entre el periodo 2 al 14. A continuación se presentan ilustraciones que muestran los años y periodos en los que se pueden realizar la rotación de cada módulo:

- Año 1: Periodos entre el 1 al 12.

Durante este año es posible cursar los módulos que se observan en la ilustración 4. En la cual se especifican los periodos factibles para los módulo que se puede realizar durante el primer año.

Módulo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fundamentos de los Métodos de Exploración Diagnóstica por Imágenes												
Radiología de Tórax y Cardiovascular I												
Radiología de Tórax y Cardiovascular II												
Radiología de Tórax y Cardiovascular III												
Radiología de Tórax y Cardiovascular IV												
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC I												
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC II												
Radiología Musculoesquelética: US I												
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello I												
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello II												
Radiología de Abdomen y Pelvis: Digestivo y Genitourinario												
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I												
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II												
Radiología Vascul ar II												
Radiología de Abdomen y Pelvis: US I												
Radiología de Abdomen y Pelvis: US II												
Radiología Vascul ar I												
Radiología Intervencional I												
Radiología Intervencional II												
Radiología Pediátrica I												
Radiología Pediátrica II												
Vacaciones I												

*Ilustración 4: Muestra los rangos de periodos disponibles, que presenta cada módulo para ser realizado durante el Año 1. Elaboración propia.*

Por ejemplo, en la ilustración 4 se observa que Radiología Vascul ar II durante el año 1, solo puede cursarse en el periodo 11 o 12.

- Segundo año: periodos entre 13 al 25.

Durante este año, es posible cursar los siguientes módulos que se observan en la ilustración 5. En donde se especifican los periodos factibles para cada módulo que puede realizarse durante el segundo año de especialidad.

Módulo	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Radiología de Tórax y Cardiovascular I													
Radiología de Tórax y Cardiovascular II													
Radiología de Tórax y Cardiovascular III													
Radiología de Tórax y Cardiovascular IV													
Radiología de Tórax y Cardiovascular V													
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC I													
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC II													
Radiología Musculoesquelética: US I													
Radiología Musculoesquelética: US II													
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello I													
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello II													
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello III													
Radiología de Abdomen y Pelvis: Digestivo y Genitourinario													
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I													
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II													
Radiología Vasculuar II													
Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis I													
Radiología de Abdomen y Pelvis: US II													
Radiología Vasculuar I													
Radiología Intervencional I													
Radiología Intervencional II													
Radiología Pediátrica I													
Radiología Pediátrica II													
Radiología Pediátrica III													
Imágenes Mamarias I													
Imágenes Mamarias II													
PET/CT, Radiología Oncológica y Medicina Nuclear													
Radiología de Urgencia													
Vacaciones I													
Vacaciones II													

Ilustración 5: Muestra los rangos de periodos disponibles, que presenta cada módulo para ser realizado durante el Año 2. Elaboración propia.

Por ejemplo, en la ilustración 5 se observa que Radiología Vasculuar II durante el año 2, puede cursarse entre los periodos 13 al 25.

- Tercer año: periodos entre el 26 al 38.

En este año es posible la realización de los siguientes módulos que se observan en la ilustración 6. En la cual se detallan los periodos factibles para cada módulo que se puede cursar en el tercer año.

Módulo	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
Radiología de Tórax y Cardiovascular IV													
Radiología de Tórax y Cardiovascular V													
Radiología Musculoesquelética: US II													
Residencia Radiología Musculoesquelética: Rx - TC - RM													
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello IV													
Residencia de Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello													
Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis II													
Radiología Pediátrica III													
Imágenes Mamarias I													
Imágenes Mamarias II													
PET/CT, Radiología Oncológica y Medicina Nuclear													
Radiología de Urgencia													
Electivo													
Vacaciones II													
Vacaciones III													

Ilustración 6: Muestra los rangos de periodos disponibles, que presenta cada módulo para ser realizado en el Año 3. Elaboración propia.

Por ejemplo, en la ilustración 6 se observa que Radiología de Tórax y Cardiovascular IV, durante el tercer año solo puede ser cursado en los periodos 26 al 36.

b. Relación de los módulos y localidad en donde son realizados.

Existe más de un lugar físico en donde se realizan las rotaciones, como por ejemplo el Hospital Clínico de la Universidad de Chile (HCUCH) o el Hospital San Juan de Dios (HSJD), en donde cada lugar permite un cupo máximo de estudiantes.

Para poder visualizar la situación anterior, se da el siguiente ejemplo: se tiene el módulo de Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I, la cual tiene una capacidad en HSJD de un máximo de 3 estudiantes y en el HCUCH un máximo de 4.

A continuación se puede observar la ilustración 7 que corresponde un resumen de las localidades que participan y la cantidad de módulos que son realizados en ese lugar. Si se cuenta, se observa que solo hay 37 módulos de los 41 y esto se debe a que los 4 faltantes corresponden a los

módulos de electivo y vacaciones I, II y III, los cuales no utilizan ninguna localidad específica.

<b>Localidades</b>	<b>Nº de módulos</b>
HSJD	5
Hospital Ezequiel Gonzales	1
Hospital Roberto del Rio	1
HCUCH	27
Hospital Luis Calvo Mackenna	1
Urgencia Clinica Las Condes	2

*Ilustración 7: Muestra la cantidad de módulos que son impartidos en las diferentes localidades involucradas en la especialidad de Radiología en la Universidad de Chile.*

*Elaboración propia.*

### c. Capacidades de los módulos

Según la información recibida por el coordinador, cada módulo presenta una capacidad determinada a inicio de año, esta debe ser respetada ya que algunas son limitadas por la infraestructura o por la mano de obra, que en este caso corresponde a los profesores quienes muchas veces definen que pueden realizar sus clases con un número máximo de estudiantes.

Como se observa en la ilustración 8 cada módulo tendrá 2 capacidades: la capacidad máxima por grupo que corresponde a la capacidad del lugar (por lo general es la sala o laboratorio), y por otro lado se tiene la capacidad máxima de rotación que corresponde a la determinada por el docente y/o la facultad en cada módulo, es decir, es un valor individual para cada módulo.

Rotaciones	ID	Cap max grupo	Cap max rot
Fundamentos de los Métodos de Exploración Diagnóstica por Imágenes	0	20	20
Radiología de Tórax y Cardiovascular I	1	5	2
Radiología de Tórax y Cardiovascular II	2	5	2
Radiología de Tórax y Cardiovascular III	3	5	2
Radiología de Tórax y Cardiovascular IV	4	5	2
Radiología de Tórax y Cardiovascular V	5	5	2
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC I	6	4	2
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC II	7	4	2
Radiología Musculoesquelética: US I	8	2	1
Radiología Musculoesquelética: US II	9	2	1
Residencia Radiología Musculoesquelética: Rx - TC -RM	10	4	1
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello I	11	2	2
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello II	12	2	2
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello III	13	3	1
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello IV	14	3	1
Residencia de Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello	15	3	1
Radiología de Abdomen y Pelvis: Digestivo y Genitourinario	16	3	1
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I	17	4	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I	18	3	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II	19	4	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II	20	3	2
Radiología Vascular II	21	4	1
Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis I	22	4	1
Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis II	23	3	1
Radiología de Abdomen y Pelvis: US I	24	2	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: US II	25	2	2
Radiología Vascular I	26	1	1
Radiología Intervencional I	27	3	1
Radiología Intervencional II	28	2	2
Radiología Pediátrica I	29	1	1
Radiología Pediátrica I	30	1	1
Radiología Pediátrica II	31	1	1
Radiología Pediátrica III	32	1	1
Imágenes Mamarias I	33	2	2
Imágenes Mamarias II	34	2	2
PET/CT, Radiología Oncológica y Medicina Nuclear	35	1	1
Radiología de Urgencia	36	1	1
Electivo	37	2	2
Vacaciones I	38	20	20
Vacaciones II	39	20	20
Vacaciones III	40	20	20

*Ilustración 8: Capacidades de los módulos. Elaboración propia.*

Una vez que se tienen todas las capacidades, en la ilustración 9 se puede observar que hay celdas en rojo, los que corresponden a los módulos que podrían estar generando un “cuello de botella” en el proceso al momento de programar las rotaciones. Sin dudas, este punto se evaluará con mayor detalle en los siguientes ítem, en especial en el de sensibilidad.

Rotaciones	ID	Cap max grupo	Cap max rot
Fundamentos de los Métodos de Exploración Diagnóstica por Imágenes	0	20	20
Radiología de Tórax y Cardiovascular I	1	5	2
Radiología de Tórax y Cardiovascular II	2	5	2
Radiología de Tórax y Cardiovascular III	3	5	2
Radiología de Tórax y Cardiovascular IV	4	5	2
Radiología de Tórax y Cardiovascular V	5	5	2
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC I	6	4	2
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC II	7	4	2
Radiología Musculoesquelética: US I	8	2	1
Radiología Musculoesquelética: US II	9	2	1
Residencia Radiología Musculoesquelética: Rx - TC -RM	10	4	1
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello I	11	2	2
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello II	12	2	2
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello III	13	3	1
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello IV	14	3	1
Residencia de Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello	15	3	1
Radiología de Abdomen y Pelvis: Digestivo y Genitourinario	16	3	1
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I	17	4	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I	18	3	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II	19	4	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II	20	3	2
Radiología Vasculat II	21	4	1
Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis I	22	4	1
Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis II	23	3	1
Radiología de Abdomen y Pelvis: US I	24	2	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: US II	25	2	2
Radiología Vasculat I	26	1	1
Radiología Intervencional I	27	3	1
Radiología Intervencional II	28	2	2
Radiología Pediátrica I	29	1	1
Radiología Pediátrica I	30	1	1
Radiología Pediátrica II	31	1	1
Radiología Pediátrica III	32	1	1
Imágenes Mamarías I	33	2	2
Imágenes Mamarías II	34	2	2
PET/CT, Radiología Oncológica y Medicina Nuclear	35	1	1
Radiología de Urgencia	36	1	1
Electivo	37	2	2
Vacaciones I	38	20	20
Vacaciones II	39	20	20
Vacaciones III	40	20	20

*Ilustración 9: Cambios en las capacidades de ciertos módulos, podrían generar un retraso en el proceso.*

#### d. Rotaciones

Además de la información previamente presentada, el coordinador también entregó una planificación de años anteriores, la cual fue realizada de forma manual.

En el Anexo A.1 se puede observar que en el año 2020 ingresaron 9 estudiantes a la especialidad de Radiología, cuando el coordinador tuvo que realizar la programación de rotaciones para todos los estudiantes durante los 3 años que dura la especialidad, sin dudas necesitó ser riguroso en cumplir con las restricciones.

Al analizar la programación de los años anteriores, se observa un suceso importante, el cual consiste en que a pesar de que entran 9 estudiantes, solo fueron 8 estudiantes los que finalizaron los 38 periodos, debido a que un estudiante decidió renunciar a la carrera en el quinto periodo.

Hay que recordar, que estos cambios generan un cupo libre en esos módulos, ya que, el estudiante se ha retirado. Sin dudas, la situación sería mucho más compleja, si un alumno se hubiera reintegrado a los estudios, ya que esto modificaría la programación de esa generación y de otras generaciones de estudiantes, aunque como se mencionó, las reintegraciones o ingresos solo podrán ser a inicio de año.

Debido a la información anterior, es que se pensó en realizar clones de una programación para 9 alumnos, con la intención de averiguar si existía algún error en el cumplimiento de los requisitos.

El clonaje de esta programación se realizó en Excel, teniendo una brecha de 1 año entre cada programa clon. En este clonaje se analizó detalladamente los cruces entre módulos, el cumplimiento de las capacidades y restricciones de los módulos.

Una vez clonado la programación de los años anteriores, se descubrió lo siguiente:

- En la ilustración 10 se puede identificar claramente que el módulo de Radiología Vasculat I, no respeta en todo tiempo su restricción de capacidad, por ejemplo en los periodos 9 y 10 de la ilustración 22 adjunta en el Anexo A.1, se observa que hay 2 estudiantes que

cursan ese módulo en el mismo periodo. Este error genera que en el clonaje también se siga ejecutando la falta de cumplir con el requisito de capacidad igual a un estudiante por periodo, para el módulo de Radiología Vasculat I.

Periodo	Amar	Caniulaf	Cornejo	Correa	Cura	Latorre	Poblete Moya	Reyes	Zamarin
1	Fundamentos MEDI	Fundamentos MEDI	Fundamentos MEDI	Fundamentos MEDI	Fundamentos MEDI	Fundamentos MEDI	Fundamentos MEDI	Fundamentos MEDI	Fundamentos MEDI
2	Rad Abd y Pelv: TC y RM I SJ	Rad Abd y Pelv: TC y RM I HCUCH	Rad Abd y Pelv: TC y RM I HCUCH	Rad Tórax y CV I	Rad Tórax y CV I	Rad Tórax y CV I	Rad Mes: Rx y TC I	Rad Mes: Rx y TC I	Rad Mes: Rx y TC I
3	Rad Abd y Pelv: TC y RM II HCUCH	Rad Abd y Pelv: TC y RM II SJ	Rad Abd y Pelv: TC y RM II SJ	Rad Tórax y CV II	Rad Tórax y CV II	Rad Tórax y CV II	Rad Mes: Rx y TC II	Rad Mes: Rx y TC II	Rad Mes: Rx y TC II
4	Rad Mes: Rx y TC I	Rad Mes: Rx y TC I	Rad Mes: Rx y TC I	Rad Abd y Pelv: TC y RM I SJ	Rad Abd y Pelv: TC y RM I HCUCH	Rad Abd y Pelv: TC y RM I HCUCH	Rad Tórax y CV I	Rad Tórax y CV I	Rad Tórax y CV I
5	Rad Mes: Rx y TC II	Rad Mes: Rx y TC II	Rad Mes: Rx y TC II	Rad Abd y Pelv: TC y RM II SJ	Rad Abd y Pelv: TC y RM II SJ	<b>RENUNCIA</b>	Rad Tórax y CV II	Rad Tórax y CV II	Rad Tórax y CV II
6	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD	Rad Tórax y CV I	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD	Rad Cabeza y Cuello I	Rad Mes: Rx y TC I		Rad Abd y Pelv: TC y RM I HCUCH	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD	Rad Abd y Pelv: TC y RM I SJ
7	Rad Abd y Pelvis: US II HSJ - HSJD	Rad Tórax y CV II	Rad Abd y Pelvis: US II HSJ - HSJD	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU	Rad Mes: Rx y TC II		Rad Abd y Pelv: TC y RM II SJ	Rad Abd y Pelvis: US II HCUCH - HSJD	Rad Abd y Pelv: TC y RM II HCUCH
8	Radiología Vasculat I	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU	Rad Mes: Rx y TC I	Rad Cabeza y Cuello I		Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD	Radiología Vasculat I	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD
9	Rad Tórax y CV I	Rad Abd y Pelvis: US II HSJ - HSJD	Radiología Vasculat I	Rad Mes: Rx y TC II	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU		Rad Abd y Pelvis: US II HSJ - HSJD	Rad Cabeza y Cuello I	Rad Abd y Pelvis: US II HCUCH - HSJD
10	Rad Tórax y CV II	Radiología Vasculat I	Rad Cabeza y Cuello I	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD		Radiología Vasculat I	<b>Vacaciones/nive I rad tx y cv II</b>	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU
11	<b>Vacaciones</b>	Rad Cabeza y Cuello I	Rad Tórax y CV I	<b>Vacaciones</b>	Rad Abd y Pelvis: US II HSJ - HSJD		<b>Vacaciones</b>	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU	Radiología Vasculat I
12	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU	<b>Vacaciones</b>	<b>Vacaciones</b>	Rad Abd y Pelvis: US II HSJ - HSJD	Radiología Vasculat I		Rad Cabeza y Cuello I	Rad Abd y Pelv: TC y RM I HCUCH	<b>Vacaciones</b>
13	Rad Cabeza y Cuello I	Radiología Vasculat II	Rad Tórax y CV II	Radiología Vasculat I	<b>Vacaciones</b>		Rad Abd y Pelvis: Dig y GU	Rad Abd y Pelv: TC y RM II SJ	Rad Tórax y CV III
14	Radiología Intervencional I	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU	Radiología Pediatría I	Neurorad I HSJD	Electivo Rad Abd y Pelv: TC y RM nivel		Rad Tórax y CV III	Rad Mes: US I	Rad Cabeza y Cuello I
15	Radiología Intervencional II	Radiología Intervencional I	Radiología Pediatría II	Neurorad II HSJD	Radiología Pediatría I		Rad Mes: US I	Neurorad I HCUCH	Neurorad I HSJD
16	Radiología Pediatría I	Radiología Intervencional II	Rad Tórax y CV III	Radiología Vasculat II	Radiología Pediatría II		Res Abd y Pelvis HCUCH	Neurorad II HCUCH	Neurorad II HSJD
17	Radiología Pediatría II	Radiología Pediatría I	Radiología Intervencional I	Rad Tórax y CV III	Neurorad I HSJD		Neurorad I HCUCH	Res Abd y Pelvis HCUCH	Rad Mes: US I
18	Rad Tórax y CV III	Radiología Pediatría II	Radiología Intervencional II	Radiología Intervencional I	Neurorad II HSJD		Neurorad II HCUCH	Radiología Pediatría I	Radiología Vasculat II
19	Electivo Rad Abd y Pelv: TC y RM nivel	Rad Mes: US I	Neurorad I HSJD	Radiología Intervencional II	Radiología Intervencional I		Radiología Pediatría II	Radiología Pediatría II	Res Abd y Pelvis HCUCH
20	Neurorad I HSJD	Res Abd y Pelvis HCUCH	Neurorad II HSJD	Rad Mes: US I	Radiología Intervencional II		Radiología Intervencional II	Radiología Vasculat II	Radiología Pediatría I
21	Neurorad II HSJD	Neurorad I HCUCH	Res Abd y Pelv: TC y RM nivel	Res Abd y Pelvis HCUCH	Rad Mes: US I		Rad Tórax y CV III	Rad Tórax y CV III	Radiología Pediatría II
22	Radiología Vasculat II	Neurorad II HCUCH	Rad Mes: US I	Radiología Pediatría I	Rad Tórax y CV III		Rad Mes: US II	Rad Mes: US II	Rad Tórax y CV IV
23	Res Abd y Pelvis HCUCH	Rad Tórax y CV III	<b>Vacaciones</b>	Radiología Pediatría II	Radiología Vasculat II		<b>Vacaciones</b>	<b>Vacaciones</b>	Radiología Intervencional I
24	Rad Mes: US I	Rad Tórax y CV IV	Radiología Vasculat II	<b>Vacaciones</b>	Res Abd y Pelvis HCUCH		<b>Vacaciones</b>	Res Rad Mes: Rx-TC-RM	Radiología Intervencional II
25	<b>Vacaciones</b>	<b>Vacaciones</b>	Rad Tórax y CV IV	Res Abd y Pelvis HSJD	Rad Tórax y CV IV		Radiología Vasculat II	Radiología Intervencional I	<b>Vacaciones</b>
26	Rad Tórax y CV IV	Rad Mes: US II	Res Abd y Pelvis HCUCH	Radiología Pediatría III	<b>Vacaciones</b>		PETCT-MN CLC	Radiología Intervencional II	Neurorad III HCUCH
27	Neurorad III HCUCH	Res Abd y Pelvis HSJD	Imágenes Mamas I	Neurorad III HCUCH	Rad Tórax y CV V		Neurorad III HSJD	PETCT-MN CLC	Radiología Pediatría III
28	Imágenes Mamas I	Rad Urg CLC	Imágenes Mamas II	PETCT-MN CLC	Neurorad III HCUCH		Rad Tórax y CV IV	Radiología Pediatría III	Rad Mes: US II
29	Imágenes Mamas II	Radiología Pediatría III	Neurorad III HCUCH	Rad Cabeza y Cuello II	PETCT-MN CLC		Res Abd y Pelvis HSJD	Rad Tórax y CV IV	Res Rad Mes: Rx-TC-RM
30	Rad Urg CLC	Imágenes Mamas I	Radiología Pediatría III	Rad Mes: US II	Res Abd y Pelvis HSJD		Rad Tórax y CV V	Neurorad III HSJD	PETCT-MN CLC
31	PETCT-MN CLC	Imágenes Mamas II	Rad Mes: US II	Rad Tórax y CV IV	Imágenes Mamas I		Rad Cabeza y Cuello II	Rad Urg CLC	Rad Tórax y CV V
32	Rad Mes: US II	PETCT-MN CLC	Res Rad Mes: Rx-TC-RM	Rad Tórax y CV V	Imágenes Mamas II		Rad Urg CLC	Rad Cabeza y Cuello II	Electivo
33	Radiología Pediatría III	Electivo	PETCT-MN CLC	Res Rad Mes: Rx-TC-RM	Rad Urg CLC		Imágenes Mamas I	Res Abd y Pelvis HSJD	Rad Cabeza y Cuello II
34	Res Rad Mes: Rx-TC-RM	Neurorad III HCUCH	Rad Cabeza y Cuello II	Electivo	Radiología Pediatría III		Imágenes Mamas II	Imágenes Mamas I	Rad Urg CLC
35	Rad Tórax y CV V	Res Rad Mes: Rx-TC-RM	Res Abd y Pelvis HSJD	Rad Urg CLC	Rad Cabeza y Cuello II		Radiología Pediatría III	Imágenes Mamas II	Imágenes Mamas I
36	Res Abd y Pelvis HSJD	Rad Cabeza y Cuello II	Rad Urg CLC	Imágenes Mamas I	Rad Mes: US II		Res Rad Mes: Rx-TC-RM	Rad Tórax y CV V	Imágenes Mamas II
37	Rad Cabeza y Cuello II	Rad Tórax y CV V	Rad Tórax y CV V	Imágenes Mamas II	Res Rad Mes: Rx-TC-RM		Electivo	Electivo	Res Abd y Pelvis HSJD
38	<b>Vacaciones</b>	<b>Vacaciones</b>	<b>Vacaciones</b>	<b>Vacaciones</b>	<b>Vacaciones</b>		<b>Vacaciones</b>	<b>Vacaciones</b>	<b>Vacaciones</b>

Ilustración 10: Ejemplo de la programación manual que se clonará, teniendo el resultado de 3 generaciones distintas, ya que cada año ingresarán 9 estudiantes a la carrera. Se utilizó la misma programación de años anteriores para replicarlo en los 3 años. Elaboración propia.

- También se descubrió que hay un error en el cumplimiento de uno de los requisitos del módulo “PET/CT Radiología Oncológica y Medicina Nuclear (CLC)”, ya que este programa de años anteriores no cumple con el requisito de cursar antes el módulo de “Residencia de Radiología del Abdomen y pelvis II”. Esto mismo sucede en más de un estudiante programado. Dicho error se sigue repitiendo en el clonaje.

Dado lo anterior, es probable que este error genere dificultades en la programación matemática, ya que pide considerar una restricción que tal vez es poco significativa en los resultados pero que en realidad solo genera una situación más compleja, al exigirle algo que tal vez no es necesaria. Lo anterior se comprobará al evaluar la situación con esta restricción o sin esta.

Si bien el modelo matemático, no analizará la situación de tener nuevos y antiguos alumnos, a los cuales habría que programar sus rotaciones en el mismo modelo; el clonaje se realiza para verificar que no existan errores que sean provocadas por la factibilidad de periodos de cada módulo y las restricciones que tienen estos que se estudiarán a continuación.

## (2) Modelamiento matemático

A continuación, se presenta el modelamiento matemático, el cual fue programado utilizando el lenguaje de Python, en donde se trabajó con la versión 3.8 .

El trabajo consiste en modelar la programación manual que realizaba el coordinador en un modelo matemático, en donde se tendrá una función objetiva con sus restricciones a cumplir, también es importante en tener la data en el mismo lenguaje, ya que se debe definir cada variable a utilizar. Es por esto que toda la data se tiene en Excel, la cual se puede leer sin dificultad en el programa de modelamiento realizado en Python.

A continuación se presentan y definen todas las partes involucradas en el modelamiento matemático:

## a. Variables

Es necesario determinar las variables del modelo, las cuales corresponde al número de estudiantes ( $B$ ), la cantidad de módulos que impartirá la institución ( $M$ ) y el número de periodos que requiere la carrera para ser finalizada ( $T$ ).

La variable  $B$  solo considera la cantidad de estudiantes nuevos, al momento de tener que programar, ya que en este trabajo se modelará sin pre-existencias.

## b. Parámetros

Se tiene que para poder determinar los parámetros de este modelamiento matemático, se necesitó realizar el siguiente paso: definir un ID para cada módulo, es decir se tendría un módulo 0 hasta el 40 que corresponden a todos los módulos que ofrece la institución.

A continuación se presenta una ilustración con los módulos y sus ID:

Rotaciones	ID	Rotaciones	ID
Fundamentos de los Métodos de Exploración Diagnóstica por Imágenes	0	Radiología Vasculuar II	21
Radiología de Tórax y Cardiovascular I	1	Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis I	22
Radiología de Tórax y Cardiovascular II	2	Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis II	23
Radiología de Tórax y Cardiovascular III	3	Radiología de Abdomen y Pelvis: US I	24
Radiología de Tórax y Cardiovascular IV	4	Radiología de Abdomen y Pelvis: US II	25
Radiología de Tórax y Cardiovascular V	5	Radiología Vasculuar I	26
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC I	6	Radiología Intervencional I	27
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC II	7	Radiología Intervencional II	28
Radiología Musculoesquelética: US I	8	Radiología Pediátrica I	29
Radiología Musculoesquelética: US II	9	Radiología Pediátrica I	30
Residencia Radiología Musculoesquelética: Rx - TC -RM	10	Radiología Pediátrica II	31
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello I	11	Radiología Pediátrica III	32
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello II	12	Imágenes Mamarias I	33
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello III	13	Imágenes Mamarias II	34
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello IV	14	PET/CT, Radiología Oncológica y Medicina Nuclear	35
Residencia de Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello	15	Radiología de Urgencia	36
Radiología de Abdomen y Pelvis: Digestivo y Genitourinario	16	Electivo	37
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I	17	Vacaciones I	38
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I	18	Vacaciones II	39
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II	19	Vacaciones III	40
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II	20		

*Ilustración 11: Representación de los módulos con su respectivos ID.*

*Elaboración propia.*

Luego se determinaron ciertos bloques, en donde se relacionan las unidades de trabajo y los módulos que se realizan en esa unidad, es por esto que era necesario tener definido previamente la relación Módulo – ID.

A continuación, se puede observar el primer parámetro que corresponde a los bloques que se utilizan en este modelamiento:

Bloques de las Unidades	ID
Unidad de Radiología Tórax (HCUCH)	1, 2, 3, 4, 5
Unidad de Radiología Musculoesquelética (HCUCH)	6, 7, 10
Unidad de Ecografía Musculoesquelético (HCUCH)	8, 9
Unidad de Neurorradiología (HSJD)	11, 12
Unidad de Neurorradiología (HCUCH)	13, 14, 15
Unidad de Radiología de Abdomen Pelvis (HCUCH)	17, 19, 21, 22
Unidad de Radiología de Abdomen Pelvis (HSJD)	18, 20, 23
Unidad de Ecografía de Abdomen Pelvis (HCUCH)	24, 25
Unidad de Radiología Intervencional (HCUCH)	27, 28
Unidad de Imágenes Mamarias (HCUCH)	33, 34

*Ilustración 12: Bloques de las unidades involucradas en el trabajo de programación.*

*Elaboración propia.*

Para generar un bloque, este debía tener más de un ID, es por esta razón el que si se observa la ilustración 12, se ve que faltan ciertos ID. Esto se debe a que existen más unidades involucradas, pero estas solo presentan la participación de un módulo. En el Anexo B.1. se puede observar las demás unidades con sus respectivos ID.

También es necesario el definir en Python, el hecho de que ciertos módulos presentan una adyacencia entre sí, es decir, se debe cumplir que el módulo a, debe realizarse antes que el módulo b. Por ejemplo, el módulo de Radiología Musculoesquelética: Rx y TC I, debe realizarse antes que el módulo de Radiología Musculoesquelética: Rx y TC II, ya que se considera como etapa 1 y etapa 2 del proceso de aprendizaje de dichos módulos.

Adyacencia	
Independiente	Dependiente
Radiología de Tórax y Cardiovascular I	Radiología de Tórax y Cardiovascular II
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC I	Radiología Musculoesquelética: Rx y TC II
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello I	Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello II
Radiología de Abdomen y Pelvis: US I	Radiología de Abdomen y Pelvis: US II

*Ilustración 13: Ejemplo de ciertos módulos que son adyacentes entre sí.*

*Elaboración propia.*

En la ilustración 13, se observan solo algunos ejemplos de los módulos que son adyacentes, siendo el módulo “independiente” el módulo que determina en periodo de partida para el módulo “dependiente”, ya que si no es cursado el módulo independiente, el dependiente debe esperar hasta que suceda, todo esto con el fin de cumplir con la adyacencia estipulada.

También existen módulos que presentan como requisito el haber cursado otro modulo previamente, sin importar si este tiene relación en el nombre. Como por ejemplo, el módulo Radiología Vasculuar I debe ser cursado antes que el módulo de Radiología Musculoesquelética: US I, ya que este último mencionado solo tiene este requisito.

Algunos requisitos son muy similares al de adyacencia, ya que se rigen por tener un avance continuo, es decir, el I, II, III y así sucesivamente, por lo tanto, se dirá que esos módulos presentan continuidad en los estudios.

Requisitos del módulo	
Radiología Intervencional I (ID= 26)	Requisito: Rotación I y II deben ser hechas en ese orden y una tras otra.
	Prerrequisito haber realizado la rotación de Radiología de Tórax y Cardiovascular I y II
	Prerrequisito haber realizado la rotación de Radiología Musculoesquelética: Rx y TC I y II
	Prerrequisito haber realizado la rotación de Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I y II
	Prerrequisito haber realizado la rotación de Radiología de Abdomen y Pelvis: Digestivo y Genitourinario
	Prerrequisito haber realizado la rotación de Radiología de Abdomen y Pelvis: US I y II

*Ilustración 14: Ejemplo de los requisitos previos que tienen ciertos módulos.*

*Elaboración propia.*

Por ejemplo, en la ilustración 14 se observa el módulo ID 26, que presenta todos esos requisitos, por lo tanto, el modelo matemático deberá considerar todos esos requisitos al momento de programar.

Además, hay que tener en consideración, que existen módulos equivalentes, esto se debe a que se realizan en 2 ubicaciones, por ejemplo: el módulo de Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I se cursa en HCUCH y también en HSJD. Lo cual se entiende, que el modelo al momento de programar debe asignar solo uno de estos dos módulos.

Opcion	Módulos		
<b>Rotación A</b>	Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I (HCUCH)	Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II (HCUCH)	Radiología Pediátrica I (HRDR)
<b>Rotacion B</b>	Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I (HSJD)	Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II (HSJD)	Radiología Pediátrica I (HCUCH)

*Ilustración 15: Equivalencia de módulos, si se cursa la opción A de cierto modulo, el modelo no considerará como opción futura la Opción B ya que son equivalentes.*

*Elaboración propia.*

Por otra parte, se necesitó definir los periodos factibles para cada módulo, algo muy similar a lo visto en las ilustraciones 4, 5 y 6. Pero se tuvo que escribir mediante el lenguaje de Python, dejando una matriz con 0 y 1. En donde si cierto módulo tenía un 0 en el periodo 1, significa que no se puede realizar en dicho periodo. Y se entiende que será lo contrario cuando se tiene un 1 en cierto periodo, es decir, que si se puede cursar en dicho periodo.

El resultado de lo mencionado recientemente, se puede observar en el Anexo B.2. donde se ve claramente que es casi visualmente lo mismo a las ilustraciones de los periodos factibles (ilustraciones 4,5 y 6).

Con relación a la data de las capacidades, esta se modela según el valor de las capacidades máxima de rotación que tiene cada módulo. Es decir, se hace el modelamiento con la tercera columna de la ilustración nº 9.

En síntesis, el modelamiento matemático debe dejar bien definido los siguientes puntos:

- La relación de los módulos con el ID.
- Los bloques de cada unidad comprometida en la programación.
- La adyacencia existente entre algunos módulos.
- Los requisitos de dependencia de haber cursado ciertos módulos previamente.

- Existencia de módulos equivalentes entre sí.
- Existencia de requisitos y adyacencias equivalentes para un tercer módulo involucrado.
- La factibilidad de cada módulo en cada periodo determinado.
- Las capacidades máximas de cada módulo.

### c. Función objetivo

La fórmula que se optimizará en el modelamiento matemático implementado en Python corresponde a la función objetivo, la cual tiene como objetivo minimizar los tiempo de finalización de la carrera.

En consecuencia, su enfoque será garantizar que todos los estudiantes completen exitosamente todos los módulos en la menor cantidad de periodos posibles, por supuesto que siempre teniendo en mente el cumplimiento de todas las restricciones establecidas.

$$\text{Min} \sum_{\forall b \in B} \sum_{\forall m \in M} \sum_{\forall t \in T} (T * X_{b,m,t})$$

en donde  $X$  es una variable de decisión,  
 $x = 1$ , si asigno al estudiante  $b$  el módulo  $m$  en el periodo  $t$ , sino  $x = 0$ .

*Ecuación 1: Función objetivo del modelamiento matemático*

En la ecuación 1 se tiene la función objetivo la cual está conformada por una sumatoria triple, en donde se va evaluando todos los periodos ( $T$ ) de la variable de decisión  $x$ , la cual depende de  $b$ ,  $m$  y  $t$ . En el Anexo C.1 se adjunta un print del documento que se obtiene al momento de correr el programa.

Un ejemplo de lo anterior, sería si evalúan al estudiante  $b=2$ , en el módulo  $m=3$  y en el periodo  $t=4$ , el resultado tiene dos opciones: esta puede salir con un valor igual a 1, es decir, ese estudiante cursará el módulo 3 en el periodo 4 o en el caso contrario, su resultado será igual a 0.

#### d. Restricciones

Como bien se mencionó en el comienzo de este capítulo, toda función objetivo tiene variables de decisión, parámetros y restricciones que debe cumplir.

Es por esto, que a continuación se presentarán las restricciones de este modelo de programación:

- a. Se requiere que el modelo entregue siempre el módulo de ID 0 en el primer periodo:

$$\forall b \in B: \text{asignaciones}_{previas[B,M=0,T=0]} = 1$$

*Restricción 1: Asignación del módulo 0 en el periodo 0. Elaboración propia.*

Lo cual se traduce en lo siguiente: que a todo estudiante siempre se le asignará el módulo 0 en el periodo 0 (en Python los periodos serán designados del 0 al 40). Lo anterior también se realiza para el módulo 40 que corresponde al de Vacaciones 3, el cual debe ser asignado en el periodo 37 para todos los alumnos, solo que ahora la variable M será igual a 40 y la variable T es igual a 37.

- b. Se necesita asignar la cantidad de rotaciones de forma obligatoria a cada estudiante, donde M es la cantidad de módulos que impartirá la institución y L corresponde a la longitud de equivalencia (lista ya definida en el programa).

$$\sum_{\forall m \in M} \sum_{\forall t \in T} X_{b,m,t} \geq M - L \quad \forall b \in B$$

*Restricción 2: Permite asignar el número de rotaciones obligatorias.*

Esta restricción dice que la cantidad de módulos que debe cumplir no corresponde a la totalidad de módulos que imparta la institución, esto se debe a que existen módulos equivalentes entre sí, por lo que el estudiante solo debe cursar uno de ellos. Y es por esta razón que la sumatoria debe ser al menos igual o mayor a esa resta.

- c. Un estudiante puede cursar, tan solo una vez el módulo en todo el horizonte temporal, lo que equivale a decir que, el estudiante N solo puede cursar el módulo A, a lo más 1 vez en toda la carrera. Esta puede ser 0, ya que no necesariamente cursará el 100% de los módulos (el total es de 41 y solo se necesitan aprobar 38).

$$\sum_{\forall t \in T} X_{b,m,t} \leq 1 \quad \forall b \in B, \forall m \in M$$

*Restricción 3: Mediante esta ecuación se busca cumplir con el hecho de rendir solo una vez el módulo.*

La anterior restricción significa que dentro de la sumatoria deseo evaluar en qué periodo t, se cursó el módulo m, esta sumatoria a lo más me puede dar un valor de 1. Dado que cada estudiante cursará cada módulo 1 sola vez en su carrera.

- d. Mediante esta ecuación se respeta el que no se pueden asignar módulos ya asignados, por lo tanto, se podrá cumplir, el que una vez aprobado, no se necesita cursar de nuevo.

$$\text{Asignaciones\_Previas}[b, m, t] \leq X_{b,m,t} \quad \forall b \in B, \forall m \in M, \forall t \in T$$

*Restricción 4: Permite respetar el que una vez asignado el módulo, ya no se considera una opción para cursar.*

En la restricción 4, se está en la situación de evaluar al estudiante b, para el módulo m y en el periodo t. En donde la asignación previa de ese mismo valor de las variables B, M y T; deben dar igual o menor, ya que no puede suceder que un estudiante haya inscrito 2 o más veces el mismo módulo, dado que estaría perdiendo la oportunidad de avanzar y además le estaría quitando el cupo a otro estudiante que lo necesita, lo cual sin dudas implicaría que el modelo no es óptimo.

- e. Mediante esta ecuación se cumple el requisito de que solo se puede asignar, como máximo un módulo por periodo.

$$\sum_{\forall b \in B} \sum_{\forall t \in T} X_{b,t} \leq 1 \quad ,$$

*Restricción 5: Permite asignar un módulo por periodo.*

Esta sumatoria doble permite evaluar a todos los módulos que cursa el estudiante b, es decir, por cada módulo cursado en dicho periodo se iría sumando 1. Por lo que siempre el resultado debería ser 0 o 1, no más.

- f. Mediante la restricción 6, se permite respetar la equivalencia entre módulos, ya que si un módulo es equivalente con otro, solo se podrá cursar uno de ellos en toda la carrera.

$$\sum_{\forall t \in T} X_{b,q,t} + X_{b,q1,t} \leq 1 \quad , \quad \forall b \in B, \forall m \in \text{len}(\text{equivalencia.iloc}[:,0])$$

*Restricción 6: Cumple la equivalencia de los módulos*

En esta restricción se tiene las siguientes equivalencias y definiciones de variables:

- q= equivalencia.iloc[m,0]. Donde q es la asignación del módulo que está en la columna 0 del archivo de equivalencia.
- q1= equivalencia.iloc[m,1]. Donde q1 es la asignación del módulo que está en la columna 1 del archivo de equivalencia.

- g. Mediante la restricción 7, se puede respetar la capacidad máxima que tiene cada módulo en cierto periodo de la programación.

$$\sum_{\forall b \in B} X_{b,m,t} \leq C \quad \forall m \in M, \forall t \in T$$

*Restricción 7: Permite respetar la capacidad máxima por módulo.*

Se tiene que C= cap\_max.iloc[m,1]. Donde C corresponde al valor de la columna "máxima por rotación" para dicho modulo m que

se evalúa. Es decir la sumatoria de estudiantes que cursan ese modulo en dicho periodo, no debe ser mayor que la capacidad por rotación de ese modulo (ver ilustración 8 en el capítulo 6.1.c)

- h. Mediante la restricción 8 se busca respetar la adyacencia de los módulos. Ya que se espera tener para el estudiante  $b$ , el primer módulo asignado en el periodo  $t$  y así confirmar que en el  $t+1$  se cursa el módulo que continuaba.

$$(X_{[b,adyacencia.iloc_{[:,1]}[l],t]} == X_{[b,adyacencia.iloc_{[:,1]}[l],t+1]})$$

$$\forall l \in \text{len}(adyacencia.iloc_{[:,1]}), \forall b \in B, \forall t \in (T - 1)$$

*Restricción 8: permite respetar la adyacencia de los módulos.*

- i. Mediante la restricción 9 se busca respetar la adyacencia de módulos que puedan tener dos tipos de antecesores que son equivalentes entre ellos, por lo que si se cumple con la igualdad, esto implica que solo se cursó 1 de los antecesores y no los

$$\begin{aligned} (X_{[b,(adyacencia.equivalentes.iloc(:,2)(l)),t+1]} = \\ = X_{[b,(adyacencia.equivalentes.iloc(:,1)(l)),t]} \\ + X_{[b,(adyacencia.equivalentes.iloc(:,0)(l)),t]}) \end{aligned}$$

$$\forall l \in \text{len}(adyacencia.iloc_{[:,0]}), \forall b \in B, \forall t \in (T - 1)$$

*Restricción 9: permite cumplir con la adyacencia y la equivalencia de los módulos al mismo tiempo.*

- j. Mediante la restricción 10, se busca respetar los requisitos a cumplir, previo a la inscripción del módulo. Por lo tanto, si se cumple con la ecuación, el módulo  $m$  cursó con todos los módulos que eran requisito previos.

$$(X_{[b,(requisitos.iloc[:,1])(l),t]} \leq \sum_{\forall r \in T} X_{[b,(requisitos.iloc[:,0])(l),r]})$$

$$\forall l \in L, \forall b \in B, \forall t \in T.$$

$$\text{Donde } L = \text{len}(requisitos.iloc[:,0])$$

*Restricción 10: permite cumplir con los requisitos previos de cursar cierto módulo.*

- k. Mediante la restricción 11 se busca respetar los requisitos de módulos que requieren uno de los dos módulos equivalentes, si se cumple esta desigualdad se estaría realizando solo uno de los módulos equivalentes.

$$(X_{[b,(requisitos_equivalentes.iloc[:,2])(l),t]} \leq$$

$$\sum_{\forall r \in T} X_{[b,(requisitos_equivalentes.iloc[:,1])(l),r]} + \sum_{\forall r \in T} X_{[b,(requisitos_equivalentes.iloc[:,0])(l),r]})$$

$$\forall l \in L, \forall b \in B, \forall t \in T.$$

$$\text{Donde } L = \text{len}(requisitos_equivalentes.iloc[:,0])$$

*Restricción 11: Permite realizar solo uno de los módulos equivalentes.*

- l. Mediante la restricción 12 se permite realizar la asignación de módulos respetando la factibilidad de cada uno, es decir, que se busca respetar que todos los módulos sean realizados en los periodos que se detallan en las ilustraciones 4,5 y 6.

$$X_{[b,m,t]} \leq \text{factibilidad\_periodo.iloc}_{[m,:]}[t + 2] \quad \forall b \in B, \forall m \in M, \forall t \in T$$

*Restricción 12: permite asignar los módulos respetando la factibilidad de cada uno.*

Además de las restricciones anteriores, también se tiene otro grupo el cual corresponde a las restricciones por bloques, los cuales fueron definidos cuando se detallaron los parámetros de este modelo. A continuación se muestran las restricciones por bloques:

- a. Mediante la restricción 13 se respeta la capacidad máxima del bloque de Tórax, la cual corresponde a 5 estudiantes por periodo.

$$\sum_{\forall b \in B} \sum_{\forall m \in \text{len}(Z)} X_{[b,Z.\text{iloc}_{[m,0]},t]} \leq 5 \quad \forall t \in T$$

*Donde Z equivale a el bloque de Radiologia de Torax*

*Restricción 13: : Permite respetar la Capacidad máxima del bloque de Tórax.*

- b. Mediante la restricción 14 se respeta la capacidad máxima de los bloques de Radiología Musculoesquelética, la cual es de 4 estudiantes por período.

$$\sum_{\forall b \in B} \sum_{\forall m \in \text{len}(A)} X_{[b,A.\text{iloc}_{[m,0]},t]} \leq 4 \quad \forall t \in T$$

*Donde A equivale a el bloque de Radiologia Musculoesquelética.*

*Restricción 14: Para cumplir con la capacidad máxima del bloque de Radiología Musculoesquelética.*

- c. Mediante la restricción 15, se respeta la capacidad máxima de los bloques Eco Musculo, que corresponde a 3 estudiantes por período.

$$\sum_{\forall b \in B} \sum_{\forall m \in \text{len}(E)} X_{[b,E.\text{iloc}_{[m,0]},t]} \leq 3 \quad \forall t \in T$$

*Donde E equivale a el bloque de Ecografía Musculoesquelético*

*Restricción 15: para respetar capacidad máxima del bloque de Eco Musculo.*

- d. Mediante la restricción 16 se respeta la capacidad máxima de los bloques Neurología HSJ, que equivale a 3 estudiantes por período.

$$\sum_{\forall b \in B} \sum_{\forall m \in \text{len}(F)} X_{[b,F.\text{iloc}_{[m,0],t}]} \leq 3 \quad \forall t \in T$$

*Donde F equivale a el bloque de Neurología de HSJ*

*Restricción 16: para respetar capacidad máxima de los bloques neurología HSJ*

- e. Mediante la restricción 17 se respeta la capacidad máxima de los bloques neurología HCUCH, que equivale a 3 estudiantes por período.

$$\sum_{\forall b \in B} \sum_{\forall m \in \text{len}(G)} X_{[b,G.\text{iloc}_{[m,0],t}]} \leq 3 \quad \forall t \in T$$

*Donde G equivale a el bloque de Neurología de HCUCH*

*Restricción 17: Para respetar capacidad máxima de los bloques neurología HCUCH.*

- f. Mediante la restricción 18 se respeta la capacidad máxima de los bloques de Abdomen Pelvis HCUCH, que corresponde a 4 estudiantes por período.

$$\sum_{\forall b \in B} \sum_{\forall m \in \text{len}(H)} X_{[b,H.\text{iloc}_{[m,0],t}]} \leq 4 \quad \forall t \in T$$

*Donde H equivale a el bloque de Radiología de Abdomen Pelvis HCUCH*

*Restricción 18: para respetar capacidad máxima de los bloques de Abdomen Pelvis HCUCH.*

- g. Mediante la restricción 19 se respeta la capacidad máxima de los bloques de abdomen pelvis HSJ, que corresponde a 4 estudiantes por periodo.

$$\sum_{\forall b \in B} \sum_{\forall m \in \text{len}(I)} X_{[b,I.\text{iloc}_{[m,0]},t]} \leq 4 \quad \forall t \in T$$

**Donde I equivale a el bloque de Radiología de Abdomen Pelvis HSJ**

*Restricción 19: Para respetar capacidad máxima de los bloques de Abdomen Pelvis HSJ.*

- h. Mediante la restricción 20 se respeta la capacidad máxima de los bloques de ECO abdomen pelvis HCUCH, que corresponde a 3 estudiantes por periodo.

$$\sum_{\forall b \in B} \sum_{\forall m \in \text{len}(J)} X_{[b,J.\text{iloc}_{[m,0]},t]} \leq 3 \quad \forall t \in T$$

**Donde J equivale a el bloque de Ecografía de Abdomen Pelvis HCUCH**

*Restricción 20: Para respetar capacidad máxima de los bloques de ECO Abdomen Pelvis HCUCH.*

- i. Mediante la restricción 21 se respeta la capacidad máxima de los bloques de Radiología Intervencional HCUCH, que equivale a 3 estudiantes por periodo de tiempo.

$$\sum_{\forall b \in B} \sum_{\forall m \in \text{len}(K)} X_{[b,K.\text{iloc}_{[m,0]},t]} \leq 3 \quad \forall t \in T$$

**Donde K equivale a el bloque de Radiología Intervencional HCUCH**

*Restricción 21: Para respetar capacidad máxima de los bloques de Radiología Intervencional HCUCH.*

- j. Mediante la restricción 22 se respeta la capacidad máxima de los bloques de Imágenes Mamarias, que corresponde a una capacidad máxima de 4 estudiantes por periodo.

$$\sum_{\forall b \in B} \sum_{\forall m \in \text{len}(L)} X_{[b, L.\text{iloc}_{[m,0]}, t]} \leq 4 \quad \forall t \in T$$

*Donde L equivale a el bloque de Radiología de Imágenes Mamarias*

*Restricción 22: Para respetar capacidad máxima de los bloques de Imágenes Mamarias.*

### (3) Análisis de sensibilidad y diseño del resultado

Una vez finalizado el modelamiento matemático, se comienza con el tercer paso de la metodología, el cual corresponde al análisis de sensibilidad de este modelo. Para esto fue necesario generar ciertas modificaciones a los valores de capacidad de rotación por módulos y capacidad máxima por grupos.

Pero el primer cambio generado corresponde al de quitar ciertas restricciones que al momento de estudiar los clones quedaron en evidencia que no eran respetadas, y por otra parte, al momento de estudiar y correr el modelo, este no generaba mayores cambios.

A continuación se explica con mayores detalles los cambios y análisis realizados:

#### a. Modificaciones en los requisitos

Según lo mencionado anteriormente y lo visto en el capítulo 6 parte i.4, se decidió no agregar el siguiente requisito: "que el módulo PET/CT cumpla con ser realizado después del módulo de residencia de Radiología de Abd y Pelvis II". Por lo que, el módulo 23 no tendrá que realizarse antes que el módulo 35.

Esta decisión se determina, ya que, como bien se menciona anteriormente, en la imagen del Anexo A.2. que refleja lo hablado en el

capítulo 6, se descubre que hay un error en el módulo 32 y 33, ya que, el módulo PET/CT Radiología Oncológica y Medicina Nuclear (CLC), no cumple con el requisito de ir después de Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis II.

El hecho que demuestra que es una restricción que no genera cambios en los resultados, consiste en que en esa situación se había programado manualmente para 9 estudiantes, por lo que permitía obtener el mismo resultado que se ha obtuvo en el modelo considerando ese requisito. Por lo tanto, al sacar este requisito y correr nuevamente el modelo, se comprueba que el resultado no varía, por lo tanto, para el modelo matemático le es indiferente la existencia de esta restricción. Por estas razones, se decidió quitar del modelo.

#### b. Modificaciones en los valores de las capacidades

Para continuar con el análisis de sensibilidad, se decide generar cambios en las capacidades tanto de rotaciones como de capacidad máxima por módulo. Para poder hacer un análisis más profundo y específico, se decide presentar 3 situaciones distintas, las cuales corresponden a las siguientes:

##### *b.1. Situación original:*

Para poder generar un cuadro comparativo de las situación, es importante mostrar la situación inicial de la programación, es decir, ver los resultados del programa sin cambio de capacidades, tal cual a los datos recibidos de la institución. Los cuales se observan en la ilustración 16, en donde vemos que la cuarta columna es equivalente a la quinta columna, dado que en esta situación no se realizaron cambios en las capacidades de ningún módulo.

Una vez realizado el modelo con los valores de capacidad que se tiene en la ilustración 16, se decide correr y obtener los primeros resultados, este nos dice que la capacidad máxima de estudiantes que ingresarán a inicio del año académico serán 9 estudiantes. Dado que con este valor el programa corre sin ningún problema de cumplir todos los requisitos.

Rotaciones	ID	Cap max grupo	Cap max rot	Cap. original
Fundamentos de los Métodos de Exploración Diagnóstica por Imágenes	0	20	20	20
Radiología de Tórax y Cardiovascular I	1	5	2	2
Radiología de Tórax y Cardiovascular II	2	5	2	2
Radiología de Tórax y Cardiovascular III	3	5	2	2
Radiología de Tórax y Cardiovascular IV	4	5	2	2
Radiología de Tórax y Cardiovascular V	5	5	2	2
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC I	6	4	2	2
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC II	7	4	2	2
Radiología Musculoesquelética: US I	8	2	1	1
Radiología Musculoesquelética: US II	9	2	1	1
Residencia Radiología Musculoesquelética: Rx - TC -RM	10	4	1	1
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello I	11	2	2	2
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello II	12	2	2	2
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello III	13	3	1	1
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello IV	14	3	1	1
Residencia de Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello	15	3	1	1
Radiología de Abdomen y Pelvis: Digestivo y Genitourinario	16	3	1	1
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I	17	4	2	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I	18	3	2	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II	19	4	2	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II	20	3	2	2
Radiología Vascular II	21	4	1	1
Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis I	22	4	1	1
Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis II	23	3	1	1
Radiología de Abdomen y Pelvis: US I	24	2	2	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: US II	25	2	2	2
Radiología Vascular I	26	1	1	1
Radiología Intervencional I	27	3	1	1
Radiología Intervencional II	28	2	2	2
Radiología Pediátrica I	29	1	1	1
Radiología Pediátrica I	30	1	1	1
Radiología Pediátrica II	31	1	1	1
Radiología Pediátrica III	32	1	1	1
Imágenes Mamarias I	33	2	2	2
Imágenes Mamarias II	34	2	2	2
PET/CT, Radiología Oncológica y Medicina Nuclear	35	1	1	1
Radiología de Urgencia	36	1	1	1
Electivo	37	2	2	2
Vacaciones I	38	20	20	20
Vacaciones II	39	20	20	20
Vacaciones III	40	20	20	20

*Ilustración 16: Capacidades del modelo original para los 41 módulos. Elaboración propia*

A continuación, en la ilustración 17 se puede observar una programación que se genera de los resultados obtenidos por el modelo al momento de utilizar las capacidades de la ilustración 16. Inicialmente este corresponde al resultado de fácil entendimiento, ya que si bien el resultado del modelo necesita un poco de trabajo para poder llegar a este resultado final, por el contrario a lo que sucede en la actualidad, la visualización de la programación como está en la ilustración 17, no tomará mucho tiempo para ser realizada.

		Original								
Periodo  Becario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	6	6	18	1	1	24	18	24	16	
3	7	7	19	2	2	25	19	25	1	
4	18	24	1	16	6	26	24	6	2	
5	19	25	2	24	7	1	25	7	18	
6	1	26	24	25	18	2	16	26	19	
7	2	16	25	26	19	6	1	18	6	
8	16	18	6	18	24	7	2	19	7	
9	24	19	7	19	25	18	38	1	24	
10	25	38	26	6	38	19	26	2	25	
11	26	1	11	7	26	16	8	38	21	
12	38	2	12	21	3	38	6	16	26	
13	27	8	38	38	16	3	7	11	38	
14	28	3	16	27	8	4	22	12	3	
15	11	21	3	28	27	8	29	13	11	
16	12	29	13	8	28	22	31	21	12	
17	3	31	29	11	4	21	11	8	22	
18	13	11	31	12	21	29	12	9	27	
19	29	12	8	9	11	31	13	27	28	
20	31	13	22	3	12	11	27	28	29	
21	21	22	27	13	29	12	28	3	31	
22	4	27	28	22	31	9	3	29	13	
23	22	28	21	29	39	27	4	31	4	
24	39	39	39	31	13	28	9	22	8	
25	8	32	33	33	22	13	21	4	39	
26	32	9	34	34	35	39	5	10	14	
27	23	35	4	39	36	14	39	39	9	
28	9	4	23	35	14	36	10	33	15	
29	5	23	36	4	10	33	35	34	32	
30	36	10	14	23	15	34	32	37	37	
31	35	36	15	5	5	32	33	14	10	
32	33	14	9	36	32	37	34	15	23	
33	34	5	32	37	9	15	14	35	33	
34	14	15	37	10	37	5	23	32	34	
35	15	33	10	14	23	35	37	5	36	
36	37	34	35	15	33	10	36	23	5	
37	10	37	5	32	34	23	15	36	35	
38	40	40	40	40	40	40	40	40	40	

Ilustración 17: Programación de las rotaciones del modelo original. Elaboración propia.

Al analizar la ilustración 17, se observa que cada módulo se dejó con un color que lo distingue, en donde los 9 alumnos que ingresan comienzan y terminan sus estudios con el mismo módulo, es decir, comienzan con el ID 0 y terminan con el módulo de ID 40. Además, se puede observar que con 9 alumnos este modelo logra maximizar la cantidad de alumnos, logrando minimizar los tiempos de finalización de la carrera.

La ilustración 17 corresponde a una visualización sencilla, ya que el resultado que entrega el modelo matemático realizado en Python, consiste en extensas columnas con 0 y 1 en donde se dice qué módulos se otorgaron en cierto periodo y cuáles no. En cambio, la ilustración 17, solo refleja la programación final para los 9 estudiantes, especificando el módulo y el periodo en que será cursado.

De hecho, en el Anexo D.1. se tiene la ilustración que muestra los resultados obtenidos del modelo matemático para el estudiante 9, cabe recordar, que en el modelo se cuenta del 0 al 8, es por esto que en la ilustración se ve que la primera columna habla del estudiante 8 y no el 9.

En esa ilustración del Anexo D.1. se ve cómo el modelo otorga los módulos en un periodo determinado, es decir, cuando el valor de la cuarta columna tiene un valor igual a 1, significa que el alumno X cursará el módulo Y en el periodo Z. Esta ilustración solo corresponde a una muestra, ya que este resultado es para todos los estudiantes, quienes reciben sus módulos con tal de tener su programación de rotaciones para los 38 periodos.

En síntesis, con el modelo original no se ven muchos cambios en la programación, sino que tan solo se agiliza el proceso de programación realizado por el coordinador, ya que su trabajo se ve facilitado con este modelo matemático, reduciendo el tiempo de trabajo que le lleva el realizar la programación de la carrera.

### *b.2. Situación moderada:*

Dado que ciertos cambios pueden generar ciertos costos y beneficios para la institución, se decide, mostrar dos situaciones adicionales a la original.

Una de estas situaciones corresponde a la moderada, esto se debe a que se generan cambios en las capacidades, siendo los valores iniciales los determinados en las capacidades de máxima rotación, es decir, en esta situación los valores de máxima rotación corresponden a nuestra cota inferior con respecto a nuestro posible aumento de capacidades en cada módulo. Sin embargo, no se podrá llegar al mismo valor de la máxima capacidad por grupo, ya que esto generaría un mayor cambio a realizar por parte la institución.

Según la decisión anterior, se fue analizando los cambios de capacidades, comenzando por aquellos que eran adyacentes entre sí, pero que se creía que generaban un “cuello de botella” en el proceso de programación.

Al momento de correr el programa se observó, que si solo se aumentan estas capacidades, no se obtiene ningún cambio en la cantidad máxima de estudiantes, por lo que se extiende el proceso a gran parte de los módulos.

En donde se comienza a trabajar con las siguientes capacidades, que se observan en la ilustración 18. En la última columna existen ciertos valores que están marcados en rosado, estos corresponden a los cambios generados en esta situación, en donde en estos módulos sus valores son mayores que los valores de máxima capacidad por rotación (cuarta columna) pero que a la vez sus valores son iguales o menores que los que aparecen en la tercera columna (capacidad máxima por grupo).

Rotaciones	ID	Cap max grupo	Cap max rot	Cap. moderada
Fundamentos de los Métodos de Exploración Diagnóstica por Imágenes	0	20	20	20
Radiología de Tórax y Cardiovascular I	1	5	2	3
Radiología de Tórax y Cardiovascular II	2	5	2	3
Radiología de Tórax y Cardiovascular III	3	5	2	3
Radiología de Tórax y Cardiovascular IV	4	5	2	3
Radiología de Tórax y Cardiovascular V	5	5	2	3
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC I	6	4	2	3
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC II	7	4	2	3
Radiología Musculoesquelética: US I	8	2	1	2
Radiología Musculoesquelética: US II	9	2	1	2
Residencia Radiología Musculoesquelética: Rx - TC -RM	10	4	1	3
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello I	11	2	2	2
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello II	12	2	2	2
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello III	13	3	1	2
Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello IV	14	3	1	3
Residencia de Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello	15	3	1	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: Digestivo y Genitourinario	16	3	1	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I	17	4	2	3
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I	18	3	2	3
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II	19	4	2	3
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II	20	3	2	3
Radiología Vascular II	21	4	1	3
Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis I	22	4	1	3
Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis II	23	3	1	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: US I	24	2	2	2
Radiología de Abdomen y Pelvis: US II	25	2	2	2
Radiología Vascular I	26	1	1	2
Radiología Intervencional I	27	3	1	3
Radiología Intervencional II	28	2	2	3
Radiología Pediátrica I	29	1	1	1
Radiología Pediátrica I	30	1	1	1
Radiología Pediátrica II	31	1	1	1
Radiología Pediátrica III	32	1	1	1
Imágenes Mamarias I	33	2	2	2
Imágenes Mamarias II	34	2	2	2
PET/CT, Radiología Oncológica y Medicina Nuclear	35	1	1	1
Radiología de Urgencia	36	1	1	1
Electivo	37	2	2	3
Vacaciones I	38	20	20	20
Vacaciones II	39	20	20	20
Vacaciones III	40	20	20	20

*Ilustración 18: Cuadro de las capacidades para la situación moderada. Elaboración propia .*

Luego de haber realizado estos cambios en sus capacidades, se obtiene un aumento de los estudiantes que pueden ingresar al sistema, logrando obtener un ingreso de 10 alumnos. Es decir, se logra aumentar en un 11,1% la capacidad total de ingreso.

En la ilustración 19, se puede observar la programación del modelo con estos cambios generados en la situación moderada, en donde se siguen respetando todas las restricciones, solo que en esta situación se aumentaron sus capacidades, y en donde ningún cambio perjudicó la capacidad máxima que permite la sala o departamento involucrado.

Moderado										
Periodo / Becario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	6	24	1	6	16	16	18	1	24
3	2	7	25	2	7	1	24	19	2	25
4	6	24	26	16	24	2	25	16	6	18
5	7	25	1	6	25	6	26	1	7	19
6	24	26	2	7	1	7	6	2	18	16
7	25	1	18	24	2	24	7	6	19	26
8	26	2	19	25	16	25	1	7	24	6
9	11	16	11	38	26	38	2	24	25	7
10	12	38	12	18	18	26	38	25	38	38
11	18	18	16	19	19	3	18	26	11	1
12	19	19	38	26	3	18	19	8	12	2
13	38	3	6	11	38	19	21	38	26	8
14	16	11	7	12	11	8	8	27	16	29
15	21	12	21	29	12	11	3	28	27	31
16	8	29	3	31	22	12	22	22	28	9
17	27	31	8	22	4	4	29	21	3	3
18	28	13	27	8	8	21	31	3	22	11
19	3	22	28	13	29	27	11	11	21	12
20	13	8	22	3	31	28	12	12	29	21
21	29	27	4	21	21	13	13	9	31	22
22	31	28	13	27	27	29	4	4	8	4
23	22	9	29	28	28	31	39	13	39	27
24	39	21	31	39	13	39	27	29	13	28
25	4	4	36	33	39	22	28	31	32	13
26	5	39	39	34	35	9	33	39	4	39
27	10	10	33	14	36	14	34	5	35	23
28	23	32	34	35	10	33	14	36	14	10
29	33	14	14	23	32	34	36	35	15	5
30	34	5	37	32	37	5	23	14	10	33
31	37	36	15	4	14	15	35	10	9	34
32	35	23	5	9	23	36	9	32	33	14
33	36	35	23	15	15	10	32	37	34	37
34	32	33	9	5	9	35	5	33	23	36
35	14	34	35	37	5	32	37	34	36	15
36	15	37	10	10	33	37	15	23	37	32
37	9	15	32	36	34	23	10	15	5	35
38	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Ilustración 19: Programación de las rotaciones para los 10 alumnos de la situación moderada. Elaboración propia.

Al igual que en el modelo original, al analizar la ilustración 19, se observa que los 10 alumnos que ingresan, comienzan y terminan sus estudios con el mismo módulo, es decir, ID 0 e ID 40 respectivamente.

Un ejemplo del resultado obtenido, al momento de correr el modelo con las capacidades nuevas de la situación moderada, se puede observar en el Anexo D.2. en donde se muestran los módulos definidos en cierto periodo para el alumno número 10 que ingresa a la institución.

Si bien los cambios obtenidos generan un costo para la institución, como es el aumento de capacidades, esto también se traduce en un ingreso extra anual. Cabe recordar, que este aumento también ayuda a reducir la brecha que hay entre la demanda por la carrera y los cupos disponibles que hay en las instituciones que imparten la carrera.

En síntesis, con el modelo moderado se ve el aumento de un alumno en la programación, también se continúa agilizando el proceso de programación mediante este modelo matemático y además se entregan los resultados obtenidos en una plantilla de Excel que cumple con la intención de ser de fácil entendimiento.

### *b.3. Situación optimista:*

La otra situación en la que se realiza el análisis, corresponde a la situación optimista, esta corresponde al aumento de capacidades teniendo como cota inferior del posible aumento, a los valores de las capacidades máximas por grupo (tercera columna ilustración 20).

Esto quiere decir, que ciertos módulos permitirán la misma participación determinada por los departamentos/salas/laboratorios en los que se realiza dicho módulo o incluso esta podría llegar a ser mayor, siempre y cuando se procure el alejarse lo menos posible a los valores de las capacidades máxima por grupo, ya que mientras más distante sea, mayores serían los costos implicados para la institución.

Rotaciones	ID	Cap max grupo	Cap max rot	Cap. Optimista
Fundamentos de los Métodos de Exploración Diagnóstica por Imágenes	0	20	20	20
Radiología de Tórax y Cardiovascular I	1	5	2	5
Radiología de Tórax y Cardiovascular II	2	5	2	5
Radiología de Tórax y Cardiovascular III	3	5	2	5
Radiología de Tórax y Cardiovascular IV	4	5	2	5
Radiología de Tórax y Cardiovascular V	5	5	2	5
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC I	6	4	2	4
Radiología Musculoesquelética: Rx y TC II	7	4	2	4
Radiología Musculoesquelética: US I	8	2	1	3
Radiología Musculoesquelética: US II	9	2	1	3
Residencia Radiología Musculoesquelética: Rx - TC -RM	10	4	1	4
Neurrorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello I	11	2	2	3
Neurrorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello II	12	2	2	3
Neurrorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello III	13	3	1	3
Neurrorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello IV	14	3	1	3
Residencia de Neurrorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello	15	3	1	3
Radiología de Abdomen y Pelvis: Digestivo y Genitourinario	16	3	1	3
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I	17	4	2	4
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM I	18	3	2	4
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II	19	4	2	4
Radiología de Abdomen y Pelvis: TC y RM II	20	3	2	4
Radiología Vasculat II	21	4	1	4
Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis I	22	4	1	4
Residencia Radiología de Abdomen y Pelvis II	23	3	1	4
Radiología de Abdomen y Pelvis: US I	24	2	2	3
Radiología de Abdomen y Pelvis: US II	25	2	2	3
Radiología Vasculat I	26	1	1	2
Radiología Intervencional I	27	3	1	3
Radiología Intervencional II	28	2	2	3
Radiología Pediátrica I	29	1	1	1
Radiología Pediátrica I	30	1	1	1
Radiología Pediátrica II	31	1	1	2
Radiología Pediátrica III	32	1	1	2
Imágenes Mamarias I	33	2	2	2
Imágenes Mamarias II	34	2	2	2
PET/CT, Radiología Oncológica y Medicina Nuclear	35	1	1	1
Radiología de Urgencia	36	1	1	1
Electivo	37	2	2	3
Vacaciones I	38	20	20	20
Vacaciones II	39	20	20	20
Vacaciones III	40	20	20	20

*Ilustración 20: Capacidades de la situación optimista. Elaboración propia.*

Para llevar a cabo esta situación, fue necesario ir revisando qué módulos aún tenían una oportunidad de aumentar sus capacidades, con tal de poder llegar al mismo valor que la capacidad máxima por grupo. Estos cambios se fueron generando uno a la vez, por lo que, en cada cambio se iba evaluando si generaba un aumento de capacidad en alumnos permitidos.

Una vez evaluado con todos los módulos con el mismo valor que el de por grupo (tercera y quinta columna quedaron con los mismos valores), se comienza aumentando ciertos módulos, siempre buscando alejarse lo menos posible del valor original.

Hasta que se llega a la decisión de aumentar todos los módulos en el que su adyacente o los módulos que son de la misma secuencia de materia, como por ejemplo: Neurorradiología – Radiología de Cabeza y Cuello I y II, en donde los que siguen (los III y IV) tienen una capacidad de 3, en cambio ellos tienen tan solo de 2; tienen un valor que les supera y que pueden provocar un posible “cuello de botella” en el proceso.

En la ilustración 20, se puede observar el valor de las capacidades con las que finalmente se trabaja en la situación optimista. Observando que los módulos que tienen sus valores en un tono anaranjado, corresponden a las capacidades que superaron las capacidades máxima por grupo, aunque se debe aclarar que tan solo son superados en una unidad.

Al igual que en las situaciones anteriores, en esta programación se logra observar que se respetan todas las restricciones del modelo generando una programación para 12 alumnos, este resultado al llevarlo a Excel, se logra ver como en la siguiente ilustración 21, en donde queda claro que las restricciones del primero y último módulo que deben realizar los estudiantes, queda totalmente cumplido.

Optimista												
Periodo / Becario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	16	1	24	6	16	18	6	1	18	16	24
3	2	18	2	25	7	6	19	7	2	19	24	25
4	16	19	24	26	18	7	1	16	18	1	25	1
5	24	24	25	6	19	1	2	1	19	2	26	2
6	25	25	6	7	1	2	24	2	16	6	18	6
7	18	26	7	16	2	24	25	18	6	7	19	7
8	19	1	18	18	24	25	26	19	7	24	1	26
9	6	2	19	19	25	38	38	24	38	25	2	38
10	7	38	26	38	11	26	16	25	24	38	38	18
11	26	6	3	21	12	3	11	38	25	26	6	19
12	38	7	16	8	38	18	12	26	3	11	7	16
13	21	21	38	1	26	19	6	3	26	12	29	11
14	22	29	27	2	16	8	7	11	8	16	31	12
15	3	31	28	27	29	21	21	12	4	22	11	3
16	11	8	8	28	31	22	27	27	22	21	12	29
17	12	3	29	9	13	9	28	28	11	13	3	31
18	8	27	31	3	3	11	22	4	12	29	21	8
19	4	28	22	11	4	12	8	8	29	31	22	27
20	13	11	11	12	8	29	13	21	31	8	27	28
21	29	12	12	4	21	31	3	13	27	3	28	21
22	31	9	13	29	27	4	9	22	28	4	8	22
23	27	13	21	31	28	13	4	29	21	39	13	39
24	28	39	4	13	22	27	29	31	13	27	4	4
25	39	22	33	22	35	28	31	32	33	28	36	13
26	36	4	34	39	39	35	10	23	34	14	39	14
27	35	32	39	32	36	39	39	39	39	33	14	5
28	5	33	36	14	23	23	14	14	35	34	10	32
29	9	34	23	15	9	14	23	15	36	35	9	33
30	33	5	5	37	32	15	15	37	10	36	15	34
31	34	14	35	36	33	32	5	10	14	23	23	37
32	23	23	14	35	34	36	37	33	23	32	32	10
33	37	15	32	10	37	37	32	34	5	10	33	35
34	14	36	15	23	10	10	33	35	37	5	34	15
35	32	35	10	33	14	5	34	36	15	37	37	9
36	15	37	37	34	5	33	36	9	9	15	35	23
37	10	10	9	5	15	34	35	5	32	9	5	36
38	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Ilustración 21: Programación de las rotaciones para 12 alumnos en una situación optimista. Elaboración propia.

Si bien, la situación optimista es la que mayor aumento de capacidad total proporciona, también es la que demanda una mayor cantidad de cambios a la institución, con tal de poder llevar a cabo esta programación con éxito.

En el Anexo D.3. se puede observar el resultado de la programación realizada en Python utilizando las capacidades de la ilustración 20, en donde se obtiene un total de 12 estudiantes, lo cual implica un aumento de un 33% en su capacidad total.

En el siguiente capítulo se concluirá sobre los resultados obtenidos, se presentarán las recomendaciones a la institución y la oportunidad de continuar trabajando en este trabajo de título.

# Capítulo 7

## Conclusiones

En este trabajo de título se logró comprender la situación actual de la Radiología en Chile y de la institución para la cual se está trabajando, esto permitió entender sus variables y restricciones, que debían considerarse en el proceso de modelado.

Se logró transformar una programación manual de rotaciones a un enfoque computacional, que representó una mejora significativa en la eficiencia del trabajo del coordinador. Lo anterior se traduce a pasar de un mes de programación a tan solo unos minutos para conseguir la programación de los tres años de rotaciones.

Gracias al desarrollo del modelamiento matemático, se logró realizar un análisis de sensibilidad de las restricciones. Mediante modificaciones en las capacidades tanto en los valores de rotación o por grupo. Se presentaron tres situaciones: Original, Moderada y Optimista.

En la situación original a pesar de no haber generado cambios en las capacidades de los módulos, se logró el ingreso de 9 estudiantes, maximizando la cantidad de alumnos y minimizando los tiempos de finalización de la carrera.

En la situación moderada se realizaron cambios en las capacidades sin alterar las capacidades máximas permitidas por cada espacio físico. Mediante esta situación se obtiene un incremento de un 11,1% en la capacidad de estudiantes que ingresan, todo esto sin perder la facilidad de comprensión de la programación.

Por último, se tiene la situación optimista en donde se tuvo como límite superior las capacidades máximas por grupo, pero en ciertos módulos estas se vieron sobrepasadas en una unidad de valor. Dado estos cambios, se logra un aumento de un 33% en la capacidad total de ingreso. Sin embargo, esta situación implica más cambios y esfuerzos de parte de la institución, como por ejemplo, el tener que necesitar comprar más equipos en dicha sala que se sobrepasó del límite de capacidad.

El cumplimiento del cuarto objetivo se concluye con éxito debido a que si solo se entregaban los resultados obtenidos de la programación, se tendrían solo una tabla con 0 y 1, los cuales permiten saber si se asignó o no el módulo en dicho período. Es por esto que se genera una programación de rotaciones muy similar a la que el coordinador generaba de forma manual, traspasando los resultados computacionales a uno en Excel, el cual sin duda cumple con tener un formato fácilmente comprensible.

Por lo tanto, se puede decir que este trabajo logra cumplir exitosamente con sus objetivos y alcances mencionados previamente en el capítulo 3.

#### i. Recomendaciones

Dado que el trabajo genera 3 posibles situaciones mencionadas previamente, las cuales equivalen a quedarse con 9, 10 o 12 alumnos respectivamente.

Es la institución quién defina cual situación implementar, dado que cada una de ellas genera beneficios pero también implican costos, como por ejemplo: el tener que ver si los docentes están de acuerdo con el aumento de estudiantes por módulos o si será necesario contratar más personal. Otro ejemplo de costo, puede ser la capacidad de los lugares, por ejemplo, el uso de laboratorios o la cantidad de máquinas disponibles.

Si bien ellos decidirán, se propone implementar en un principio la situación moderada, ya que esta equilibra los beneficios y costos que enfrentará la institución.

Es por eso que antes de decidir, la institución debe evaluar la factibilidad de la decisión, considerando la posible afectación de la calidad de los estudios.

Al momento de evaluar la situación, también se tiene que tener en consideración los beneficios, los cuales corresponden a un mayor ingreso de estudiantes en la especialidad de Radiología, lo cual implica una disminución del déficit de profesionales en esa área de la medicina. Y también se ve un aumento en el ingreso económico de la institución, ya que cada estudiante significa un ingreso anual que antes no existía, y que

en ciertos módulos se pierde oportunidad de ingreso al tener tan pocos alumnos en ella.

Por lo tanto, una vez que se tiene todos estos puntos en mente, la institución deberá tomar la decisión de qué situación llevar a cabo en el siguiente proceso de postulación, de todas formas ellos recibirán los resultados y análisis de las tres situaciones.

## ii. Trabajo futuro

Como bien se menciona en un inicio del trabajo de título, este modelamiento solo considera el ingreso de nuevos estudiantes, por lo cual en esta ocasión no se consideran la existencia de los antiguos estudiantes. Por lo que sin dudas, se podría continuar en futuros trabajos, considerando otros factores: los ingresos anteriores, el que un alumno congele la carrera o deserte de ella, licencias médicas muy extendidas, la posibilidad de que cierto modulo deje de realizarse o se agregue uno nuevo.

Por lo tanto, se dirá que en este trabajo se considera un trabajo piloto de la situación, mediante el cual se puede continuar programando y estudiando las nuevas restricciones que enfrente esta institución.

Es fundamental que quién prosiga con este trabajo de título, tenga una muy buena comunicación con el coordinador de carrera, para que así pueda ir actualizando la información y ajustando el modelo según cambios en restricciones, capacidades y nombres de módulos.

Este trabajo puede servir como guía para otras facultades o universidades que aún generan sus programas manualmente, proporcionando un enfoque más eficiente y preciso.

# Bibliografía

[1]. Facultad de medicina de la Universidad de Chile, 2023, [en línea], obtenido de: <https://saludpublica.uchile.cl/escuela/escuela/mision-y-vision>

[2]. Facultad de medicina, 2023, [En línea], obtenido de: <https://medicina.uchile.cl/postgrado/quienes-somos/organigrama>

[3]. Asociación de radiólogos, 2023, [en línea], obtenido de: <https://sochradi.cl/quienes-somos/mision-vision/>

[4]. Programas de residencia, 2023, [en línea], obtenido de: <https://sochradi.cl/actividades/programas-de-residencias/>

[5]. Linear Programming, [web], obtenido de: <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/business-stat/opre/spanishd.htm>

[6]. Grupo prensa digital, 2023, [web], obtenido de: <https://www.portalredsalud.cl/2023/06/04/radiologia-en-chile-tecnologia-de-vanguardia-con-escasez-de-profesionales/>

[7]. Sociedad de estadística, SEIO, Volumen 2, [PDF], obtenido de: <http://www.seio.es/beio/BEIOVol24Num2.pdf>

[8]. Radiología en la FM-UCH, 2023, [PDF], obtenido de: [https://www.uchile.cl/dam/jcr:bdfcd3c7-0b33-4630-989f-1b397cc28eb8/PTE\\_Web\\_Radiologia%20 24.09.2021.pdf](https://www.uchile.cl/dam/jcr:bdfcd3c7-0b33-4630-989f-1b397cc28eb8/PTE_Web_Radiologia%2024.09.2021.pdf)

[9]. Definición de planificación, [web], obtenido de: <https://www.civicus.org/documents/toolkits/Description%20general%20de%20la%20planificacion.pdf>.

[10]. Definición de scheduling, [web], obtenido de: <https://www.gestiopolis.com/planeacion-scheduling-produccion/>

# Anexos

## Anexo A. Rotaciones

### A.1. Programaciones de los años anteriores

1er año 2020	Amar	Caniulaf	Cornejo	Correa	Cura	Latorre	Poblete Moya	Reyes	Zamarin
1/04 al 08/05	Fundamentos MEDI	Fundamentos MEDI	Fundamentos MEDI	Fundamentos MEDI	Fundamentos MEDI				
11/05 al 05/06	Rad Abd y Pelv: TC y RM I SJ	Rad Abd y Pelv: TC y RM I HCUCH	Rad Abd y Pelv: TC y RM I HCUCH	Rad Tórax y CV I	Rad Tórax y CV I	Rad Tórax y CV I	Rad Mes: Rx y TC I	Rad Mes: Rx y TC I	Rad Mes: Rx y TC I
08/06 al 03/07	Rad Abd y Pelv: TC y RM II HCUCH	Rad Abd y Pelv: TC y RM II SJ	Rad Abd y Pelv: TC y RM II SJ	Rad Tórax y CV II	Rad Tórax y CV II	Rad Tórax y CV II	Rad Mes: Rx y TC II	Rad Mes: Rx y TC II	Rad Mes: Rx y TC II
06/07 al 31/07	Rad Mes: Rx y TC I	Rad Mes: Rx y TC I	Rad Mes: Rx y TC I	Rad Abd y Pelv: TC y RM I SJ	Rad Abd y Pelv: TC y RM I HCUCH	Rad Abd y Pelv: TC y RM I HCUCH	Rad Tórax y CV I	Rad Tórax y CV I	Rad Tórax y CV I
03/08 al 28/08	Rad Mes: Rx y TC II	Rad Mes: Rx y TC II	Rad Mes: Rx y TC II	Rad Abd y Pelv: TC y RM II HCUCH	Rad Abd y Pelv: TC y RM II SJ	<b>RENUNCIA</b>	Rad Tórax y CV II	Rad Tórax y CV II	Rad Tórax y CV II
31/08 al 25/09	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD	Rad Tórax y CV I	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD	Rad Cabeza y Cuello I	Rad Mes: Rx y TC I		Rad Abd y Pelv: TC y RM I HCUCH	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD	Rad Abd y Pelv: TC y RM I SJ
28/09 al 23/10	Rad Abd y Pelvis: US II HSJ - HSJD	Rad Tórax y CV II	Rad Abd y Pelvis: US II HSJ - HSJD	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU	Rad Mes: Rx y TC II		Rad Abd y Pelv: TC y RM II SJ	Rad Abd y Pelvis: US II HCUCH - HSJD	Rad Abd y Pelv: TC y RM II HCUCH
26/10 al 20/11	Radiología Vascul ar I	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU	Rad Mes: Rx y TC I	Rad Cabeza y Cuello I		Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD	Radiología Vascul ar I	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD
23/11 al 18/12	Rad Tórax y CV I	Rad Abd y Pelvis: US II HSJ - HSJD	Radiología Vascul ar I	Rad Mes: Rx y TC II	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU		Rad Abd y Pelvis: US II HSJ - HSJD	Rad Cabeza y Cuello I	Rad Abd y Pelvis: US II HCUCH - HSJD
21/12 al 15/01	Rad Tórax y CV II	Radiología Vascul ar I	Rad Cabeza y Cuello I	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD	Rad Abd y Pelvis: US I HCUCH - HSJD		Radiología Vascul ar I	<b>Vacaciones/nive I rad tx y cv II</b>	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU
18/01 al 12/02	<b>Vacaciones</b>	Rad Cabeza y Cuello I	Rad Tórax y CV I	<b>Vacaciones</b>	Rad Abd y Pelvis: US II HSJ - HSJD		<b>Vacaciones</b>	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU	Radiología Vascul ar I
15/02 al 12/03	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU	<b>Vacaciones</b>	<b>Vacaciones</b>	Rad Abd y Pelvis: US II HSJ - HSJD	Radiología Vascul ar I		Rad Cabeza y Cuello I	Rad Abd y Pelv: TC y RM I HCUCH	<b>Vacaciones</b>
15/03 al 09/04	Rad Cabeza y Cuello I	Radiología Vascul ar II	Rad Tórax y CV II	Radiología Vascul ar I	<b>Vacaciones</b>		Rad Abd y Pelvis: Dig y GU	Rad Abd y Pelv: TC y RM II SJ	Rad Tórax y CV III

Ilustración 22: Programación manual de las rotaciones de 9 alumnos que ingresaron en el año 2020 . Elaborada por el coordinador.

2do año 2021	Amar	Caniulaf	Comejo	Correa	Cura	Latorre	Poblete Moya	Reyes	Zamarín
12/04 al 07/05	Radiología Intervencional I	Rad Abd y Pelvis: Dig y GU	Radiología Pediátrica I	Neurorradiol I HSJD	Electivo Rad Abd y Pelv: TC y RM nivel		Rad Tórax y CV III	Rad Mes: US I	Rad Cabeza y Cuello I
10/05 al 04/06	Radiología Intervencional II	Radiología Intervencional I	Radiología Pediátrica II	Neurorradiol II HSJD	Radiología Pediátrica I		Rad Mes: US I	Neurorradiol I HCUCH	Neurorradiol I HSJD
07/06 al 02/07	Radiología Pediátrica I	Radiología Intervencional II	Rad Tórax y CV III	Radiología Vascular II	Radiología Pediátrica II		Res Abd y Pelvis HCUCH	Neurorradiol II HCUCH	Neurorradiol II HSJD
05/07 al 30/07	Radiología Pediátrica II	Radiología Pediátrica I	Radiología Intervencional I	Rad Tórax y CV III	Neurorradiol I HSJD		Neurorradiol I HCUCH	Res Abd y Pelvis HCUCH	Rad Mes: US I
02/08 al 27/08	Rad Tórax y CV III	Radiología Intervencional II	Radiología Intervencional II	Radiología Intervencional I	Neurorradiol II HSJD		Neurorradiol II HCUCH	Radiología Pediátrica I	Radiología Vascular II
30/08 al 24/09	Electivo Rad Abd y Pelv: TC y RM nivel	Rad Mes: US I	Neurorradiol I HSJD	Radiología Intervencional II	Radiología Intervencional I		Radiología Pediátrica I	Radiología Pediátrica II	Res Abd y Pelvis HCUCH
27/09 al 22/10	Neurorradiol I HSJD	Res Abd y Pelvis HCUCH	Neurorradiol II HSJD	Rad Mes: US I	Radiología Intervencional II		Radiología Pediátrica II	Radiología Vascular II	Radiología Pediátrica I
25/10 al 19/11	Neurorradiol II HSJD	Neurorradiol I HCUCH	Electivo Rad Abd y Pelv: TC y RM nivel	Res Abd y Pelvis HCUCH	Rad Mes: US I		Radiología Intervencional I	Rad Tórax y CV III	Radiología Pediátrica II
22/11 al 17/12	Radiología Vascular II	Neurorradiol II HCUCH	Rad Mes: US I	Radiología Pediátrica I	Rad Tórax y CV III		Radiología Intervencional II	Rad Mes: US II	Rad Tórax y CV IV
20/12 al 14/01	Res Abd y Pelvis HCUCH	Rad Tórax y CV III	Vacaciones	Radiología Pediátrica I	Radiología Vascular II		Rad Mes: US II	Vacaciones	Radiología Intervencional I
17/01 al 11/02	Rad Mes: US I	Rad Tórax y CV IV	Radiología Vascular II	Vacaciones	Res Abd y Pelvis HCUCH		Vacaciones	Res Rad Mes: Rx-TC-RM	Radiología Intervencional II
14/02 al 11/03	Vacaciones	Vacaciones	Rad Tórax y CV IV	Res Abd y Pelvis HSJD	Rad Tórax y CV IV		Radiología Vascular II	Radiología Intervencional I	Vacaciones
14/03 al 08/04	Rad Tórax y CV IV	Rad Mes: US II	Res Abd y Pelvis HCUCH	Radiología Pediátrica III	Vacaciones		PETCT-MN CLC	Radiología Intervencional II	Neurorradiol III HCUCH

Ilustración 23: Programación manual de las rotaciones de 9 alumnos que ingresaron en el año 2020, pero que están cursando el segundo año académico.

Elaborada por el coordinador.

3er año 2022	Amar	Caniulaf	Comejo	Correa	Cura	Latorre	Poblete Moya	Reyes	Zamarín
11/04 al 06/05	Neurorradiol III HCUCH	Res Abd y Pelvis HSJD	Imágenes Mamas I	Neurorradiol III HCUCH	Rad Tórax y CV V		Neurorradiol III HSJD	PETCT-MN CLC	Radiología Pediátrica III
09/05 al 03/06	Imágenes Mamas I	Rad Urg CLC	Imágenes Mamas II	PETCT-MN CLC	Neurorradiol III HCUCH		Rad Tórax y CV IV	Radiología Pediátrica III	Rad Mes: US II
06/06 al 01/07	Imágenes Mamas II	Radiología Pediátrica III	Neurorradiol III HCUCH	Rad Cabeza y Cuello II	PETCT-MN CLC		Res Abd y Pelvis HSJD	Rad Tórax y CV IV	Res Rad Mes: Rx-TC-RM
04/07 al 29/07	Rad Urg CLC	Imágenes Mamas I	Radiología Pediátrica III	Rad Mes: US II	Res Abd y Pelvis HSJD		Rad Tórax y CV V	Neurorradiol III HSJD	PETCT-MN CLC
01/08 al 26/08	PETCT-MN CLC	Imágenes Mamas II	Rad Mes: US II	Rad Tórax y CV IV	Imágenes Mamas I		Rad Cabeza y Cuello II	Rad Urg CLC	Rad Tórax y CV V
29/08 al 23/09	Rad Mes: US II	PETCT-MN CLC	Res Rad Mes: Rx-TC-RM	Rad Tórax y CV V	Imágenes Mamas II		Rad Urg CLC	Rad Cabeza y Cuello II	Electivo
26/09 al 21/10	Radiología Pediátrica III	Electivo	PETCT-MN CLC	Res Rad Mes: Rx-TC-RM	Rad Urg CLC		Imágenes Mamas I	Res Abd y Pelvis HSJD	Rad Cabeza y Cuello II
24/10 al 18/11	Res Rad Mes: Rx-TC-RM	Neurorradiol III HCUCH	Rad Cabeza y Cuello II	Electivo	Radiología Pediátrica III		Imágenes Mamas II	Imágenes Mamas I	Rad Urg CLC
21/11 al 16/12	Rad Tórax y CV V	Res Rad Mes: Rx-TC-RM	Res Abd y Pelvis HSJD	Rad Urg CLC	Rad Cabeza y Cuello II		Radiología Pediátrica III	Imágenes Mamas II	Imágenes Mamas I
19/12 al 13/01	Res Abd y Pelvis HSJD	Rad Cabeza y Cuello II	Rad Urg CLC	Imágenes Mamas I	Rad Mes: US II		Res Rad Mes: Rx-TC-RM	Rad Tórax y CV V	Imágenes Mamas II
16/01 al 10/02	Rad Cabeza y Cuello II	Rad Tórax y CV V	Rad Tórax y CV V	Imágenes Mamas II	Res Rad Mes: Rx-TC-RM		Electivo	Electivo	Res Abd y Pelvis HSJD
13/02 al 10/03	Vacaciones	Vacaciones	Vacaciones	Vacaciones	Vacaciones		Vacaciones	Vacaciones	Vacaciones

Ilustración 24: programación manual de las rotaciones de 9 alumnos que ingresaron en el año 2020, pero que están cursando el tercer año académico.

Elaborada por el coordinador.

## Anexo B. Variables

### B.1. Unidades de Radiología sin bloques

<b>Unidades sin Bloques</b>	<b>ID</b>
Hospital Clínico de la Universidad de Chile HCUCH	0
Unidad de Radiología Digestiva Abdomen Pelvis HCUCH	16
Unidad de Radiología Vascular Periférico HCUCH	26
Unidad de Radiología Pediátrica Hospital Roberto del Rio	29
Unidad de Radiología Pediátrica HCUCH	30
Unidad de Radiología Pediátrica Hospital Exequiel Gonzalez Cortes	31
Unidad de Radiología Pediátrica Hospital Luis Calvo Mackenna	32
Unidad Radiología Oncológica Clínica Las Condes	35
Unidad Radiología de Urgencia Clínica Las Condes	36

*Ilustración 25: Unidades que participan en el plan de estudios pero que no tienen un bloque definido. Elaboración propia*

## B.2. Factibilidad de los módulos

ID_Rotación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
12	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Ilustración 26: Periodos factibles de cada módulo (celdas en color verde), donde 1 equivale a que si se puede cursar en ese periodo *i*. Elaboración propia.

# Anexo C. Función Objetiva

## C.1. Resultado del modelo matemático en Python

```
Minimize
x[0,0,1] + 2 x[0,0,2] + 3 x[0,0,3] + 4 x[0,0,4] + 5 x[0,0,5] + 6 x[0,0,6]
+ 7 x[0,0,7] + 8 x[0,0,8] + 9 x[0,0,9] + 10 x[0,0,10] + 11 x[0,0,11]
+ 12 x[0,0,12] + 13 x[0,0,13] + 14 x[0,0,14] + 15 x[0,0,15]
+ 16 x[0,0,16] + 17 x[0,0,17] + 18 x[0,0,18] + 19 x[0,0,19]
+ 20 x[0,0,20] + 21 x[0,0,21] + 22 x[0,0,22] + 23 x[0,0,23]
+ 24 x[0,0,24] + 25 x[0,0,25] + 26 x[0,0,26] + 27 x[0,0,27]
+ 28 x[0,0,28] + 29 x[0,0,29] + 30 x[0,0,30] + 31 x[0,0,31]
+ 32 x[0,0,32] + 33 x[0,0,33] + 34 x[0,0,34] + 35 x[0,0,35]
+ 36 x[0,0,36] + 37 x[0,0,37] + x[0,1,1] + 2 x[0,1,2] + 3 x[0,1,3]
+ 4 x[0,1,4] + 5 x[0,1,5] + 6 x[0,1,6] + 7 x[0,1,7] + 8 x[0,1,8]
+ 9 x[0,1,9] + 10 x[0,1,10] + 11 x[0,1,11] + 12 x[0,1,12] + 13 x[0,1,13]
+ 14 x[0,1,14] + 15 x[0,1,15] + 16 x[0,1,16] + 17 x[0,1,17]
+ 18 x[0,1,18] + 19 x[0,1,19] + 20 x[0,1,20] + 21 x[0,1,21]
+ 22 x[0,1,22] + 23 x[0,1,23] + 24 x[0,1,24] + 25 x[0,1,25]
+ 26 x[0,1,26] + 27 x[0,1,27] + 28 x[0,1,28] + 29 x[0,1,29]
+ 30 x[0,1,30] + 31 x[0,1,31] + 32 x[0,1,32] + 33 x[0,1,33]
+ 34 x[0,1,34] + 35 x[0,1,35] + 36 x[0,1,36] + 37 x[0,1,37] + x[0,2,1]
+ 2 x[0,2,2] + 3 x[0,2,3] + 4 x[0,2,4] + 5 x[0,2,5] + 6 x[0,2,6]
+ 7 x[0,2,7] + 8 x[0,2,8] + 9 x[0,2,9] + 10 x[0,2,10] + 11 x[0,2,11]
+ 12 x[0,2,12] + 13 x[0,2,13] + 14 x[0,2,14] + 15 x[0,2,15]
+ 16 x[0,2,16] + 17 x[0,2,17] + 18 x[0,2,18] + 19 x[0,2,19]
+ 20 x[0,2,20] + 21 x[0,2,21] + 22 x[0,2,22] + 23 x[0,2,23]
+ 24 x[0,2,24] + 25 x[0,2,25] + 26 x[0,2,26] + 27 x[0,2,27]
+ 28 x[0,2,28] + 29 x[0,2,29] + 30 x[0,2,30] + 31 x[0,2,31]
+ 32 x[0,2,32] + 33 x[0,2,33] + 34 x[0,2,34] + 35 x[0,2,35]
+ 36 x[0,2,36] + 37 x[0,2,37] + x[0,3,1] + 2 x[0,3,2] + 3 x[0,3,3]
+ 4 x[0,3,4] + 5 x[0,3,5] + 6 x[0,3,6] + 7 x[0,3,7] + 8 x[0,3,8]
+ 9 x[0,3,9] + 10 x[0,3,10] + 11 x[0,3,11] + 12 x[0,3,12] + 13 x[0,3,13]
+ 14 x[0,3,14] + 15 x[0,3,15] + 16 x[0,3,16] + 17 x[0,3,17]
+ 18 x[0,3,18] + 19 x[0,3,19] + 20 x[0,3,20] + 21 x[0,3,21]
+ 22 x[0,3,22] + 23 x[0,3,23] + 24 x[0,3,24] + 25 x[0,3,25]
+ 26 x[0,3,26] + 27 x[0,3,27] + 28 x[0,3,28] + 29 x[0,3,29]
+ 30 x[0,3,30] + 31 x[0,3,31] + 32 x[0,3,32] + 33 x[0,3,33]
+ 34 x[0,3,34] + 35 x[0,3,35] + 36 x[0,3,36] + 37 x[0,3,37] + x[0,4,1]
```

*Ilustración 27: Resultado de correr la función objetivo en Python, en la cual se obtiene la siguiente suma (este print muestra solo una parte de la sumatoria) que representa las evaluaciones que realiza el modelo hasta obtener las rotaciones definitivas.*

*Obtenida de los resultados de Python.*

## Anexo D. Modificaciones en los valores de las capacidades

### D. 1. Resultado del modelamiento en la situación original

Estudian	Modulo	Periodo	Valor
8	0	0	1.0
8	1	2	1.0
8	2	3	1.0
8	3	13	1.0
8	4	22	1.0
8	5	35	1.0
8	6	6	1.0
8	7	7	1.0
8	8	23	1.0
8	9	26	1.0
8	10	30	1.0
8	11	14	1.0
8	12	15	1.0
8	13	21	1.0
8	14	25	1.0
8	15	27	1.0
8	16	1	1.0
8	18	4	1.0
8	19	5	1.0
8	21	10	1.0
8	22	16	1.0
8	23	31	1.0
8	24	8	1.0
8	25	9	1.0
8	26	11	1.0
8	27	17	1.0
8	28	18	1.0
8	29	19	1.0
8	31	20	1.0
8	32	28	1.0
8	33	32	1.0
8	34	33	1.0
8	35	36	1.0
8	36	34	1.0
8	37	29	1.0
8	38	12	1.0
8	39	24	1.0
8	40	37	1.0

*Ilustración 28: resultados obtenidos del modelamiento original, luego de haber aplicado ciertos filtros en Excel, que permiten llegar a esta vista.*

*Elaboración propia.*

## D. 2. Resultado del modelamiento en la situación moderada

Estudian	Modulc	Periodo	Valor
9	0	0	1.0
9	1	10	1.0
9	2	11	1.0
9	3	16	1.0
9	4	21	1.0
9	5	28	1.0
9	6	7	1.0
9	7	8	1.0
9	8	12	1.0
9	9	15	1.0
9	10	27	1.0
9	11	17	1.0
9	12	18	1.0
9	13	24	1.0
9	14	31	1.0
9	15	34	1.0
9	16	5	1.0
9	18	3	1.0
9	19	4	1.0
9	21	19	1.0
9	22	20	1.0
9	23	26	1.0
9	24	1	1.0
9	25	2	1.0
9	26	6	1.0
9	27	22	1.0
9	28	23	1.0
9	29	13	1.0
9	31	14	1.0
9	32	35	1.0
9	33	29	1.0
9	34	30	1.0
9	35	36	1.0
9	36	33	1.0
9	37	32	1.0
9	38	9	1.0
9	39	25	1.0
9	40	37	1.0

*Ilustración 29: Resultados obtenidos del modelamiento a la situación moderado, se llega a esta vista luego de haber aplicado ciertos filtros en Excel. Elaboración propia.*

D. 3. Resultado del modelamiento en la situación optimista

Estudiar	Modul	Period	Valor
11	0	0	1.0
11	1	3	1.0
11	2	4	1.0
11	3	14	1.0
11	4	23	1.0
11	5	26	1.0
11	6	5	1.0
11	7	6	1.0
11	8	17	1.0
11	9	34	1.0
11	10	31	1.0
11	11	12	1.0
11	12	13	1.0
11	13	24	1.0
11	14	25	1.0
11	15	33	1.0
11	16	11	1.0
11	18	9	1.0
11	19	10	1.0
11	21	20	1.0
11	22	21	1.0
11	23	35	1.0
11	24	1	1.0
11	25	2	1.0
11	26	7	1.0
11	27	18	1.0
11	28	19	1.0
11	29	15	1.0
11	31	16	1.0
11	32	27	1.0
11	33	28	1.0
11	34	29	1.0
11	35	32	1.0
11	36	36	1.0
11	37	30	1.0
11	38	8	1.0
11	39	22	1.0
11	40	37	1.0

*Ilustración 30: Resultados obtenidos del modelamiento a la situación optimista, se llega a esta vista luego de haber aplicado ciertos filtros en Excel.*

*Elaboración propia.*