

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA CALENDARIZAR EL CAMPEONATO ECUATORIANO DE FÚTBOL PROFESIONAL POR MEDIO DE UNA APROXIMACIÓN HEURÍSTICA UTILIZANDO PROGRAMACIÓN ENTERA

Cabezas Xavier¹, Morales Jorge²

Resumen. En este trabajo se presenta una aplicación de las técnicas de Investigación de Operaciones, el cual consiste en el desarrollo de una aplicación para calendarizar el Campeonato Ecuatoriano de Fútbol profesional por medio de una aproximación heurística utilizando Programación Entera, este documento presenta mucho interés personal en los Scheduling Problems, debido a que involucra un procedimiento heurístico con la programación lineal entera (ILP). Se consideran restricciones basadas a las características actuales del campeonato con unas variantes, como la asignación de dos equipos o más equipos a un canal TV en una determinada fecha. Este procedimiento está dividido en tres fases: búsqueda de conjuntos de esquemas factibles, búsqueda de calendarios factibles y emparejamiento de equipos a esquemas, el cual se lo implementa en GAMS®³ como motor de optimización y Wolfram Mathematica®⁴ para generar conjuntos de entrada, obteniendo buenos resultados en poco tiempo, con la posibilidad de generar distintos calendarios factibles para que puedan ser alternativas para los distintos equipos y la Federación Ecuatoriana de Fútbol.

Palabras Claves: Calendarización, Heurísticas, Wolfram Mathematica, Gams, Quiebres, Esquemas.

Abstract. This paper presents an application of the techniques of Operations Research, which is the development of an application to schedule the Ecuadorian Professional Football Championship by a heuristic approach using Integer Programming, this document presents much interest in the scheduling Problems, because it involves a heuristic procedure with Integer Linear Programming (ILP). Constraints are considered based on the current characteristics of the championship with some variants, such as assigning two or more teams to a channel at a certain date. This procedure is divided into three phases: searching for feasible pattern sets, searching for feasible schedules and matching teams to patterns, which is implemented in GAMS®³ as motor optimization and Wolfram Mathematica®⁴ to generate sets of input, obtaining good results in short time, with the ability to generate feasible schedules, these may be alternatives for the different team and the FEF.

Keywords: Scheduling, Heuristics, Wolfram Mathematica, Gams, Breaks, Pattern

Recibido: Mayo, 2012

Aceptado: Junio, 2012

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMAS COMBINATORIOS

Un problema de optimización combinatoria es especificado por un conjunto P de las instancias que están asociadas a la solución del problema, las cuales son de tipología de minimización o maximización. Por problema se entiende, una pregunta general a ser contestada, teniendo muchas variables y parámetros con valores no especificados. La instancia del problema, a su vez se entiende como un caso particular del problema, con valores específicos para todos los parámetros y variables. Es importante recalcar que las instancias no son dadas explícitamente, sino más bien, se expresan en un conjunto de valores

relacionados directamente con los parámetros que han sido usados para modelar el problema. En algunos casos, además de encontrar una solución óptima, debemos hallar una solución que satisfaga un conjunto de restricciones dentro del espacio de solución, es decir, esta podría no ser válida, aunque sea la mínima o máxima globalmente.

1.2. METODOLOGÍA DE LAS SOLUCIONES PARA PROBLEMAS COMBINATORIOS

Definición de Heurística y Metaheurística.

En un problema de optimización, se califica de heurístico a un procedimiento para el que se tiene un alto grado de confianza en que encuentran soluciones de alta calidad con un costo computacional razonable, aunque no se garantice su optimalidad, e incluso, en algunos casos, no se llegue a establecer lo cerca que se está de dicha situación. En optimización matemática, se usa el término heurístico en contraposición a exacto, que se aplica los procedimientos a los que se les exige que la solución aportada sea óptima y factible.

¹Cabezas Xavier, M.Sc., Profesor de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL); (e_mail: xcabezas@espol.edu.ec).

²Morales Jorge, Ing. en Logística y Transporte (ESPOL); (e_mail: jorlumors@espol.edu.ec).

³Sistema General de Modelaje Algebraico GAMS, diseñado específicamente para modelar problemas de optimización.

⁴Wolfram Matemática, desarrollado por Wolfram Research Inc, herramienta especializada en análisis numérico.

Además, es usual aplicar este término, cuando utilizando el conocimiento que se tiene del problema, se realizan modificaciones en el procedimiento de solución del problema, que aunque no afecta a la complejidad del mismo, mejoran el rendimiento en su comportamiento práctico. Las metaheurísticas son estrategias inteligentes para diseñar o mejorar procedimientos heurísticos muy generales con un alto rendimiento, estas se refieren al diseño de los tipos fundamentales de procedimientos heurísticos de solución de un problema de optimización.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. ENFOQUES DE ALGUNOS MÉTODOS DE SOLUCIONES PARA CALENDARIZACIÓN

Los problemas de Calendarización en general han sido aplicados en diferentes casos, como: educacional, deportes, tareas de actividades, entre otras. Este trabajo trata de resolver la calendarización para deportes las cuales tienen características propias incluso diferentes entre las otorgadas por la Federación Ecuatoriana de Fútbol (FEF). El esfuerzo (humano y computacional) de quien o quienes planifican los calendarios de juegos, ha hecho que el problema de calendarización para este caso particular sea considerado uno de los más importantes en la optimización combinatoria. En muchos de los casos, las soluciones encontradas de forma manual suelen dejar muchas de las restricciones del problema sin cumplir, y el descontento de los actores que de una u otra forma están relacionados con la construcción del calendario final, se hace notar de diferentes maneras. Un camino para resolver el problema es la Programación Lineal Entera (ILP) [3], que considera un conjunto de ecuaciones que representan las restricciones naturales de la elaboración de horarios, además de una función objetivo (FO). Formulación de programación lineal del problema y sus restricciones, se pueden encontrar a lo largo de la literatura, sin embargo muchas de ellas no contienen algunas restricciones de fuerte interés y que se esperan se cumplan en la planificación. Muchas veces, esto es debido a que algunas restricciones suelen ser difíciles de formular y limitan los problemas a instancias que no son aplicables a algunos de los casos reales.

Aquí es donde se consideran alternativas de solución Heurísticas o Metaheurísticas como Algoritmos Genéticos [7], Búsqueda Tabú [6], Recocido Simulado, entre otros, que encuentran

soluciones aproximadas, pero que con un buen diseño pueden estar muy cerca del óptimo.

2.2. ENTIDADES QUE PARTICIPAN EN LA CALENDARIZACIÓN DE DEPORTES TTP

De acuerdo a la literatura de documentos desarrollados por otros autores, se ha encontrado una serie de presentaciones para la formulación de este problema, lo cual es debido a que no es posible escribir una que contenga todos los casos posibles que pueden presentarse en la vida real, cada federación de distintos países posee características diferentes que hacen que el problema se vuelva muy particular. Con el fin de tener una descripción general de este problema se ha tomado como referencia diferentes propuestas que contienen las restricciones más populares (duras y suaves) del problema. Primero se comienza con definir las entidades que participan en el problema:

- **Esquema (Pattern).**- Cadena de símbolos que pertenecen al conjunto H, A indicando una sucesión de partidos de Local (H , por Home) y Visitante (A , por Away) de un equipo en el torneo.
- **Quiebre (Break).**- Un Quiebre ocurre cuando dos partidos consecutivos se juegan o bien de local o bien de visitante.
- **Conjunto de esquemas (Pattern Set).**- Conjunto de esquemas diferentes con cardinalidad igual al número de equipos del torneo.
- **Televisoras.**- Son las distintas empresas televisivas que poseen los derechos de transmisión de los diferentes equipos.
- **Esquemas Complementarios.**- Son los esquemas correspondientes a los partidos de vuelta por cada equipo.
- **Semanas.**- Es el número total de encuentros realizados por cada equipo.
- **Emparejamiento.**- Es la asignación de los equipos a los esquemas factibles.
- **Round Robin.**- Es el tipo de torneo cuando todos los equipos jugaban todos contra todos una sola vez por cada etapa.

3. DESCRIPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

3.1. SISTEMA DEL CAMPEONATO ECUATORIANO DE FÚTBOL 2011

El Campeonato Ecuatoriano de Fútbol de 2011, se jugó con la misma modalidad que el año 2010, de acuerdo a lo que decidieron los dirigentes de la Federación Ecuatoriana de Fútbol. El Campeonato

Ecuatoriano de Fútbol de 2011, según lo establecido en el Reglamento 2011 otorgado por la Federación Ecuatoriana de Fútbol, éste se jugó con 12 equipos que se disputaron el título en tres etapas. De las cuales dos etapas fue de todos contra todos y la tercera etapa fue para definir al campeón y a los mejores equipos de la Tabla Acumulada, que no eran los finalistas, los cuales pelearon por el tercer lugar que otorgó un cupo a la Primera Fase (repecha) de la Copa Libertadores. Una de las tareas de la FEF es la programación de los partidos de cada torneo de la Primera y Segunda División en general. Hace algunos años, este era uno de los más altos problemas que tenía de FEF, debido a que por lo general cada año cambiaban la modalidad (características) del campeonato. Una de las modalidades que tenía inicialmente la FEF era de elegir aleatoriamente unos números los cuales eran asignados a los equipos participantes en el torneo, de esta forma generaban el calendario utilizado en los torneos. Esta modalidad les permitía realizar una programación que cumplía los requerimientos básicos del torneo, pero no permitía considerar una serie de otros criterios, lo que conllevaba a múltiples quejas de parte de los equipos. En base a este tipo de problemas que se presenta en la elaboración del calendario en este tipo de torneos, ya sean estos de Fútbol, Basket, etc., es creado este documento, debido a que se presenta un mecanismo para la elaboración de los mismo (calendarios de juegos), en el cual nos basamos a las características básicas de un torneo todos contra todos mediante técnicas de Investigación de Operaciones (IO). Adicionalmente se agrega restricciones basadas en los derechos de televisivos de las TVs, para de una u otra forma definir los recursos de estas (TVs); ésta es una de las características más importantes que presentamos en el desarrollo del calendario, la cual además incorporó requerimientos de la FEF y de los clubes. Las condiciones consideradas integraron múltiples aspectos tales como partidos considerados clásicos (equipos de la misma ciudad), partidos de mucho interés para el público (aficionados), entre otros.

3.1.1. EQUIPOS PARTICIPANTES

TABLA I

Desarrollo de una aplicación para calendarizar el campeonato Ecuatoriano de fútbol profesional por medio de una aproximación Heurística utilizando programación entera

Equipos Participantes

Equipos Participantes	
Equipo	Ciudad
Barcelona	Guayaquil
Emelec	Guayaquil
Deportivo Quito	Quito
El Nacional	Quito
Espoli	Quito (Santo Domingo)
Liga de Quito	Quito
Deportivo Cuenca	Cuenca
Imbabura S.C.	Ibarra
Independiente del Valle	Sangolquí
Liga de Loja	Loja
Manta F.C.	Manta
Olmedo	Riobamba

TABLA II

Desarrollo de una aplicación para calendarizar el campeonato Ecuatoriano de fútbol profesional por medio de una aproximación Heurística utilizando programación entera

Equipos por Provincia

Equipos por Provincia	
Provincia	Equipos
Pichincha	El Nacional, Independiente del Valle, Liga de Quito, Espoli y Deportivo Quito
Guayas	Barcelona y Emelec
Azuay	Deportivo Cuenca
Chimborazo	Olmedo
Imbabura	Imbabura S.C.
Loja	Liga de Loja
Manabí	Manta F.C.

3.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Cuando el problema de calendarización de un torneo todos contra todos (con un número par de equipos) no tiene restricciones, su construcción puede ser fácilmente obtenido en tiempo lineal respecto al número de partidos y tiene una interpretación teórica sobre grafos, porque corresponde al problema de encontrar la 1-factorización de un grafo completo no dirigido con un número par de vértices.

El problema de calendarización de deportes consiste básicamente en:

Dados un conjunto de equipos, un conjunto de televisoras, un conjunto de esquemas; en asignar los equipos a las respectivas televisoras que poseen sus derechos de transmisión con un

determinado esquema específico disminuyendo la cantidad de quiebres, todo esto están sujetos a un conjunto de restricciones que son consideradas suaves y duras. La mayor dificultad de este problema consiste en encontrar soluciones que involucren un emparejamiento de los equipos con las televisoras y su respectivo esquema para una determinada semana. Debido a estas características este problema estaría dentro de la categoría de los problemas de optimización combinatoria. Por este motivo no siempre es posible dar una solución que sea del todo aceptable para todas las partes involucradas.

3.2.1. RESTRICCIONES DEL PROBLEMA

Dado un conjunto N de n equipos provenientes de diferentes ciudades, crearemos un calendario de juegos para la primera y segunda etapa, con la modalidad de todos contra todos (DOUBLE ROUND ROBIN TOURNAMENT), cada equipo jugará dos veces contra un equipo, uno de local y el otro de visitante.

Las restricciones que asumiremos para este problema son las siguientes:

- Esta es basada a la posición que los equipos del campeonato obtuvieron en la temporada inmediata anterior. Los mejores equipos de la serie A del año anterior los consideraremos cabezas de serie para el siguiente año y para estos equipos se sugiere que no jueguen entre ellos las primeras y últimas γ semanas (asumiremos $\gamma = 2$).

TABLA III

Desarrollo de una aplicación para calendarizar el campeonato Ecuatoriano de fútbol profesional por medio de una aproximación Heurística utilizando programación entera

Equipos Cabezas de Serie

Equipos cabeza de serie
Emelec
Liga de Quito
Barcelona
Deportivo Quito

- Una restricción típica que consideraremos es relacionado a la sucesión de partidos de local y visitante, es decir no se permitiría más de dos partidos consecutivos de local (visitante) para cada equipo.

- Como este es un caso particular de las aplicaciones de TTP para deportes, debemos tener particularidades en su formulación. En lo presente, tenemos equipos que pertenecen a las mismas ciudades como equipos representantes, es decir que será necesario que los equipos de la misma ciudad deberán tener programaciones de juegos local-visitante complementarios, por ejemplo Barcelona y Emelec son únicos representantes de Guayaquil, lo que implica que si Barcelona juega de local en una determinada fecha, Emelec jugaría de visitante en la misma jornada.
- De la misma forma que para los equipos cabezas de serie, los equipos entre equipos de una misma ciudad no se les permitiría jugar entre ellos en las primeras y últimas k semanas, asumiremos $k = 2$. Tabla IV

TABLA IV

Desarrollo de una aplicación para calendarizar el campeonato Ecuatoriano de fútbol profesional por medio de una aproximación Heurística utilizando programación entera

Equipos de una misma ciudad

Equipos de una misma ciudad
Barcelona / Emelec
Liga de Quito / Deportivo Quito / El Nacional

- Como suele suceder en todos los países, existen equipos que son únicos representantes de una ciudad, es comúnmente preferible que estos equipos no jueguen un partido de local cuando exista en la ciudad algún evento festivo obligatorio, como éstas de fundación, entre otras. Esta restricción se considera suave.
- Finalmente desde hace algunos años las compañías de TV poseen derechos de transmisión de los partidos del Campeonato Nacional Copa Credife. Los respectivos equipos son asignados a estas empresas como: Ecuavisa, Teleamazonas y GamaTv; lo que significa que la asignación de un equipo j a la televisora p implica que p puede transmitir en vivo los partidos de j .

TABLA 5

Desarrollo de una aplicación para calendarizar el campeonato Ecuatoriano de fútbol profesional por medio de una aproximación Heurística utilizando programación entera
Televisoras con los derechos de transmisión

Equipos asignados a cada Televisora		
TV1	TV2	TV3
Emelec	Liga de Quito	Barcelona S.C.
El Nacional	Dep. Quito	Independiente
Deportivo Cuenca	Liga de Loja	
Olmedo	Manta F.C.	
	Espoli	
	Imbabura	

En este trabajo se impone una restricción de balance en la asignación de equipos a las televisoras, donde los partidos de local en todas las semanas son proporcionalmente divididos. Esto es dividido a que al menos los 2/3 de los partidos se juegan al mismo tiempo. Es decir, un buen calendario balanceado debería minimizar los requerimientos de personal y equipo disponible en paralelo.

4. MODELO MATEMÁTICO DEL PROBLEMA

El modelo matemático que se presenta a continuación está basado en la información referente al problema de calendarización de deportes, aunque no todas las restricciones que serán tomadas en este documento se encuentran presentes, sino las más relevantes que serán analizadas para el caso de estudio.

4.1. PROCEDIMIENTO PARA LLEGAR A LA SOLUCIÓN (CALENDARIO)

Este procedimiento está relacionado al trabajo realizado por D. Oliveri and F. Della Croce [4], en la elaboración del calendario de la Liga Italiana de Fútbol, los cuales lo definieron de la siguiente manera:

1. Búsqueda de conjuntos de esquemas factibles en base a los recursos de las televisoras.
2. Búsqueda de calendarios factibles basados a los esquemas factibles.
3. Emparejamiento de equipos a esquemas para la elaboración del calendario final.

4.1.1. PRIMERA FASE: BÚSQUEDA DE CONJUNTOS DE ESQUEMAS FACTIBLES

En la primera fase se busca un número suficientemente grande de diferentes conjuntos de esquemas formados por esquemas

complementarios los cuales están balanceados respecto a la cobertura de televisión, además de minimizar el número total de quiebres.

Modelo de Programación Entera

p_i = Número de quiebres del esquema i (que toma valores de $p_i = 0, 1$ o 2).

NTV_k = Número total de equipos asignados a la televisora k .

$C_{i,l}$ = Conjunto que contiene los pares de esquemas complementarios.

$$A_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{Si el esquema } i \text{ juega de visitante en la semana } j \\ 0 & \text{Si no} \end{cases}$$

Y por último, definimos una variable binaria, la cual se describe de la siguiente manera:

$$X_{i,k} = \begin{cases} 1 & \text{Si el esquema } i \text{ es seleccionado a la televisora } k \\ 0 & \text{Si no} \end{cases}$$

En ésta programación matemática el objetivo se basa principal es minimizar el número de quiebres, la cual se la define de la siguiente manera:

$$\text{Min } z = \sum_i \sum_k p_i x_{i,k}$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_i A_{i,j} x_{i,k} = \frac{N_k}{2}; \quad k = 1, 2 \forall j, \quad (1)$$

$$\sum_i x_{i,k} = N_k; \quad k = 1, 2, \quad (2)$$

$$x_{i,k} - x_{j,k} = 0; \quad \forall (i,j) \in C_{i,l}, \quad k = 1, 2, \quad (3)$$

$$\sum_k x_{i,k} \leq 1; \quad \forall i, \quad (4)$$

$$x_{i,k} \in \{0,1\}; \quad \forall i, k, \quad (5)$$

Para obtener un segundo conjunto de esquemas, como para generar un nuevo calendario o para buscar esquemas factibles para uso posterior, se repite esta fase agregando la siguiente restricción:

$$\sum_{(i,k) \in S} x_{i,k} \leq \frac{n}{2}; \quad (6)$$

donde S es el conjunto de esquemas seleccionados por la solución inmediatamente anterior. La restricción 6 asegura que al menos el 50% del conjunto de variables en la solución previa tomarán el valor de cero, es decir se obtendrá una nueva solución significativamente diferente a la anterior.

4.1.2. SEGUNDA FASE: BÚSQUEDA DE CALENDARIOS FACTIBLES

En esta fase, para cada conjunto de esquemas generados en la fase 1, se busca un calendario factible y consistente con este.

Modelo de Programación Entera

En ésta segunda fase interviene la siguiente variable binaria, la cual se la define de la siguiente manera:

$$X_{i,j,t} = \begin{cases} 1 & \text{Si el esquema } i \text{ es emparejado al esquema } j \\ & \text{en la semana } t \\ 0 & \text{Si no} \end{cases}$$

$d_{i,j,t}$ = Conjunto de esquemas que tienen juego de local (visitante) en la semana t donde el esquema i juega de visitante (local)

Como estrategia de modelización para esta fase usaremos como objetivo minimizar una constante (función de costos ficticia).

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_{j \in d_{i,j,t}} x_{i,j,t} = 1; \quad \forall i, t, \quad (7)$$

$$x_{i,j,t} = x_{j,i,t}; \quad \forall i, j > i, t, \quad (8)$$

$$\sum_t x_{i,j,t} = 1; \quad \forall i, j \neq i, \quad (9)$$

$$x_{i,j,t} \in \{0,1\}; \quad \forall i, j, t \quad (10)$$

4.1.3. TERCERA FASE: EMPAREJAMIENTO DE EQUIPOS A ESQUEMAS

En esta fase se recibe como datos de entrada cada calendario factible generado por la fase 2. Es posible que en la fase 2 no se generen calendarios factibles para algún conjunto de esquemas, para estos casos la fase 3 no se ejecutara. Se asignarán equipos reales a cada calendario factible cumpliendo las restricciones de los cabezas de serie y de aquellos que se localizan en la misma ciudad.

Modelo de Programación Entera

El modelo de programación entera para esta fase va definida de la siguiente manera:

Sea x una variable binaria descrita como:

$$X_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{Si el esquema } i \text{ es emparejado al equipo } j \\ 0 & \text{Si no} \end{cases}$$

$C_{i,h}$ Conjunto que contiene los pares de esquemas complementarios.

$D_{j,j}$ Conjunto que contiene los pares de equipos que juegan en la misma ciudad.

$E_{i,r}$ = Conjunto de esquemas que no pueden ser emparejados a un equipo cabeza de serie β si el esquema i ya ha sido emparejado con otro equipo cabeza de serie α . Esta variable ayuda a cumplir la restricción de que los partidos de los equipos cabeza de serie no pueden jugarse en las primeras y últimas γ semanas.

F_i = Conjunto de esquemas que no pueden ser emparejados a un equipo dado δ si el esquema i es emparejado a otro equipo dado ϵ el cual está localizado en la misma ciudad de δ . Esta variable ayuda a cumplir la restricción de que los partidos de los equipos cabeza de la misma ciudad no pueden jugarse en las primeras y últimas γ semanas.

$T(j)$ = Conjunto de equipos cabezas de serie.

$$\min z = \sum_i \sum_j x_{i,j}$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_i x_{i,j} = 1; \quad \forall j, \quad (11)$$

$$\sum_j x_{i,j} = 1; \quad \forall i, \quad (12)$$

$$x_{i,j} + \sum_{r \in E_{i,r}} x_{l,m} \leq 1; \quad \forall i, m \in (T/j), \quad (13)$$

$$x_{i,j} + \sum_r x_{r,m} \leq 1; \quad \forall i, (j,m) \in D, r \in F_{i,r}, \quad (14)$$

$$x_{i,j} - x_{l,m} = 0; \quad \forall (i,l) \in C, (j,m) \in D, \quad (15)$$

$$x_{i,j} \in 0,1 \quad \forall i, j, \quad (16)$$

4.2. RECURSOS COMPUTACIONALES EMPLEADOS

En la realización para encontrar una solución al problema de la calendarización de deportes, hemos definido tres modelos matemáticos, los cuales están descritos en la sección anterior. Una vez definido el modelo procedemos al uso de las herramientas computacionales, para estas se uso las siguientes:

- Sistema Operativo: Microsoft Windows XP Professional Service Pack 3.
- Equipo: Inter ® Pentium ® 4, CPU 2.80GHz, 704MB de RAM.
- Gams® (Motor de Optimización).
- Wolfram Mathematica 7 ®.

5. COMPARACIÓN DEL CALENDARIO PROPUESTO VS ORIGINAL

En esta sección se compara la eficiencia de este trabajo en base al calendario que fue utilizado en el año 2011. De antemano se presenta el Calendario Propuesto, bajo la metodología

desarrollada en este trabajo (Ver Figura 1), correspondientes a las 22 fechas que se desarrolló; a partir de la fecha o semana 12 representa los partidos de revancha (de vuelta) de la primera ronda.

FIGURA 1
Desarrollo de una aplicación para calendarizar el campeonato Ecuatoriano de fútbol profesional por medio de una aproximación Heurística utilizando programación entera
Calendario Propuesto en este trabajo

Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5		Semana 6	
El Nac vs Espoli	D. Cuenca vs Indep	El Nac vs D. Cuenca	Manta vs L. Loja	El Nac vs D. Quito	Indep vs Bar	El Nac vs D. Cuenca	Manta vs L. Loja	El Nac vs D. Quito	Indep vs Bar	Indep vs Bar	Indep vs Bar
Bar vs Olm	Eme vs El Nac	Bar vs Eme	D. Cuenca vs LDU Q	Bar vs Eme	Manta vs Espoli	Bar vs Eme	D. Cuenca vs LDU Q	Bar vs Eme	Manta vs Espoli	Manta vs Espoli	Manta vs Espoli
LDU Q vs Imba	D. Quito vs Manta	LDU Q vs D. Quito	Eme vs Indep	LDU Q vs Manta	D. Cuenca vs L. Loja	Eme vs Indep	Eme vs Indep	LDU Q vs Manta	D. Cuenca vs L. Loja	D. Cuenca vs L. Loja	D. Cuenca vs L. Loja
L. Loja vs Eme	Olm vs LDU Q	L. Loja vs Olm	D. Quito vs Bar	L. Loja vs Olm	D. Quito vs Bar	D. Quito vs Bar	L. Loja vs Olm	L. Loja vs Olm	D. Quito vs Bar	Eme vs LDU Q	Eme vs LDU Q
Indep vs D. Quito	Imba vs Bar	Indep vs Manta	Imba vs Bar	Olm vs Espoli	Imba vs Bar	Olm vs Espoli	Olm vs Espoli	Imba vs Olm	Imba vs Olm	D. Quito vs Imba	D. Quito vs Imba
Manta vs D. Cuenca	Espoli vs L. Loja	Espoli vs Imba	Imba vs Espoli	Espoli vs Imba	Espoli vs Imba	Espoli vs Imba	Espoli vs Imba	Espoli vs Eme	Espoli vs Eme	Olm vs El Nac	Olm vs El Nac
Semana 7		Semana 8		Semana 9		Semana 10		Semana 11		Semana 12	
El Nac vs Manta	L. Loja vs LDU Q	El Nac vs L. Loja	LDU Q vs L. Loja	El Nac vs L. Loja	LDU Q vs L. Loja	Bar vs El Nac	LDU Q vs Espoli	El Nac vs LDU Q	Eme vs Manta	LDU Q vs El Nac	LDU Q vs El Nac
Bar vs L. Loja	Indep vs El Nac	Bar vs El Nac	LDU Q vs El Nac	Bar vs El Nac	LDU Q vs El Nac	LDU Q vs Espoli	Eme vs Manta	Eme vs Manta	Manta vs Eme	Manta vs Eme	Manta vs Eme
LDU Q vs Indep	Manta vs Bar	D. Quito vs Eme	D. Quito vs Eme	D. Quito vs Eme	D. Quito vs Eme	L. Loja vs D. Quito	D. Quito vs D. Cuenca	D. Quito vs D. Cuenca	D. Cuenca vs D. Quito	D. Cuenca vs D. Quito	D. Cuenca vs D. Quito
L. Loja vs Eme	D. Cuenca vs Espoli	Olm vs D. Cuenca	Olm vs D. Cuenca	Olm vs D. Cuenca	Olm vs D. Cuenca	Indep vs Imba	Olm vs Indep	Olm vs Indep	Indep vs Olm	Indep vs Olm	Indep vs Olm
Imba vs D. Cuenca	Eme vs Imba	Imba vs Manta	Imba vs Manta	Imba vs Manta	Imba vs Manta	Manta vs Olm	Imba vs L. Loja	Imba vs L. Loja	L. Loja vs Imba	L. Loja vs Imba	L. Loja vs Imba
Espoli vs D. Quito	D. Quito vs Olm	Espoli vs Indep	Espoli vs Indep	Espoli vs Indep	Espoli vs Indep	D. Cuenca vs Eme	Espoli vs Bar	Espoli vs Bar	Bar vs Espoli	Bar vs Espoli	Bar vs Espoli
Semana 13		Semana 14		Semana 15		Semana 16		Semana 17		Semana 18	
El Nac vs Bar	L. Loja vs El Nac	LDU Q vs L. Loja	Manta vs El Nac	El Nac vs Bar	LDU Q vs El Nac	El Nac vs Bar	LDU Q vs El Nac	Bar vs Indep	D. Quito vs El Nac	Bar vs El Nac	Bar vs El Nac
Espoli vs LDU Q	LDU Q vs Bar	El Nac vs Indep	L. Loja vs Bar	Espoli vs Manta	LDU Q vs Bar	Espoli vs Manta	LDU Q vs Bar	Espoli vs Manta	D. Cuenca vs Bar	D. Cuenca vs Bar	D. Cuenca vs Bar
D. Quito vs L. Loja	Eme vs D. Quito	Bar vs Manta	Indep vs LDU Q	L. Loja vs Bar	Eme vs Olm	Indep vs LDU Q	Eme vs Olm	L. Loja vs D. Cuenca	Manta vs LDU Q	Manta vs LDU Q	Manta vs LDU Q
Imba vs Indep	D. Cuenca vs Olm	Espoli vs D. Cuenca	Espoli vs D. Cuenca	Eme vs Olm	Espoli vs D. Cuenca	Eme vs Olm	Espoli vs D. Cuenca	LDU Q vs Eme	Indep vs L. Loja	Indep vs L. Loja	Indep vs L. Loja
Olm vs Manta	Manta vs Imba	Imba vs Eme	Imba vs Eme	D. Cuenca vs Imba	Imba vs Eme	D. Cuenca vs Imba	Imba vs Eme	Imba vs D. Quito	Olm vs Imba	Olm vs Imba	Olm vs Imba
Eme vs D. Cuenca	Indep vs Espoli	Olm vs D. Quito	Olm vs D. Quito	D. Quito vs Espoli	Olm vs D. Quito	D. Quito vs Espoli	D. Quito vs Espoli	El Nac vs Olm	Eme vs Espoli	Eme vs Espoli	Eme vs Espoli
Semana 19		Semana 20		Semana 21		Semana 22					
L. Loja vs Manta	D. Cuenca vs El Nac	Indep vs D. Cuenca	Espoli vs El Nac	L. Loja vs Manta	D. Cuenca vs El Nac	Indep vs D. Cuenca	Espoli vs El Nac				
LDU Q vs D. Cuenca	Eme vs Bar	El Nac vs Eme	Olm vs Bar	LDU Q vs D. Cuenca	Eme vs Bar	El Nac vs Eme	Olm vs Bar				
Indep vs Eme	D. Quito vs LDU Q	Manta vs D. Quito	Imba vs LDU Q	Indep vs Eme	D. Quito vs LDU Q	Manta vs D. Quito	Imba vs LDU Q				
Bar vs D. Quito	Olm vs L. Loja	LDU Q vs Olm	Eme vs L. Loja	Bar vs D. Quito	Olm vs L. Loja	LDU Q vs Olm	Eme vs L. Loja				
Espoli vs Olm	Manta vs Indep	Bar vs Imba	D. Quito vs Indep	Espoli vs Olm	Manta vs Indep	Bar vs Imba	D. Quito vs Indep				
El Nac vs Imba	Imba vs Espoli	L. Loja vs Espoli	D. Cuenca vs Manta	El Nac vs Imba	Imba vs Espoli	L. Loja vs Espoli	D. Cuenca vs Manta				

FIGURA 2
Desarrollo de una aplicación para calendarizar el campeonato ecuatoriano de fútbol profesional por medio de una aproximación heurística utilizando programación entera
Números de Quiebres presentados en el Calendario Original

En las figuras 2 y 3 se muestra la cantidad de quiebres de ambos calendarios, con el objetivo de escoger el mejor. En ambos calendarios se ha podido observar que poseen el mismo número de quiebres (partidos consecutivos), con un total de 10, con la ventaja que el calendario propuesto cubre los recursos de las televisoras (TVs), cuestión que se considera primordial por los posibles cuestionamientos que puedan generar los aficionados de cada equipo. En la Figura 4 podemos constatar que en un promedio de 0.361 seg nos tomaría generar los datos correspondientes a la fase 1, en un promedio de 0.149 seg nos tomaría para ejecutar y extraer los datos correspondientes de la Fase 2 y finalmente en 0.050 seg en promedio para obtener los datos de la fase 3; es decir solo generando los valores de entrada para cada fase nos tomaría 0.560 seg con una desviación

Nombre de Equipos	Quiebres del Calendario Original											# Quiebres
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Olmedo	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
Barcelona	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1
Liga de Loja	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1
Dep. Quito	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
Espoli	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Indepte	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
LDU Q	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1
Imbabura	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
El Nacional	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1
Manta	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1
emelec	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
Dep. Cuenca	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0
Numero Total de Quiebres											10	

FIGURA 3

Desarrollo de una aplicación para calendarizar el campeonato ecuatoriano de fútbol profesional por medio de una aproximación heurística utilizando programación entera

Números de Quebres presentados en el Calendario Propuesto

Matriz de Equivalencia	Quebres del Calendario Propuesto											# Quebres
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
El Nacional	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Barcelona	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1
LDU Q	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
Liga de Loja	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
Indepte	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1
Manta	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Dep. Cuenca	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0
Emelec	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1
Dep. Quito	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1
Olmedo	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1
Imbabura	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1
Espoli	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1

Numero Total de Quebres 10

estándar de 0.036 seg en total.

FIGURA 4

Desarrollo de una aplicación para calendarizar el campeonato ecuatoriano de fútbol profesional por medio de una aproximación heurística utilizando programación entera

Tiempos de Ejecución de las fases en Wolfram Mathematica

Tiempo de Corrida(seg)	Ejecuciones realizadas en Wolfram Mathematica										Promedio	Desviación Estandar
	Iter 1	Iter 2	Iter 3	Iter 4	Iter 5	Iter 6	Iter 7	Iter 8	Iter 9	Iter 10		
FASE 1	0.422	0.329	0.312	0.343	0.374	0.344	0.406	0.344	0.391	0.344	0.361	0.036
FASE 2	0.157	0.141	0.156	0.156	0.157	0.125	0.156	0.156	0.125	0.157	0.149	0.013
FASE 3	0.032	0.047	0.047	0.062	0.032	0.063	0.063	0.062	0.047	0.047	0.050	0.012
Tiempo Total	0.611	0.517	0.515	0.561	0.563	0.532	0.625	0.562	0.563	0.548	0.560	0.036

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

1. Esta metodología, permite generar en cuestiones de minutos nuevos calendarios, disponibles para ser presentado como propuesta en la Federación Ecuatoriana de Fútbol (FEF), enfocadas en restricciones vistas en el Capítulo 3.

2. Basándonos a los recursos de las empresas de TV, podemos concluir que esta metodología les permite planificar sus actividades relacionadas a los derechos de transmisión sin ningún imprevisto de horarios.

3. Por medio de ésta heurística, se permite elaborar calendarios de juegos, dependiendo del número de equipos participantes en el torneo. Cabe señalar, que el nivel de dificultad depende del número de restricciones que esta contenga.

4. Esta aplicación generaría un impacto positivo tanto a nivel cuantitativo como cualitativo. A pesar de que la medición del impacto cuantitativo no es directa y es prácticamente imposible aislarlo de efectos exógenos, algunas observaciones pueden ser realizadas. Un factor relevante, que significaría ahorros para las TVs es en la logística que ellos plantearían cuando tiene que cubrir más de dos partidos de local en una determinada fecha (semana).

6.2. RECOMENDACIONES

1. Implementar esta metodología, inicialmente en torneos pequeños, para realizar un análisis del mismo, para luego, llegar a plasmarlo en la calendarización de la 1era y 2da División del Campeonato Nacional de Fútbol y otros torneos de interés.

2. Evaluar el impacto que genera esta metodología en base a los recursos de las empresas de TV, tomando en cuenta los ingresos que estas podrían generar por las transmisiones de los partidos y su aumento en competitividad.

3. Teniendo en cuenta, que cada equipo participante en el torneo (Clubes), presentan su propuesta en la calendarización en base a sus propios beneficios, se recomienda que se lleve a cabo una sesión ordinaria del Comité Ejecutivo de la Federación Ecuatoriana de Fútbol, junto a los representantes de cada club, con el fin de realizar en conjunto características propias del torneo, para luego, ingresarlas computacionalmente mediante el método propuesto en este documento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS

- [1]. **ADENSO DÍAZ** (1996). “*Optimización Heurística y Redes Neuronales Addison Wesley*”.
- [2]. **AIDA DÍAZ FERNÁNDEZ, JAVIER RODRIGO, MARÍA LUISA GUERRERO LERMA.** “*Emparejamientos aplicados a la elaboración de calendarios deportivos*”.
- [3]. **CHIN-YEN CHEN** (2008). “*Using integer programming to solve the school timetabling problem at chin-min institute of technology*”. American Academy of Business.
- [4]. **D. OLIVERI AND F. DELLA CROCE** (2004). “*Scheduling the italian football league: an ILP-based approach*”. ELSEVIER.
- [5]. **DURÁN, G., M. GUAJARDO, J. MIRANDA, D. SAURÉ, S. SOUYRIS, A. WEINTRAUB,** (2007). “*Scheduling the Chilean soccer league by Integer Programming*”, Interfaces 37(6) 539-552.
- [6]. **JIN-KAO HAO AND ZHIPENG LU** (2008). “*Adaptive tabú search for course timetabling*”. ELSEVIER.
- [7]. **KI-SEOK SUNG AND ENZHE YU** (2007). “A genetic algorithm for a university weekly courses *timetabling problem*”. Blackwell Publishers.
- [8]. **NEMHAUSER GL AND TRICK MA** (1998). “*Scheduling a major college basketball conference*”. Operations Research.
- [9]. **RIBEIRO, C., S. URRUTIA.** (2009). “*Scheduling the Brazilian soccer tournament by integer programming maximizing audience shares under fairness constraints*”. 23rd European Conference on Operational Research, Book of Abstracts. Bonn, Germany, p.240.
- [10]. **XAVIER CABEZAS G.** (2009). “*Calendarización de la Liga Italiana de Fútbol: Una aproximación (heurística) basada en ILP*”. Escuela Superior Politécnica del Litoral.