



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS  
ICS1113-OPTIMIZACIÓN

## Informe 3

---

Optimización de las oportunidades presenciales en  
ingeniería PUC

Grupo 17

Juan Pablo Camilla 17625408 sección 5  
Bárbara Olcay 20203667 sección 5  
Antonia Valencia 17638976 sección 3  
Luis Ramírez 20643322 sección 3  
Heather Sternberg 2120344J sección 3  
Lucas Wu 20203705 sección 4

Fecha entrega: 29 de noviembre de 2021

# 1. Descripción y Elección del Problema

La pandemia provocada por el COVID-19 ha afectado la vida de toda persona y ha causado cambios drásticos en diversos ámbitos, tales como, la interacción humana y la educación. Precisamente, estos dos se han encontrado afectados en gran magnitud, ya que las medidas sanitarias dictadas por distintos gobiernos en el mundo, se tradujeron en el cierre masivo de las actividades presenciales y en efecto, la instauración de modalidades de aprendizaje a distancia. Chile no es una excepción al caso, y también ha experimentado la implementación de estas medidas, lo que causó un prolongado cierre de todas instituciones educacionales en el país, obligando a todos los estudiantes a adaptarse a las clases remotas mediante la comunicación digital, y como consecuencia, una drástica reducción de la interacciones sociales que se concentraban en escuelas y universidades.

Este cambio afectó fuertemente la salud mental de los estudiantes en todo el país, en donde el 74 % de los jóvenes que se encuentra cursando una licenciatura o un programa técnico en alguna institución de educación superior chilena presenta síntomas de una depresión moderada y severa, además de padecer diversas complicaciones como la falta de energía, problemas de concentración y dificultades para dormir, como resultado de conllevar el estudio en un contexto caracterizado por cuarentenas y una limitada movilidad como parte de las restricciones dirigidas para prevenir el Covid-19 (Escuela de Psicología de la Universidad de Valparaíso [UV], 2021).

Por otra parte, en las consecuencias meramente académicas sufridas por los estudiantes de la educación superior del país, un 96 % de ellos realizó todas sus clases a través de una modalidad *online* durante el año 2020, pero el 40 % de ellos indicaron haber presentado una conexión a internet deficiente y mala, como también uno de cada tres jóvenes presentaba un espacio de estudio en malas condiciones. Además, un 42 % de los estudiantes dijo que la modalidad remota no los favoreció en nada o en casi nada, en términos del aprendizaje adquirido durante ese año académico (Diario Uchile, 2021).

Es sumamente relevante considerar la salud mental que se ha visto afectada de sobremanera a raíz de la actual crisis sanitaria, en la cual, los jóvenes han tenido que verse enfrentados a una realidad totalmente distinta con una interacción social prácticamente nula en una etapa donde esto es fundamental para su formación tanto académica como personal.

Debido a todas las dificultades que están afectando a los estudiantes de educación superior, el retorno a la presencialidad debería ser de suma importancia, ya que la formación de los futuros profesionales debería realizarse de la mejor manera posible. Si bien se han podido dictar cátedras de manera remota, el nivel de aprendizaje no es el mismo, y numerosas actividades que necesitan realizarse de manera presencial, tales como laboratorios y talleres, salidas a terreno e incluso prácticas profesionales se han visto postergadas por ya más de un año. Asimismo, la mayor parte de los ramos que se están impartiendo actualmente en la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) se realizan mediante una modalidad remota, como también híbrida, pero con la restricción de presentar un número limitado de asientos disponibles para que alumnos puedan participar del curso de manera presencial. Muy pocos ramos se encuentran con una modalidad completamente presencial, lo que disminuye aún más las posibilidades de que alumnos tengan la chance de optar por ir a la universidad y asistir a los cursos en persona. Lo anterior se debe mayoritariamente a los distintos aforos permitidos según la capacidad de cada sala, como también de la disponibilidad de internet de éstas, para así transmitir vía *Zoom* sin tener complicaciones con las personas que asisten de manera remota a la clase, además de la cantidad de alumnos de cada curso que se dicta.

A partir de la problemática anterior, como grupo planteamos un modelo que tiene como objetivo distribuir los distintos ramos presenciales e híbridos, y sus respectivas secciones, impartidos por la facultad de ingeniería PUC en todas las salas y auditorios disponibles de la misma facultad y algunos adicionales con el fin de maximizar la cantidad de oportunidades presenciales de cátedra para alumnos de ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, esto debido a que está fuera de

nuestras manos la decisión personal de cada estudiante sobre si atender o no a las clases presenciales, pero sí está en nuestro poder otorgar más oportunidades para que más personas puedan asistir a sus cursos en la universidad. Si se logra distribuir de manera óptima todos los ramos y sus respectivas secciones en salas donde se pueda disponer de la mayor cantidad de puestos, los cuales pueden ser utilizados por los alumnos, entonces una mayor cantidad de estudiantes podrá tener la opción de participar de las clases presenciales, y por consiguiente, beneficiarse de todas las ventajas que esta modalidad de aprendizaje presenta, además de permitir al alumno salir del espacio de estudio en su hogar, y que este pueda desarrollarse social y académicamente en distintos espacios construidos con esos fines, y así lograr mejorar la salud física y mental, como también el nivel de aprendizaje que la presencialidad puede aportar.

Actualmente, la Pontificia Universidad Católica de Chile corresponde a una de las universidades con más estudiantado. Su vicerrector académico, Fernando Purcell, explica que cuentan con 30 mil alumnos y que esperan comenzar con una presencialidad en base a un sistema de turnos que permitirá en torno al 40 % las primeras semanas, lo que aumentaría al mes de iniciadas las clases (La Tercera, 2021). En este sentido, también es relevante notar que 6000 estudiantes se encuentran en estado de alumno regular en la escuela de ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile y alrededor del 40 %, es decir, 2400 estudiantes han estado asistiendo a clases, ya sea presenciales o híbridas en el campus San Joaquín en las últimas semanas (Escuela de ingeniería, 2021).

Cada sala de la escuela de ingeniería posee un número de cupos específico, los cuales indican cuántos estudiantes pueden asistir a dicha sala. Sin embargo, al comparar la totalidad de cupos por sala con los que realmente se están utilizando notamos que un 11,678 % de los cupos disponibles no se están ocupando. Además, existen salas que se encuentran libres en ciertos módulos y pueden ser perfectamente utilizadas para dictar cátedras mientras se genere una distribución lo más eficiente posible, que es justamente lo que se pretende llevar a cabo. De esta manera, con la realización de nuestro modelo de optimización se estima incrementar en al menos un 20 % la cantidad de alumnos que tienen la posibilidad de asistir a cátedras presenciales en la escuela de ingeniería del campus San Joaquín. No obstante, nuestro modelo puede ser utilizado para incrementar los niveles de presencialidad en todas las facultades de la universidad. Asimismo, este busca ser aplicable a cualquier institución de educación superior del país, de modo que se produciría un impacto sumamente positivo en la presencialidad de todo el estudiantado.

Para llevar a cabo lo anterior, es importante tomar en cuenta restricciones para nuestro modelo, ya que estas son propias del problema y permiten explicar cómo están relacionadas y restringidas las decisiones. Concretamente, nosotros consideramos que las variables de decisión solo pueden tener dos valores posibles, si un curso cuenta con dicha modalidad o no. Asimismo, establecimos que solo puede haber un curso por sala a la vez y ser únicamente dictado en esta, dado que otro caso no optimiza los espacios o es simplemente infactible. Respecto a lo anterior, debemos decirle al modelo que solo se puede asignar un curso a una sala en su módulo horario asignado, pues estos horarios están fijados con anticipación. Además, instauramos que el curso puede ser Presencial, Híbrido o ninguna, pero jamás puede ser ambos, dada las condiciones reales y dado que definiremos que la modalidad híbrida como cuando la cantidad de alumnos se divida en dos grupos turnándose cada semana para asistir presencialmente. Más en detalle, hemos determinado que para ser considerado Presencial, el curso debe caber por completo en una sala, mientras que para ser Híbrido, requiere solo la mitad, dado que debemos asegurar que todos los alumnos de un curso asignado para asistir, puedan asistir.

Adicionalmente, los cursos Híbridos deben tener suficiente internet para suplir la demanda de cada alumno presente (la mitad del total) y su profesor. La conexión a internet es una prioridad para cursos híbridos, debido a que es esencial una buena sincronización con los estudiantes remotos quienes reciben la transmisión del profesor, además de una buena realización de la clase en general. Una de las razones, es porque se requiere claridad en las preguntas a la distancia realizadas por los alumnos de la sala a los que no se les escucha bien por el uso obligatorio de mascarilla y que por el

distanciamiento social deben estar más alejados. Otra razón es que los profesores deben tener libertad de agregar dinamismo en su clase con cuestionarios en línea u otras herramientas que requieren conexión de cada alumno.

Por último, para que todos los alumnos que tomen un mismo curso, aunque sea en diferente sección, tengan el mismo nivel de enseñanza y evaluación, ellos deben tener la misma modalidad de curso. En otras palabras, restringiremos a que todas las secciones de un mismo curso sean asignados en la misma modalidad, entre Presencial, Híbrido o Remoto.

Para realizar una modelación eficiente, es necesario contar con una serie de datos que nos permitan acercar lo más posible nuestro modelo a la realidad o incluso mejorarla. En primer lugar, necesitamos la cantidad de salas disponibles que posee la Facultad de Ingeniería para dictar sus respectivas clases, junto a las condiciones de ventilación y desinfección para que los profesores y alumnos puedan concurrir a sus clases presenciales respetando las condiciones sanitarias. En segundo lugar, debemos conocer el aforo que admite cada una de las salas mencionadas anteriormente y la cantidad de internet necesaria para que esa cantidad de alumnos tenga una buena conexión a internet; estas dos características y por lo tanto la lista de salas las obtuvimos de bases de datos oficiales de la universidad, que contienen datos no solo de la facultad de ingeniería, sino de toda la universidad, por lo que en un futuro se puede escalar el modelo. Por último, se necesita contar con información acerca del horario de los cursos dictados por la Facultad de Ingeniería y su cantidad de alumnos por sección. Toda la información anterior se obtendrá a través de entidades de la Pontificia Universidad Católica de Chile que nos faciliten los datos necesarios, como también a través de encuestas que se realizarán a grupos de interés.

## 2. Modelación del Problema

Existen  $n$  cursos a ser distribuidos en  $m$  salas. Se busca decidir la modalidad del curso entre completamente *Presencial*; *Híbrido* entendiéndose como que asiste la mitad de los inscritos una semana y la otra mitad la semana siguiente y que, por lo tanto, requiere ser dictado en una sala con capacidad para la mitad de los inscritos y con internet suficiente para transmitir y que estén los alumnos conectados; y por último está la opción de modalidad *Remota*, donde el curso no tendrá sala asignada.

### 2.1. Objetivo

Nuestro objetivo es *Maximizar las oportunidades de cátedra presenciales para los alumnos simultáneamente*.

Nos centraremos en instancias de cátedra, dado que estas abarcan la gran mayoría del horario de los alumnos y los espacios ocupados en la universidad. Sin embargo, en un futuro se puede seguir la misma metodología para optimizar la distribución de ayudantías en los horarios restantes, al ser la segunda actividad que más se encuentra en los horarios. Además, buscamos la simultaneidad de las oportunidades presenciales, por lo que se preferirá que un curso sea presencial antes que híbrido.

### 2.2. Variables de decisión

Nuestras variables son:

- $x_{ij\mu k} \in \{0, 1\}$ : será 1 si el curso  $i$  (sección específica  $k$ ) se dicta en la sala  $j$  en formato presencial en el módulo  $\mu$  y será 0 en caso contrario.
- $y_{ij\mu} \in \{0, 1\}$ : será 1 si el curso  $i$  (sección específica  $k$ ) se dicta en la sala  $j$  en formato híbrido en el módulo  $\mu$  y será 0 en caso contrario.

Con lo anterior, haremos que un curso tenga una de tres posibilidades de modalidad, que en orden de preferencia son *Presencial*, *Híbrido* o *Remoto*, siendo la última cuando ninguna de las dos primeras ocurren.

### 2.3. Supuestos

Para poder plantear el modelo, haremos ciertos supuestos que nos ayudarán a trabajar:

1. Tanto los profesores como los alumnos pueden asistir a clases presenciales de los cursos de los que son parte.
2. La universidad cuenta con insumos suficientes para que esto no sea una restricción a la hora de implementar salas.
3. Se optimizará la distribución de cursos que cuentan con dos horarios a la semana, a la misma hora lunes y miércoles, o martes y jueves.
4. Los viernes se dejarán libres para la futura distribución de ayudantías y otras actividades.

### 2.4. Parámetros

Consideraremos los datos que son relevantes para tomar las decisiones. En específico, nos importan aspectos de distribución logística de los cursos y, por otro lado, cumplir con las condiciones que la contingencia sanitaria exige. Contaremos con los siguientes parámetros:

- Disponemos de seis módulos horarios por día a ser ocupados por un curso en cada sala, indexados como  $\mu \in U = \{1, \dots, 12\}$ , siendo los primeros seis módulos los que representan el horario de los días lunes y miércoles y los siguientes seis módulos representan el horario de los días martes y jueves (Fig.7).
- Disponemos de los cursos de la escuela de ingeniería que se dictan dos veces a la semana indexados en el conjunto  $N = \{1, \dots, n\}$ .
- Cada curso  $i \in N$  tiene asignado un solo modulo horario  $\mu$  en el que se dictará, siendo  $z_{i\mu k} = 1$  cuando esto pasa y  $z_{i\mu k} = 0$  en caso contrario.
- La cantidad de alumnos inscritos en cada curso  $i$  se representan como  $a_i \in \mathbb{N}_+$ .
- Además, para cada curso se tendrá un conjunto con su cantidad de secciones  $s_i$  que posee, de la forma  $k \in S_i = \{1, \dots, s_i\}$ .
- También, disponemos de las salas y auditorios de la escuela de ingeniería y algunos adicionales indexados en el conjunto  $M = \{1, \dots, m\}$ .
- Cada sala  $j \in M$  tiene un aforo máximo de  $A_j \in \mathbb{N}_+$  alumnos.
- Cada sala  $j \in M$  tiene una capacidad para  $I_j \in \mathbb{N}_+$  personas "...conectadas a internet con un uso normal" (Dirección de Informática UC, 2021).

### 2.5. Función objetivo

$$\max_{x,y} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{\mu=1}^{12} \sum_{k=1}^{s_i} (x_{ij\mu k} \cdot a_i + y_{ij\mu k} \cdot \frac{a_i}{2})$$

## 2.6. Restricciones

Con los datos anteriores comenzamos a escribir las restricciones que nos acotarán el universo de soluciones:

1. Un curso solo se puede dictar una vez en una sola sala.

$$R1 \quad \sum_j^m (x_{ij\mu k} + y_{ij\mu k}) \leq 1 \quad \forall i \in N ; \forall \mu \in U ; \forall k \in S_i$$

2. Solo puede haber un curso por sala a la vez.

$$R2 \quad \sum_i^n \sum_k^{S_i} (x_{ij\mu k} + y_{ij\mu k}) \leq 1 \quad \forall j \in M ; \forall \mu \in U$$

3. Un curso Presencial solo puede ser asignado en su módulo correspondiente.

$$R3 \quad x_{ij\mu k} \leq z_{i\mu k} \quad \forall i \in N ; \forall j \in M ; \forall \mu \in U ; \forall k \in S_i$$

4. Un curso híbrido solo puede ser asignado en su módulo correspondiente.

$$R4 \quad y_{ij\mu k} \leq z_{i\mu k} \quad \forall i \in N ; \forall j \in M ; \forall \mu \in U ; \forall k \in S_i$$

**\*Nota:** no se necesita esta restricción para cursos remotos, dado que no afectarán la asignación de salas y su módulo solo implicará el horario de transmisión de la clase.

5. Un curso puede ser Presencial, Híbrido o ninguna (Remoto), pero no puede ser ambas.

*Restringido por R1 y R2*

6. Tiene que caber al menos todo un curso y el profesor en el aforo de una sala para que el curso pueda ser presencial.

$$R5 \quad x_{ij\mu k}(a_i + 1) \leq A_j \quad \forall i \in N ; \forall j \in M ; \forall \mu \in U ; \forall k \in S_i$$

7. Tiene que caber al menos la mitad de un curso y el profesor en el aforo de una sala para que el curso pueda ser Híbrido.

$$R6 \quad y_{ij\mu k}(\frac{a_i}{2} + 1) \leq A_j \quad \forall i \in N ; \forall j \in M ; \forall \mu \in U ; \forall k \in S_i$$

8. Para que un curso pueda ser híbrido debe estar en una sala con internet suficiente para todos sus alumnos y el profesor (dado que en clases les pueden pedir contestar cuestionarios en línea o hacer preguntas conectados a zoom, además de la transmisión del profesor).

$$R7 \quad y_{ij\mu k}(\frac{a_i}{2} + 1) \leq I_j \quad \forall i \in N ; \forall j \in M ; \forall \mu \in U ; \forall k \in S_i$$

9. Si una de las secciones de un curso es presencial, todas deben serlo.

$$R8 \quad \sum_j^m \sum_\mu^{12} x_{ij\mu k} = \sum_j^m \sum_\mu^{12} x_{ij\mu l} \quad \forall i \in N ; \forall k, l \in S_i ; k \neq l$$

10. Si una de las secciones de un curso es Híbrido, todas deben serlo.

$$R9 \quad \sum_j^m \sum_\mu^{12} y_{ij\mu k} = \sum_j^m \sum_\mu^{12} y_{ij\mu l} \quad \forall i \in N ; \forall k, l \in S_i ; k \neq l$$

11. Si una de las secciones de un curso es remoto, todas deben serlo.

*Restringido por R8 y R9*

### 2.6.1. Naturaleza de las variables

$$x_{ij\mu k} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N ; \forall j \in M ; \forall \mu \in U ; \forall k \in S_i$$

$$y_{ij\mu k} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N ; \forall j \in M ; \forall \mu \in U ; \forall k \in S_i$$

## 3. Definición de datos

La obtención de los datos relacionados a los cursos dictados, con sus respectivas secciones, módulos y alumnos inscritos, fue por medio de la página web *Buscacursos*, ya que esta corresponde a una fuente real y óptima proporcionada por la entidad de la Pontificia Universidad Católica. Más en detalle, nos enfocamos en el listado del segundo semestre del año 2021, debido a que es el periodo universitario más reciente.

Cada curso  $i$  con su sección  $k$  específica que cumplía con ser asignado en su modulo correspondiente, obtuvo un  $\mu \in U = \{1, \dots, 12\}$ , donde los primeros seis (1-6) fueron otorgados a los horarios de los días lunes y miércoles, es decir, L-W, mientras que los siguientes (7-12) a los horarios de los días martes y jueves, ósea, M-J. Concretamente, *Buscacursos* hace entrega de aquellos datos, a través de las categorías llamadas “Nombre”, “Sección” y “Horario”.

Por otro lado, es importante mencionar que analizamos cual era la cantidad de cursos de la escuela de ingeniería que eran dictados dos veces a la semana, para así descartar a todos aquellos que no cumplieran con ello, tales como los que tenían dos módulos continuos. Sin embargo, dado que existían diversos cursos que poseían clases tres veces a la semana (L-W-V), decidimos que estos también fueran parte de aquellos que tienen horarios de dos días. A este caso en especial, se tiene como plan asignar salas sabiendo que utiliza ciertos horarios el día viernes, para así restringirlos y distribuirlos con las ayudantías. Tras la decisión aplicada al modelo, obtuvimos que los cursos pertenecen al conjunto  $N = \{1, \dots, 311\}$ . De esta forma, le otorgamos a cada curso  $i \in N$  que tenía asignado un solo módulo horario  $\mu$  el parámetro  $z_{i\mu k} = 1$ , y  $z_{i\mu k} = 0$  en caso contrario.

Asimismo, debido a que todos los cursos tenían un número diferente de secciones, se proporcionó un conjunto  $S_i$ , donde  $k \in S_i = \{1, \dots, s_i\}$ . De esta manera, de acuerdo al curso  $i$ , el valor de secciones  $s_i$  varía.

En relación a la cantidad de alumnos inscritos  $a_i$  por cada curso  $i$ , restamos el numero de vacantes totales con el numero de vacantes disponibles, datos que se encuentran también en *Buscacursos*. De este modo, la cantidad de alumnos inscritos  $a_i \in \mathbb{N}_+$ .

Luego, para determinar los datos relacionados a la disponibilidad de salas, la capacidad normal para personas, el aforo máximo por covid y la capacidad de internet, utilizamos datos reales pertenecientes a la misma entidad. Estos los obtuvimos a través de un documento en formato pdf, el cual fue facilitado por el profesor del curso de Optimización Mathias Klapp.

Concretamente, dado que disponemos de las salas y auditorios de la escuela de ingeniería y otros adicionales, establecimos el conjunto  $M = \{1, \dots, 62\}$ . De aquel modo, cada sala  $j \in M$  posee un valor asociado de aforo máximo  $A_j \in \mathbb{N}_+$  y además una capacidad de internet  $I_j \in \mathbb{N}_+$ .

Es relevante mencionar que todos los datos mencionados anteriormente se encuentran distribuidos en dos archivos Excel. En el primero (cursos.xlsx) se encuentra toda la información relacionada a los cursos, con sus respectivas secciones, módulos y cantidad de alumnos inscritos, mientras que en el segundo (salas.xlsx) se tienen las salas junto a sus respectivas capacidades en condiciones normales, aforo covid y capacidad de internet.

## 4. Resolución del problema

Mediante la interfaz *Python-Gurobi*, sumado a la utilización de las librerías *collections* y *gurobipy*, se logró modelar correctamente el proyecto de optimización, obteniendo de este un valor objetivo equivalente a 10.938 oportunidades de cátedra presenciales para los alumnos simultáneamente. Este valor se traduce en que 10.938 alumnos podrán participar de al menos una cátedra presencial del plan común de ingeniería, o de algún ramo impartido por la facultad de ingeniería. Este resultado se obtuvo a base de la necesidad de aumentar las oportunidades para que los alumnos puedan participar de clases presenciales, pero al mismo tiempo, respetando factores como los aforos máximos permitidos por la pandemia y la necesidad de buena señal de internet en caso de cursos híbridos, para mantener una clase homogénea entre las personas presenciales y las remotas. Comparando las oportunidades obtenidas con las oportunidades actuales (2.154 oportunidades para los datos entregados), se concluye que efectivamente es posible incrementar las oportunidades de cátedra presenciales mediante un modelo que es capaz de asignar de manera eficiente a los alumnos en sus respectivas salas, considerando los módulos en que se dictan las clases y los aforos permitidos.

Para mostrar de mejor manera los resultados, se programa la lectura y extracción de estos a partir de los entregados por el problema de optimización. Luego, se colocan en un documento de hojas de cálculo de *Excel*. La programación de lo anterior se puede encontrar en el archivo 'extraccion de resultados.py'.

Se disponen los datos de la solución de manera de asociar cada curso y su sección a su sala asignada en su módulo correspondiente. Lo anterior, se hace en una tabla donde además se indica la modalidad definida para el curso según el modelo de optimización, siendo *P* cuando es *Presencial* y *H* cuando es *Híbrido*. A continuación, se muestra una sección de los resultados, los cuales se encuentran completos en el documento adjunto 'Resultados.xlsx'.

SALA/ MÓDULO	LUNES Y MIERCOLES						MARTES Y JUEVES					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A1	Hormigon armado - 1 P	Calculo II - 11 P	Microeconomia - 2 H	Calculo I - 1 H	Calculo II - 16 P		Probabilidades y Estadística - 7 H	Probabilidades y Estadística - 1 H	Probabilidades y Estadística - 4 H	Ingeniería ambiental - 3 P	Materiales de ingeniería civil - 2 P	
A2	Investigacion innovacion y emprendimiento - 3 H	Dinamica Ice - 1 H	Dinamica Fis - 10 H				Química y analisis de alimentos - 1 P	Comunicaciones digitales - 2 P	Fundamentos de procesamiento de imagenes - 2 P	Electro optica - 1 P	Fluidodinamica computacional - 1 P	
A3	Introduccion a la Economia - 4 H	Introduccion a la Economia - 1 H	Senales y sistemas - 1 P	Calculo II - 13 P	Diseño y analisis de algoritmos - 1 P		Probabilidades y Estadística - 2 H	Sistemas de informacion - 2 H	Ingeniería de software - 2 H	Biotecnología molecular - 1 P	En busqueda del bienestar que nos dice la ciencia - 1 H	
A4		Tecnologías de generacion electrica - 1 H						Aprendizaje de maquina informado por modelos fisicos - 1 P	Estadística y procesos sedimentarios y volcanicos - 1 P			
A5	Electricidad y Magnetismo - 5 H	Introduccion a la Economia - 6 H	Calculo II - 8 P	Calculo II - 4 P	Calculo II - 17 P		Termodinamica Qim - 1 P	Modelos de trafico - 1 P	Planificación y control de proyectos - 1 P			

Figura 1: Muestra de los resultados encontrados a través de la optimización del problema.

## 5. Validación de resultados

Para comparar y validar nuestros resultados, existen variadas formas de hacerlo; por ejemplo, comparando el valor objetivo alcanzado con el valor real actual; otra forma de comparar y validar es comparando las modalidades actuales de los cursos con las modalidades asignadas por nuestro modelo; o por último se podrían comparar la ocupación de las salas real versus la modelada, dado que las tres comparaciones anteriores reflejan el cambio en la cantidad de 'oportunidades de cátedra presenciales semanales ofrecidas'.

Notamos que el valor óptimo que se obtuvo corresponde a 10.938 oportunidades presenciales de cátedra, correspondiente a la suma de los alumnos inscritos en cursos de modalidad presencial y la mitad de los asignados en modalidad híbrida. Con el propósito de comparar el resultado obtenido con la realidad actual, calculamos la misma suma pero para los formatos antes de ser optimizados. Para lo anterior, se recopiló la información de los formatos actuales a través de la plataforma 'Bus-



*cacursos*’ y se realizó la suma, obteniendo 2154 oportunidades actuales. Vemos que nuestro modelo aumenta las oportunidades en más de un 500 %, comprobando que se puede mejorar la asistencia y el retorno al la presencialidad (inicialmente por la escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica) y que implementar nuestro modelo es una forma de conseguirlo.

Además, actualmente la universidad entrega la oportunidad de dictar 19 cursos en forma presenciales, en cambio, según nuestro modelo se podrían realizar 144 cursos en este formato, un 86.8 % más. Por otro lado, hoy en día la universidad permite que 22 cursos sean híbridos, y según nuestro modelo, 149 cursos se podrían dictar en este formato, aumentando así un 85.23 % este tipo de instancia.

Por último, se puede analizar desde la visualización de la ocupación de las salas. Lo anterior no necesariamente aseguraría una mayor cantidad de oportunidades presenciales, sin embargo nuestro modelo asignará ‘el mejor curso para una sala’, pues hace caber a la mayor cantidad de gente posible dependiendo de sus capacidades. Es por lo anterior que el análisis visual de la ocupación también es un buen indicador de optimalidad. Para poder visualizar esto ultimo, en el siguiente enlace se disponen los resultados de nuestro modelo junto con la información real extraída de la página [http://www6.uc.cl/dara/registro/serviciosprof/salas\\_campus/salacampus\\_2\\_semana03.html](http://www6.uc.cl/dara/registro/serviciosprof/salas_campus/salacampus_2_semana03.html) la cual sigue el mismo formato. Un ejemplo sería:

Sala	Cupo	L1	L2	L3	L4	L5	L6
A1	83			IMM2103-1,CAT IMM3103-1,CAT	IEE1533-1,CAT		ICH2314-1,CAT
A2	31					FIL168-5,CAT	
A3	83	ICE2413-1,CAT	IIC2223-1,CAT	ICE2313-1,CAT ICE2313-2,CAT ICE2313-3,CAT	EAE2510-1,CAT		
A4	31			IIQ3793-1,CAT	QIM508-1,CAT	QIM508-1,CAT	QIM508-1,CAT
A5	83	IIQ1003-2 CLAS	ICP0502-1,LAB	EAE1210-3,CAT	ICM2403-1,CAT	ICT3113-1,CAT ICT3113-2,CAT ICT3113-3,CAT ICT3113-4,CAT	ICT3113-1,CAT ICT3113-2,CAT ICT3113-3,CAT ICT3113-4,CAT
A6	31						

Figura 2: Distribución de cursos en salas actualmente.

SALA/ MÓDULO	LUNES Y MIERCOLES					
	1	2	3	4	5	6
A1	Hormigon armado - 1 P	Calculo II - 11 P	Microeconomia - 2 H	Calculo I - 1 H	Calculo II - 16 P	
A2	Investigacion innovacion y emprendimiento - 3 H	Dinamica ice - 1 H	Dinamica Fis - 10 H			
A3	Introduccion a la Economia - 4 H	Introduccion a la Economia - 1 H	Senales y sistemas - 1 P	Calculo II - 13 P	Disenio y analisis de algoritmos - 1 P	
A4		Tecnologias de generacion electrica - 1 H				
A5	Electricidad y Magnetismo - 5 H	Introduccion a la Economia - 6 H	Calculo II - 8 P	Calculo II - 4 P	Calculo II - 17 P	
A6	Marketing - 5 H		Taller de evaluacion tratamiento y remediacion ambiental - 1 H	Investigacion innovacion y emprendimiento - 7 H		

Figura 3: Distribución de cursos en salas según modelo

De este modo, podemos concluir que el modelo y los resultados obtenidos son consistentes, ya que mejoran de sobremanera las oportunidades presenciales de cátedra de los estudiantes de la Pontificia Universidad Católica de Chile que se encuentran dando algún curso del plan común de la carrera de ingeniería, o algún ramo impartido por la misma facultad. Sin embargo, es importante mencionar que este no es completamente realista, ya que al comienzo se establecieron ciertos supuestos para

poder simplificar algunos aspectos, tales como, solamente optimizar aquellos cursos que cuenten con dos horarios a la semana y a la misma hora, ya sea lunes y miércoles o bien martes y jueves. Esto puede provocar que si se consideran todos los cursos, se vean afectadas las oportunidades presenciales de cátedra, ya que habría que agregar cursos y nuevos módulos, lo que cambiaría la distribución de los mismos y por ende el valor óptimo del problema. Por lo tanto, para que nuestro modelo sea del todo realista, este debiese ser aplicable a todos los cursos dictados por la facultad de ingeniería. Asimismo, uno de nuestros supuestos fue dejar los días viernes para la distribución de ayudantías y otras actividades que no fueran cátedras, por lo que para hacer aun más realista el modelo, igualmente se debiesen considerar los viernes para la realización de cátedras.

Dicho lo anterior, se puede concluir que este modelo tiene un gran potencial para maximizar la cantidad de alumnos que pueden asistir a las clases de cátedra impartidas para alumnos de ingeniería de la Universidad Católica. Es más, mientras se respeten los supuestos, el modelo se puede extrapolar para maximizar la cantidad de oportunidades de presencialidad para todos los cursos dictados en un mismo campus, no solo de la Universidad Católica, si no que para los de cualquier universidad.

## 6. Análisis de sensibilidad

A continuación, se realizara un análisis de sensibilidad de la solución óptima del problema. Para llevar a cabo lo anterior, se procede a variar ciertos parámetros para ver como estos cambios impactan en el valor óptimo de la función objetivo. Para el primer caso, se disminuyeron todos los parámetros en un 50 %, porcentaje que se determinó de manera arbitraria. Tras esto, y su aplicación en el *software* de optimización, se observó que el valor objetivo se vio alterado en la mayoría de los casos al variar ciertos parámetros. Lo anterior se puede apreciar claramente en el gráfico Fig.4:

1- Análisis de sensibilidad de la solución óptima del problema con respecto a algunos parámetros:

A partir de lo observado en el gráfico anterior, se puede apreciar que al disminuir en un 50 % los aforos máximos de todas las salas de la base de datos utilizada, el valor objetivo se ve disminuido. A un nivel microscópico, y analizando la variación del parámetro de aforos máximos por cada restricción que lo involucre, se puede observar que para la *R5*, la variación en el valor objetivo es leve, disminuyendo en 1.502 oportunidades presenciales de cátedra. En el caso de la *R6*, el valor objetivo disminuye en 3.996 oportunidades presenciales de cátedra. Esta diferencia de cambio se debe mayormente a la permisividad del tipo de formato que cada restricción relaciona. La *R5* requiere que al menos todo un curso más el profesor quepan en el aforo de cada sala, mientras que la *R6* exige que tiene que caber la mitad del curso más el profesor en una sala para que el curso sea híbrido. Como el modelo le da prioridad al formato presencial, sobre el híbrido, si disminuimos al 50 % los aforos para la *R5*, muchas de estas pueden tomar la opción de volverse híbridos, en cambio, si la *R6* recibe esta variación de parámetros, todas las oportunidades de presencialidad que se vean afectadas por la restricción, se verán eliminadas del valor objetivo, ya que muchas de estas pasarían a ser cursos remotos, teniendo valor nulo para el conteo final de la función objetivo.

Por otro lado, si observamos los efectos en el valor objetivo al disminuir en un 50 % los parámetros para la *R5* y para *R6*, entonces se puede apreciar que el valor objetivo disminuye drásticamente, y esto se debe mayormente al hecho de que al disminuir los aforos de todas las salas, y además, tener las restricciones 5 y 6, entonces muchas salas que antes permitían los formatos presenciales e híbridos, se transformarán directamente en cursos remotos, ya que los bajos aforos y las restricciones implementadas, llevan al problema a disminuir en gran medida las oportunidades presenciales de cátedra.

En el gráfico (Fig.5) se aprecia como cambia el valor de la función objetivo al modificar la cantidad de alumnos por curso. En particular, se redujo a la mitad el parámetro  $a_i \in \mathbb{N}_+$ , el cual, representa el número de alumnos inscritos, tanto en la restricción 5, como en la 6, y luego en ambas.

Notamos que al disminuir el parámetro a la mitad solo en  $R5$ , el valor óptimo aumenta a 17.360 oportunidades presenciales. Esto se debe a que, como se está disminuyendo la cantidad de alumnos totales por curso, muchos de estos estarán dentro de los aforos permitidos, lo que lleva a un aumento en la cantidad de cursos presenciales que se podrán dictar. Para el caso de la  $R6$  ocurre algo similar, ya que al disminuir la cantidad de alumnos inscritos en los cursos a la mitad, muchos estarán dentro de los aforos requeridos para un curso con modalidad híbrida, lo que lleva al aumento en las oportunidades presenciales de cátedras al compararlo con el valor original (10.938), es decir, sin haber variado el parámetro. Sin embargo, la cantidad no aumenta tanto, ya que al solo influir a los ramos remotos, ya muchos tenían una sala asignada, y solo algunas más se ven favorecidas por esta variación, lo que produce ese leve aumento en el valor objetivo. De la misma manera, cuando la variación de parámetros es aplicada en  $R5$  y  $R6$ , las oportunidades presenciales de cátedra se ven aumentadas, siendo mayor que el caso de solo  $R5$ . El valor objetivo que se obtiene es de 18.278, y esto se debe en gran medida a que al disminuir todos los cursos a la mitad, las posibilidades de que ramos presenciales e híbridos queden asignados en una sala, y en los módulos respectivos, aumente notoriamente.

## 2- Análisis critico restricciones activas:

Para reconocer cuales eran las restricciones activas del problema, se evaluó mediante el *software* de optimización que ocurría cuando se eliminaba una restricción. Si la función objetivo cambia su valor al eliminar la restricción  $Ri$ , significa que la restricción es activa. Al realizar este proceso, se obtuvo todas las restricciones eran activas, menos la restricción  $R7$ , la cual, al ser eliminada, no genera cambios en la función objetivo. En anexos, en la Fig.6 se muestran los valores de la función objetivo al desactivar restricciones y a continuación se describe la importancia de cada restricción activa.

$R1$ : Se puede ver que al eliminar esta restricción la función objetivo aumenta casi el doble del valor inicial (de 10.938 a 22.771), por lo que se puede decir que es una restricción que afecta considerablemente al modelo. Su importancia no es solo matemática, si no que también es importante conceptual y físicamente, ya que es la que se encarga de que en el modelo no se dicte un curso mas de una vez en una sala. Por esto ultimo, esta restricción no se puede eliminar ni modificar para que el modelo funcione.

$R2$ : Esta restricción no afecta tanto en el modelo como la restricción anterior, ya que la función objetivo aumenta de 10.938 a 12.228. Pero al igual que en la restricción anterior, esta tiene un significado físico, ya que en una sala no se puede realizar mas de un curso a la vez, por lo que esta restricción no se debe modificar.

$R3$ : El nuevo valor de la función objetivo, al eliminar esta restricción, es de 26.555, lo que es mayor al valor que da al eliminar la restricción 1. Este aumento ocurre gracias a que el modelo asocia un curso con un modulo específico, por lo que al eliminar esta restricción, el modelo tiene más opciones para organizar los cursos y las salas. Al igual que en las restricciones anteriores, debido al significado conceptual, esta restricción no se puede modificar. Aun así, un cambio en los módulos de los cursos podría llegar a afectar en el resultado obtenido para la función objetivo.

$R4$ : Esta restricción tiene un significado igual al de la restricción anterior, pero para los cursos híbridos. El aumento en el valor óptimo es similar al de la anterior, 26.908, pero algo mayor debido a que al eliminar esta restricción, basta con que los cursos híbridos cumplan con el aforo para que puedan ser realizados, sin tener que ser asignados a su módulo correspondiente, de modo que el modelo les podrá asignar cualquier sala que se encuentre libre en cualquier módulo y por ende, las oportunidades presenciales de cátedra claramente van a incrementarse.

$R5$ : Al eliminar esta restricción se obtiene un valor para la función objetivo de 19.196. La impor-

tancia de esta restricción esta en que determina si la sección de un curso puede ser asignado a una sala, dada la cantidad de personas en el curso y el aforo de la sala. A diferencia de las restricciones anteriores, esta puede ser modificada en su lado derecho, ya que se podría determinar que la cantidad de alumnos sea menor a una fracción del aforo máximo de la sala. Así como también puede cambiar el aforo de la sala.

R6: Esta restricción determina si un curso pasa a ser híbrido o no. Al ser eliminada, la función objetivo pasa a ser 13.069. A diferencia de la restricción anterior, esta también puede ser modificada en su lado izquierdo, ya que puede cambiar la condición para que un curso sea híbrido o no. Para este proyecto, como grupo asumimos que la mitad de un curso mas el profesor debe caber en la sala para que este sea híbrido, pero esta condición podría cambiar y pasar a ser, por ejemplo, un tercio o un sexto del curso.

R7: Notamos que esta restricción es inactiva, ya que al desactivar esta restricción, el valor de la función objetivo no cambia, manteniéndose en 10.938 oportunidades presenciales. Esto tiene sentido, debido a que la restricción 7 establece que para que un curso sea híbrido, este debe contar con internet suficiente. De esta manera, nosotros ya contábamos con los datos del nivel de internet de cada una de las salas, de modo que el modelo fue construido en base a esos datos, siendo un parámetro que no podía ser maximizado por la función objetivo, ya que si no había internet suficiente simplemente se descartaba esa sala para dictar un curso de tipo híbrido.

R8: Al desactivar la restricción 8 se tiene que el valor óptimo se incrementa levemente a 11.232. Esta nos dice que si una de las secciones de un determinado curso es presencial, todas deben serlo, lo cual limita a que algún curso híbrido que quizás tenga una mayor cantidad de alumnos pueda ser dictado, ya que necesariamente se debe cumplir la restricción. Sin embargo, esto ocurre en muy pocos casos, puesto que la variación en el valor de la función objetivo es mínima.

R9: El nuevo valor de la función objetivo, al eliminar esta restricción, es de 11.469. Esta restricción puede ser tanto eliminada como modificada, lo que puede generar cambios en el resultado de la función objetivo, pero sin afectar el funcionamiento del modelo.

## 7. Conclusión

En este proyecto se construyó un modelo que posee el fin de maximizar la cantidad de oportunidades presenciales de cátedra para alumnos de ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Concretamente, este surge por los bajos niveles de presencialidad que fueron provocados por las medidas originadas por el COVID-19.

Más en detalle, se puede observar que por medio del programa PythonGurobi se logró un valor objetivo de 10.938 oportunidades de cátedra presenciales para los alumnos simultáneamente, tomando así un gran relevancia, ya que en comparación con las oportunidades actuales, estas son únicamente 2.154. Claramente, para lograr este resultado, fueron utilizados datos, los cuales fueron obtenidos por la página web “buscacursos” y un documento pdf; estos corresponden a fuentes verídicas y oficiales proporcionados por la entidad de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Dado lo último mencionado, se puede analizar que este modelo no posee supuestos que lo idealicen, y por lo tanto, tiene una correcta representación de la realidad.

Debido a que para su correcta construcción se distribuyen los distintos ramos presenciales e híbridos, y sus respectivas secciones impartidos por la facultad de ingeniería PUC, en todas las salas y auditorios disponibles de la misma facultad y algunos adicionales, se hace evidente que es un aporte real a la toma de decisiones. En otras palabras, el hecho de que el modelo asigne de forma óptima los diversos cursos, se traduce en que exista una ayuda para disponer una mayor cantidad de puestos que pueden ser utilizados por alumnos y así incrementar la opción de participar de clases presenciales.

Por otro lado, dado que la solución obtenida significa un aumento en más de 500 % de las oportunidades laborales, se puede ver que tiene una gran calidad y además que dispone la característica de ser realista, ya que la distribución que realiza de los ramos y secciones, logra que los ramos dictados presenciales pasen de ser 19 a 144, mientras que los híbridos de 22 a 149, lo que significa un aumento de 86.7 % y 85.3 % de instancias, respectivamente. De este modo, se puede ver que es implementable tanto para alumnos de ingeniería, como de otras facultades de la Universidad Católica, y asimismo abordable para cualquier institución de educación superior del país.

Ahora, al realizar el análisis de sensibilidad, se evidencia que al reducir los parámetros de aforo y cantidad de alumnos inscritos por ramo, las restricciones 5 y 6 producen un cambio en el valor objetivo del problema. Al reducir un 50 el aforo de las salas, el valor objetivo baja, lo cual se debe básicamente a que al tener un menor aforo, una gran parte de las clases presenciales/híbridas pasan a remotas, lo que disminuye las oportunidades presenciales de los alumnos. Por otro lado, si bajamos en un 50 la cantidad de alumnos inscritos en los cursos, el valor objetivo sube, pues al tener más cursos con menos cantidad de alumnos, existen más salas que pueden cubrir la demanda de estudiantes, por lo que mas clases podrán ser en formato presencial o híbrido.

En esta misma línea, al realizar análisis de sensibilidad ante la eliminación de restricciones, primero se puede ver que la restricción 7 es inactiva, pues el valor objetivo no cambia al eliminarla. Sin embargo, al no tomar en cuenta dicha restricción el horario que se obtiene entrega una distribución totalmente distinta para los cursos. Por otra parte, la eliminación de la restricción 1 y 3 aumenta más del doble el valor objetivo original, pues al no restringir que no se dicten cursos más de una vez en una sala y que cada curso tiene un modulo en específico, el modelo tiene más opciones para organizar y definir el estado de los cursos. También, al eliminar la restricción 5 y 6, a pesar de que son relevantes dado el contexto de pandemia y a que se quiere dar prioridad a las clases presenciales, el valor objetivo sube pero no considerablemente, cosa que pasa también al eliminar la restricción 8 y 9. Por ultimo, dada la poca relevancia encontrada en el análisis para la restricción 9, esta se puede modificada para modelar de mejor manera o simplemente se puede eliminar.

Para terminar, las principales lecciones obtenidas de este proyecto son que, por una parte, utilizando un modelo simple de optimización junto a una investigación exhaustiva, la cual permite obtener datos y restricciones lo más parecidos a la realidad, se pudo encontrar una solución a una problemática contingente, la cual es que los alumnos de establecimientos educativos puedan aumentar sus oportunidades presenciales dada la situación de pandemia. Por otra parte, resolver un problema de optimización permite extrapolar su solución a otros problemas similares, aumentando así el impacto que esta pueda tener. En este caso, al resolver esta disyuntiva para una facultad en específico de la UC, el modelo-solución junto a la información respectiva permite contrarrestar este problema para otras facultades de la Universidad, para otras Universidades o para cualquier otro recinto educativo.

Por ultimo, al analizar el trabajo realizado durante el semestre, notamos que no tuvimos muchos problemas o errores que pudieron haber afectado nuestro redimiendo. En general, nos organizamos de buena manera, repartimos bien las partes siendo responsables con estas y hicimos buenas gestiones para encontrar los datos reales. Por otro lado, nuestro desafío a futuro es poder perfeccionar el modelo para expandir su impacto, para que así no solo la facultad de ingeniería pueda solucionar este problema, sino que esperamos que se pueda extrapolar a la mayor cantidad de áreas posibles, como Salud, Trabajo o Entretenimiento, donde la dificultad esta en que los datos no son estáticos, sino que hay una continua circulación de gente, lo cual puede alterar nuestras restricciones.

## 8. Bibliografía

Diario Uchile. (16 de marzo de 2021). *Estudiar en confinamiento: 74 % de estudiantes chilenos de educación superior presenta síntomas de depresión*. <https://radio.uchile.cl/2021/03/16/estudiar-en-confinamiento-74-de-estudiantes-chilenos-de-educacion-superior-presenta-sintomas-de-depresion/>

Dirección de Informática. (8 de Agosto de 2021). *Red Inalámbrica UC*. <https://informatica.uc.cl/red-inalambrica>

Escuela de ingeniería UC.(8 de septiembre de 2021) <https://www.ing.uc.cl>

Escuela de Psicología de la Universidad de Valparaíso. (07 de mayo de 2021). *74 por ciento de estudiantes de educación superior con síntomas de depresión por estudiar en pandemia*. <https://sociales.uv.cl/noticias/44-74-por-ciento-de-estudiantes-de-educacion-superior-con-sintomas-de-depresion-por-estudiar-en-pandemia>

La Tercera. (30 de Julio de 2021). *Retorno presencial: Ues solo pueden recibir entre 29 % y 50 % de sus alumnos*. <https://www.latercera.com/la-tercera-sabado/noticia/retorno-presencial-ues-solo-pueden-recibir-entre-29-y-50-de-sus-alumnos/MEKOMEMGKRGOLLLBP3Q5YAQDQE/>.

## 9. Anexos

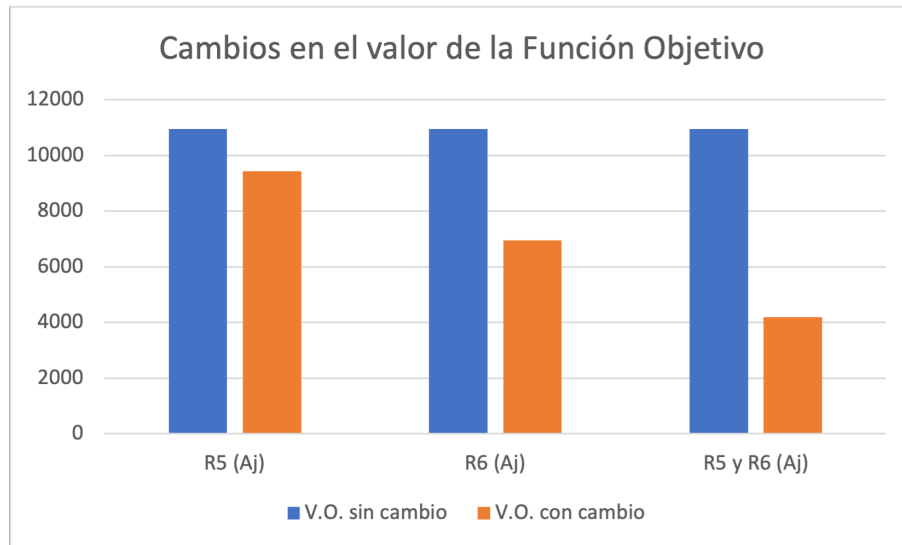


Figura 4: Variación en la función objetivo tras disminuidos los parámetros en un 50 %

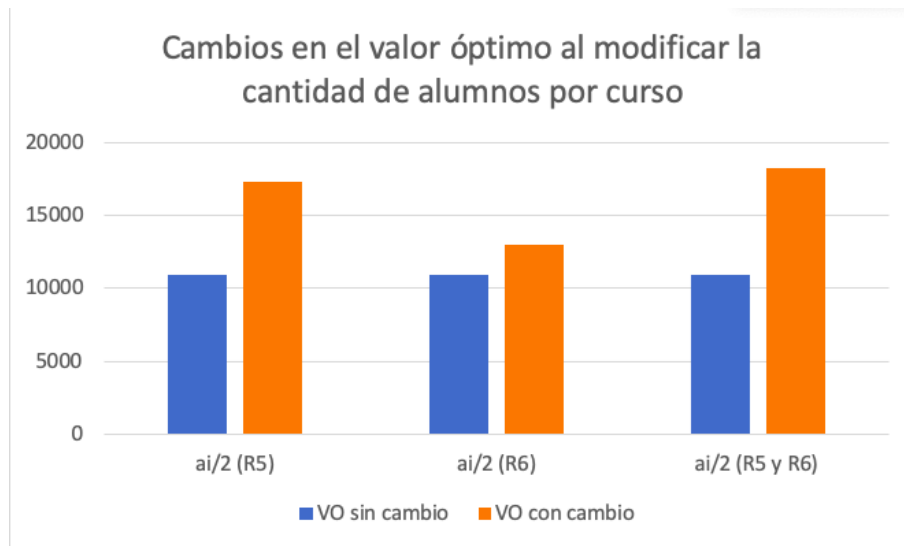


Figura 5: Cambios en el valor óptimo al modificar la cantidad de alumnos por curso

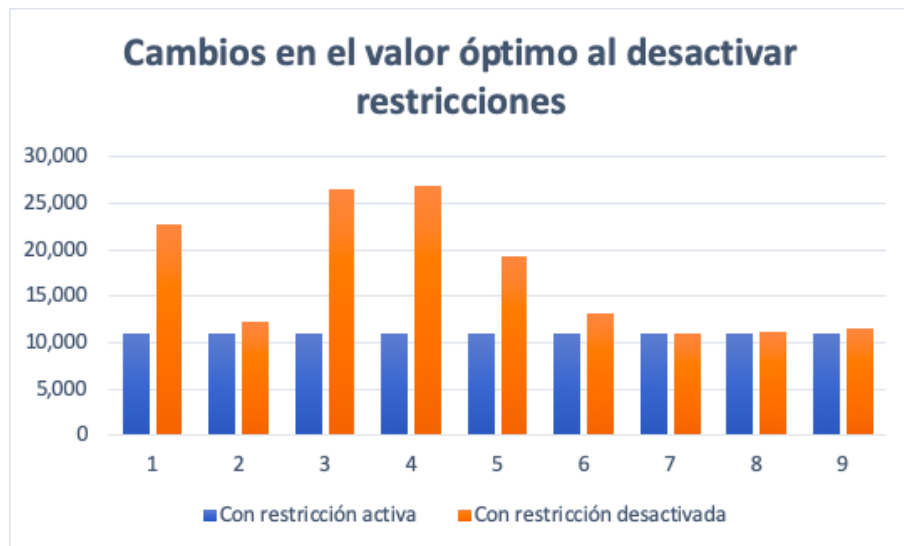


Figura 6: Variación en la función objetivo al desactivar una de las restricciones

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
8:30	Módulo 1	Módulo 7	Módulo 1	Módulo 7	Ayudantía
10:00	Módulo 2	Módulo 8	Módulo 2	Módulo 8	Ayudantía
11:30	Módulo 3	Módulo 9	Módulo 3	Módulo 9	Ayudantía
13:00	Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo
14:00	Módulo 4	Módulo 10	Módulo 4	Módulo 10	Ayudantía
15:30	Módulo 5	Módulo 11	Módulo 5	Módulo 11	Ayudantía
17:00	Módulo 6	Módulo 12	Módulo 6	Módulo 12	Ayudantía
18:30	Ayudantía	Ayudantía	Ayudantía	Ayudantía	Ayudantía
20:00	Ayudantía	Ayudantía	Ayudantía	Ayudantía	Ayudantía

Figura 7: Representación de los módulos enumerados en sus respectivos horarios.