



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

Informe 2

Optimización del sistema de admisión escolar de enseñanza media en Chile

Grupo 88

Michel Antonio Barrueto Gutiérrez 23647345 sección 4
Vicente Javier Ibacache Cortés 21640785 sección 1
Paulette Soraya Jara Moya 23647256 sección 4
Agustín Ramírez Acuña 2164196J sección 4
Antonia Tubino Dowding 21642370 sección 4

Fecha entrega: 8 del 05 de 2024

Índice

1. Descripción del problema	3
1.1. Contexto	3
1.2. Impacto	3
1.3. Objetivo del modelo	4
1.4. Enunciado	5
1.5. Supuestos	5
2. Modelación	5
2.1. Conjuntos	5
2.2. Parámetros	5
2.3. Variables	6
2.4. Restricciones	7
2.5. Función objetivo	8
2.6. Naturaleza de las variables	8
3. Definición de datos	9
3.1. Definición de xxx	9
4. Resultados	9
4.1. Resultados obtenidos	9
4.2. Validación de factibilidad y optimalidad	9
4.3. Valoración cuantitativa	9
5. Bibliografía	10

1. Descripción del problema

1.1. Contexto

En el año 2014 se promulgó la ley de inclusión escolar. Esta ley tiene diversos principios, entre ellos la no discriminación arbitraria, que implica la inclusión e integración en los establecimientos educacionales (Ministerio de Educación, s.f.) [5]. Las implicancias de la ley fueron bastantes y entre ellas se destaca el fin de la selección escolar en colegios públicos y particulares subvencionados. El sistema fue reemplazado con uno que asigna las vacantes, en su mayoría, de forma aleatoria (Ministerio de Educación, 2024) [6]. Este sistema de admisión desconoce el esfuerzo de las familias y estudiantes para acceder a establecimientos educacionales de calidad al no considerar como factor principal de selección el mérito del estudiante. Además, este sistema perjudicó a los liceos emblemáticos y a la educación pública en general, empeorando su rendimiento en las pruebas de admisión a la universidad (Silva, D., 2024) [8]. Es necesario crear un nuevo sistema de selección escolar que premie a los alumnos que más se esfuerzan, permitiéndoles que ingresen a un establecimiento por su mérito y no por el azar.

La admisión estudiantil en colegios públicos y particulares subvencionados presenta un conflicto evidente debido al proceso del Sistema de Admisión Estudiantil (SAE). Este sistema, obligatorio para todo estudiante que desee cambiarse o ingrese por primera vez a un establecimiento educacional público o subvencionado, se lleva a cabo a través de una página web. Los criterios actuales de prioridad del SAE incluyen (Gobierno de Chile, 2023) [3]:

- Tener hermanos matriculados en el establecimiento educacional.
- Calidad de alumno prioritario (hasta completar un 15 % de los cupos).
- Hijos de funcionarios del establecimiento.
- Exalumnos no expulsados.

Estos criterios resultan ineficientes y no fomentan la mejora de los establecimientos educacionales ni el desarrollo de un ambiente estudiantil más favorable. Ninguno de estos criterios considera las cualidades académicas de los estudiantes, que reflejan el esfuerzo tanto del alumno como de su familia. Esta falta de reconocimiento puede desalentar el impulso por mejorar la excelencia académica y dificultar el acceso equitativo a oportunidades educativas en el futuro. No se trata de eliminar los criterios ya establecidos, sino de implementar otros criterios que reconozcan el esfuerzo de los estudiantes y contribuyan a la mejora de la calidad educacional de los establecimientos.

En este informe se propone un modelo de optimización para el sistema de selección escolar que sea equitativo y justo. Se espera que el modelo pueda ser aplicado a nivel nacional para el proceso de admisión 2027. Se estima este año debido a que el proceso debe pasar por una serie de revisiones y tendría que ser aprobado por el Ministerio de Educación, además de que éste último deberá aplicar las modificaciones que estime convenientes. Creemos que es recomendable una aplicación progresiva del modelo, debido a los supuestos en los que se basa éste.

1.2. Impacto

Este es un tema relevante que necesita ser abordado, ya que reconocer los esfuerzos de los estudiantes y sus familias puede elevar significativamente la motivación para alcanzar mayores logros académicos. Estudios sobre la relación entre la motivación y el rendimiento académico indican que uno de los principales objetivos del reconocimiento es fomentar la seguridad y la autoconfianza al motivar a las personas para aplicar nuevos conocimientos adquiridos (Flores, B., et al., 2014) [2]. Esta motivación personal puede verse reflejada en el rendimiento académico y en la capacidad para

resolver situaciones que enfrenten los estudiantes.

Por otro lado, este impulso hacia la excelencia académica tiene beneficios a largo plazo, ya que un mejor rendimiento académico facilita el acceso a la educación superior, promoviendo así la equidad al ofrecer oportunidades más amplias para todos. Según un estudio realizado en la Universidad de Los Andes, existe una asociación entre los puntajes de la Prueba de Selección Universitaria (PSU), las notas de enseñanza media y el rendimiento académico en la asignatura de Morfología durante el primer año de estudiantes de Odontología. El estudio sugiere que "(...) los alumnos con mejores puntajes de notas de enseñanza media tienen mejores hábitos de estudio, lo que explicaría esta asociación. La mayor correlación se observa entre los puntajes de la PSU y las notas de enseñanza media" (Grob, M., et al., 2015) [4].

Al valorar el mérito académico en el proceso de admisión escolar, se puede promover un impacto positivo en la calidad educativa de Chile. La mejora de los estándares de excelencia puede motivar a los estudiantes a esforzarse por alcanzar mayores niveles de calidad, desencadenando un ciclo virtuoso de mejora continua en el sistema educativo, que beneficiaría a todos los estudiantes y fortalecería el desarrollo del país. Este enfoque se puede observar en países con sistemas educativos más avanzados, como Singapur, que se destaca por su enfoque en la excelencia académica.

El Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA, por sus siglas en inglés), dirigido por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, analiza el rendimiento académico de estudiantes de 15 años en diversas competencias mediante pruebas estandarizadas que se aplican cada tres años. Los resultados de 2015 posicionaron a Singapur en el primer puesto de la lista, obteniendo 63 puntos más que el promedio (OCDE, 2016) [7]. Esto sugiere la posibilidad de mejorar el sistema educativo chileno al aplicar métodos similares.

Finalmente, con el tiempo, este enfoque también podría fortalecer la confianza en el sistema educacional por parte de los estudiantes y la ciudadanía en general. Esto podría traducirse en un mayor compromiso e inversión en la educación, contribuyendo así al progreso educacional y al bienestar de la sociedad.

1.3. Objetivo del modelo

Tomando en cuenta el contexto e impacto enunciados en los incisos anteriores, se formulará un modelo matemático cuyo fin sea asignar alumnos a los establecimientos de educación media con capacidades similares a la educación que se imparte. Lo anterior se hará considerando los criterios de prioridad actuales del SAE, además de factores sociales relevantes al problema.

Para llevar a cabo el proceso es necesario recopilar información mínima sobre los alumnos y establecimientos educacionales que participan en el proceso de admisión. En primer lugar, se reconoce que el año 2023 la cantidad de estudiantes matriculados en enseñanza media fue de 725.933 (Centro de Estudios Mineduc CEM, 2023) [1]. En base a dicha cifra se simulará la cantidad de estudiantes que buscan matricularse. A su vez, se deberá formular una lista a partir de esta cantidad de alumnos que contenga información acerca de los establecimientos a los que postuló, su situación económica, si reside en la misma comuna en la que se ubica el establecimiento al que postuló, si tiene alguna discapacidad, su concentración de notas, si cuenta con hermanos que son alumnos en el establecimiento al que postuló, si es hijo de algún funcionario y si el estudiante es exalumno y desea volver al establecimiento sin que haya sido expulsado. Por otra parte, de los establecimientos se requerirá conocer las vacantes de admisión disponibles, el ranking PAES, y por último, si son aptos para recibir alumnos con determinada discapacidad. Por último, es necesario conocer el promedio de los ingresos de los residentes de la comuna en la que se ubica el establecimiento.

El modelo está formulado de manera tal que sea manipulado por el Ministerio de Educación,

entidad que tiene acceso a la mayoría de los datos que conciernen el modelo. En el intertanto, estos datos serán simulados a partir del modelo de distribución que encaje mejor con el parámetro en cuestión.

1.4. Enunciado

En Chile existe una creciente necesidad por mejorar el sistema de admisión a la educación media, más aún tomando en cuenta que el año 2024 se registraron 3.000 estudiantes sin matrícula (Vera, D., 2024) [9]. Por esta razón se diseñó un modelo que asigna un valor de puntuación al estudiante i con respecto al establecimiento educacional j . Se busca minimizar la diferencia entre la puntuación del estudiante y el ranking del colegio, para que cada alumno quede en un colegio similar a sus capacidades y que la asignación de vacantes no sea solo al azar.

La puntuación de cada estudiante i está compuesta por la ponderación de su concentración de notas A_i , su situación económica F_i , si el estudiante cuenta con hermanos alumnos del establecimiento j $D_{i,j}$, si el estudiante es hijo de funcionario $E_{i,j}$, si el estudiante es una persona en situación de discapacidad, desde ahora en más PESD, K_i , si el estudiante reside en la comuna donde se ubica el establecimiento j $I_{i,j}$, si el estudiante tiene una situación económica inferior al promedio de la comuna en la que vive $J_{i,j}$ y si el alumno desea volver al establecimiento j $M_{i,j}$. En caso de que el estudiante no haya postulado al establecimiento j , su puntuación será cero, dado que $M_{i,j}$ será cero.

Por otra parte, la puntuación de cada establecimiento j estará compuesta por la ponderación del ranking PAES de éste establecimiento B_j .

1.5. Supuestos

A modo de que el modelo funcione correctamente, se implementarán los siguientes supuestos:

- Existen suficientes establecimientos educacionales para la demanda de admisión a enseñanza media, es decir, ningún postulante se quedará sin vacantes.
- Por simplicidad, se asume que la puntuación de estudiantes postulando a un mismo establecimiento nunca podrá tener el mismo valor.

2. Modelación

2.1. Conjuntos

- i : estudiante postulante $i \in \{1, \dots, I\}$
- j : establecimiento educativo $j \in \{1, \dots, J\}$

2.2. Parámetros

- A_i : concentración de notas del estudiante $i \in \{1, \dots, I\}$
- B_j : ranking del establecimiento $j \in \{1, \dots, J\}$
- C_j : capacidad total del establecimiento $j \in \{1, \dots, J\}$
- $D_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{Si el estudiante } i \in \{1, \dots, I\} \text{ tiene hermanos que son alumnos del} \\ & \text{establecimiento } j \in \{1, \dots, J\} \\ 0, & \text{e.o.c.} \end{cases}$

- $E_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{Si el estudiante } i \in \{1, \dots, I\} \text{ es hijo de un funcionario del establecimiento} \\ & j \in \{1, \dots, J\} \\ 0, & \text{e.o.c.} \end{cases}$
- $F_i = \begin{cases} 1, & \text{Si el estudiante } i \in \{1, \dots, I\} \text{ es PESD} \\ 0, & \text{e.o.c.} \end{cases}$
- $H_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{Si el estudiante } i \in \{1, \dots, I\} \text{ postuló al establecimiento } j \in \{1, \dots, J\} \\ 0, & \text{e.o.c.} \end{cases}$
- $I_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{Si el estudiante } i \in \{1, \dots, I\} \text{ reside en la misma comuna en que se ubica el} \\ & \text{establecimiento } j \in \{1, \dots, J\} \\ 0, & \text{e.o.c.} \end{cases}$
- $J_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{Si el estudiante } i \in \{1, \dots, I\} \text{ tiene una situación económica inferior al} \\ & \text{promedio de habitantes de la comuna donde se ubica el establecimiento} \\ & j \in \{1, \dots, J\} \\ 0, & \text{e.o.c.} \end{cases}$
- $K_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{Si el estudiante } i \in \{1, \dots, I\} \text{ decide volver al establecimiento } j \in \{1, \dots, J\} \\ & \text{sin que este haya sido expulsado} \\ 0, & \text{e.o.c.} \end{cases}$
- α : ponderación de notas
- β : ponderación de hijo de funcionario
- γ : ponderación de hermanos en el mismo establecimiento
- δ : ponderación de situación económica inferior
- ϵ : ponderación de estudiante en la misma comuna que un establecimiento
- ζ : ponderación de estudiante que desea volver a un establecimiento sin que este haya sido expulsado
- η : ponderación de estudiante que es PESD
- $P_{i,j}$: Parámetro auxiliar que permite obtener la puntuación del estudiante $i \in \{1, \dots, I\}$ con respecto al establecimiento $j \in \{1, \dots, J\}$

Al ser $P_{i,j}$ una combinación lineal de parámetros, esta sigue siendo un parámetro y su función es únicamente simplificar la notación del problema.

2.3. Variables

- $X_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{Si se le entrega una vacante al estudiante } i \in \{1, \dots, I\} \text{ en el establecimiento} \\ & j \in \{1, \dots, J\} \\ 0, & \text{e.o.c.} \end{cases}$
- Y_j : Cantidad de vacantes ocupadas en el establecimiento $j \in \{1, \dots, J\}$
- Z_j : Cantidad de estudiantes prioritarios en el establecimiento $j \in \{1, \dots, J\}$.
- $\Omega_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{Si } P_{i,j} \text{ es mayor o igual que } B_j \\ 0, & \text{e.o.c.} \end{cases}$

- $\Phi_{i,j}$: Variable auxiliar que entrega la diferencia absoluta del puntaje del estudiante $i \in \{1, \dots, I\}$ en el establecimiento $j \in \{1, \dots, J\}$, $P_{i,j}$, y el ranking del establecimiento $j \in \{1, \dots, J\}$, B_j .
- $\Psi_{i,j}$: Variable auxiliar que permite mantener la linealidad de la función objetivo.

2.4. Restricciones

- En primer lugar, es necesario obtener la cantidad de alumnos admitidos en cada establecimiento. Para esto, se plantea la siguiente restricción:

$$Y_j = \sum_{i=1}^I X_{i,j} \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (1)$$

- Luego, es necesario limitar esta cantidad de alumnos por el número de vacantes disponibles en cada establecimiento:

$$Y_j \leq C_j \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (2)$$

- Se debe crear una restricción que asegure que cada estudiante que postula quede en exactamente un colegio:

$$\sum_{j=1}^J X_{i,j} = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, I\} \quad (3)$$

- También, hay que contabilizar la cantidad de alumnos con prioridad por ser PESD que son aceptados en cada establecimiento:

$$Z_j = \sum_{i=1}^I X_{i,j} * K_{i,j} \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (4)$$

- La restricción anterior permite limitar la cantidad mínima de alumnos PESD que posee cada establecimiento, respetando la normativa de la siguiente manera:

$$Z_j \geq C_j * 0,15 \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (5)$$

- Por otra parte, se define el parametro auxiliar $P_{i,j}$, el cual toma en consideración los distintos factores que influyen en la postulación de cada estudiante para un establecimiento en específico:

$$P_{i,j} = (\alpha * A_i + (B_j - A_i) * (\beta * E_{i,j} + \gamma * D_{i,j} + \delta * J_{i,j} + \epsilon * I_{i,j} + \zeta * K_{i,j} + \eta * F_i)) * H_{i,j} \quad (6)$$

$$\forall i \in \{1, \dots, I\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, J\}$$

- También, se asigna el valor de la variable auxiliar $\Phi_{i,j}$, el cual se encarga de determinar el valor absoluto entre la diferencia de $P_{i,j}$ y B_j haciendo uso de la variable binaria $\Omega_{i,j}$:

$$\Phi_{i,j} = \Omega_{i,j}(P_{i,j} - B_j) + (1 - \Omega_{i,j})(B_j - P_{i,j}) \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (7)$$

El modelo busca minimizar la suma de $\Phi_{i,j}$ para cada estudiante de todos los colegios:

$$\min \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \Phi_{i,j} * X_{i,j} \quad (8)$$

Sin embargo, esta función objetivo no es lineal, por lo que se introduce la variable auxiliar $\Psi_{i,j}$ para mantener la linealidad del problema, la cual está sujeta a las siguientes restricciones:

- $\Psi_{i,j}$ no puede exceder el valor de $\Phi_{i,j}$:

$$\Psi_{i,j} \leq \Phi_{i,j} \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (9)$$

- $\Psi_{i,j}$ No puede exceder el valor de $M * X_{i,j}$, con M un valor constante lo suficientemente grande:

$$\Psi_{i,j} \leq M * X_{i,j} \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (10)$$

- Por último, $\Psi_{i,j}$ debe ser al menos igual a la siguiente expresión $\Phi_{i,j} - (1 - M) * X_{i,j}$:

$$\Psi_{i,j} \leq \Phi_{i,j} - (1 - M) * X_{i,j} \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (11)$$

Estas últimas 3 restricciones en conjunto fuerzan a que $\Psi_{i,j}$ tome el valor de $\Phi_{i,j}$ si $X_{i,j}$ es igual a 1 y que tome el valor de 0 si $X_{i,j}$ es 0. De esta manera se obtiene el mismo resultado que $\Phi_{i,j} * X_{i,j}$, pero sin perder la linealidad.

(Como $\Phi_{i,j}$ toma valores desde 1 hasta 1000, un valor aceptable para M , que cumple con los requisitos, podría ser 5000)

2.5. Función objetivo

$$\min \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \Psi_{i,j} \quad (12)$$

De este modo, se minimiza la suma de las diferencias absolutas entre las puntuaciones de los estudiantes $P_{i,j}$ y los rankings PAES de los colegios en los que serán aceptados B_j , lo que implica que los estudiantes tendrán una mayor posibilidad de obtener una vacante en los colegios acordes a sus preferencias y/o capacidades.

2.6. Naturaleza de las variables

$$X_{i,j} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}, \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (13)$$

$$Y_j \geq 0 \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (14)$$

$$Z_j \geq 0 \quad \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (15)$$

$$\Omega_{i,j} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \{1, \dots, I\} \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (16)$$

$$\Phi_{i,j} \geq 0 \quad \forall i \in \{1, \dots, I\} \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (17)$$

$$\Psi_{i,j} \geq 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, I\} \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (18)$$

$$1000 \geq \Psi_{i,j} \quad \forall i \in \{1, \dots, I\} \forall j \in \{1, \dots, J\} \quad (19)$$

3. Definición de datos

3.1. Definición de xxx

4. Resultados

4.1. Resultados obtenidos

4.2. Validación de factibilidad y optimalidad

4.3. Valoración cuantitativa

5. Bibliografía

- [1] Centro de Estudios Mineduc, CEM. (2023). *Matrícula oficial 2023: Análisis de base matrícula por estudiante*. Centro de Estudios Mineduc, CEM. https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/19640/APUNTES%2034_2023_fd01.pdf?isAllowed=y&sequence=1
- [2] Flores, B., Beltrán, N., Guillén, D. (2014). Reconocimiento y motivación en el aula: resaltando las fortalezas de los estudiantes. *CuidArte “El Arte del Cuidado”*, 3(6), 23. <https://www.medigraphic.com/pdfs/cuidarte/cui-2014/cui146d.pdf>
- [3] Gobierno de Chile. (2023). *¿Qué es el Sistema de Admisión Escolar (SAE) y cómo funciona?* Gob.cl. <https://www.gob.cl/noticias/sistema-admision-escolar-que-es-como-funciona-fechas-orden-p>
- [4] Grob, M., Becerra, D., et al. (2015). Relación entre Puntaje de Prueba de Selección Universitaria y Nota Enseñanza Media, y el Rendimiento Académico de la Asignatura de Morfología en Alumnos de Primer Año de Odontología de la Universidad de Los Andes. *International Journal of Morphology*, 33(2), 527-531. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022015000200019>
- [5] Ministerio de Educación. (s.f.). *Ley inclusión*. Ministerio de Educación. <https://leyinclusion.mineduc.cl/ley-de-inclusion/>
- [6] Ministerio de Educación. (2024). *Sistema de admisión escolar*. Ministerio de Educación. <https://www.sistemadeadmisionescolar.cl/como-funciona.html>
- [7] OECD. (2016), PISA 2015 Results (Volume I). *Excellence and Equity in Education*, 1(2), 67. <https://doi.org/10.1787/9789264266490-en>
- [8] Silva, D. (2024). *PAES: los 100 colegios que consiguieron los mejores resultados*. La Tercera. <https://www.latercera.com/nacional/noticia/paes-los-100-colegios-que-consiguieron-los-mejores-resultados/352J4SHSCBFRJPAPGOOHM40LEQ/>
- [9] Vera, D. (2024). *Mineduc desestima que 3.000 estudiantes estén sin matrícula y dice que aún falta sistematizar cifras*. Biobío Chile. <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/chile/2024/03/14/mineduc-desestima-que-3-000-estudiantes-esten-sin-matricula-y-dice-que-aun-falta-sistematizar-cifras>