

Propuesta encaminada hacia la automatización de un sistema para programar los eventos deportivos en la Universidad del Mar campus Puerto Escondido

José Francisco Delgado Orta^{1*}, Jorge Ochoa Somuano¹, Omar Antonio Cruz Maldonado², Ángel Salvador López Vásquez, Ángel Antonio Ayala Zúñiga, Miguel Eduardo Sánchez Robles² & Ángela Pablo Palacios²

Resumen

La organización del evento deportivo de fútbol soccer en el campus Puerto Escondido de la Universidad del Mar se conforma comúnmente de cinco fases de gestión. Estas se desarrollan con una periodicidad semestral, bajo enfrentamientos de tipo round robin. Sin embargo, la consideración de todas las situaciones adicionales (color de vestimenta, día y horario de programación, así como la designación de árbitros) que definen una asignación justa para todos los participantes hace que la cantidad de cálculos en la programación aumenten, convirtiendo el proceso en un problema no trivial y dificultando el trabajo de planificación. El presente trabajo aborda la organización del evento deportivo institucional, proceso que se ha hecho posible hasta el momento a través del uso de una hoja de cálculo, misma que ha permitido llevar el control del evento y la calendarización semanal en un tiempo promedio de 60 minutos semanales, un total de 14 horas promedio por cada justa deportiva celebrada. Por ello, se realiza un análisis de complejidad computacional del proceso en vías de sentar las bases de una propuesta para la automatización, definiendo los fundamentos que permitan establecer una planificación del evento bajo el enfoque de la optimización matemática.

Key words: planificación, optimización, automatización, calendarización, eventos deportivos.

Recibido: 12 de julio de 2019

Abstract

The organization of a sport event of football soccer at the Universidad del Mar campus Puerto Escondido consists of five management phases. These phases are performed every six months, under a kind confrontation round robin system. However, additional constraints as the color of the dress, days and times requested by the teams in the scheduling, and a right designation of referees have to be considered in this system, in which these elements must be fairly distributed for all teams, turning the round robin in a non-trivial problem and making planning difficult. Based on this fact, this work presents the management of the institutional sport affair, which is carried out with the support of a spreadsheet that permits to set the control and the weekly event schedule in an average time of 60 minutes, an estimated of 14 hours for each semi-annual tournament held. For this reason, a study of computational complexity is performed in order to establish the foundations of a proposal for automation, which is supported with a mathematical approach based on optimization.

Key words: planning, optimization, automation, scheduling, sporting events.

Aceptado: 26 de agosto de 2019

¹Instituto de Industrias, Universidad del Mar campus Puerto Escondido, Km 2.5 Carretera Federal Puerto Escondido-Sola de Vega, C.P. 71980, San Pedro Mixtepec, Oaxaca, México.

²Licenciatura en Informática, Universidad del Mar campus Puerto Escondido, Km 2.5 Carretera Federal Puerto Escondido-Sola de Vega, C.P. 71980, San Pedro Mixtepec, Oaxaca, México.

* **Autor de correspondencia:** fdelgado@zicatela.umar.mx (JFDO)

Introducción

La organización del evento deportivo de fútbol soccer intramuros en la Universidad del Mar se ha implementado para fomentar la convivencia de la comunidad universitaria a través del deporte. El torneo intramuros surge en el año 2012, observando la afinidad de la comunidad universitaria hacia el fútbol soccer por parte de dos profesores, quienes han llevado la labor de organizar y gestionar los recursos necesarios para desarrollar el evento satisfactoriamente en diez ocasiones; siendo las primeras dos, organizadas completamente en forma manual y solamente con registros en papel, mientras que a partir de la tercer justa, se utilizó la hoja de cálculo como elemento auxiliar en la organización, siendo a partir de éste momento que se cuenta con el registro oficial de la información en formato electrónico de los ocho torneos subsecuentes.

El torneo se desarrolla en dos categorías: femenil y varonil, y en él han participado durante los ocho torneos un total de 203 equipos, de los cuales 57 corresponden a la categoría femenil, mientras que 146 corresponden a la categoría varonil, captando en cada torneo una afluencia promedio de 100 participantes pertenecientes a toda la comunidad universitaria.

El campus Puerto Escondido cuenta con una unidad deportiva compuesta por una instalación, misma que se habilita para llevar a cabo los deportes de fútbol soccer, volibol y basquetbol. Dependiendo de la demanda de la comunidad universitaria para la realización de dichos deportes, cada deporte se agenda uno o varios días de la semana para su uso, realizando los eventos deportivos como actividades extraescolares.

Las tareas de organización se realizaron durante dos torneos (2012-2013B y 2013-2014A) usando solamente hojas de papel para llevar todos los registros y estadísticas, sin contar con una difusión oficial del seguimiento del torneo intramuros. Esto trajo como consecuencia que tales registros se depuraran y desecharan, al no considerarlos relevantes para realizar una futura automatización del proceso.

Ésta acción que tuvo un cambio a partir del torneo 2013-2014V (Verano), cuando se solicitó por parte del programa institucional de tutorías académicas, la realización de un torneo para integrar a los estudiantes de nuevo ingreso durante el curso propedéutico, además de solicitudes de registro de los resultados y las estadísticas por parte de los equipos participantes, acciones que ocasionaron la migración de la organización en papel al uso de la hoja de cálculo (Excel) para tener evidencia electrónica de las actividades del torneo, así como para otorgarle la formalidad requerida como una actividad extraescolar, parte de la formación integral de una institución de educación superior. Siendo por ello, que el desarrollo del torneo intramuros en cada periodo se ha adaptado a nuevos requerimientos con base en solicitudes de los equipos participantes, mismos que definen el procedimiento de ejecución del torneo intramuros, así como la propuesta de automatización del proceso presentada en el presente trabajo como una necesidad de contar con una planificación para llevar a cabo la organización, misma que se analiza desde el punto de vista de los sistemas de información como medio de apoyo a la toma de decisiones y para las labores de gestión académica en beneficio de la comunidad universitaria.

Material y métodos

El evento semestral de fútbol intramuros en la UMAR campus Puerto Escondido está organizado a través de cinco fases, mismas que se desarrollan de manera semestral como parte de las actividades extraescolares de la comunidad universitaria. Las cinco fases comprenden los entornos administrativos y operativos de organización, el cual se inicia con la autorización del evento por parte de las autoridades universitarias, posteriormente la calendariación de la justa (rol de juegos que incluye los enfrentamientos, el día, la hora y los árbitros designados), la tercera y la cuarta etapa corresponden al seguimiento semanal y la elaboración de los reportes de seguimiento del torneo respectivamente, y por último quinta

fase corresponde a la calendarización de las finales de la justa.

El evento tiene como legislación a las reglas de competición de la Federación Internacional de Fútbol Asociación (FIFA 2018), así como de algunas modificaciones internas relacionadas con las dimensiones de las instalaciones deportivas, cantidad de jugadores en el campo, y sobre todo, la participación de la comunidad universitaria, siendo la parte fundamental del evento deportivo, tomándose como base la definición del procedimiento de las cinco etapas de acuerdo con (Cruz & Delgado 2018).

Fase 1. Registro de la convocatoria y de los participantes del torneo

Esta fase comprende la gestión para la realización del evento deportivo semestral, mismo que debe ser avalado por las vice rectorías (académica y de administración) de la universidad. Para ello, cada semestre se redacta una convocatoria en formato libre (Fig. 1), estableciendo las bases para la realización del evento y se turna a las vicerrectorías para que éstas, como autoridades universitarias emitan

el visto bueno y autoricen la realización del evento. Una vez que la convocatoria recibe el visto bueno (a través de sellos oficiales de las vice rectorías) y el comité organizador recibe la autorización para la realización del evento, haciendo pública la convocatoria a través de los medios de difusión internos de la universidad: pizarrones de corchos colocados en lugares estratégicos para la difusión de actividades académicas, como la biblioteca, salas de cómputo, edificios de docencia, laboratorios y vice rectorías académica y de administración.

El objetivo de la convocatoria consiste en que la comunidad universitaria (conformada por los alumnos, personal académico, administrativo y operativo), se organicen grupalmente en equipos y presenten ante el comité organizador del torneo un escrito en formato libre, especificando el nombre de su equipo y los nombres de los jugadores que lo integran, así como el cumplimiento de los requisitos que dicta la convocatoria. La información recopilada hasta ese momento se utiliza para posteriormente, hacer un registro electrónico que se utiliza para llevar el control y el registro de las estadísticas elementales del torneo intramuros. La organización del certamen se lleva a cabo usando un libro de trabajo de Microsoft Excel, utilizando cuatro hojas de cálculo para llevar las tareas de control denominadas: "Tabla general", "equipos", "jornadas" y "Matriz de juegos" (Fig. 2). De esta forma, la fase 1 finaliza con la captura de la información recibida de los equipos y los integrantes, registro que se lleva en la hoja de cálculo "equipos" del libro de trabajo creado para la administración del evento.

La hoja "equipos" de la figura 2 permite llevar el control de los jugadores inscritos en alguno de los equipos participantes, teniendo como única restricción para el registro que un jugador solamente puede inscribirse en un equipo. Una vez que se ha registrado la información de los equipos y sus integrantes, ésta información se utiliza para generar los itinerarios semanales en los que se llevarán a cabo los partidos de fútbol, proceso que se realiza en la Fase 2.



UNIVERSIDAD DEL MAR

Puerto Escondido ~ Puerto Ángel ~ Huatulco
O A X A C A

Torneo de Fútbol Intramuros **Campus Puerto Escondido**

SE CONVOCA

A toda la comunidad universitaria (Alumnos, Docentes, Administrativos, etc.) a participar en el **Torneo de Fútbol Intramuros**, que se llevará a cabo durante el Semestre 2018-2019B en la cancha deportiva de la Universidad.

BASES

- Categorías varonil y femenil.
- Mínimo 5 integrantes por equipo.



El periodo de inscripciones es del 07 al 14 de marzo de 2019
La inscripción por equipo es de \$50.00 (para adquirir balones)

Informes e inscripción:

M. en A. Omar Antonio Cruz Maldonado (Cubo 10 del edificio de profesores)
omar_cruz@zicatela.umar.mx
M. en C. José Francisco Delgado Orta (Cubo 26 del edificio de profesores)
fdelgado@zicatela.umar.mx

Figura 1. Ejemplo de formato de convocatoria.

REGISTRO DE EQUIPOS DEL TORNEO 2018-2019B						
CATEGORÍA VARONIL			CATEGORÍA FEMENIL			
Equipo No. 1	Los Avengers		Equipo No. 1	Enfermería 225		
1	Elf Guzmán		1	Griselda Martínez Ruíz		
2	José M. Barrios		2	Abigail Monserrat Carmona Aguilar		
3	Carlos Raziell		3	Metzi Nayeli Salvador Cruz		
4	Yael Pacheco		4	Liliana Ramírez Bautista		
5	J. Diego Osorio		5	Itzel Martínez Osorio		
6	Guadalupe		6	Nataly Abigail Lastre Romero		
			7	Juquila Isabel Velazquez Fajardo		
			8	Yulisa Guadalupe Hernández Martínez		
			9	Samara Rosalina Martínez Arellanes		
Equipo No. 2	Los Perruchas		Equipo No. 2	Mulatas		
1	Miguel Eduardo Sánchez Robles		1	Fernanda de la Cueva		
2	Eduardo Alfonso Martínez Ambrosio		2	Ana I. Arellano		
3	Oliver Chegue Montor		3	Abigail Rodríguez		
4	Luis Alfredo García Ramírez		4	Maiby Juárez		
5	Kevin Horacio Reyes de Esesarte		5	Andrea Carmona		
6	Juan Fernando Sánchez Robles		6	Elsi Jiménez		
7	Esdra Salgado Díaz					
8	Librado García Reyes					
9	Ravmundo Miguel Martínez					

Figura 2. Registro de los jugadores en la hoja de cálculo "equipos".

Fase 2. Calendarización semanal del torneo

Una vez capturada la información de los equipos, se realiza la programación de los enfrentamientos semanales. Esta fase resulta ser la de mayor dificultad para el comité organizador debido a que para generar un calendario semanal del evento, se deben definir cuatro etapas, mismas que se deben desarrollar para realizar una asignación justa para todos los participantes:

- Etapa 1. Asignación de partidos
- Etapa 2. Selección del color de vestimenta
- Etapa 3. Programación de horarios
- Etapa 4. Designación de árbitros

Etapas definidas para el proceso de calendarización y en las cuales se deben atender todas las restricciones operativas, siendo en este punto en donde el problema se torna bajo

un ambiente combinatorio, debido a que las etapas deben resolverse en forma independiente para ir integrando incrementalmente el calendario de trabajo semanal, cuya asignación junto con las etapas 2, 3 y 4 se efectúan semanalmente junto con las fase 3 y 4 de la organización del torneo.

Etapa 1. Asignación de partidos round robin

La programación de los enfrentamientos da inicio con la solución de un sistema round robin, partiendo de una definición de rol de juegos, teniendo como restricciones: a) que todo equipo juegue contra el resto una única vez, y b) que cada equipo no se enfrente consigo mismo. Siendo éste el primer problema a resolver, definido como una forma matricial y organizado en la hoja "Matriz de Juegos" de la Figura 3.

CATEGORÍA FEMENIL									
Equipos	Mulatas	Enfermería 825	Enfermería 225	Galácticas	Lobas del Desierto	Nursing Power	Zoo 1009	Enfermería 425B	Enfermería 425
Mulatas	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Enfermería 825	1	0	1	1	1	1	1	1	0
Enfermería 225	1	1	0	1	0	1	1	1	1
Galácticas	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Lobas del Desierto	1	1	0	1	0	1	1	1	1
Nursing Power	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Zoo 1009	1	1	1	1	1	1	0	1	0
Enfermería 425B	1	0	1	1	1	1	1	0	0
Partidos Jugados	7	6	6	7	6	7	6	6	5

Figura 3. Vista de la hoja de cálculo "Matriz Juegos".

En esta matriz, se asignan los valores de 0 y 1 a las celdas, una celda con un valor 1 indica que se realiza un enfrentamiento entre el equipo local (definido por la etiqueta de fila) y el equipo visitante (definido por la etiqueta de nombre de columna), mientras que un 0 indica que no se ha realizado un partido entre cada par de equipos, representando una asignación factible para las siguientes semanas. Así, cuando se hace la programación, se elige manualmente cada semana una celda que contenga un valor 0 y se seleccionan los equipos de la celda como parte del rol semanal, sin traslapar las asignaciones para cumplir con las restricciones del problema.

Por cada categoría definida (varonil y femenil), se define una matriz de juegos similar a la de la Figura 3, teniendo un espacio de asignaciones de hasta:

$$\frac{N_c(N_c - 1)}{2}$$

siendo N_c el número de equipos inscritos en la competencia por cada categoría c . Donde cada combinación local-visitante se toma como equivalente visitante-local, ya que normalmente por restricción del calendario semestral, el torneo no se juega a una segunda vuelta, aunque una representación matricial como la de la Figura 3 permitiría la ejecución de un doble *round robin* (enfrentamientos de ida y vuelta) por cada temporada. Una vez que la selección local-visitante de la etapa 1 se realizó, se inicia la asignación de vestimenta, siguiendo la equivalencia del rol local-visitante utilizada en las competiciones deportivas, asumiendo que el equipo local vista de color blanco, mientras que el equipo visitante utiliza vestimenta de color, proceso que se realiza en la etapa 2.

Etapa 2. Selección del color de vestimenta

Para llevar a cabo esta etapa, se utiliza la forma matricial de la etapa 1 para hacer una asignación intercalada en cada semana del rol local-visitante sobre la forma triangular de la matriz de la Figura 3. Estableciendo de la forma matricial, la matriz triangular inferior equivalente a:

$$\frac{N_c^2}{2}$$

combinaciones para la selección de equipos en el rol de local, mientras que la selección del equipo visitante se determina de la forma triangular superior de la misma forma de entre un total de:

$$\frac{N_c^2}{2}$$

combinaciones, por lo que se podrían utilizar ambas formas matriciales triangulares tomando ventaja de la propiedad de simetría entre ambas formas triangulares para formar la matriz de juegos, balanceando las asignaciones local-visitante a un total de:

$$\sum_{i=1}^{|c|} \left\lfloor \frac{N_i}{2} \right\rfloor$$

asignaciones para todas las categorías durante cada semana en:

$$\sum_{i=1}^{|c|} (N_i - 1)$$

semanas cada temporada. Dando con esto por finalizada la etapa 2, y estableciendo la solución parcial como el inicio de la fase 3 consistente en la programación de horarios.

Etapa 3. Programación de horarios

La tercera etapa de la programación consiste en la programación de un día y un horario en que se llevarán a cabo cada uno de los enfrentamientos. Para ello, se sigue una estrategia de asignación justa, que se basa en la rotación continua del día y horario cada semana. Esto es, que un equipo que en la semana 1 juega el día Lunes, en la semana 2 jugará el día martes, la semana 3 el día miércoles, la semana 4 el día jueves, la semana 5 el día viernes y la semana 6 iniciara nuevamente el día lunes, similar a un modelo FIFO (*First In First Out*), teniendo un total de:

$$\frac{N_c}{2}$$

combinaciones por cada equipo de la categoría c para formar un esquema.

En este esquema FIFO, la distribución depende de la disponibilidad de los días de la semana en que se cuente con la cancha de eventos deportivos para la realización de los juegos de futbol. Una vez que se selecciona el día, posteriormente se elige el horario del

enfrentamiento, contando históricamente con hasta seis horarios por cada día de la programación (de acuerdo con la cantidad de equipos y los días disponibles). Por ejemplo, si se tienen 14 equipos inscritos en el campeonato, cada semana se programan 7 enfrentamientos, si se cuenta con disponibilidad los días martes, miércoles y jueves, como ocurrió en el torneo intramuros 2017-2018A, se programan tres partidos el día lunes, dos el día martes y dos más el día miércoles, como se observa en la Tabla I.

Como restricción de esta etapa, los enfrentamientos de la rama femenil se programan en los horarios iniciales, ajustándose a la cantidad de ventanas horarias de acuerdo a la demanda de equipos de la rama femenil, teniendo a ésta categoría como prioridad en cada día de la planificación semanal, mientras que los enfrentamientos de la rama varonil se programan a partir del tercer horario y hasta que se ha completado el itinerario.

Esta distribución se basa en el esquema denominado *time tabling* (de Werra 1985)

Tabla I. Ejemplo de programación de horarios para 14 equipos en tres días.

Día		Día 1	Día 2	Día 3
Horario				
1	19:15 - 19:45	Partido 1	Partido 4	Partido 6
2	19:45 - 20:15	Partido 2	Partido 5	Partido 7
3	20:15 - 20:45	Partido 3		

definido para problemas en los que se definen las ventanas horarias como elementos enteros, en función de los n equipos de todas las categorías, esto porque como restricción operativa se establece que los juegos de la categoría femenil se realicen en los horarios más tempranos de actividades diarias. Siendo esta definición la que permite que la asignación de horarios se resuelva como un problema multi categoría o multi liga, considerando que los itinerarios diarios inician siempre en el mismo horario en todos los días de la programación. Una vez formado el itinerario hasta la etapa 3, se establece por último la designación de árbitros en la etapa 4, siguiendo una estrategia determinista.

siempre que su equipo se haya programado para competir el día que le fue designado el rol de árbitro. En esta labor, los árbitros designados tienen la misión de aplicar las reglas definidas por la FIFA, algunas de ellas adaptadas a causa de los usos y dimensiones de la instalación deportiva disponible.

Etapa 4. Designación de árbitros

La etapa 4 surgió por la necesidad de integrar a los participantes en el torneo y otorgarles el rol de máxima autoridad en el desarrollo de los partidos, fomentando los valores humanos de la responsabilidad y la justicia al tener la labor de ser juez y vigilar la correcta aplicación de las reglas del juego. Para esto, se designa a uno o dos miembros de cada equipo para que realice las labores de arbitraje de un enfrentamiento de un equipo distinto al suyo,

En caso de no contar con árbitros (a causa de no tener disponibilidad el día actual de la programación), se utiliza una tabla de frecuencias en donde se registra el conteo de los equipos, siendo seleccionado el equipo con menor número de arbitrajes registrados, esto para fomentar el juego limpio (*fairplay*) de la FIFA y evitar que la designación arbitral represente una ventaja para un equipo sobre el resto. Una vez que se han generado completamente los itinerarios semanales de los enfrentamientos, se procede con el llenado del formato del itinerario como el de la Figura 4, que posteriormente se publica en los puntos de difusión internos en la universidad cada semana, proceso que se repite semanalmente hasta publicar todas las asignaciones (combinaciones) disponibles del sistema round robin de la justa deportiva, dando por finalizada la fase 2 de la organización.

TORNEO DE FUTBOL INTRAMUROS

HORARIO DE JUEGOS

JORNADA 3

LUGAR: CANCHA DEPORTIVA DE LA UNIVERSIDAD

FECHA: MARTES 13 DE NOVIEMBRE DE 2018

HORA	(CAMISETA BLANCA)	(CAMISETA COLOR)	ARBITRAJE
18:15 – 18:45 FEMENIL	PIÑONERAS	ZOOTECNIA 109	LOS MEZCLADOS
18:45 – 19:15 FEMENIL	ENFERMERÍA 525A	ENFERMERÍA 125D	GALAXY
19:15 – 19:45 VARONIL	LOS MEZCLADOS	GALAXY	BEE FREE
19:45 – 20:15 VARONIL	BEE FREE	BYTES	LOS PITUFOS 3
20:15 – 20:45 VARONIL	LOS TLACUABOYS	LOS PITUFOS 3 : EL RENACIMIENTO	MEZCALEROS F.C.
20:45 – 21:15 VARONIL	MEZCALEROS F.C.	CACHORROS F.C.	LOS TLACUABOYS

Figura 4. Rol de juegos (itinerarios) semanales del torneo intramuros.

Fase 3. Seguimiento semanal del torneo

Para hacer el seguimiento semanal del desarrollo de los enfrentamientos, se creó un formato de ficha de seguimiento como el que se muestra en la figura 5. Este formato sirve para registrar las estadísticas necesarias para la generación de los reportes del avance de la competencia, realizados en la Fase 4.

Para recopilar la información de estas estadísticas, una vez que se ha publicado el rol de los enfrentamientos en la fase 2, en cada jornada semanal el comité lleva el control de las estadísticas elementales (goles y faltas) de cada enfrentamiento. El registro de la información de la ficha técnica se realiza en tiempo real, y es llevado a cabo por uno de los miembros del comité organizador, quien colabora con el cuerpo arbitral designado, registrando en forma manual, usando bolígrafo sobre el formato impreso de la ficha técnica, las faltas y los goles de los equipos, y al mismo tiempo lleva el conteo del tiempo de juego para cumplir con los horarios definidos en la Fase 2.

El conteo de las faltas en esta fase de la organización del torneo, se realiza para fomentar el fairplay como elemento formativo, estableciendo como regla de la competencia, que después de tres faltas cometidas por un equipo se

	(BLANCO)	"JORNADA 3"	(COLOR)
Juego 1	PIÑONERAS		ZOOTECNIA 109
GOLES			
FALTAS			
Juego 2	ENFERMERÍA 525A		ENFERMERÍA 125D
GOLES			
FALTAS			
Juego 3	LOS MEZCLADOS		GALAXY
GOLES			
FALTAS			
Juego 4	BEE FREE		BYTES
GOLES			
FALTAS			
Juego 5	LOS TLACUABOYS		LOS PITUFOS 3 : EL RENACIMIENTO
GOLES			
FALTAS			

Figura 5. Formato de ficha técnica de seguimiento de los enfrentamientos.

procederá al cobro de un disparo de penalti en donde un jugador tira a gol sin la intervención de los rivales del equipo contrario, excepto el portero. Al mismo tiempo, el conteo del número de goles es esencial para llevar el control de los puntos, los goles a favor, goles en contra y la diferencia de goles, como estadísticas usadas en caso de desempate en los reportes de avance semanal del torneo de la Fase 4.

Fase 4. Registro de estadísticas semanales y reportes de seguimiento del torneo

Una vez que se finaliza la jornada deportiva semanal, el comité organizador captura la ficha de los partidos en la hoja de cálculo "jornadas" (Fig. 6) del libro electrónico utilizado para la organización de la justa, para que se registre la captura de los marcadores definida en la ficha técnica de la Figura 5, teniendo como objetivo usar esta información para la actualización de la tabla de posiciones. Usando para ello, la asignación de puntos de acuerdo con reglamentación oficial de la Federación Internacional de Fútbol Asociación FIFA (IFAB, 2019), en donde al equipo ganador se le otorgan tres puntos, los equipos que empaten reciben un punto y el equipo perdedor no recibe puntos.

Esta hoja de cálculo se utiliza para hacer el resumen semanal acumulativo de las estadísticas de la ficha técnica para los equipos en el torneo, mismo que se observa en el ranking semanal, registro que se realiza en la hoja de cálculo “tabla general”, como se observa en la figura 7. El llenado de ésta hoja de cálculo requiere de aproximadamente 30 minutos, mismos que comprenden la captura de los resultados de la jornada semanal y la actualización del ranking de posiciones. Estas tareas las realiza uno de los profesores miembro del comité organizador.

Sin embargo, para las tareas de difusión electrónica de los reportes generados en las Figuras 6 y 7, el comité organizador verifica en consenso las actualizaciones sobre las hojas de cálculo, situación que ocurre hasta la realización de las reuniones de trabajo del comité, siendo ésta otra problemática debido a la poca disponibilidad de la agenda debido a los horarios variables de los profesores parte del comité organizador, por lo que las reuniones suelen tener lugar en las últimas horas laborales semanales.

La vista de la hoja de cálculo “tabla general”, permite la generación de un ranking ordenado en primer instancia por la cantidad de puntos acumulados por cada equipo, en

segunda instancia por la cantidad de goles a favor como criterio de desempate en caso de que ambos equipos tengan la misma cantidad de puntos, y en tercer instancia por la diferencia de goles en caso de que ambos equipos tengan la misma cantidad de goles a favor. El ranking de posiciones se publicaba hasta el torneo 2017-2018A hasta el final de la fase regular (cuando la Fase 2 se efectúa por completo), aun cuando se actualizaba semanalmente, solamente se difundía por solicitud expresa de alguno de los equipos, al no contar con un medio de difusión adecuado (esto porque en ocasiones el tiempo de la publicación del ranking y la calendarización de la siguiente jornada se traslapaban).

Debido a esto, en el torneo intramuros del semestre 2017-2018B se introdujo una herramienta de difusión a través de un grupo de la aplicación Whatsapp, creado para la difusión de las actividades del torneo “Primera Copa UMAR 2018”, el cual se sigue utilizando, debido a que contiene entre los integrantes del grupo a al menos un jugador de la mayoría de los equipos que participan de forma recurrente en el torneo intramuros, siendo ellos quienes se encargan de establecer el contacto y difusión de los reportes semanales con los jugadores activos y el comité organizador.

	A	B	C	D	E
1	Seguimiento semanal				
2	Juego	Jornada 1			
3	1	Mulatas	1	Enfermería 825	0
4	2	Enfermería 225	0	Galácticas	0
5	3	Los avengers	1	Los Perruchas	0
6	4	Los Pitufos 4	0	Los Tremendos	4
7	5	Nursing Power	2	Las lobas del desierto	0
8	6	Galaxy	1	Wolfs F.C.	0
9	7	Galácticos	0	Biología	0
10	8	Caguameros F.C.	3	Tlacuaches F.C.	7
11	Jornada 2				
12	1	Galácticas	2	Nursing Power	0
13	2	Las Lobas del desierto	3	Mulatas	0
14	3	Wolfs F.C.	0	Los Tremendos	3
15	4	Los Avengers	0	Galácticos	0
16	5	Enfermería 825	2	Enfermería 225	0
17	6	Los Pitufos 4	1	Tlacuaches F.C.	3

Figura 6. Registro de marcadores de los partidos en la hoja de cálculo “jornadas”.

Torneo 18-19B									
CATEGORÍA: VARONIL									
Posición	Equipo	JJ	JG	JE	JP	GF	GC	Dif	Pts
1	Tlacuaches F.C.	8	6	1	1	28	16	12	19
2	Los Avengers	8	6	1	1	17	5	12	19
3	Los Tremendos	8	5	2	1	21	11	10	17
4	Wolfs F.C.	8	4	1	3	11	10	1	13
5	Galácticos	8	2	4	2	15	10	5	10
6	Biología	8	3	1	4	14	15	-1	10
7	Caguameros F.C.	8	2	3	3	13	20	-7	9
8	Galaxy	8	2	1	5	10	19	-9	7
9	Los Perruchas	8	1	3	4	7	13	-6	6
10	Los Pitufos 4: La resurrección	8	0	1	7	5	22	-17	1
CATEGORÍA FEMENIL									
Posición	Equipo	JJ	JG	JE	JP	GF	GC	Dif	Pts
1	Las Lobas del Desierto	7	5	1	1	15	5	10	16
2	Galácticas	8	4	3	1	14	5	9	15
3	Enfermería 225	7	4	2	1	11	5	6	14
4	Nursing Power	9	2	3	4	6	8	-2	9
5	Mulatas	8	2	3	3	4	11	-7	9
6	Enfermería 825	6	1	0	5	2	9	-7	3

Figura 7. Vista de la hoja de cálculo “tabla general”.

El grupo se utiliza para difundir una impresión electrónica de la hoja de Excel, misma que proporciona el comité organizador, quien fungió como enlace con los organizadores (alumnos del campus Huatulco) de la Primera Copa UMAR 2018. Con esto, se finaliza cada semana la organización semanal y el procesamiento de la información referente del torneo intramuros, llevándose a cabo cada semana las fases 2, 3 y 4, hasta que el round robin de la fase 2 se finaliza, para dar paso a la etapa de finales del torneo, mismas que quedan se calendarizan de acuerdo a la definición de la Fase 5.

Fase 5. Programación de las Finales del torneo

Una vez que se han realizado todos los enfrentamientos de la calendarización del torneo, o en su caso, cuando las fechas se acercan a la evaluación ordinaria de acuerdo con el calendario escolar definido por el H. Consejo Académico, se programan las finales. Para ello, se recurre a la información histórica acumulada de la tabla general de la Fase 4, utilizando los criterios de selección de los equipos finalistas, siguiendo los criterios de desempate de puntos acumulados, diferencia de goles y goles a favor; y en algunas ocasiones, debido a que se ha permitido la inscripción extemporánea de los equipos, el uso de un cociente

correspondiente al número de puntos sobre el total de partidos jugados, como lo realiza por ejemplo, el torneo de la Liga MX de la primera división de México (disponible en internet: <https://ligamx.net/cancha/reglamentos>).

En este proceso de selección, se seleccionan los ocho o cuatro equipos (o el número de equipos con factor $2k$, siendo k número de instancia de eliminación directa) con el mayor número de puntos o el mayor porcentaje, dependiendo del número de equipos registrados por categoría, y se define el siguiente esquema de eliminación directa a partir de la fase final correspondiente, por ejemplo la Figura 8, muestra un esquema de eliminación directa para $k = 3$ (cuartos de final u 8 equipos), en donde se seleccionaron los ocho equipos con mejor puntaje en la tabla de posiciones.

El proceso se sigue, eliminando en primer instancia a la mitad de los equipos en la etapa de cuartos de final, programando enseguida los enfrentamientos de la fase semifinal, reduciéndose nuevamente a la mitad de los equipos en la fase semifinal en segunda instancia, y en tercera instancia a dos equipos en la fase final, hasta definir a los equipos campeones de las ramas varonil y femenil; y por solicitud de los equipos no ganadores de la etapa semifinal, se decide si se juega un partido adicional

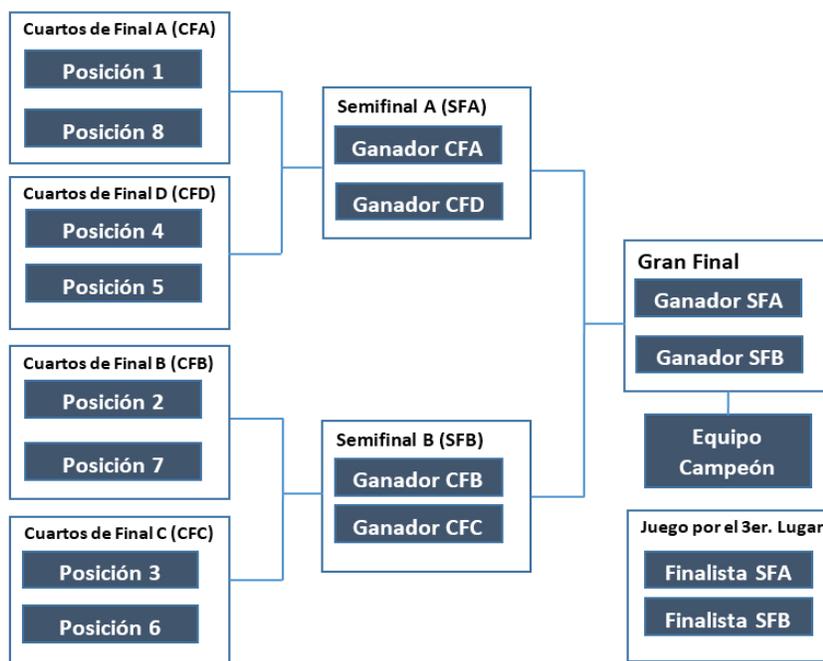


Figura 8. Organización de las finales genérico para las categorías del torneo intramuros de fútbol.

por el tercer lugar, previo a la etapa final, con lo que se da por concluido el torneo intramuros, entregando los reconocimientos académicos a los equipos finalistas para dar constancia de su participación en este eventos deportivo. Siendo hasta este momento difundidos los resultados de los ganadores y las evidencias fotográficas de los equipos que participan en la gran final en el boletín umarino (disponible en internet: <http://www.umar.mx/boletín/umarino.html>), publicación mensual que emite la Universidad del Mar y en la cual se le otorga al evento un espacio de difusión institucional sobre este medio impreso para el conocimiento de la comunidad universitaria.

Como se observó, el principal problema de la organización del evento se da en la Fase 2, ya que la información es variable en cada torneo, dependiendo de las condiciones de la demanda de la comunidad universitaria para la práctica del fútbol *soccer*, así como del intercambio de los jugadores entre los equipos, y los nombres con que éstos se identifican con el comité organizador, siendo la única regla operativa en ese sentido que un jugador participante en el torneo se pueda inscribir en un solo equipo; sin embargo, al no contar con una

información persistente, hace que las tareas de la planificación cobren esencial importancia para realizar una calendarización adecuada que satisfaga todas las restricciones operativas del torneo intramuros.

Problemáticas de la planificación actual del torneo de fútbol soccer intramuros

En el caso del evento deportivo de fútbol, al ser un evento con mucha demanda, (aproximadamente el 17% de la matrícula estudiantil, además de un 4% del personal del campus Puerto Escondido entre administrativo, operativo y académico), en muchas ocasiones los jugadores de los equipos solicitan al comité organizador la calendarización de sus enfrentamientos en horarios exclusivos (con cierta preferencia), haciendo alusión a tres elementos que para los equipos son relevantes: el color de su vestimenta, el día y la hora en que se programan los horarios para los equipos.

Esto no es un problema cuando las solicitudes son pocas; sin embargo, debido al incremento de los participantes conforme avanzaban los torneos (Tabla II), esta situación trajo como consecuencia el aumento de

las solicitudes, cuyo procesamiento se vuelve complejo al realizar ajustes sobre la programación propuesta por el comité para satisfacer las demandas y definir una asignación para satisfacer las demandas de todos los equipos inscritos en el torneo.

Las situaciones descritas trajeron como resultado que los tiempos históricos de desarrollo de la planificación aumentarán de 30 a 60 minutos en promedio cada semana, debido a la dificultad que involucró realizar una distribución justa para no dar ventaja a ningún equipo sobre el resto con respecto a las reglas descritas. Por ello, a partir del torneo desarrollado en el semestre 2018-2019A se creó un esquema llamado "asignación justa", en donde se pretende que cada semana un equipo juegue de un color distinto de vestimenta (atendiendo la distribución de los equipos para los roles local-visitante definidos en las ligas profesionales), mientras que la calendarización de los horarios se desarrollaría de forma alternada, intercalando las ventanas horarias en hora y día respectivamente.

Esta esquema de distribución bajo las nuevas reglas definidas, se puede fundamentar con el enfoque científico que se ha dado en trabajos relacionados con la planificación

de los eventos deportivos, utilizado en ciertas ligas profesionales para utilizar la computación como elemento de apoyo para la toma de decisiones y establecer un horizonte de planificación cuando se aborda como un problema con satisfacción de restricciones, como en este caso.

El problema de la planificación de las ligas deportivas (Sports League Scheduling Problem)

Una problemática general para todas las competiciones deportivas, consiste en la definición de los enfrentamientos entre equipos, contemplando una asignación de tipo round robin. En la literatura, esta definición corresponde al problema definido en la literatura como *Sports League Scheduling* (McAloon 2010), en donde se realizan asignaciones factibles en base a una definición del problema para N equipos, que se calendarizan en periodos satisfaciendo las siguientes restricciones:

- Existen N equipos, por ejemplo: N = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 donde cada equipo se enfrenta con los demás exactamente una vez.
- La temporada comprende n-1 semanas.

Tabla II. Estadísticas de participación en el torneo intramuros.

Torneo	Días de juego	Categorías	Cantidad de equipos	Participación individual (matricula estudiantil)
2013-2014B	3	Femenil	5	40
		Varonil	12	85
2013-2014V	3	Femenil	6	42
		Varonil	8	50
2014-2015A	3	Femenil	3	32
		Varonil	11	57
2014-2015B	4	Femenil	5	41
		Varonil	12	70
2017-2018A	4	Femenil	6	48
		Varonil	11	81
2017-2018B	4	Femenil	8	55
		Varonil	14	86
2018-2019A	4	Femenil	8	58
		Varonil	14	110
2018-2019B	3	Femenil	8	52
		Varonil	10	71

- Cada equipo juega un partido en cada semana de la temporada.
- Existen periodos y, cada semana, en cada periodo es calendarizado exactamente un enfrentamiento en donde cada periodo corresponde a un itinerario de juego.

De acuerdo con McAllon (2010) existen dos formas de formular una estrategia de solución. La primera consiste en iniciar con las celdas y buscar los emparejamientos para colocarlos en ellas. La segunda inicia con los pares generados y la búsqueda de una celda que satisfaga las restricciones del problema. El esquema se puede mostrar como un arreglo bidimensional (Tabla III) con filas para establecer los periodos y columnas para establecer las semanas.

Existe también para éste esquema una restricción de cardinalidad en cada fila, establecida para que un equipo para que ningún equipo aparezca más de dos veces, mientras que para cada columna se tiene la restricción de que cada equipo juega exactamente una vez, para que los equipos que aparezcan en cada columna sean distintos. Finalmente existe una restricción global sobre el arreglo entero definido en la tabla, en donde cada enfrentamiento debe ocurrir exactamente una vez, lo que asegura que los emparejamientos sean diferentes cada semana. Una estrategia importante para esta distribución tabular consiste en usar programación entera para que estas restricciones de cardinalidad se cumplan sobre el esquema.

La tabla observa una asignación factible, sin embargo observa un ordenamiento parcial por cada par ordenado (i, j) donde $i < j$, éste orden hace que los equipos que se calendarizan al inicio $i = 1, 2, \dots$, se confrontan con

el resto de los equipos un mayor número de veces en el rol de equipo local, provocando que el esquema no cuente con un equilibrio con los partidos programados para un equipo en el rol de local y de visitante.

Por otro lado, la definición de periodos solamente aplica cuando los juegos se calendarizan en un mismo día, por lo que se asume que existe una disponibilidad finita de los estadios (instalaciones físicas), excluyendo el aspecto de paralelismo que se da en casos en donde existe más de una instalación física, o los enfrentamientos se programan para varios días.

Al mismo tiempo, se observa en el esquema de la Tabla III que el *round robin* comprende la totalidad de los equipos, agrupándolos a todos en solo un grupo o categoría, por lo que una programación de múltiples categorías no está considerado en éste esquema. Por ejemplo, el torneo UMAR intramuros considera dos esquemas round robin: uno para la categoría femenil y otro para la varonil, siendo la agrupación por categorías un problema común cuando se deben realizar particiones sobre el conjunto (N) de equipos en una justa deportiva de futbol soccer.

El problema de la planificación de las ligas de futbol soccer (*Soccer League Scheduling Problem, estado del arte*)

La definición del problema Sports Scheduling se observa como un problema complejo, debido a las restricciones que el problema suele incluir en la definición y ésta se incrementa cuando el número de equipos N aumenta a valores grandes. En el caso de los eventos de futbol profesional no es la excepción, debido a la gran variedad de casos de

Tabla III. Definición de un problema Sports League Scheduling.

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
Periodo 1	1 vs 2	1 vs 3	5 vs 8	4 vs 7	4 vs 8	2 vs 6	3 vs 5
Periodo 2	3 vs 4	2 vs 8	1 vs 4	6 vs 8	2 vs 5	1 vs 7	6 vs 7
Periodo 3	5 vs 6	4 vs 6	2 vs 7	1 vs 5	3 vs 7	3 vs 8	1 vs 8
Periodo 4	7 vs 8	5 vs 7	3 vs 6	2 vs 3	1 vs 6	4 vs 5	2 vs 4

estudio diferentes en las ligas deportivas a nivel mundial, en donde observan restricciones adicionales definidas por las televisoras, las cuales tienen injerencia en la planificación y proponen (exigen) a los comités organizadores las fechas y horarios en que deberían programarse los partidos, o para que las ligas profesionales tengan ingresos económicos por concepto de patrocinios.

Por ello, se han desarrollado muchos trabajos relacionados (Tabla IV) que intentan definir la planificación de los eventos deportivos desde el punto de vista matemático, con el objetivo de establecer las bases para el desarrollo de métodos y algoritmos exactos capaces de resolver el problema en un tiempo razonable. McAloon (2010) definió la propuesta inicial del problema, la cual es funcional para 14 equipos, resolviendo un *round robin* con un número par de equipos y resuelve una programación en un tiempo de 45 minutos.

Posteriormente, Ribeiro (2012) presenta un enfoque bi-criterio para la calendarización del torneo de fútbol *soccer* de Brasil, el cual resuelve una programación con 20 equipos

en un tiempo de 40 minutos calculando una solución que minimiza el número de confrontaciones entre los equipos y maximiza el número de juegos que se transmiten por televisión abierta, basada en su propuesta inicial que utiliza un solo objetivo de minimización (Ribeiro 2007). Otros autores como Durán (2012), se enfocan en el beneficio económico obtenido por la venta de boletos para los eventos, observando en la planificación los factores económicos de un evento de entretenimiento.

Estas situaciones han definido la problemática como un problema con satisfacción de restricciones, en donde diversos autores han utilizado la programación lineal entera para resolver instancias de pequeña escala usando *software* de optimización como soporte para resolver el modelo definido para el problema, probando la factibilidad y la optimalidad de los métodos en todos los casos.

Sin embargo, cuando se observa un problema de gran escala en el cual los valores de N establecen una limitante para calcular una solución óptima usando métodos exactos, se suelen utilizar enfoques basados en técnicas

Tabla IV. Solucionadores exactos para el problema Soccer League Scheduling.

Trabajo	Definición periódica (ventanas de tiempo)	Definición periódica extendida (por días)	Preferencias sobre algunos partidos	Asignación justa (local-visitante)	Definición de categorías	Designación de árbitros
McAloon 2010.	X					
Ribeiro 2012.	X		X	X	X*	
Gomes 2008.	X		X	X		
Bartsch 2006.	X		X	X		
Durán 2017.	X			X	X*	
Della Croce 2006.	X			X		
Goossen 2009.	X			X		
Fiallos 2010.	X		X			
Este trabajo.	X	X		X	X	X

* basada en una eliminación por regiones.

de descomposición del problema, resolviéndolo por fases y etapas como en subproblemas de menor complejidad, mismos que se pueden resolver de manera óptima hasta la integración de las soluciones de los subproblemas en una solución global.

Por ejemplo, en Bartsch (2006) se aplican heurísticas basadas en algoritmos *branch and bound* para programar los partidos de las ligas de Austria y Alemania teniendo 18 equipos en un tiempo de 30 minutos, en (Della Croce 2006) se adapta un método de descomposición para la liga italiana de fútbol que resuelve una programación para 20 equipos en 25 minutos; de la misma forma, Gomes (2008) se enfoca en la calendarización de la liga chilena, la cual resuelve para 18 equipos en un tiempo de 1320 minutos; en tanto que Fiallos (2010) obtiene un calendario de trabajo para la liga hondureña con 20 equipos en un tiempo reportado de unos pocos segundos, (Goossens 2009) resuelve un problema de calendarización en la liga belga para 16 equipos en 10 minutos, mientras que en Durán *et al.* (2017) se realiza la calendarización de los partidos de la eliminatoria mundialista de Confederación de fútbol de América del Sur (CONMEBOL) con una configuración de 10 equipos misma que resuelve en unos pocos segundos. Todos los casos mencionados cuentan con un elemento en común que consiste en el uso de la programación entera como enfoque solución, misma que es de utilidad para establecer los bajos tiempos de cálculo reportados para generar los calendarios de trabajo.

La Tabla IV muestra también un comparativo de los trabajos relacionados, observando una definición por fases como se define el problema de la calendarización del torneo UMAR de fútbol *soccer*. Cabe mencionar que todos los enfoques del estado del arte comúnmente resuelven una programación basada en el problema *Sports League* para casos de un número N par de equipos como una condición impuesta como restricción, siendo los casos con N impar un reto a abordar a través del desarrollo de una propuesta de automatización al no ser considerados por la literatura. Otra de las características que se observa

en la Tabla IV es que todos los casos de estudio reportan una única categoría en sus ligas profesionales, por lo que la definición del problema como sub problemas de categorías resulta un elemento extendido para la definición del problema *Soccer Scheduling* del torneo de fútbol *soccer* intramuros, debido a que es factible extender la definición de McCallon (2010) para resolver varios problemas round robin para en una misma competición. Al mismo tiempo, la designación de los árbitros se realiza comúnmente a través de una tercera instancia (normalmente una comisión de arbitraje), la cual requiere de los itinerarios parciales (semanales) para hacer la designación de un árbitro, por lo que el presente trabajo considera realizar el itinerario incluyendo a los árbitros en la misma definición del problema.

Por último, se observa de que el tiempo empleado para la definición de los itinerarios recae en el orden de 1320 minutos hasta unos pocos segundos, por lo que se definirá para esto, una propuesta que permita reducir el tiempo de cálculo de 60 minutos hasta un umbral de tiempo esperado de dos minutos, tiempo que se establece como meta e hipótesis para desarrollar la definición del problema del presente trabajo para resolver la programación, satisfaciendo todas las restricciones impuestas con un algoritmo exacto.

Conclusiones y trabajos futuros

Si bien se observa que la programación con restricciones es una opción viable en muchos de los casos; por ejemplo, la construcción de un esquema que siga una asignación justa incrementa la dificultad de construir un itinerario de tipo *Sports Scheduling*, ya que esta definición considera una única ventana de tiempo (periodo) para la realización de todos los partidos de cada semana, siendo ésta una problemática inicial para el uso de esta formulación en los eventos deportivos de la comunidad universitaria en el campus Puerto Escondido.

Sin embargo, muchos de los elementos de la definición del problema son afines a las reglas seguidas en la planificación, razón

por las cuales en términos de tiempo de cálculo (relativamente bajos en la mayoría de los casos), y el uso de herramientas basadas en programación matemática podría representar una ventaja para automatizar y minimizar los tiempos del proceso, debido a que en ocasiones, los profesores no cuentan con la agenda suficiente disponible para realizar las tareas con suficiente antelación para dar paso a la difusión de la calendarización de manera oportuna.

Aún cuando las aplicaciones de *software* como *Whatsapp* han facilitado la comunicación en tiempo real entre las personas, es común que los participantes del torneo no consideren este medio de mensajería, debido a la gran cantidad de usuarios y mensajes que procesa diariamente, por lo que la difusión en este tipo de casos no alcanza a cubrir a la totalidad de los participantes.

Por esto, una herramienta de *software* que brinde exclusividad a los participantes en el evento podría captar la atención de los participantes para que las notificaciones sobre la calendarización y los reportes de seguimiento de las fases 3, 4 y 5 se difundan a todos los usuarios de manera oportuna, evitando con ello la deserción de los participantes a causa de la difusión tardía del evento e introduciendo la usabilidad de la tecnología a través del uso de internet, así como de sus ventajas de aplicabilidad como elemento de integración para la práctica del deporte, práctica común en muchas ligas deportivas en la actualidad, e

incluso desde el punto de vista del desarrollo de aplicaciones de *software* comercial (Tabla V), en donde se puede observar una comparativa entre los sistemas mencionados y el sistema que será parte de la línea de trabajo, denominado GesFut (Gestor de Fútbol).

En la Tabla V se observa que la principal desventaja de las aplicaciones web observadas consiste en el precio, mismo que está relacionado con un periodo de tiempo indefinido, pero no adaptable a condiciones futuras o a cambios en la forma de organización del evento, por lo que es conveniente contar con los códigos fuente en el lenguaje de programación desarrollado, así como de las bases de datos para aplicar un rediseño y evaluar el *software* para observar la ejecución de su ciclo de vida y su adaptabilidad a las condiciones del torneo intramuros, mismos que se incluyen como elementos adicionales en los módulos de control de parámetros, más no en la configuración que ofertan las aplicaciones relacionadas.

Al mismo tiempo, la tabla comparativa revela que con respecto a los módulos funcionales que tiene contemplado el sistema *GesFut*, éste cumple con todos los elementos de un *software* de tipo profesional, por lo que es viable la implementación en una interfaz amigable (*front-end*), así como de un motor que permita realizar transacciones en una base de datos relacional (*back-end*), esto con el objetivo de obtener estadísticas más detalladas sobre la participación de comunidad universitaria en

Tabla V. *Software* de gestión de justas deportivas de fútbol soccer.

Software Módulos definidos	CAMPIONI	DOLEAGUE	League Republic	LEVERADE	COACH-HELPER	GESFUT
Registro de Equipos	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Rol de juegos	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Ficha técnica	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Tabla de posiciones	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Control de parámetros	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Precio	Gratuito	1,485	2,583	No se indica	3,444	Gratuito

el evento, siendo viable debido a que tendrá una aplicación real y cuyos reportes serán útiles en los proyectos de área de gestión académica para el fomento del deporte en la comunidad universitaria.

Cabe mencionar que la propuesta de automatización de la organización del torneo intramuros se realizará utilizando la definición inicial del problema *Sports Scheduling*, bajo la cual cualquier liga deportiva que se ajuste al esquema de competición round robin podrá ser resuelto con el método, lo que permitirá que la definición del problema y la propuesta de solución a desarrollar se adapten (reutilicen) a cualquier otra competición o evento deportivo que se desarrolle en la Universidad del Mar, por lo que para ello la Fase 2 del proceso descrito se propone como un prototipo de software, el cual, debido a la naturaleza acumulativa de la calendarización se puede construir con base en un modelo de desarrollo de software incremental (Pressman 2010), un modelo utilizado en la ingeniería del software para problemáticas en donde el funcionamiento de un sistema se define en términos de incrementos, los cuales interactúan colaborativamente como parte de un sistema integrado.

Cuando este modelo se utiliza como parte del desarrollo del software, el primer incremento es a menudo un producto esencial, el cual consta de los requisitos básicos. El modelo se centra en la entrega de un producto operativo con cada incremento, en donde los primeros incrementos son versiones incompletas del producto final, aunque proporcionan al usuario la funcionalidad que precisa, así como una plataforma para su evaluación.

Con base en esta definición y de acuerdo con la descripción de la Fase 2, se establece en la Tabla VI una definición de los incrementos para la fase de construcción de un prototipo de *software*, en donde cada incremento se analiza en términos de la complejidad del peor caso, abordada en (Baase 2002, Cormen 2009,). El factor de complejidad se utiliza en el análisis de algoritmos para estimar teóricamente el tiempo de ejecución en términos del trabajo que éste efectúa. Para ello, el análisis define el

comportamiento del algoritmo con base en el número de operaciones necesarias para realizar cada uno de los cálculos por cada etapa, dada una entrada de tamaño N_c por cada categoría c .

La Fase 2 cumple con las restricciones operativas para establecer la programación, sin embargo, su análisis de complejidad observa un problema derivado por el factor multiplicativo generado por la dependencia entre cada una de las etapas, situación que provoca que la cantidad total de operaciones para resolver el problema tienda a un factor exponencial, lo que dificulta el cálculo manual. Por ejemplo, si se hiciera el cálculo manual para un problema de una única categoría de tamaño 14, como el caso más concurrido de los torneos de fútbol soccer documentados (el torneo 2018-2019A), el proceso de asignación justa descrito en las cuatro etapas involucra la realización de un total 873,964 operaciones cada semana y un total de 11'361,532 operaciones por el round robin correspondiente a las Fases 2, 3 y 4 de la organización del torneo, número que se multiplica por el número de categorías en caso de que el problema cuente con más de una categoría (caso multicategoría o multiligas).

Esto prueba la dificultad de efectuar los cálculos manualmente y observa un área de oportunidad para el uso de la computadora como una herramienta de cálculo. Por ejemplo, una computadora personal con un procesador de 1 GigaHertz es capaz de procesar 109 operaciones por segundo, por lo que sería capaz de resolver la programación en un tiempo estimado inferior a un segundo, o incluso un equipo con una computadora equipada con un procesador con menor frecuencia, esta será capaz de realizar los cálculos en unos pocos segundos, con lo que se demuestra que el uso de la computadora resulta una opción viable para la optimización del tiempo en que se efectúan los cálculos del proceso, en vías de la automatización.

Como consecuencia de lo antes mencionado, y considerando que las computadoras que actualmente se comercializan cuentan con procesadores con frecuencias superiores a 1 GigaHertz, la propuesta consiste en

el desarrollo de una aplicación de software que realice los cálculos de la calendarización de la Fase 2, la cual será construida como un componente de *software* independiente del sistema GESFut. Esta aplicación estará diseñada para poder ser utilizada en cualquier sistema que cumpla con los requerimientos del problema *Sports Scheduling*, así como del problema *Soccer Scheduling* definido a partir de la organización del torneo intramuros. Al mismo tiempo, el soporte administrativo del sistema GESFut se abordará como trabajo futuro a través del desarrollo de un sistema de información cuya construcción se basará en el proceso de ingeniería de *software* y el modelo de desarrollo adecuado en base a los requerimientos y las fases definidas para la organización. El sistema se construirá a través de los módulos funcionales *front-end* y *back-end*, con lo que se pretenderá lograr al mismo tiempo la automatización de las fases 1, 3, 4 y 5, proporcionando a la comunidad universitaria un *software* que será capaz de atender la problemática de difusión y extenderá la cobertura de la propuesta y su reutilización para la organización de cualquier evento deportivo institucional a través del uso de las tecnologías de la información.

Agradecimientos

Agradecemos la revisión de un árbitro anónimo quien realizó observaciones valiosas en contribución a mejorar el presente trabajo.

Referencias

- Baase, S. & A. Van Gelder, 2002. Algoritmos computacionales: Introducción al análisis y diseño. 3ª. Edición, Addison-Wesley Longman Inc, Reading Massachusetts, U.S.A. 704 pp.
- Bartsch, T. et al. 2006. Scheduling the Professional Soccer Leagues of Austria and Germany. *Computers & Operations Research*: Volume 33: pp. 1907-1937.
- Campioni.biz. 2012. Consultado el 2 de febrero de 2019: https://www.campioni.biz/spanish/calendario/crea_calendario12.php.
- Coach-helper. 2005. Consultado el 25 de febrero de 2019: <https://www.coach-helper.com>.
- Cormen, T.H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., Stein, C. 2009. Introduction to algorithms. Second edition, MIT Press, Massachusetts Institute of Technology, U.S.A. 1203 pp.
- Cruz-Maldonado, O. & Delgado-Orta, J.F. 2018. Entrevista de Angela Pablo Palacios. Torneo de futbol intramuros. Efectuada el 16 de diciembre de 2018.
- De Werra, D. 1985. An introduction to time tabling. *European Journal of Operational Research*: Volume 19, Issue 2: pp. 151-162.
- Della Croce, F., & Oliveri, D. 2006. Scheduling the italian football league: an ILP-approach. *Computers & Operations Research*: Volume 33: pp. 1963-1974.
- DOLEAGUE. DOLEAGUE. 2015. Consultado el 26 de febrero de 2019: <https://www.doleague.com/organizar-campeonatos>.
- Duran, S., J. L. Swan & E. Yakici. 2017. Dynamic switching times from season to single tickets in sports and entertainment. *Optimization Letters* 6(6): 1185-1206.
- Durán, G. & Guajardo, M.; Sauré, D. 2017. Scheduling the South American Qualifiers to the 2018 FIFA

Tabla VI. Propuesta de automatización de la Fase 2 (Calendarización del torneo).

Etapa/Incremento	Estrategia propuesta	Complejidad del peor caso
1: Solución del <i>round robin</i>	Programación Entera	$\sum_{i=1}^{ c } \frac{N_i(N_i - 1)}{2}$
2: Selección local-visitante	Programación Entera	$\sum_{i=1}^{ c } \frac{N_i^2}{2}$
3: Programación de horarios	FIFO (<i>First In, First Out</i>)	$\sum_{i=1}^{ c } \left\lfloor \frac{N_i}{2} \right\rfloor$
4: Designación de árbitros	Determinista	$\sum_{i=1}^{ c } N_i$

World Cup by integer programming: Volume 262, Issue 3: pp. 1109-1115.

Fiallos, J., J. Pérez, F. Sabillón & M. Licona. 2010. Scheduling soccer league of Honduras using integer programming, in Johnson A, Miller J (Eds.), Proceedings of the 2010 Industrial Engineering Research Conference, Cancún, Mexico.

IFAB. 2019. Consultado el 10 de abril de 2019: <https://img.fifa.com/image/upload/qafar0qbviwls7vqabkl.pdf>.

Gomes, C., H. Kautz, A. Sabharwal & B. Selman. 2008. Satisfiability solvers. Pp. 89-132 *In: Handbook of knowledge representations* Amsterdam: Elsevier.

Goossens, D. & F. Spieksma. 2009. Scheduling the belgian soccer league. *Interfaces* 39(2): 109-118.

LeagueRepublic. 2002. Consultado el 28 de febrero de 2019: <https://www.leaguerepublic.com/index.html>.

LEVERADE. 2019. Consultado el 28 de febrero de 2019: <https://leverade.com>.

McAloon, K., C. Tretkoff & G. Wetzel. 1997. Sports league scheduling. In: Proceedings of the Third ILOG Optimization Suite International Users' Conference.

Pressman, R. 2010. *Ingeniería de Software: un enfoque práctico*. 7th ed, McGraw-Hill. pp. 35-36.

Ribeiro, C. & S. Urrutia. 2007. Scheduling the Brazilian soccer tournament with fairness and broadcast objectives. In E. Burke and H. Rudov, eds., *Practice and Theory of Automated Timetabling VI*, Lecture Notes in Computer.

Ribeiro, C.C. & Urrutia, S. 2012. Scheduling the Brazilian soccer tournament: solution approach and practice. *Interfaces: Volume 42*: pp. 260-272.