

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
OPE – ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE EMPRESA (ASPECTOS  
TÉCNICOS, JURÍDICOS Y ECONÓMICOS EN PRODUCCIÓN )

Programación Lineal Entera Mixta para asignar  
Voluntarios a la Organización de Eventos deportivos.  
Caso Aptitud no restringida

Joaquín Bautista · Manel Mateo · Rocío de la Torre

Research Group OPE-PROTHIUS. ETSEIB. Universitat Politècnica de Catalunya.  
Avda. Diagonal, 647, 7th floor, 08028 Barcelona, Spain.

OPE-PROTHIUS · OPE-WP.2018/01 (20180202)  
(Documento científico-técnico: 20180202)



**PROTHIUS**  
Càtedra Organització Industrial

<http://futur.upc.edu/OPE>

<http://www.prothius.com>

# Programación Lineal Entera Mixta para asignar Voluntarios a la Organización de Eventos deportivos. Caso Aptitud no restringida

Joaquín Bautista, Manel Mateo, Rocío de la Torre \*

Research Group OPE-PROTHIUS. ETSEIB. Universitat Politècnica de Catalunya.  
Avda. Diagonal, 647, 7th floor, 08028 Barcelona, Spain.

## Resumen

En este trabajo presentamos un modelo de Programación Lineal Entera Mixta (MILP por sus siglas en inglés) para optimizar la asignación de voluntarios a los puestos de trabajo que requiere una Organización destinada a dirigir, coordinar y controlar las actividades de un evento deportivo de gran dimensión. El modelo tiene en cuenta el conjunto de voluntarios y sus características, así como el conjunto de tareas y sedes propias de un Evento, y tiene el objetivo de maximizar la Aptitud global del voluntariado a las tareas y a los encuentros o sedes. La explotación del modelo la realizamos con el solucionador CPLEX y empleamos un caso de estudio vinculado a la XVII Copa Mundial de Baloncesto FIBA que tuvo lugar en España en el año 2014. El método de resolución que proponemos es capaz de resolver instancias con 15000 voluntarios, 27 tipos de tareas y 6 sedes deportivas, en un tiempo de CPU inferior a 3 segundos.

**Palabras clave:** Problemas de asignación, Programación Lineal Entera Mixta, Evento deportivo, XVII Copa Mundial de Baloncesto FIBA.

## Mixed Integer Linear Programming to assign Volunteers to the Organization of Sports Events. Case Unrestricted Fitness

### Abstract

In this research we present a model of Mixed Integer Linear Programming (MILP) to optimize the assignment of volunteers to the jobs required by an Organization destined to direct, coordinate and control the activities of a sporting event of large dimensions. The model takes into account the set of volunteers and their characteristics, as well as the set of tasks and venues of an Event, and has the objective of maximizing the Overall Fitness of volunteering to tasks and meetings or venues. The exploitation of the model is done with the CPLEX solver and we use a case study linked to the 17th FIBA Basketball World Cup that took place in Spain in 2014. The resolution method we propose is able to solve instances with 15000 volunteers, 27 types of tasks and 6 sports venues, in a CPU time of less than 3 seconds.

**Keywords:** Assignment Problems, Mixed Integer Linear Programming, Sports Event, 17th FIBA Basketball World Cup.

---

\* *Email:* joaquin.bautista@upc.edu (J Bautista), manel.mateo@upc.edu (M Mateo), maria.rocio.de.torre@upc.edu (R de la Torre)

## 1 Introducción

Es obvio que la Organización de un gran evento deportivo requiere el concurso de numerosas personas con diversas formaciones, habilidades e intereses personales. Algunos de estos recursos humanos pueden formar parte de la plantilla fija de la Organización, pero, habitualmente, dicha plantilla está sub-dimensionada respecto a las necesidades reales que surgen cuando se despliega operativamente el gran evento.

Las operaciones de ejecución de un gran evento deportivo son también muy diversas: (i) recibir y acompañar a deportistas, acompañantes, invitados y autoridades; (ii) ofrecer asistencia al público en las sedes durante el desarrollo de los encuentros deportivos; (iii) ofrecer información a todas las personas que la requieran por diversas vías de comunicación; (iv) velar por el mantenimiento de las instalaciones deportivas y de apoyo logístico; (v) participar en las operaciones de seguridad diseñadas para el evento; (vi) formar parte y dar asistencia en los actos de ceremonia deportivos y los desfiles de las comitivas, así como en otros actos culturales programados para la ocasión; y (vii) participar en la compra, reparto y entrega de regalos y ofrendas. Y así, podríamos añadir aquí un largo etcétera.

Es evidente que la Organización del gran evento deportivo no dispone directamente de todo el personal necesario para desplegar eficazmente muchas de las operaciones descritas anteriormente. Por ello, dadas estas circunstancias, es una práctica habitual recurrir al Voluntariado. Por ejemplo, en la ejecución de las operaciones de la XVII Copa Mundial de Baloncesto FIBA (España 2014) participaron alrededor de 15.000 voluntarios para ocupar más de 2000 puestos de trabajo.

En la literatura especializada en la organización de eventos relacionados con el deporte aparecen diversos problemas: Programación de torneos [1], Programación de actividades en deportes [2], Programación de actividades en una liga de fútbol ([3],[4],[5]), entre otros.

En este trabajo, nuestro interés se centra en resolver un problema de asignación ([6],[7],[8],[9]) de recursos humanos a puestos de trabajo, empleando como método de modelado y resolución la Programación Lineal [10]. En nuestro caso, los recursos humanos corresponden al Voluntariado [11], y los puestos de trabajo son los que se diseñaron para la organización de la XVII Copa Mundial de Baloncesto FIBA ([12],[13]).

Para resolver el problema objeto de estudio, hemos empleado como técnica y herramienta de resolución, la Programación Lineal Entera Mixta (MILP) y el solver CPLEX, respectivamente.

La validez del modelo implementado se confirma mediante una experiencia computacional con instancias de grandes dimensiones (alrededor de 15.000 voluntarios, 2000 puestos de trabajo y 6 sedes) extraídas de la base de datos FIBA-2014BWC-Spain.

Tras esta breve introducción, el resto del presente texto queda estructurado de la forma siguiente. En la sección 2 presentamos un modelo basado en la Programación Lineal Entera Mixta para asignar voluntarios en eventos deportivos con el objetivo de maximizar la Aptitud global de los recursos humanos al conjunto de tareas que tienen lugar en un conjunto de sedes. En la sección 3 referenciamos la base de datos utilizada en la explotación del modelo con el solucionador CPLEX, y evaluamos la dimensión del modelo para un caso de estudio vinculado con la organización de la XVII Copa Mundial de Baloncesto FIBA. Finalmente, la sección 4 la dedicamos a extraer las primeras conclusiones prácticas sobre este estudio y a marcar líneas futuras de trabajo.

## 2 MILP para la asignación del Voluntariado en un Evento deportivo

### 2.1 NOMENCLATURA BÁSICA

Parámetros:

$I$	Conjunto de voluntarios (Volunteer): $i = 1, \dots, n$ ( $n \equiv  I $ )
$J$	Conjunto de tareas (Task): $j = 1, \dots, m$ ( $m \equiv  J $ )
$K$	Conjunto de sedes o encuentros (Venue): $k = 1, \dots, l$ ( $l \equiv  K $ )
$n_{j,k}$	Número máximo de voluntarios que pueden participar en el tipo de tarea $j \in J$ de la sede o encuentro $k \in K$ . Equivale al número de puestos de trabajo disponibles para realizar la tarea tipo $j \in J$ en la sede o encuentro $k \in K$
$p_{i,j}$	Puntuación que obtiene el voluntario $i \in I$ para realizar la tarea tipo $j \in J$ en base a sus habilidades y aptitudes. Equivale a la Aptitud (fitness) del voluntario $i \in I$ para realizar la tarea tipo $j \in J$ . En este trabajo supondremos que los valores de $p_{i,j}$ son valores enteros entre 0 y 100: $p_{i,j} \in [0,100] \wedge Z$
$a_{i,j}$	Grado de satisfacción que obtiene el voluntario $i \in I$ cuando realiza la tarea tipo $j \in J$ . También expresa el grado de deseo que tiene un voluntario por realizar una tarea. En general se debe cumplir: $a_{i,j} \in [0,10] \wedge Z$ . En este trabajo supondremos que los valores de $a_{i,j}$ son binarios: $a_{i,j} \in \{0,1\}$
$b_{i,k}$	Grado de satisfacción que obtiene el voluntario $i \in I$ cuando participa en el encuentro $k \in K$ . También expresa el grado de deseo que tiene un voluntario por estar presente en un a sede o encuentro. En general se debe cumplir: $b_{i,k} \in [0,10] \wedge Z$ . En este trabajo supondremos que los valores de $b_{i,k}$ son binarios: $b_{i,k} \in \{0,1\}$
$f_{i,j,k}$	Aptitud (Fitness) del voluntario $i \in I$ para realizar la tarea tipo $j \in J$ en el encuentro o sede $k \in K$ . Se calcula así: $f_{i,j,k} = a_{i,j} b_{i,k} p_{i,j}$

Variables:

$F$	Aptitud global del voluntariado a las tareas y a los acontecimientos
$x_{i,j,k}$	Variable binaria que vale 1 si al voluntario $i \in I$ se le asigna la tarea tipo $j \in J$ en el encuentro o sede $k \in K$ , y vale 0 en caso contrario

### 2.2 MODELO MILP

MILP-1 :  $a_{i,j} \in \{0,1\}$ ;  $b_{i,k} \in \{0,1\}$  v.1

$$\max F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l f_{i,j,k} x_{i,j,k} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^l x_{i,j,k} \leq a_{i,j} \quad \forall i = 1, \dots, n \quad \forall j = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{i,j,k} \leq b_{i,k} \quad \forall i = 1, \dots, n \quad \forall k = 1, \dots, l \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j,k} \leq n_{j,k} \quad \forall j = 1, \dots, m \quad \forall k = 1, \dots, l \quad (4)$$

$$x_{i,j,k} \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, n \quad \forall j = 1, \dots, m \quad \forall k = 1, \dots, l \quad (5)$$

En el modelo (MILP-1 :  $a_{i,j} \in \{0,1\}$ ;  $b_{i,k} \in \{0,1\}$ ) v.1, la función objetivo (1) representa la maximización de la Aptitud del cuerpo de voluntarios a las tareas y a los encuentros o sedes; las restricciones (2) sirven para garantizar que ningún voluntario tenga asignada una tarea que no desee, mientras que (3) garantizan que ningún voluntario irá a un encuentro o sede en los que no desee participar o estar; las restricciones (4) limitan la asignación de voluntarios a los puestos de trabajo disponibles, según tareas y sedes o encuentros; finalmente, las condiciones (5) imponen que las variables de decisión ( $x_{i,j,k}$ ) sean binarias.

Otra forma de modelar el problema que nos ocupa es la siguiente:

MILP-1 :  $a_{i,j} \in \{0,1\}$ ;  $b_{i,k} \in \{0,1\}$  v.2

$$\max F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l f_{i,j,k} x_{i,j,k} \quad (6)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l x_{i,j,k} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j,k} \leq n_{j,k} \quad \forall j = 1, \dots, m \quad \forall k = 1, \dots, l \quad (8)$$

$$x_{i,j,k} \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, n \quad \forall j = 1, \dots, m \quad \forall k = 1, \dots, l \quad (9)$$

Donde las restricciones (7) garantizan que todo voluntario ocupará como máximo un puesto de trabajo en alguna sede.

### 3 Data

#### 3.1 METODOLOGÍA PARA LA COLECTA DE DATOS

Los valores de los parámetros se han obtenido desplegando las etapas 1-5 de la metodología usada para la elaboración de la base de datos. Dichas etapas son:

Etapa-1: Primero, se diseñan los perfiles de los voluntarios ajustados al conjunto de tareas que se van a desarrollar durante el Evento, quedando definido el conjunto  $J$ . Segundo, se fija el conjunto de sedes o encuentros del Evento, quedando definido el conjunto  $K$ .

Etapa-2: Se determina el número de puestos de trabajo asociados a cada tarea tipo  $j \in J$  y en cada encuentro o sede  $k \in K$ , quedando definidos los valores de los parámetros  $n_{j,k}$ .

Etapa-3: Se elabora la lista de voluntarios con sus habilidades para participar en el Evento, quedando definido el conjunto  $I$ . Además, gracias a la información aportada por todo voluntario a través de su solicitud para acceder a todo puesto de trabajo en toda sede, quedan registrados los valores de los parámetros  $a_{i,j}$  (voluntario-tarea) y  $b_{i,k}$  (voluntario-sede).

Etapa-4: Se evalúa a todos los voluntarios (elementos del conjunto  $I$ ) en función de su Aptitud para desempeñar las tareas (elementos del conjunto  $J$ ) que requiere el Evento. Este hecho se concreta en dar una puntuación,  $p_{i,j}$ , a cada voluntario  $i \in I$  para cada tarea tipo  $j \in J$ , en función de la información aportada por éste en su solicitud para optar a un puesto de trabajo.

Etapa-5: Se determina la Aptitud ( $f_{i,j,k}$ ) de todo voluntario  $i \in I$  para realizar la tarea tipo  $j \in J$  en la sede  $k \in K$ , a partir de la terna de valores paramétricos ( $a_{i,j}$ ,  $b_{i,k}$  y  $p_{i,j}$ ) fijados en las etapas 3 y 4. En definitiva:  $f_{i,j,k} = a_{i,j}b_{i,k}p_{i,j} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K$ .

### 3.2 DIMENSIÓN DEL MODELO PARA EL CASO DE ESTUDIO FIBA-2014BWC-SPAIN

Obviamente, las dimensiones del modelo MILP-1 ( $a_{i,j} \in \{0,1\}$ ;  $b_{i,k} \in \{0,1\}$ ) son función de las instancias empleadas para realizar la experimentación. Con el propósito de fijar ideas, nos centraremos en la instancia#2 del caso objeto de estudio, cuyos datos más significativos son:

- Número de voluntarios participantes:  $n = 14.774$
- Número de tipos de tareas:  $m = 27$
- Número de sedes (Pabellones):  $l = 6$

Atendiendo a los valores anteriores podemos confirmar los siguientes hechos:

1. Se definieron 162 tipos de puestos de trabajo.
2. Se definieron y ocuparon 2148 puestos de trabajo repartidos en 6 sedes.
3. Se puntuaron 398.898 entradas en el sistema de evaluación de la aptitud del voluntariado.
4. Se examinaron 398.898 entradas en el sistema de preferencias del voluntariado en cuanto al tipo de tarea a desarrollar durante el Evento.
5. Se examinaron 88.644 entradas en el sistema de preferencias del voluntariado en cuanto a las sedes (pabellones deportivos) donde quería estar presente durante el Evento.
6. MILP-1 contiene 2.393.388 variables de decisión (binarias) en sus dos versiones.
7. MILP-1 contiene 162 restricciones lineales asociadas a los puestos de trabajo disponibles en sus dos versiones.
8. MILP-1 (v.1) contiene 398.898 restricciones lineales asociadas a las preferencias del voluntariado en cuanto a tipos de tarea.
9. MILP-1 (v.1) contiene 88.644 restricciones lineales asociadas a las sedes o pabellones preferidos por el voluntariado.

10. MILP-1 (v.2) contiene 14.774 restricciones lineales asociadas a la limitación del número de puestos de trabajo que puede ocupar todo voluntario.
11. El solucionador IBM ILOG CPLEX (Optimization Studio v.12.2, win-x86-64), ejecutado en DELL Inspiron-13 (Intel(R) Core(TM) i7-7500U @ 2.70 GHz CPU 2.90 GHz, 16 GB de RAM, x64 Windows 10 Pro), empleó menos de 3 segundos de tiempo de CPU en resolver la instancia#2.

#### 4 Conclusiones y líneas de trabajo futuras

La conclusión obvia es que MILP es una técnica de optimización muy competitiva para resolver problemas de asignación de voluntarios a la Organización de eventos deportivos. Este hecho se confirma mediante el experimento que hemos realizado con la base de datos FIBA-2014BWC-Spain que permite generar instancias con dimensiones realistas (15.000 voluntarios, 2000 puestos de trabajo distribuidos en 6 pabellones deportivos).

En cuanto a investigaciones futuras, hemos previsto las siguientes líneas de actuación: (L1) Incorporar a los modelos el concepto Nota de Corte (*cut-off mark*) y aplicarlo a la selección del voluntariado; (L2) Analizar el impacto, sobre la asignación de voluntarios y la aptitud global, generado por su exclusión parcial o total, en función de sus grados de satisfacción  $a_{i,j}$  y  $b_{i,k}$  (considerando valores enteros), tanto por hacer unas tareas concretas como por estar presentes en ciertas sedes concretas; (L3) Incluir en los modelos nuevas restricciones de carácter temporal (turnos de trabajo), espacial (aforo de las sedes o lugares de encuentro) y de contingencia (riesgo ergonómico y capacidad laboral limitada); (L4) Formular y explotar otros modelos de asignación que incorporen tipologías del voluntariado y de los puestos de trabajo; y (L5) Explorar la posibilidad de transferir la experiencia adquirida en este trabajo a otros ámbitos de aplicación, como es el caso de la asignación de voluntarios a la Organización de acontecimientos vinculados al despliegue de Misiones Humanitarias.

#### Agradecimientos:

Esta investigación ha sido subvencionada por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España a través del proyecto TIN2014-57497-P (FHI-SELM2).

#### 5 Referencias · References

1. Pinedo ML (2009) Planning and Scheduling in Manufacturing and Services. Springer, New York.
2. Kendall G, Knust S, Ribeiro CC, Urrutia S (2010) Scheduling in sports: An annotated bibliography. Computers & Operations Research, 37, 1-19.
3. Della Croce F, Oliveri D (2006) Scheduling the Italian football league: an ILP-based approach. Computers & Operations Research 33, 1963-1974.
4. Drexel A, Knust S (2007) Sports league scheduling: Graph- and resource-based models. Omega, 35, 465-471.
5. Recalde D, Torres R, Vaca P (2013) Scheduling the professional Equadorian football league by integer programming. Computers & Operations Research, 40, 2478-2484.
6. Kunh HW (1955) The Hungarian method for the assignment problem. Naval Research Logistics, 2, 83-97.

7. Chu PC, Beasley JE (1997) A genetic algorithm for the generalised assignment problem. *Computers & Operations Research*, 24, 17-23.
8. Öncan (2007) Survey of the Generalized Assignment Problem and Its Applications. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 45, 123-141.
9. Krumke SO, Thielen C (2013) The generalized assignment problem with minimum quantities. *European Journal of Operational Research*, 228, 46-55.
10. Dantzig GB, Thapa MN (1997) *Linear Programming 1: Introduction*. Springer-Verlag, New York.
11. Rogalsky K, Doherty A, Paradis KF (2016) Understanding the Sport Event Volunteer Experience: An Investigation of Role Ambiguity and Its Correlates. *Journal of Sport Management*, 30, 453-469.
12. Llovet I (2016) Diseño de una herramienta de soporte en la gestión de voluntarios en una competición deportiva global. Proyecto Final de Carrera. ETS Ingeniería Industrial Barcelona, Barcelona.
13. Mateo M, Bautista J, de la Torre MR (2017) Gestión de voluntarios en una competición deportiva. 11th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, XXI Congreso de Ingeniería de Organización, Valencia, Spain, July 5-6, 2017.