

---

# PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA PARA SELECCIONAR LOS ASPIRANTES A UN MAGÍSTER CON CRITERIOS DE EQUIDAD REGIONAL, SOCIO-ECONÓMICA Y DE GÉNERO

---

GUILLERMO DURÁN\*  
RODRIGO WOLF YADLIN\*

## Resumen

*El Magíster en Gestión para la Globalización es un nuevo programa de posgrado surgido a través de una alianza entre el Departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y la empresa Minera Escondida. Este Magíster tiene como objetivo contribuir a los desafíos de capital humano y social que enfrenta Chile en esta etapa de su desarrollo, con la formación de excelencia de jóvenes profesionales. En el presente trabajo, mostramos cómo se utilizaron modelos de programación matemática para seleccionar los aspirantes a ingresar a dicho Magíster, utilizando criterios de equidad regional, socio-económicos y de género. La utilización de dichos modelos permite encontrar soluciones robustas en pocos minutos, lo que sería prácticamente imposible de hacer mediante métodos manuales.*

**Palabras Clave:** Equidad, Programación Entera, Selección Robusta .

---

\*Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

---

## 1. Introducción

---

El Magíster en Gestión para la Globalización es un programa creado en 2007 y tiene como fin la formación de excelencia de jóvenes profesionales para el país. Este programa de posgrado se realiza a través de una alianza entre el departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y la empresa Minera Escondida.

El programa tiene por objetivo contribuir a los desafíos de capital humano y social que enfrenta Chile en esta etapa de su desarrollo, con la formación de jóvenes profesionales provenientes del amplio espectro socioeconómico chileno, en condiciones de desempeñarse eficazmente en la empresa globalizada. Una de las características más importantes del Magíster es que todos los participantes pueden cursar sus estudios en el programa becados por la empresa Minera Escondida. Sin embargo, para poder postular al Magíster hay que cumplir con una serie de requisitos relacionados a la edad del postulante, duración de sus estudios superiores, años de experiencia laboral y su historia académica.

La dirección del Magíster decidió que el número de postulantes a ser aceptados en la primer promoción sería de 53. Asimismo, con el objetivo de aplicar criterios de equidad regional, socio-económica y de género, definió que al menos un 30 % deberían ser mujeres, un 60 % provenir de regiones y un 80 % pertenecer a los cuatro quintiles económicos distintos al superior. Los postulantes que cumplen los requisitos mínimos pasan a una primera etapa del proceso de selección (en este caso fueron más de 600). Además, se le asigna a cada postulante un puntaje, el cual se obtiene en base a sus antecedentes académicos y laborales. De este primer grupo, de acuerdo a su puntaje, 500 personas pasan a la segunda etapa. En dicha etapa deben rendir una serie de pruebas de distintas áreas de conocimiento y someterse a una evaluación psicométrica. El resultado de las pruebas antes mencionadas, más el puntaje que traen de la etapa anterior, se usa para generar un nuevo puntaje. A continuación, 150 personas pasan a la etapa número tres. En ella los postulantes son sometidos a una evaluación psicológica y los que pasan esta prueba, que es eliminatoria, forman el grupo final. De esta forma todo queda listo para elegir a los 53 alumnos del Magíster en Gestión para la Globalización y los 20 postulantes que quedaran en lista de espera en caso de que alguno de los seleccionados desista de participar del programa. Cabe acotar que 87 postulantes de los 150 (un 58 %) pudieron aprobar la evaluación psicológica e integrarse al grupo final de candidatos.

La forma de calcular los puntajes y las condiciones mínimas que deben satisfacer los postulantes para ingresar en la primer etapa del proceso son es-

tablecidas por los organizadores del Magíster y no serán discutidas en este artículo. Lo que nos interesa discutir es cómo, dadas esas condiciones, seleccionamos a los alumnos, teniendo en cuenta que este programa desea tener a los estudiantes con el perfil más adecuado, pero, como ya expresamos, también desea que las ventajas que unas personas puedan tener sobre otras debido al medio en el que nacieron o su género, no sean determinantes en la elección. Los requisitos para definir si un postulante es de los quintiles inferiores o de regiones también son definidos por los organizadores. Cabe destacar que a lo largo de todo el proceso se trabajó con dos definiciones distintas de quintil, decidiendo recién a último momento la Dirección del Magíster con cuál de ellas se quedaban.

El objetivo de este trabajo es mostrar como se utilizaron modelos de optimización lineal entera para seleccionar a los aspirantes que más se adecúan al perfil fijado por el Magíster, bajo la restricción de cumplir con los cupos propuestos. Se pretende conseguir una solución final robusta, en el sentido de que la misma no cambie demasiado ante pequeñas variaciones de los criterios. Cabe destacar que realizar todo este proceso en forma manual en muy corto tiempo hubiera sido prácticamente imposible, y de ahí la importancia del uso de modelos de programación matemática. Algunas de las ideas aquí utilizadas son tomadas de [1]. En la sección 2 se describen en detalle los modelos matemáticos utilizados. En la sección 3 se muestra el funcionamiento del algoritmo que los combina. En la sección 4 se presentan los resultados, mientras que en la última sección se dan algunas conclusiones del trabajo. Queda como anexo una aplicación particular del algoritmo que combina los resultados de los modelos.

---

## 2. Los modelos matemáticos

---

Los modelos desarrollados son tres y cada uno brinda un criterio distinto de selección. A continuación explicamos las restricciones comunes y luego los elementos particulares de cada modelo.

### Restricciones Comunes

Supondremos que  $N$  es el número de personas que se desea seleccionar,  $K$  es un conjunto que incluye a todos los postulantes,  $M$  es un conjunto que agrupa a todas las mujeres que postulan,  $R$  es un conjunto que posee a todos los candidatos que son de regiones y  $Q$  es el conjunto cuyos miembros son los postulantes de los primeros cuatro quintiles que postulan al Magíster. En tanto,  $p_i$  es el puntaje del postulante  $i$  (sin pérdida de generalidad podemos suponer que los puntajes están ordenados de mayor a menor). Luego todos los

modelos poseen la siguiente variable de decisión y restricciones.

### Variables de Decisión

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{si el participante } i \text{ es seleccionado} \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

### Restricciones

1. El número de candidatos a ser seleccionados está prefijado por los organizadores del Magíster.

$$\sum_{i \in K} X_i = N \quad (1)$$

2. Al menos un 30 % de los seleccionados deben ser mujeres.

$$\sum_{i \in M} X_i \geq \frac{30}{100} \cdot N \quad (2)$$

3. Al menos un 60 % de los seleccionados debe ser de regiones.

$$\sum_{i \in R} X_i \geq \frac{60}{100} \cdot N \quad (3)$$

4. Al menos un 80 % de los seleccionados debe pertenecer a los cuatro primeros quintiles.

$$\sum_{i \in Q} X_i \geq \frac{80}{100} \cdot N \quad (4)$$

A continuación se describen las funciones objetivo de cada modelo, además de las restricciones adicionales propias de cada uno si es que las posee.

## 2.1. Modelo 1

El objetivo es maximizar la sumatoria de los puntajes de quienes son seleccionados.

### Función Objetivo

$$\text{máx} \sum_{i \in K} X_i \cdot p_i \quad (5)$$

## 2.2. Modelo 2

El objetivo es minimizar la sumatoria de los rankings de quienes son seleccionados.

### Función Objetivo

$$\min \sum_{i \in K} i \cdot X_i \quad (6)$$

## 2.3. Modelo 3

El objetivo es minimizar el ranking del último que es seleccionado. A diferencia de los otros modelos aparece una nueva variable de decisión cuyo valor será mayor o igual al ranking de todos los seleccionados (al minimizarla representará el ranking del último candidato que ingresará al Magíster). Para esto es necesario imponer una restricción adicional que exija que esta nueva variable sea mayor o igual que la ubicación en la lista (la cual está ordenada) de todos los seleccionados. Luego, en la función objetivo se minimizará esta variable sumada a la función objetivo del modelo 2 multiplicada por un número muy pequeño, para en caso de empates elegir a los mejores ubicados (está claro que este sumando no afecta el resultado en caso de que no haya empates).

y: posición relativa mayor o igual a todos los candidatos seleccionados.

### Restricción

$$i \cdot X_i \leq y \quad \forall i \quad (7)$$

### Función Objetivo

$$\min(y + 0,0002 \cdot \sum_{i \in K} i \cdot X_i) \quad (8)$$

---

## 3. El Algoritmo de Selección

---

Dado que el objetivo es conseguir una solución final robusta, se tomarán las mejores soluciones otorgadas por cada una de los modelos y se propondrá una forma de combinarlas de modo de obtener una única solución final. Desarrollamos para esto un algoritmo que requiere como punto de partida al menos las tres mejores soluciones de cada uno de los modelos (consideramos que la idea

de considerar tres soluciones de cada modelo ayuda a la hora de buscar la robustez de la solución final, pero este es un parámetro del modelo que puede ser modificado para realizar diferentes tests). Estas corridas brindan el óptimo del problema (corrida 1), la segunda mejor solución (corrida 2) y la tercera mejor solución (corrida 3) de éste. La forma de obtener la segunda mejor solución es agregar una restricción al modelo lineal entero que impida como solución factible a la mejor solución. Análogamente, impidiendo también la segunda mejor solución, se obtiene la tercera mejor solución. Si existe una única mejor solución, una única segunda y una única tercera, se le asigna un coeficiente de 1 a los postulantes que están en la solución de la corrida 1, un coeficiente de 0,6 a los de la corrida 2, y un coeficiente de 0,3 a los de la corrida 3. Luego, se suma para cada postulante sus coeficientes en cada una de las corridas de cada uno de los modelos. Por ejemplo, si un postulante aparece en la corrida 1 de los modelos 1 y 2, en la corrida 2 de los modelos 1 y 2 y en la corrida 3 del modelo 1, esa persona recibe un coeficiente general ponderador de 3,5. Luego este ponderador se multiplica por el puntaje que cada persona posee y así se genera un nuevo puntaje para cada candidato. En caso de empates en alguna de las mejores soluciones de alguno de los modelos, se generaliza este concepto. Por ejemplo, si hubiera 2 mejores soluciones y luego una única tercer mejor solución, las 2 primeras se repartirían el coeficiente 1,6 ( $1 + 0,6$ ) en dos mitades iguales de 0,8, mientras que la tercera conservaría el coeficiente de 0,3.

El Algoritmo de Selección funciona entonces así:

1. Primera Selección: se chequea cuáles candidatos coinciden en la solución óptima de cada uno de los tres modelos (corridas 1). Las personas que aparezcan en todas ellas son directamente seleccionados para el Magíster. De esta forma si los tres modelos arrojan los mismos resultados ya se tiene a los elegidos y sólo falta confeccionar la lista de espera para lo que se avanza directamente al paso 5, en caso contrario se va al paso 2.
2. Nuevo Puntaje: se calcula el coeficiente ponderador a cada uno de los no seleccionados. Luego este ponderador se multiplica por el puntaje que cada persona posee y así se genera un nuevo puntaje para cada candidato.
3. Segunda Selección: se evalúa la composición de mujeres, postulantes de regiones y de los primeros cuatro quintiles que hay dentro de los ya elegidos con el fin de saber cuántos seleccionados de cada uno de estos grupos faltan para cumplir con el mínimo requerido. Luego, para encontrar los restantes elegidos, se ejecuta el modelo 2 con los puntajes obtenidos en el paso 2, exigiendo en las restricciones que se seleccionen al menos tantas mujeres, postulantes de regiones y no del quinto quintil que permitan

cumplir con la cuota mínima pedida y solicitando que el número de elegidos por el modelo sea igual al número de personas que falta para tener a la cantidad de estudiantes que cursará el Magíster. Luego se chequea si el óptimo del problema es único o no, si no lo es, vamos al paso 4, si lo es, las personas que conforman la solución pasan a ser parte de la lista de elegidos, quedando así esta completa y se va al paso 5.

4. Tercera Selección: se calcula la sumatoria de los puntajes de cada una de las soluciones encontradas en el paso 3 (o sea, se aplica el modelo 1). El grupo que obtenga el mayor puntaje es el que completa la lista de elegidos. En caso de aún haber igualdad entre dos o más soluciones, se les presentan todas estas alternativas a los organizadores del Magíster para que ellos decidan.
5. Lista de Espera: si el número de postulantes que aparecen en alguna de las nueve corridas, pero que no están dentro de los 53 seleccionados, es superior a 20, se elige a los 20 de mejor puntaje. Por su parte, si la cantidad de postulantes en esa situación es menor que 20, todos ellos pasan a formar parte de la lista de espera, la cual se completa hasta llegar a 20 con los mejores puntajes de todos los postulantes que no están en ninguna de las mejores soluciones de alguno de los modelos.

Para la confección de la lista de espera no se consideran los distintos cupos. Sólo que en caso de ser necesario recurrir a algún postulante de ella para reemplazar a alguno de los elegidos, se tenderá a elegir el de mejor puntaje de modo que el grupo de seleccionados siga cumpliendo con la cuota mínima de mujeres, postulantes de regiones y candidatos pertenecientes a los quintiles inferiores.

La aplicación del Algoritmo de Selección nos da cierta garantía de la robustez de la solución final, dado que los postulantes que terminen siendo seleccionados serán los que figuren en varias de las mejores soluciones de cada modelo. Aquí puede verse la importancia de la aplicación de modelos de programación matemática: sería prácticamente imposible obtener todos estos resultados en pocos minutos de manera manual. Para ilustrar el funcionamiento del algoritmo, en el Anexo 1 se muestra la aplicación del mismo cuando se trabajó con la primera definición de quintil dada por los organizadores.

---

## 4. Los Resultados

---

Los modelos en las primeras dos etapas se usaron para garantizar que hubiesen suficientes mujeres, postulantes de regiones y de los primeros cuatro quintiles en la etapa final, siendo un apoyo para los organizadores a la hora

de decidir quienes avanzaban. En estas etapas nunca se usó el Algoritmo de Selección, es por eso que los resultados que mostraremos y analizaremos en esta sección se centran en la etapa final.

En la tabla siguiente se muestran los resultados de la función objetivo para las 3 mejores soluciones con cada una de las 2 definiciones distintas de quintil que usaron los organizadores.

Cuadro 1: Resultados con ambas definiciones de quintil

Modelo	Mejor Solución	Valor de la F.O. (Def. 1 de Quintil)	Valor de la F.O. (Def. 2 de Quintil)
1	1	3334,0798	3392,6797
1	2	3334,0717	3392,4
1	3	3333,6946	3392,9229
2	1	1792	1470
2	2	1795	1473
2	3	1795	1476
3	1	71,3702	64,294
3	2	71,3714	64,2946
3	3	71,3716	64,2952

Como se puede apreciar los resultados con la definición 2 de quintil tienen mejor valor de la función objetivo. Esto ocurre porque en la segunda definición se agranda el conjunto de personas que pertenece a quintiles distintos del superior. Es interesante notar que el resultado que se obtendría si la única restricción fuera la del número de postulantes seleccionados, para el modelo 2, es 1431, en tanto que para el modelo 3 dicho valor es 53,2862 (el último que entra es el postulante de ranking 53, los decimales se usan para desempatar ante dos soluciones donde el último que entra es el mismo). Así, los resultados, usando la primera definición de quintil, de los modelos 2 y 3 son un 25,22% y 33,93% mayor que el mínimo posible, respectivamente. Esto significa que las restricciones tienen un alto impacto en el valor de las funciones objetivo cuando entendemos los quintiles de esta forma. Por su parte, cuando usamos la segunda definición de quintil, la diferencia entre los óptimos de los modelos 2 y 3 con respecto a la cota inferior mostrada en el párrafo anterior es de un 2,72% y de un 20,65%, respectivamente. Por lo tanto, el impacto de la discriminación positiva en el modelo 2 es muy bajo, pero en el modelo 3 sigue siendo significativo.

Otro dato interesante es que con la segunda definición de quintil el Algoritmo de Selección salta directamente del paso 1 al paso 5. En tanto con la primera definición es necesario llegar al paso 3 del algoritmo, antes de ir al paso 5, ya que entre las mejores soluciones de los tres modelos hay 48 coincidencias (de un total posible de 53). En el anexo se muestra la aplicación del algoritmo con los resultados para la primera definición de quintil.

En cuanto a la lista de espera, con la primera definición de quintil, hay nueve personas que forman parte de alguna de las corridas, pero que no están

dentro de los elegidos, luego para formar la lista de espera fue necesario incorporar once personas que no aparecieron en ninguna de las mejores soluciones. En tanto con la segunda definición hay sólo tres individuos, que si bien aparecen en alguna mejor solución, igual no son elegidos, por ello se tuvo que elegir a diecisiete personas más para completar la lista. La información del párrafo anterior nos permite señalar que con la primera definición de quintil son 62 las personas que aparecen en alguna de las nueve corridas, mientras que con la segunda definición esa cifra se reduce a sólo 56. Vale decir, con la segunda definición de quintil, no sólo hay alta coincidencia entre las mejores soluciones de cada modelo, sino que también entre las segundas y terceras mejores soluciones de éstos. De hecho las segundas mejores soluciones coinciden, al igual que las terceras soluciones de los modelos 1 y 3, las que sólo discrepan en un candidato con la solución del modelo 2. Finalmente los organizadores optaron por la segunda definición de quintil, con el objetivo de hacer más inclusivo el sector integrado por los quintiles inferiores. Es por ello que de aquí en más cuando hablemos de quintiles o de la solución del problema estaremos haciendo alusión a dicha segunda definición. A continuación se muestra un resumen del resultado final con el puntaje de los postulantes ordenado de mayor a menor.

Cuadro 2: Resultado Final

Puntaje	Género	Es de región?	Es de los quintiles inferiores (Def. 2)?	Elegido
77,3967	Masculino	Si	Si	Si
74,6663	Masculino	No	Si	Si
73,1412	Femenino	No	Si	Si
70,9622	Masculino	No	Si	Si
70,2533	Masculino	Si	Si	Si
70,0854	Masculino	Si	Si	Si
68,9846	Masculino	No	Si	Si
68,3338	Masculino	Si	Si	Si
68,2611	Masculino	No	Si	Si
68,2314	Femenino	Si	Si	Si
67,7061	Masculino	No	No	Si
67,5873	Masculino	Si	Si	Si
67,4197	Masculino	Si	Si	Si
67,3683	Femenino	No	Si	Si
67,336	Masculino	Si	Si	Si
67,148	Masculino	No	No	Si
65,7685	Masculino	No	Si	Si
65,3751	Femenino	Si	Si	Si
65,0443	Masculino	No	Si	Si
64,495	Femenino	No	Si	Si
64,2388	Femenino	Si	Si	Si
63,8693	Masculino	No	Si	Si
63,4154	Masculino	No	Si	Si
63,3793	Masculino	No	Si	Si
63,0156	Masculino	Si	Si	Si
62,8584	Masculino	No	Si	Si
62,7446	Masculino	No	Si	Si
62,6285	Masculino	Si	Si	Si
62,2127	Masculino	Si	Si	Si
62,1483	Masculino	Si	Si	Si
62,1481	Masculino	Si	Si	Si
62,0838	Femenino	Si	Si	Si
62,0832	Masculino	No	Si	Si
62,0342	Masculino	No	Si	Si
61,9296	Femenino	No	Si	Si
61,7264	Masculino	Si	Si	Si
61,4523	Masculino	Si	No	Si
61,1665	Masculino	Si	Si	Si

60,8406	Masculino	No	Si	Si
60,8082	Masculino	Si	Si	Si
60,6791	Masculino	No	Si	Si
60,6263	Masculino	Si	Si	Si
60,4522	Masculino	Si	No	Si
60,3994	Masculino	No	Si	No
60,0838	Masculino	No	Si	No
59,9693	Femenino	Si	Si	Si
59,8533	Masculino	Si	No	Si
59,4615	Femenino	Si	Si	Si
59,4572	Femenino	Si	Si	Si
59,4336	Masculino	No	Si	No
59,2239	Femenino	Si	Si	Si
58,7673	Masculino	No	Si	No
58,659	Femenino	Si	Si	Si
58,6414	Femenino	Si	Si	Si
58,5681	Masculino	Si	Si	Si
57,7766	Masculino	No	Si	No
57,7504	Femenino	Si	Si	Si
57,5946	Masculino	No	Si	No
57,5842	Masculino	No	Si	No
57,5556	Masculino	No	Si	No
57,5294	Masculino	Si	Si	No
57,3431	Masculino	Si	Si	No
57,2793	Masculino	No	No	No
56,9899	Femenino	Si	Si	Si
56,5452	Masculino	Si	Si	No
56,5313	Femenino	No	Si	No
56,4444	Masculino	Si	Si	No
56,421	Masculino	Si	No	No
56,2399	Masculino	No	Si	No
56,1681	Masculino	No	Si	No
55,9509	Femenino	No	Si	No
55,821	Masculino	Si	Si	No
55,6551	Masculino	No	Si	No
55,4727	Femenino	No	Si	No
55,4646	Femenino	No	Si	No
55,4358	Masculino	Si	Si	No
55,2457	Masculino	No	Si	No
55,2024	Masculino	No	Si	No
55,0265	Femenino	No	Si	No
55,0064	Masculino	No	Si	No
55,0007	Masculino	Si	Si	No
54,9741	Femenino	No	Si	No
54,9328	Masculino	Si	Si	No
54,59	Masculino	No	No	No
54,4713	Masculino	Si	Si	No
54,3639	Femenino	Si	No	No
54,1758	Masculino	No	Si	No

---

## 5. Análisis y conclusiones

---

Analizando los resultados del problema encontramos que el número de mujeres y candidatos de regiones seleccionados es exactamente igual al mínimo requerido, lo que no ocurre con los postulantes pertenecientes a los cuatro quintiles inferiores. Por lo tanto, las restricciones alusivas a las mujeres y a las regiones son activas. Luego, eliminar la restricción de los quintiles (habiendo elegido la segunda definición), no altera la solución del problema, pero variar las otras dos restricciones si puede provocar alteraciones en el resultado. Cabe acotar también que si no se exige un mínimo número de mujeres, sale una mujer de la selección que es reemplazada por un hombre, mientras que si no se pide un mínimo número de seleccionados de regiones, habría dos postulantes

menos de regiones dentro de los seleccionados. Por lo tanto, el sacar una de las restricciones manteniendo el resto no provoca grandes cambios en la solución final.

A continuación se puede ver el valor de la función objetivo para cada uno de los modelos en sus distintas corridas sin exigir un mínimo número de mujeres y luego sin demandar una cupo de postulantes de regiones. Por lo ya expuesto, los resultados sin pedir un mínimo número de seleccionados pertenecientes a los cuatro quintiles inferiores son los mismos que aparecen en la sección anterior.

Cuadro 3: Resultados sin requisito sobre mínimo número de mujeres

Modelo	Mejor Solución	Valor de la F.O.
1	1	3393,2192
1	2	3393,0329
1	3	3392,9395
2	1	1467
2	2	1468
2	3	1470
3	1	61,2394
3	2	61,294
3	3	61,2946

Cuadro 4: Resultados sin requisito sobre mínimo número de seleccionados de regiones

Modelo	Mejor Solución	Valor de la F.O.
1	1	3393,7415
1	2	3393,511
1	3	3393,2829
2	1	1457
2	2	1459
2	3	1459
3	1	64,2914
3	2	64,2918
3	3	64,2926

Si comparamos estos resultados con los obtenidos considerando todas las restricciones se puede apreciar que las variaciones son pequeñas, lo que es esperable, ya que los cambios entre los seleccionados son mínimos.

Por su parte, un punto de gran interés para los organizadores del programa es el impacto del test psicológico en la selección de candidatos. De hecho, dicha evaluación eliminó a un 42 % de los participantes que habían llegado a la tercera etapa de la selección. De aquí se concluye que la evaluación psicológica tiene un alto impacto para ver quienes serán los elegidos para el Magíster. Es más, si no se hubiese llevado a cabo el test psicológico, 13 personas que están en la lista de seleccionados hubiesen sido reemplazadas por postulantes que quedaron eliminados por la aplicación de este test.

Es interesante ver que cuando buscamos los elegidos sin aplicar el test es necesario llegar al paso 3 del Algoritmo de Selección, lo que no ocurrió con la aplicación del mismo.

El impacto también se puede analizar en el valor de las funciones objetivo. La siguiente tabla ilustra dichos resultados.

Cuadro 5: Resultados sin la aplicación del test psicológico

Modelo	Mejor Solución	Valor de la F.O.
1	1	3470,1457
1	2	3470,1241
1	3	3470,0253
2	1	1479
2	2	1480
2	3	1480
3	1	68,2982
3	2	68,2984
3	3	68,2992

La mejor solución del modelo 1 sin la aplicación del test es un 2,28 % mejor que la que se obtiene al aplicarlo. En cambio en los modelos 2 y 3 el valor de la función objetivo de la mejor solución para cada uno empeora en un 0,61 % y en un 6,22 % respectivamente al no llevar a cabo el test. Así, es posible concluir que en términos de las funciones objetivo no hay una gran diferencia en los resultados, cosa que sí ocurre con quienes son seleccionados.

No deja de ser interesante el hecho de que el resultado del modelo 1 mejore sin la aplicación del test, en cambio los resultados de los otros modelos empeoren. Lo que ocurre es que la aplicación de la evaluación psicológica disminuye la región factible. Por lo tanto, si reducimos el número de candidatos y aplicamos el modelo 1 es imposible obtener una mejor solución que la que se obtiene sin aplicar el test. En cambio, en los modelos 2 y 3, esta reducción en el número de los participantes no trae consigo un peor valor para las funciones objetivo, todo va a depender de quienes fueron dados de baja (la reducción de la región factible no afecta a priori sobre la suma de los rankings de los que ingresan o sobre el ranking del último que es seleccionado).

Finalmente, y como conclusión general del trabajo, nos parece importante destacar el aporte social de la investigación de operaciones y la programación matemática con el fin de obtener la lista final de postulantes seleccionados que más se adecúan al perfil fijado por el Magíster, bajo criterios de equidad regional, socio-económicos y de género. Encontrar soluciones robustas a este problema en pocos minutos hubiera sido prácticamente imposible mediante métodos manuales. La herramienta utilizada también agrega transparencia al proceso de selección.

**Agradecimientos:** A Lysette Henríquez, Patricio Meller y todo el grupo de organizadores del MGG, con quienes fue un gran placer desarrollar este proyecto. A los revisores, por las múltiples sugerencias que contribuyeron sensiblemente a mejorar el trabajo. El primer autor está parcialmente financiado por el proyecto Fondecyt 1050747 y por el Instituto de Ciencias Milenio "Sistemas Complejos de Ingeniería".

## Referencias

- [1] Epstein, R., L. Henríquez, J. Catalán, G. Weintraub, C. Martínez and F. Espejo, "A Combinatorial Auction Improves School Meals in Chile: A Case of OR in Developing Countries". *International Transactions in Operational Research* 11, 593-612, 2004.

---

## 6. Anexo: Aplicación del Algoritmo de Selección a los resultados con la primera definición de quintil

---

Para ilustrar el funcionamiento del Algoritmo de Selección se muestra la aplicación del mismo cuando se trabajó con la primera definición de quintil. A continuación aparecen dos tablas. La primera contiene a las personas que forman parte de al menos alguna de las 3 mejores soluciones en alguno de los modelos. Los números de la primera columna corresponden a la identificación (ID) de los postulantes. Durante todas las etapas de esta selección se trabajó con el ID, para darle más transparencia al proceso. Notar que el modelo 2 tiene dos mejores segundas soluciones, que las llamamos 2a) y 2b).

La segunda tabla muestra un resumen con los seleccionados directos (Paso 1), los candidatos a ser elegidos junto con su ponderador, quienes son elegidos dentro de este grupo de postulantes (Paso 3) y, por último, los miembros de la lista de espera (Paso 5). En ambas tablas si el candidato  $i$  posee el atributo  $j$ , la componente  $i,j$  de la tabla es marcada con una X.

Cuadro 6: Resultados

ID Persona	MS 1 Mod 1	MS 2 Mod 1	MS 3 Mod 1	MS 1 Mod 2	MS 2A Mod 2	MS 2B Mod 2	MS 1 Mod 3	MS 2 Mod 3	MS 3 Mod 3
036	X	X	X	X	X	X	X	X	X
039	X	X	X	X	X	X	X	X	X
060	X	X	X	X	X	X	X	X	X
077	X	X	X	X	X	X	X	X	X
083	X	X	X	X	X	X			
093	X	X	X	X	X	X			
108	X	X	X	X	X	X	X	X	X
130	X	X	X	X	X	X	X	X	X
133	X	X	X	X	X	X	X	X	X
144	X	X	X	X	X	X	X	X	X
166		X							
186					X		X	X	X
191	X	X	X	X	X	X	X	X	X
192	X	X	X	X	X	X	X	X	X
198	X	X	X	X	X	X	X	X	X
202	X	X	X	X	X	X	X	X	X
209	X	X	X	X	X	X	X	X	X
232	X	X	X	X	X	X	X	X	X
243	X	X	X	X	X	X	X	X	X
249	X	X	X	X	X	X	X	X	X
253	X	X	X	X	X	X	X	X	X
254				X	X	X		X	
255	X	X	X	X	X		X	X	X
257							X	X	X
269	X	X	X	X	X	X	X	X	X
273									X
274	X	X	X	X	X	X	X	X	X
280	X	X	X	X	X	X	X	X	X
293	X	X	X	X	X	X	X	X	X
312	X	X	X	X	X	X	X	X	X
323	X	X	X	X	X	X	X	X	X
324	X		X			X			
334	X	X	X	X	X	X	X	X	X
354	X	X	X	X	X	X	X	X	X
358	X	X	X	X	X	X	X	X	X
364	X	X	X	X	X	X	X	X	X
369							X	X	X
370	X	X	X	X	X	X	X	X	X
374	X	X	X	X	X	X	X	X	X
384	X	X	X	X	X	X	X	X	X
407	X	X	X	X	X	X	X	X	X
422	X	X	X	X	X	X	X	X	X
469	X	X	X	X	X	X	X	X	X
471	X	X	X	X	X	X	X	X	X
494	X	X	X	X	X	X	X	X	X
496	X	X	X	X	X	X	X	X	X
507	X	X	X						
511	X	X	X	X	X	X	X	X	X
516			X						
531	X	X		X	X	X			
533	X	X	X	X	X	X	X	X	X
551	X	X	X	X	X	X	X	X	X
587				X		X	X	X	X
589	X	X	X	X	X	X	X	X	X
592	X	X	X	X	X	X	X	X	X
595	X	X	X	X	X	X	X	X	X
604	X	X	X	X	X	X	X	X	X
605	X	X	X	X	X	X	X	X	X
608	X	X	X	X	X	X	X	X	X
613	X	X	X	X	X	X	X	X	X
617	X	X	X	X	X	X	X	X	X
621							X	X	

Cuadro 7: Resumen

ID Persona	Elegidos (Paso 1)	Candidatos a ser elegidos (ponderador)	Elegidos (Paso 3)	Lista de espera
36	X			
39	X			
60	X			
77	X			
83		X(3,8)	X	
93		X(3,8)	X	
108	X			
130	X			
133	X			
140				X
144	X			
150				X
166		X(0,6)		X
186		X(2,35)		X
191	X			
192	X			
195				X
198	X			
201				X
202	X			
209	X			
232	X			
243	X			
249	X			
253	X			
254		X(2,5)	X	
255	X			
257		X(1,9)		X
258				X
269	X			
273		X(0,3)	X	
274	X			
280	X			
293	X			
312	X			
319				X
323	X			
324	X	(1,75)	X	
334	X			
354	X			
358	X			
364	X			
369		X(1,9)		X
370	X			
374	X			
384	X			
407	X			
422	X			
454				X
469	X			
471	X			
494	X			
496	X			
507		X(1,9)		X
511	X			
516		X(0,3)		X
531		X(3,5)	X	
533	X			
551	X			
581				X
582				X
587		X(3,35)	X	
589	X			
592	X			
595	X			
604	X			
605	X			
608	X			
613	X			
617	X			
618				X
621		X(1,6)		X
626				X

