



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
Dirección de Investigación e Innovación
Programa IPre de Investigación en Pregrado

Informe de cierre de investigación

El siguiente informe ha sido desarrollado por la Dirección de Investigación e Innovación de la Escuela de Ingeniería UC para formalizar el proceso de cierre de las actividades de Investigación de Pregrado, enmarcadas dentro del Programa IPre, y tiene los siguientes objetivos:

- 1) Recopilar información sobre las actividades realizadas durante el curso IPre.
- 2) Servir como herramienta de evaluación para el Mentor.
- 3) Guiar al alumno en el proceso de comunicación científica. Para esto, el informe se ha estructurado como una publicación científica

A continuación, se entregan algunas direcciones generales para el uso de esta plantilla:

- Forma de entrega: este informe y la página de autorización **FIRMADA POR EL MENTOR** deberán ser subidas de forma **INDEPENDIENTE** a nuestro sitio web:
<http://forms.investigacion.ing.uc.cl/index.php/191715?lang=es>. Informes sin autorización **NO serán considerados**.
- Plazo de entrega: cierre del semestre siguiente al periodo de inscripción del curso IPre.
Ejemplo: curso IPre inscrito en abril, plazo máximo de entrega hasta el cierre del 2° semestre.
- **El no cumplimiento en la entrega del informe puede impedir la inscripción de cursos IPre en el futuro.**
- Extensión: el informe no debe contener más allá de 2.000 palabras, incluyendo resumen y cuerpo principal del artículo. Leyendas de figuras, bibliografía, autores, afiliaciones y la tabla de información incluida en este archivo no se consideran en la extensión indicada. **Informes que no respeten la extensión máxima no serán considerados.**
- Figuras y tablas: puede incluir un máximo de 3 figuras y/o tablas para comunicar sus resultados. Las figuras y tablas deben incluir una leyenda apropiada para guiar al lector en la comprensión de sus resultados.
- Estructura del escrito: este [Informe](#) está preparado con instrucciones para guiarlo en el uso de sus secciones de acuerdo a criterios estándar para una publicación científica. No altere la estructura indicada. Utilice las secciones y sub-secciones suministradas para facilitar la comprensión de sus resultados. **Procure usar adecuadamente el lenguaje técnico y respetar las reglas de ortografía.**
- Guías para el usuario: este documento incluye un instructivo para el uso apropiado de [referencias](#), preparación de [material gráfico](#) y ecuaciones. Asegúrese de seguir las instrucciones aquí entregadas. **Elimine las secciones de ayuda previo al envío del documento.**

En caso de dudas respecto de este informe, puede contactar al Coordinador del Programa de Investigación en pregrado al correo ipre@ing.puc.cl.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
Dirección de Investigación e Innovación
Programa IPre de Investigación en Pregrado

Ficha de información y autorización de informe¹

Detallar la información solicitada a continuación. Informes con tablas incompletas no serán considerados.

Nombre alumno		Nombre Mentor Responsable	
María de los Ángeles Ortiz		Mathias Klapp – Juan Carlos Muñoz	
Mail alumno		Mail Mentor Responsable	
mdortiz3@uc.cl		maklapp@uc.cl - jcm@ing.puc.cl	
Datos del curso			
Sigla		Sección	
ING700		1	
Periodo inscripción			
Año		Semestre	
2018		2	
Título investigación (como aparece en Gestión IPre)			
Optimización y simulación para la planificación del horario semanal de alumnos a horarios y grupos de curso masivo			
Título del proyecto (puede ser diferente a Gestión IPre)			
Optimización y simulación para la planificación del horario semanal de alumnos a horarios y grupos de curso masivo			
Fecha inicio Investigación		Fecha entrega Informe	
Junio 2018		Enero 2019	
¿Participó más de un alumno IPre en el desarrollo de esta investigación? ¹			
SI		NO	X
Los autores permiten la <u>eventual</u> publicación ² del material contenido en este informe en la Revista I3 de Investigación en pregrado de la Escuela de Ingeniería UC (i3.investigacion.ing.uc.cl).			
SI	X	NO	

¹En caso de que más de un alumno haya participado, es posible enviar un solo informe más extenso para todos los alumnos.

²En caso de ser seleccionado para publicación, se contactará previamente a los autores. La revista no publica contenido no autorizado.

Yo, MATHIAS KLAPP, con fecha 13 de Marzo de 2019, declaro que he leído y aprobado la información contenida en el siguiente documento.

Firma Mentor Principal

¹ Imprima y firme esta página. Suba una copia **por separado** escaneada en PDF al sitio web <http://forms.investigacion.ing.uc.cl/index.php/191715?lang=es>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
Dirección de Investigación e Innovación
Programa IPre de Investigación en Pregrado

Optimización y simulación para la planificación del horario semanal
de alumnos a horarios y grupos de curso masivo

María de los Ángeles Ortiz^a, Mathias Klapp^b, Juan Carlos Muñoz^c

^a *Major de Ingeniería en Transporte y Logística, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile. 4to año,*
mdortiz3@uc.cl

^b *Departamento de Ingeniería en Transporte y Logística, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.*
Profesor Asistente, maklapp@uc.cl

^c *Departamento de Ingeniería en Transporte y Logística, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.*
Profesor Titular, jcm@ing.puc.cl

Resumen

Se propone diseñar grupos de alumnos con restricciones específicas mediante un modelo de optimización. Entre las restricciones se destacan exigencias en cuanto mujeres, estudiantes no pertenecientes a Santiago, estudiantes provenientes de colegios municipales y alumnos que ingresaron mediante vías inclusivas. El objetivo automatizar y objetivar el diseño de grupos mediante un software. Se realizaron dos pilotos con restricciones y objetivo específico, una con el curso SUS1000 y otra con el curso ING1004. En el primer piloto se generaron dieciocho grupos de entre cuatro y cinco alumnos, cada grupo contenía entre dos y tres mujeres, entre dos y tres alumnos de región y entre dos y tres alumnos provenientes de colegio municipal. Se buscó armar grupos con alumnos provenientes de diversas carreras y que cumpliesen las preferencias de asignación de los alumnos. La segunda prueba fue realizada con los alumnos del curso ING1004, en la cual se obtuvieron 120 grupos de entre seis y siete alumnos. En ella fue adicionalmente importante que los alumnos con ciertas características no quedaran solos y tener heterogeneidad de colegios en cada grupo. La planificación resultante fue ejecutada en cada curso el primer semestre 2019.

Palabras clave: Optimización, Gurobi, programación, horarios, asignación.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
Dirección de Investigación e Innovación
Programa IPre de Investigación en Pregrado

1. Introducción

El trabajo grupal es fundamental dentro de las metodologías de un curso, en algunos casos son los alumnos quienes arman los grupos y en otros casos no. En la segunda situación, puede ser importante que los grupos posean alumnos de ciertas competencias específicas (un programador, por ejemplo) o que garanticen inclusión de minorías, por ejemplo, un mínimo de mujeres o alumnos que ingresaron por vía inclusivas a la universidad.

Dos ejemplos de curso masivo que requieren formar grupos así son: “Desafíos de la Ingeniería” (ING1004), que posee 781 alumnos, y “Sustentabilidad” (SUS1000) que no es tan masivo como el primero, pero que se proyecta a ser mínimo de toda carrera en la UC. En este cada grupo debe trabajar un tema durante el semestre de una oferta de 16 temas. Para efectos de asignación de tema, cada alumno debe ordenar temas en orden de preferencia y se busca formar grupos que logren darle a cada alumno un tema de alta preferencia.

El objetivo de esta investigación de pregrado es diseñar un modelo de optimización y luego un software utilizando Python Gurobi que permita planificar un conjunto de grupos de alumnos con las características específicas de cada curso.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
Dirección de Investigación e Innovación
Programa IPre de Investigación en Pregrado

2. Metodología

2.1 Descripción del problema

Sea I el conjunto de alumnos en el curso, donde cada uno tiene un vector r ($r \in R$) de características, estas son: género (r_g^i), tipo de colegio (r_{col}^i), región de la que proviene el alumno ($r_{región}^i$), entre otras características. En el curso se ofrece un conjunto de K temas a ser trabajados y cada alumno debe ser asignado a uno específico. Para ello, cada alumno i en I hace disponible sus preferencias construyendo un ranking personal de los $|K|$ temas.

Cada alumno pertenece a una carrera y cada carrera a un subconjunto de carreras (Clúster) del universo de carreras existentes. Sea $Clúster_i$ el clúster al que pertenece cada alumno i .

En el curso, cada alumno debe ser asignado a dos sesiones semanales: una de cátedra y otra de taller. A cada alumno i se le solicita que indique sus días (al menos dos) y se busca premiar a los alumnos más flexibles respetando de mejor manera sus preferencias. Sea $a_{i,d}$ el parámetro que indica si el alumno i está disponible el día d .

Cada tema k a tratar en el curso debe ser abordado por al menos un grupo l ($l \in L$). La cantidad de alumnos por grupo debe encontrarse entre una cantidad q_{min} y q_{max} de alumnos y se busca que todos los miembros del grupo compartan preferencias por el tema asignado al grupo. Todos los miembros del grupo deben ser asignados al mismo día de taller, pero no necesariamente al mismo día de cátedra.

Para cada alumno, la asignación a la cátedra y al taller debe ser en diferentes días. Se asume que los talleres siempre tratarán los temas de la semana anterior, por lo que no importa cual se realice primero dentro de la semana. En cada día existe una capacidad máxima c_j de alumnos por taller j .

El objetivo es asignarle a cada alumno un día de cátedra, un día de taller y un grupo de tal manera que las preferencias de los alumnos sean respetadas de la mejor forma posible, que los integrantes



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
Dirección de Investigación e Innovación
Programa IPre de Investigación en Pregrado

de cada grupo compartan preferencias por un tema y que los alumnos más flexibles en cuanto a días disponibles vean sus preferencias mejor respetadas.

2.2 Modelo de optimización

2.2.1 Conjuntos

Alumnos: I

Características: R

Días hábiles de la semana: $D \in \{1,2,3,4,5\}$

Grupos: G

Temas: T

2.2.2 Sub conjuntos

Grupos con tema t : $G_t = \{g \in G: \text{tema} = t\}$

Grupos con taller día d : $G_d = \{g \in G: \text{día taller} = d\}$

Grupos con tema t y taller día d : $G_{t,d} = \{g \in G: \text{tema} = t, \text{día taller} = d\}$

2.2.3 Parámetros

q_{\min} = Cantidad mínima de alumnos por grupo

q_{\max} = Cantidad máxima de alumnos por grupo

cantidad_{\min}^r = Cantidad mínima de alumnos con una característica $r \forall r \in R$

cantidad_{\max}^r = Cantidad máxima de alumnos con una característica $r \forall r \in R$

Colegio_i = colegio del que viene el alumno $i \forall i \in I$

Clúster_i = clúster de carreras al que pertenece el alumno $i \forall i \in I$

C_d = Capacidad día $d \forall d \in D$

n_{grupos} = número de grupos que se espera tener

$a_{i,d} = 1$ si el alumno i tiene disponible el día d , 0 en otro caso $\forall i \in I$

$r_i^R = 1$ si el alumno i posee la característica r , 0 en otro caso $\forall i \in I, \forall r \in R$

n_i = disponibilidad total que tiene el alumno $i \forall i \in I$



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
Dirección de Investigación e Innovación
Programa IPre de Investigación en Pregrado

$$n_i = \sum_{d \in D} a_{i,d} \quad \forall i \in I$$

2.2.4 Variables

$X_{id} = 1$ si el alumno i es asignado a la cátedra el día d , 0 en otro caso $\forall d \in D, \forall i \in I$

$Y_{ig} = 1$ si el alumno i es asignado al grupo g , 0 en otro caso $\forall i \in I, \forall g \in G$

$W_g = 1$ si el grupo g se encuentra activo $\forall g \in G$

$Z_i =$ prioridad en la que queda el alumno $i \quad \forall i \in I$

$$Z_i = \sum_{g \in G} Y_{i,g} * P_{i,g}$$

$Z_{\max} =$ prioridad del alumno que queda en la peor situación ($Z_i \leq Z_{\max}$)

$V_g =$ Variable que permite flexibilidad en las restricciones relacionadas a la cantidad de alumnos por clúster en cada grupo $\forall g \in G$

2.2.5 Función Objetivo

$$\text{Min} \sum_{i \in I} n_i * Z_i + 100 * \sum_{g \in G} V_g + 10000 * Z_{\max} \quad (1)$$

2.2.6 Restricciones

Cantidad de grupos

$$\sum_{g \in G} W_g \leq n_{\text{grupos}} \quad (2)$$

Antisimetría

$$\sum_{i \in I} Y_{i,g} \geq Y_{i,g} \quad \forall d \in D, \forall t \in T, \forall g \in G_{t,d}, \forall j \in G_{t,d} : g < j \quad (3)$$

Capacidad por días

$$\sum_{i \in I} \sum_{g \in G} Y_{i,g} \leq c_d \quad \forall d \in D \quad (4)$$



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
Dirección de Investigación e Innovación
Programa IPre de Investigación en Pregrado

Asignaciones

$$\sum_{d \in D} X_{i,d} = 1 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{g \in G} Y_{i,g} = 1 \quad \forall i \in I \quad (6)$$

Activación de W

$$W_g \geq Y_{i,g} \quad \forall i \in I, \forall g \in G \quad (7)$$

Asignación de talleres y cátedras

$$\sum_{g \in G_d} Y_{i,g} + X_{i,d} \leq a_{i,d} \quad \forall i \in I, \forall d \in D \quad (8)$$

Cantidad de alumnos por grupo

$$q_{\min} * W_g \leq \sum_{i \in I} Y_{i,g} \leq q_{\max} * W_g \quad \forall g \in G \quad (9)$$

Cantidad de alumnos con un atributo r por grupo

$$cantidad_{\min}^r * W_g \leq \sum_{i \in I} Y_{i,g} * r_i^r \leq cantidad_{\max}^r * W_g \quad \forall g \in G, \forall r \in R \quad (10)$$

Cada grupo tiene un alumno de cada clúster

$$Lim_{\inf}^c * W_g \leq \sum_{i \in I} Y_{i,g} * cluster_i \leq Lim_{\sup}^c * W_g \quad \forall g \in G, \forall c \in Clusters \quad (11)$$

Naturaleza de las variables

$$\begin{aligned} X_{i,d}, Y_{i,g} &\in \{0,1\} \forall i \in I, \forall d \in D, \forall g \in G \\ Z_i &\geq 0 \forall i \in I \\ W_g &\geq 0 \forall g \in G \\ Z_{\max} &\geq 0 \\ V_g &\geq 0 \forall g \in G \end{aligned} \quad (12)$$



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
Dirección de Investigación e Innovación
Programa IPre de Investigación en Pregrado

2.3 Adaptación realizada para ING1004

Para el curso ING1004 existe un único tema. Sin embargo, inicialmente los alumnos tienen una sección inicial a la cual pertenecen, es por esto que se simula que la sección a la cual pertenecen inicialmente es equivalente a la oferta de temas en el caso anterior de modo que la sección a la que pertenecen es su preferencia inicial.

Dado que en este curso todas las secciones se realizan en el mismo horario, no es necesario que los estudiantes indiquen su disponibilidad semanal, para adaptar el modelo de optimización a las necesidades del curso, se asume que todos los estudiantes tienen una misma disponibilidad semanal.

Respecto a los requerimientos, se debió modificar las restricciones relacionadas a las características, dado que existía disyunción, es decir, por cada atributo, podía haber cero, dos o tres alumnos ya que, era importante que no quedara un único alumno con cada uno de los atributos en un grupo.

Para la modelación de esta adaptación fue necesario agregar las siguientes variables.

Q_g^r = número de alumnos con la característica r en el grupo $\forall r \in R, \forall g \in G$

$$Q_g^r = \sum_{i \in I} Y_{i,g} * r_i^r$$

$P_g^r = 1$ si hay cero alumnos con la característica en el grupo $\forall r \in R, \forall g \in G$

$$F_g^r = F_g^r \geq Q_g^r - \text{cantidad}_{\min}^r \quad \forall r \in R, \forall g \in G$$

De esta manera se tiene que las restricciones disjuntas serán:

Cantidad mínima y máxima de alumnos con atributo r en cada grupo

$$\text{cantidad}_{\min}^r * W_g - \text{cantidad}_{\min}^r * P_g^r \leq Q_g^r \quad \forall g \in G, \forall r \in R \quad (13)$$

$$Q_g^r \leq \text{cantidad}_{\max}^r * (1 - P_g^r) \quad \forall g \in G, \forall r \in R \quad (14)$$

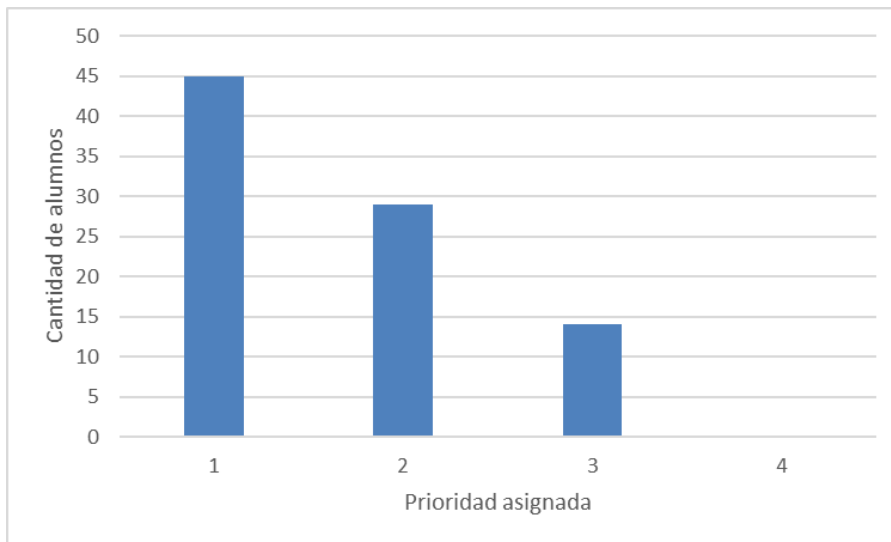


PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
Dirección de Investigación e Innovación
Programa IPre de Investigación en Pregrado

3. Resultados y discusión

En el piloto realizado con el curso SUS1000 se obtuvo una asignación de grupos satisfactoria. La solución se ejecutó en un tiempo relativamente corto donde se alcanzó un gap menor a un 1%. La preferencia de los alumnos por los temas fue respetada, esta tuvo un promedio de 1,65 y una varianza de 0,55. La mejor prioridad asignada fue la prioridad uno, mientras que la peor prioridad asignada fue la prioridad tres.

Gráfico 1: “Cantidad de alumnos versus prioridad asignada”



En el piloto realizado con el curso ING1004 se obtuvieron resultados satisfactorios, se formaron 120 grupos en total y estos fueron conformados entre seis y siete alumnos, y se lograron cumplir todos los requerimientos especificados donde se obtuvo un gap de 7,53%. A pesar, de la existencia de este gap, este no es relevante en la solución final dado que se obtuvo, como se menciona anteriormente, un resultado satisfactorio.

Actualmente, la asignación del curso ING1004 es realizada por una única persona, la cual puede estar varios días realizando dicha asignación y resultando también en el cambio de sección de casi cien alumnos. Con la investigación realizada, la solución se ejecutó en un tiempo de tres horas



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
Dirección de Investigación e Innovación
Programa IPre de Investigación en Pregrado

aproximadamente y solo significó también el cambio de un alumno de sección. Todo esto implica un gran ahorro de tiempo para el tomador de decisiones.

4. Conclusiones

Para concluir, en ambos pilotos se obtuvieron los resultados esperados, donde los grupos formados cumplieron con los requerimientos de cada curso. En el curso SUS1000 la prioridad del tema que se debió trabajar en cada grupo fue de 1,6.

Mientras que en el curso ING1004, se debió realizar una adaptación del problema de optimización, donde las restricciones referidas a los atributos de los alumnos fueron sustituidas por restricciones disjuntas. se formaron 120 grupos de entre seis y siete alumnos, además de los 781 alumnos, tan solo un estudiante no se mantuvo en su sección original.

Por lo tanto, se cumplió el objetivo de la investigación de pregrado, ya que se logró diseñar un modelo de optimización y posteriormente un software para asignar grupos en cursos masivos como ING1004 en el cual se respetaron los requerimientos especiales para la formación de grupos. También se logró respetar las preferencias de los alumnos de una oferta de temas en el curso SUS1000 y de igual manera se respetaron las restricciones del curso. Es por esto que las soluciones obtenidas fueron utilizadas en ambos casos para la asignación de grupos.

Agradecimientos

Quiero agradecer el apoyo a mis profesores Mathias Klapp y Juan Carlos Muñoz por motivarme a seguir, a aprender y por darme esta maravillosa oportunidad de participar. También a mis amigos Pablo y Gustavo que me apoyaron en la parte de programación.