Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas
ICS1113-Optimización y ICS113H-Optimización Honors

Informe 3

Calendarización de Eventos Deportivos Escolares

Grupo 83

Rodrigo Alonso 17637716 Sección 3
Francisca Carvajal 13638696 Sección 3
Alexander Israel 1563437J Sección 3
Donna Jana 13621408 Sección 3
Hue Bin Kim 13649256 Sección 5
Mauricio Pinto 17639468 Sección 3

Fecha entrega: 8 de Junio de 2018

1. Introducción

La Ley del Deporte de Chile (2014) en el Artículo 1º establece que el deporte es "aquella forma de actividad física que utiliza la motricidad humana como medio de desarrollo integral de las personas, y cualquier manifestación educativo-física, general o especial, realizada a través de la participación masiva, orientada a la integración social, al desarrollo comunitario, al cuidado o recuperación de su salud y a la recreación, como asimismo, aquella práctica de las formas de actividad deportiva o recreacional que utilizan la competición o espectáculo como su medio fundamental de expresión social, y que se organiza bajo condiciones reglamentadas, buscando los máximos estándares de rendimiento" (Ministerio del Interior, 2001).

La actividad física forma parte central de la formación integral de toda persona. El deporte es parte esencial de una vida saludable, además de vital para mantener una mente sana, e incluso puede afectar de forma positiva en el comportamiento de las personas. En este contexto, se puede observar que en los colegios se ha estado fomentando la realización del deporte en sus alumnos, aumentando la cantidad de deportes que imparten y con ello las competencias deportivas en las que participan.

De forma de acotar el problema a analizar, se estudiará el caso del colegio Instituto Hebreo y nos centraremos en periodos de un mes. Además, se pondrá énfasis en los deportes más populares que se realizan en dicho establecimiento, los que corresponden a: fútbol, básquetbol, hándbol, vóleibol y fútbol sala.

2. Descripción del Problema

El problema elegido es la optimización del calendario deportivo del colegio Instituto Hebreo, en el que se llevan a cabo diversos partidos y competencias en sus canchas y gimnasio durante los fines de semanas. Entre los deportes más recurrentes se destacan fútbol, hándbol, voleibol, básquetbol y futsal.

El proceso de organización y coordinación de fechas es un problema actual para los profesores del área, puesto que al no poseer un programa computacional que optimice el proceso, esto se realiza a mano con ayuda de una planilla Excel que ocupan como calendario. Este proceso les toma muchas horas de coordinación y aun así suelen presentarse problemas de tope de horarios y logísticos (camarines llenos, estacionamiento lleno sin posibilidad de las delegaciones estacionen sus buses, aglomeración en entradas y salidas simultaneas, etc) Se cree que un modelo de optimización podría acelerar y facilitar el proceso, y de paso lograr hacerlo más óptimo.

Con el modelo a desarrollar se busca que la mayor cantidad de partidos se lleven a cabo sin producirse los inconvenientes mencionados. Adicional a esto, cada liga deportiva, tanto de mujeres como de hombres, posee una cantidad de partidos por mes exigiendo a los colegios participantes, que cuenten con instalaciones deportivas propias, ser sede de un mínimo de partidos al mes. Como estímulo, las ligas premian a los colegios por cada partido jugado en su sede adicional al exigido con un bono b. Es por esta razón que la función objetivo buscará maximizar la bonificación obtenida en un mes.

Para lograr lo anterior, se requiere encontrar qué partidos se realizarán (de qué deporte, de qué liga y de qué equipos), en qué cancha y el horario en el que se llevarán a cabo. Para esto se define la variable $X_{e,o,c,d,t,\alpha}$ como variable binaria que indica si un equipo e comienza a jugar contra el equipo o ($o \neq e$) un partido del deporte d en la cancha c en el bloque de tiempo t del día α.

Se deben tener en consideración ciertos parámetros que serán entregados por el problema real para la formulación de las restricciones. El establecimiento se puede ocupar los días Sábado y Domingo de 9:00 a 17:00 horas. Dispone de una cantidad exacta de canchas y se sabe qué deportes se pueden realizar en cada una de ellas. Por otra parte se tiene la duración de cada partido, la cantidad de personas que juegan un partido de un deporte (incluidas reservas y el entrenador), y la máxima cantidad de personas que puede haber de espectadores. Se sabe como se mencionó anteriormente, que existen 5 deportes que se pueden jugar en el establecimiento; fútbol, fútsal, hándbol, voleibol y básquetbol y que en total existen 10 equipos (colegios) que cuentan con cierto número de sub-equipos que pueden o no jugar los deportes mencionados. Se asume que los jugadores que llegan en auto, lo harán con 2 acompañantes cada uno. También se asume como conocido el número de equipos que llegan en bus, los que no incluyen acompañantes. Finalmente se tiene que la capacidad máxima del estacionamiento es de 100 vehículos y 2 buses. En cuanto a camarines, hay cuatro de ellos, dos destinados a hombres y dos a mujeres, con capacidad máxima de 40 personas y sus implementos en cada uno. Por último se cuenta con un presupuesto para cada liga, que tienen para arrendar los buses en los que pueden llegar los jugadores, y el costo de arrendar estos buses.

Cancha	Max espectadores
Fútbol	200
Gimnasio	200
Hándbol	120
Fuera 1	80
Fuera 2	80

Tabla 1. Parámetros recolectados sobre información de las canchas a utilizar basado en datos reales aproximados.

Deporte	Categoría	Duración	N jugadores
Fútbol	Hombres	120	22
Fútbol	Mujeres	120	22
Voleibol	Hombres	90	13
Voleibol	Mujeres	90	13
Futsal	Hombres	70	13
Futsal	Mujeres	70	13
Hándbol	Hombres	90	15
Hándbol	Mujeres	90	15
Básquetbol	Hombres	80	16
Básquetbol	Mujeres	80	16

Tabla 2. Parámetros recolectados sobre información de los deportes y categorías a utilizar basado en datos reales aproximados.

En cuanto a los presupuesto que tiene cada liga se tiene lo siguiente (en pesos chilenos): Fútbol hombres=100000, fútbol mujeres=90000, voleibol hombres=70000, voleibol mujeres=60000, futsal hombres=70000, futsal mujeres=60000, hándbol hombres=80000, hándbol mujeres=70000, básquetbol hombres=90000 y básquetbol mujeres=80000. En cuanto al costo de arrendar un bus para cada deporte se tiene (en pesos chilenos): Fútbol=10000, voleibol=6000, futsal=6000, Hándbol=7000 y Básquetbol=8000 (mismo costo para ligas de hombres y mujeres).

El modelo se verá sometido a las restricciones con las que se enfrenta el colegio en el proceso de calendarización. Se tiene que no se podrán usar más canchas de las que hayan disponibles. No se puede jugar más de un partido a la vez en una cancha y solo se podrán jugar partidos de cierto deporte si la cancha lo permite. Los partidos serán jugados dentro de bloques de tiempo y no se podrá jugar más de un partido en una cancha en un mismo bloque. Se debe cumplir que la cantidad de espectadores no supere al máximo por cancha. Cada equipo puede jugar una vez al día. Se considera que cada día contiene 4 bloques de tiempo, cada uno de 2 horas, en el que se puede jugar como máximo un partido por cancha. Cada deporte se deberá jugar mínimo una vez en todo el mes en el colegio. La cantidad de buses y vehículos no debe superar la capacidad del estacionamiento. La cantidad de personas jugando partidos en un bloque de tiempo no debe superar la capicad de los camarines.

Con el fin de simplificar la modelación, se tendrán los siguientes supuestos:

- Cada mes contiene cuatro días Sábado y Domingo.
- Las condiciones climáticas serán favorables para la realización de los partidos.
- Todos los equipos están completos, es decir, no existe impedimiento para que jueguen por falta de jugadores.
- Los equipos se organizan para llegar todos en un bus, o por separado en vehículos particulares.
- Los autos están estacionados por el tiempo de duración del partido.
- Todos los jugadores dejan sus cosas en los camarines por el tiempo de duración del partido.

3. Modelo

3.1. Conjuntos

- C = Conjunto de canchas.

    1. Futbol

2. Gimnasio: Futsal, Volley, Basquet
3. Handbol
4. Fuera1: Basquet,Volley
5. Fuera2: Basquet,Volley

- $D = \{1 \ldots 10\}$; Tipos de liga.
  1. Futbol hombre.
  2. Futbol mujer.
  3. Futsal hombre.
  4. Futsal mujer.
  5. Hándbol hombre.
  6. Hándbol mujer.
  7. Voleibol hombre.
  8. Voleibol mujer.
  9. Básquetbol hombre.
  10. Básquetbol mujer.
- $T = \{1 \ldots 4\}$; Bloques de tiempo en un día, de 2 horas cada uno.
- $E = \{1,\ldots,10\}$; Conjunto de equipos (colegios) .
- $A = \{1, \ldots, 8\}$; Conjunto de días en un mes en los que se puede jugar partidos (Sábado y Domingo intercalado).

3.2. Parámetros

- n_d = Cantidad de personas por equipo en un partido de d, con $d \in D$.
- t_d = Duración de un partido del deporte d, con $d \in D$.
- b_d = Bonificación por vez, mayor al mínimo, que el colegio sea sede de una liga.
- $minp_d = 1$ = Mínimo de partidos que cada liga d exige se jueguen al mes en el colegio.
- $emax_c$ = Cantidad maxima de espectadores por cancha.
- mc = Cantidad máxima de personas que caben en un camarin.
- $mveh$ = Cantidad máxima de vehículos que caben en el estacionamiento.
- $mbus$ = Cantidad máxima de buses que caben en el estacionamiemto.
- $pres_d$ = Presupuesto que cada liga cuenta para el arriendo de buses.

- cb_d = Es costo de arriendo de buses para los equipos de cada liga.

$$s_{c,d} = \begin{cases} 1 & \text{si en la cancha c se puede jugar el deporte d, con } c \in C \text{ y } d \in D \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$q_{e,d} = \begin{cases} 1 & \text{si el equipo e juega deporte d, con } e \in E,\ d \in D. \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

3.3. Variables

$$\mathrm{X}_{e,o,c,d,t,\alpha} = \begin{cases} 1 & \text{si el equipo } e \text{ comienza a jugar contra el equipo } o \text{ en la cancha } c, \\ & \text{el deporte } d \text{, en el bloque } t \text{ del dia } \alpha\text{.e} \in E,\ d \in D,\ c \in C,\ t \in T \text{ y } \alpha \in A \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$\mathrm{B}_{e,t,\alpha} = \begin{cases} 1 & \text{Si el equipo } e \text{ llega en bus en el bloque de tiempo } t \text{ en el día } \alpha \text{, e} \in E,\ t \in T \text{ y } \alpha \in A \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$\mathrm{V}_{e,t,\alpha} = \begin{cases} 1 & \text{Si el equipo } e \text{ llega en vehículos en el bloque de tiempo } t \text{ en el día } \alpha \text{, e} \in E,\ t \in T \text{ y} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

3.4. Función objetivo

$$\text{máx} \sum_{d \in D} \Bigg(\Big(\big(\sum_{e \in E} \sum_{o \in E, o \neq e} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} \sum_{\alpha \in A} \frac{X_{e,o,c,d,t,\alpha}}{2} \big) - 1 \Big) b_d \Bigg)$$

La función objetivo maximiza la bonificación que se obtiene. Esta bonificación como se expresó anteriormente es entregada por cada partido del cual el colegio es sede luego de superar el mínimo establecido por las ligas (1 partido).

Se calcula de la forma de sumar todos los partidos jugados por todos los equipos para cada liga. Ese número sumará 2 veces cada partido debido a que en cada deporte se enfrentan 2 equipos que son considerados en la suma, por lo tanto se divide en 2. Luego se debe ver los partidos que se realizaron superando el mínimo (se resta el 1). Finalmente el número que queda se multiplica por la bonificación entregada por cada liga.

3.5. Restricciones

1. Solo se puede jugar un partido en un bloque de tiempo t en cada cancha.

$$\sum_{e\in E}\sum_{o\in E, o\neq e}\sum_{d\in D}\frac{X_{e,o,c,d,t,\alpha}}{2}\leq 1 \quad \forall t\in T, \forall c\in C, \forall \alpha\in A$$

2. Se puede jugar en cancha c, el deporte d, en el bloque t, si el equipo e y el equipo o juegan el deporte d y la cancha lo permite.

$$X_{e,o,c,d,t,\alpha}\leq s_{c,d}*q_{e,d}*q_{o,d} \quad \forall e,o\in E, o\neq e, \forall c\in C, \forall d\in D, \forall t\in T, \forall \alpha\in A$$

3. Cada equipo puede jugar como máximo una vez al día.

$$\sum_{c\in C}\sum_{d\in D}\sum_{t\in T}X_{e,o,c,d,t,\alpha}\leq 1 \quad \forall e,o\in E, o\neq e, \forall \alpha\in A$$

4. Se deberá jugar como mínimo un partido por deporte (liga) durante el mes.

$$\sum_{e\in E}\sum_{o\in E, o\neq e}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T}\sum_{\alpha\in A}X_{e,o,c,d,t,\alpha}\geq 1, \quad \forall d\in D$$

5. Si un equipo va a jugar en el bloque de tiempo t, debe llegar de alguna forma, de lo contrario, no llega.

$$\sum_{o\in E, o\neq e}\sum_{c\in C}\sum_{d\in D}X_{e,o,c,d,t,\alpha}=B_{e,t,\alpha}+V_{e,t,\alpha} \quad \forall e\in E, \forall t\in T, \forall \alpha\in A$$

6. El número de vehiculos estacionados en un bloque de tiempo t no puede superar la máxima capacidad del estacionamiento.

$$\sum_{e\in E}(V_{e,t,\alpha}*n_d*q_{e,d})\leq mveh \quad \forall d\in D, t\in T, \alpha\in A$$

7. La cantidad total de buses que hay en un bloque de tiempo t debe ser menor o igual a la capacidad máxima de buses.

$$\sum_{e\in E}B_{e,t,\alpha}\leq mbus \quad \forall t\in T, \alpha\in A$$

8. Los equipos pueden llegar en bus tantas veces como el presupuesto de su liga lo permita.

$$\sum_{e\in E}\sum_{t\in T}\sum_{\alpha\in A}B_{e,t,\alpha}*cb_d\leq pres_d \quad \forall d\in D$$

9. La cantidad de jugadores que usan los camarines tiene que ser menor a la capacidad máxima de los camarines, para hombres y mujeres.

$$\sum_{e\in E}\sum_{o\in E, o\neq e}\sum_{c\in C}\sum_{d\in(1,3,5,7,9)} X_{e,o,c,d,t,\alpha} * n_d \leq 2 * mc \quad \forall t\in T, \forall \alpha \in A$$

$$\sum_{e\in E}\sum_{o\in E, o\neq e}\sum_{c\in C}\sum_{d\in(2,4,6,8,10)} X_{e,o,c,d,t,\alpha} * n_d \leq 2 * mc \quad \forall t\in T, \forall \alpha \in A$$

10. La cantidad de espectadores para cada partido no debe superar la capacidad máxima de espectadores de cada cancha.

$$2\sum_{e\in E}(V_{e,t,\alpha} * n_d * q_{e,d}) \leq emax_c \quad \forall c\in C, d\in D, \forall t\in T, \forall \alpha\in A$$

11. Si un equipo e juega un partido contra un equipo contrincante o, o también juega un partido con el equipo e en el mismo tiempo en la misma cancha.

$$X_{e,o,c,d,t,\alpha} = X_{o,e,c,d,t,\alpha} \quad \forall e,o\in E, o\neq e, \forall c\in C, \forall d\in D, \forall t\in T, \forall \alpha\in A$$

12. Naturaleza de Variables

$$X_{e,o,c,d,t,\alpha} \in \{0,1\} \quad \forall e,o\in E, o\neq e, \forall c\in C, \forall d\in D, \forall t\in T, \forall\alpha\in A$$
$$B_{e,t,\alpha}, V_{e,t,\alpha} \in \{0,1\}, \quad \forall e\in E, \forall t\in T, \forall \alpha\in A$$

4. Resultados

Valor objetivo : 5400

En la tabla 3 anexada al final de este informe, se observa que la cantidad de partidos (64) da un número razonable, considerando todas las restricciones impuestas, la cantidad de días, bloques y canchas. Se puede ver en la Tabla 3 que, no se juega más de un partido en un bloque de tiempo en una cancha (R1), los deportes se juegan sólo en las canchas que lo permiten (R2), cada equipo juega máximo una vez al día (R3) y que cada deporte se juega mínimo una vez en todo el horizonte de tiempo (R4).

En la última columna de la tabla, se entrega la información de qué medio de transporte fue utilizado por cada equipo para llegar a sus partidos, considerando la restricciones 5, 6, 7 y 8 que toman en cuenta la capacidad de estacionamientos y presupuesto de cada liga para contratar buses. Los resultados también se ven limitados por la restricción 10, que considera que cada persona que llega en vehículo, llega con dos acompañantes y no se debe superar el máximo de espectadores por cancha. Dicho esto los resultados se observan razonables ya que en ningún momento se superan los límites de las restricciones. Por último el valor objetivo es razonable ya que representa los 64 partidos, menos un partido por deporte (porque uno es el mínimo antes de recibir bonificación), por la bonificación 10.

5. Análisis de Sensibilidad

5.1. Análisis de sensibilidad de restricciones relevantes.

Se considera que las restricciones más relevantes del problema son la 3 (cantidad máxima de partidos por equipo al día), 6 (máxima capacidad de vehículos en el estacionamiento), 7 (máxima capacidad de buses en el estacionamiento), 8 (presupuesto para arrendar buses), 9 (capacidad máxima de los camarines) y 10 (cantidad máxima de espectadores por cancha). La desición se debe a que todas las restricciones escogidas acotan por arriba a una de las tres variables del problema de maximización, y porque sería válido cambiar el límite de cada una de ellas sin imponer una situación irrealista.

R3:

$$\sum_{c\in C}\sum_{d\in D}\sum_{t\in T} X_{e,o,c,d,t,\alpha} \leq 1 \quad \forall e, o \in E, o \neq e, \forall \alpha \in A$$

Al modificar el 1 de la parte derecha de la restricción, a un número mayor, se espera que la variable $X_{e,o,c,d,t,\alpha}$ pueda alcanzar un mayor valor, es decir que cada equipo pueda jugar un mayor número de partidos al día. Con esta modificación, se espera que la variable analizada sea igual a 1 en más instancias dentro de un mismo día, y de esta forma se jueguen más partidos y así el valor objetivo pueda ser mayor. Cabe notar que esta restricción estará sujeta también a las capacidades de los espacios, es decir, podría volverse infactible si se pide un mínimo mayor de partidos pero que el espacio no dé abasto para ello.

R6:

$$\sum_{e\in E} (V_{e,t,\alpha} * n_d * q_{e,d}) \leq mveh \quad \forall d \in D, t \in T, \alpha \in A$$

Al aumentar mveh, en un número mayor a la cantidad de personas en un equipo de algún deporte, $V_{e,t,\alpha}$ podría tomar valor 1 para más equipos que los entregados dentro de un mismo bloque de tiempo. De esta forma aumentaría la posibilidad de que la variable $X_{e,o,c,d,t,\alpha}$ tome valor 1 para un tiempo y así se aumentaría el valor objetivo. Al diminuir mveh, disminuiría el número de personas que llega en auto. De esa forma se estaría forzando a la variable $B_{e,t,\alpha}$ a tomar el valor 1 para más equipos segun la restricción 5. Se entiende según la misma restricción recién mencionada, que si no es posible que $B_{e,t,\alpha}$ ni $V_{e,t,\alpha}$ sea 1, un partido para ese equipo en ese tiempo no se puede realizar, lo que disminuiría el valor objetivo.

R7:

$$\sum_{e\in E} B_{e,t,\alpha} \leq mbus \quad \forall t \in T, \alpha \in A$$

De igual forma que con R6, al aumentar mbus, más personas podrían llegar en bus y de esta forma se podrían realizar más partidos dentro de un mismo bloque de tiempo, aumentando el valor objetivo. Al disminuir el valor mbus, sucede de igual manera que lo analizado en R6 para $V_{e,t,\alpha}$.

R8:

$$\sum_{e\in E}\sum_{t\in T}\sum_{\alpha\in A} B_{e,t,\alpha} * cb_d \leq pres_d \quad \forall d \in D$$

Al cambiar el valor de $pres_d$, $B_{e,t,\alpha}$ se ve afectada directamente por lo que que tendría similar comportamiento a la restricción 7.

R9:

$$\sum_{e\in E}\sum_{o\in E, o\neq e}\sum_{c\in C}\sum_{d\in(1,3,5,7,9)} X_{e,o,c,d,t,\alpha} * n_d \leq 2 * mc \quad \forall t \in T, \forall \alpha \in A$$

$$\sum_{e\in E}\sum_{o\in E, o\neq e}\sum_{c\in C}\sum_{d\in(2,4,6,8,10)} X_{e,o,c,d,t,\alpha} * n_d \leq 2 * mc \quad \forall t \in T, \forall \alpha \in A$$

Al cambiar mc a un valor mayor, más personas podrían caber en un camarín. Si el cambio es mayor a la cantidad de personas que tienen dos equipos de un deporte, luego podría suceder que la variable $X_{e,o,c,d,t,\alpha}$ tomara valor 1 para un partido más dentro de un mismo bloque de tiempo, aumentando así el valor objetivo.

R10:

$$2\sum_{e\in E}(V_{e,t,\alpha} * n_d * q_{e,d}) \leq emax_c \quad \forall c \in C, d \in D, \forall t \in T, \forall \alpha \in A$$

Esta restricción considera que cada persona que llega en vehículo trae a dos acompañantes. Si se aumenta el valor de $emax_c$, en un número mayor a dos veces la cantidad de personas de un equipo, la variable $V_{e,t,\alpha}$ podría tomar valor 1 para más equipos dentro de un mismo bloque de tiempo. De esta forma, como ya se mencionó, la variable $X_{e,o,c,d,t,\alpha}$ también podría tomar valor 1 para más equipos y así jugarse más partidos en un tiempo, aumentando el valor objetivo.

5.2. Análisis de cuantitativo.

En cuanto a las variaciones cuantitativas de la función objetivo al realizar el análisis de sensibilidad, se evaluaron los valores limites hasta el cual se pueden variar las restricciones cambiando el valor de la función objetivo. R3: Se realizaron varias iteraciones, en la primero se modificó el número de partidos por día de 1 a 2 obteniéndose un valor objetivo de 5900, luego se aumentó a 3 obteniéndose 6100, finalmente se aumentó a 4 obteniéndose un valor de 6400. Siendo 4 la cota máxima que genera cambios en el resultado obtenido por la F.O. R8: El aumento del presupuesto para el arriendo de buses para cada liga hace que el valor objetivo de la función aumente de 5400 a 5600 si es que se expande para poder arrendar solo uno más. Cabe destacar que el aumento de estos presupuestos incide de manera importante en el valor objetivo de la función, aumentándolo casi al dobre al tener diez veces el presupuesto actual disponible para cada liga.

R9: Se realizaron varias iteraciones aumentando la capacidad máxima por camarín pero se mantuvo constante el valor de la función objetivo. Por otro lado, al disminuir su capacidad 21 el problema se vuelve infactible; cosa que es de esperar dado que el número de jugadores de los equipos de fútbol son 22, los que tienen que jugar a lo menos una vez durante el mes.

También se evaluó el comportamiento frente al cambio de los parámetros *mvhe* y *mbus* los cuales afectan directamente en la restricciones R6 y R7. Este cambio no alteró el valor de la función objetivo.

5.3. Análisis de criticidad de restricciones.

En los resultados se puede observar que para cada día existe un grupo de equipos que no juegan más de una vez. Esto implica que existen cantidad de R3 activas como existen partidos al día. Para las combinaciones de posibles partidos que no se juegan en un día, la R3 queda inactiva. Esto afecta directamente al valor objetivo ya limita diariamente a la variable $X_{e,o,c,d,t,\alpha}$.

La restricción 6 se entiende que núnca está activa, ya que a lo más en los resultados obtenidos, habrán cuatro equipos con sus integrantes llegando en vehículo al recinto en un bloque de tiempo, y aún en ese caso no se alcanza a llegar al máximo de vehículos estacionados.

La restricción 7 impone que a lo más en un bloque de tiempo hayan dos buses estacionados. Esto ocurre en los bloques que se juega un solo partido y ambos equipos llegan en bus, lo que pasa solamente en el bloque 3 del día 7. En todos los otros instantes la restricción estña inactiva. Al estar activa hace que el resto de los equipos que juegan en ese bloque lleguen necesariamente en auto. La inactividad de la restricción no afecta al valor de la función objetivo. La restricción 9 se mantendrá inactiva para aquellos instancias en los que se juegan partidos de pocos jugadores, por ejemplo, así nunca sobrepasando la capacidad límite de los camarines para ambos sexos. La restricción 10 se encontrará inactiva para los casos en los que uno o dos de los equipos llegan en bus a un partido. Esto es porque la llegada en bus implica no traer espectadores, o no los suficientes como para sobrepasar la capacidad máxima de las canchas.

6. Bibliografía

1. Ministerio del Interior. (2001). *Ley del Deporte*. Disponible en http://www.ind.cl/wp-content/uploads/2014/11/Ley-del-Deporte-Crea-Ministerio.pdf [Consultado el 6 de Abril de 2018].

7. Anexos

Partido	Día	Bloque	Equipos	Deporte	N Cancha	Tranporte
1	1	1	4vs6	10	5	BUS-VEH
2	1	1	9vs10	4	2	VEH-VEH
3	1	2	2vs8	8	2	VEH-VEH
4	1	2	4vs7	10	5	BUS-VEH
5	1	3	3vs10	2	1	VEH-BUS
6	1	3	2vs4	7	4	VEH-VEH
7	1	4	8vs10	8	4	VEH-VEH
8	1	4	4vs9	7	5	VEH-VEH
9	2	1	2vs4	7	4	VEH-BUS
10	2	1	9vs10	4	2	VEH-VEH
11	2	2	2vs9	10	2	VEH-VEH
12	2	2	3vs8	1	1	BUS-VEH
13	2	3	4vs7	7	2	BUS-VEH
14	2	3	2vs8	8	5	VEH-VEH
15	2	4	4vs9	7	4	VEH-VEH
16	2	4	8vs10	8	5	VEH-VEH
17	3	1	4vs9	7	4	VEH-VEH
18	3	1	8vs10	8	5	VEH-VEH
19	3	2	9vs10	4	2	VEH-VEH
20	3	2	6vs8	8	4	VEH-BUS
21	3	3	7vs10	2	1	VEH-BUS
22	3	3	2vs8	8	4	VEH-VEH
23	3	4	3vs5	6	3	BUS-VEH
24	3	4	2vs9	9	5	VEH-VEH
25	4	1	5vs10	2	1	VEH-BUS
26	4	1	2vs4	10	2	VEH-VEH
27	4	2	3vs8	1	1	BUS-VEH
28	4	2	9vs10	4	2	VEH-VEH
29	4	3	4vs9	10	2	VEH-VEH
30	4	3	8vs10	8	4	VEH-VEH
31	4	4	2vs9	10	2	VEH-VEH
32	4	4	5vs8	8	4	VEH-BUS
33	5	1	9vs10	4	2	VEH-VEH
34	5	1	2vs4	10	5	VEH-BUS
35	5	2	5vs8	8	2	VEH-BUS
36	5	2	2vs9	7	5	VEH-VEH
37	5	3	4vs7	7	2	BUS-VEH
38	5	3	2vs8	8	5	VEH-VEH
39	5	4	4vs9	10	4	VEH-VEH
40	5	4	8vs10	8	5	VEH-VEH

Partido	Día	Bloque	Equipos	Deporte	N Cancha	Tranporte
41	6	1	4vs9	7	5	VEH-VEH
42	6	1	8vs10	3	2	VEH-VEH
43	6	2	2vs9	10	2	VEH-VEH
44	6	3	2vs8	8	4	VEH-VEH
45	6	3	4vs7	10	5	BUS-VEH
46	6	4	9vs10	4	2	VEH-VEH
47	6	4	6vs8	8	4	VEH-BUS
48	7	1	4vs7	7	4	BUS-VEH
49	7	1	2vs8	3	2	VEH-VEH
50	7	2	8vs10	8	4	VEH-VEH
51	7	2	4vs9	7	2	VEH-VEH
52	7	3	3vs8	1	1	BUS-VEH
53	7	3	9vs10	4	2	VEH-VEH
54	7	3	2vs4	7	5	BUS-VEH
55	7	4	5vs8	1	1	VEH-BUS
56	7	4	2vs9	9	4	VEH-VEH
57	8	1	9vs10	4	2	VEH-VEH
58	8	1	2vs4	10	4	VEH-BUS
59	8	2	7vs10	2	1	VEH-BUS
60	8	2	2vs8	8	5	VEH-VEH
61	8	3	4vs9	10	5	VEH-VEH
62	8	3	8vs10	8	2	VEH-VEH
63	8	4	2vs9	9	2	VEH-VEH
64	8	4	3vs5	5	3	BUS-VEH

Tabla 3. Resultados obtenidos para las variables $X_{e,o,c,d,t,\alpha}$, $V_{e,t,\alpha}$ y $B_{e,t,\alpha}$.