



**TESIS DE GRADO
EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**OPTIMIZACIÓN MATEMÁTICA DEL
FIXTURE DE PRIMERA DIVISIÓN DEL
FÚTBOL ARGENTINO**

Autor: Sebastián Fevre

Director de Tesis: Ing. Pedro del Campo

2007

RESUMEN EJECUTIVO

La programación de actividades deportivas abarca un área de investigación con una gran variedad de problemas y aplicaciones. La mayor parte de los problemas corresponden a problemas de optimización combinatoria muy difíciles de resolver. Durante los últimos 30 años, estos problemas han motivado a una gran cantidad de investigaciones en busca de métodos eficaces de solución, dando lugar a un amplio repertorio de posibilidades, incluyendo la generación de columnas, descomposición de Benders, métodos de programación por restricciones, métodos híbridos combinados con programación entera y programación por restricciones, etc. Los métodos individuales se han convertido en los más efectivos pero aún problemas con apenas ocho equipos resultan extremadamente difíciles de resolver.

Las competiciones deportivas tienen muchos aspectos económicos que incluye la valuación de los equipos, los jugadores, el planeamiento del torneo, gerenciamiento de clubes, políticas de marketing, seguridad y establecimiento de reglas justas. Las emisoras de televisión desempeñan un papel muy importante en el financiamiento de estas actividades, siendo la principal fuente de ingresos, por lo que un fixture atractivo y rentable es crítico.

Los modelos están caracterizados normalmente por una enorme cantidad de requisitos conflictivos que surgen de los diferentes equipos, el público, patrocinadores, etc. Para solucionar estos problemas, deben utilizarse algoritmos especiales de solución capaces de integrar los diferentes requisitos. Dentro de la literatura existente se presentan varios métodos de solución, pero a medida que los algoritmos mejoran, el número de requerimientos y restricciones crece también. Ser capaz de obtener soluciones de alta calidad para las ligas deportivas no solo provee los fixtures que satisfacen los requerimientos de los equipos sino que también pueden dar lugar a grandes ganancias económicas. El fixture de una liga puede constituir un factor significativo cuando el precio de los derechos transmisión es negociado con las redes de TV.

En el *Capítulo 1* se da una breve introducción a la importancia rol que cumple la optimización de procesos y la investigación de operaciones así como también los diferentes métodos de soluciones estándar de los problemas de optimización combinatoria. Son explicados los conceptos básicos de la programación entera (PE), la programación por restricciones (PR) y los algoritmos meta-heurísticos. Todos los métodos de solución fueron utilizados dentro del ámbito de la programación de fixtures deportivos. Más aún, los métodos de resolución utilizados a lo largo de esta tesis están basados en los métodos estándares.

Se presenta el estado del arte de los desarrollos de los fixtures deportivos. Introduce los conceptos y terminología sobre las diferentes representaciones de fixtures así como también claros ejemplos sobre desarrollos previos. El objetivo buscado es el de comprender los conceptos fundamentales para luego poder llevar a cabo un adecuado análisis de un fixture dado.

En el *Capítulo 2* se analiza el panorama del fútbol argentino y su actual fixture. Se busca encontrar cuales son los aspectos claves que caracterizan al torneo de fútbol en argentina y como repercuten en el fixture. Como resultado se presentan las falencias halladas y los puntos claves a mejorar y tener en cuenta a la hora de diseñar un fixture óptimo.

Por otro lado, se detallará la metodología de Branch and Bound y las consideraciones de resolución básicas que se utilizarán en la resolución del problema.

Mas adelante, *el Capítulo 3*, detalla las restricciones y objetivos necesarios para obtener como resultado un fixture del fútbol argentino óptimo, atractivo y beneficioso. Se demuestra la flexibilidad del modelo al lograr adaptarlo exitosamente a diferentes objetivos que buscan optimizar puntos de vista completamente diferentes. No sólo se demuestra una gran flexibilidad sino que también su poder de resolución permite tener en cuenta diferentes objetivos simultáneos y aún así obtener soluciones de muy alta calidad.

En el último, *el Capítulo 4*, se resumen las principales conclusiones halladas a lo largo del desarrollo de esta tesis así como también los posibles trabajos futuros que pueden enriquecer el modelo actual.

Si bien la factibilidad del modelo completo es demostrada automáticamente mediante diferentes softwares, fue necesario disminuir a 10 la cantidad de equipos para poder obtener fixtures en tiempos manejables. No obstante, si se dispone del tiempo suficiente, al estar comprobada la factibilidad del modelo para la totalidad de los equipos participantes en el torneo es posible obtener los fixtures correspondientes.

EXECUTIVE BRIEF

Sports Scheduling includes a wide area of research with a great variety of problems and applications. Most of these problems are combinatorial optimization problems very difficult to solve. During the last the 30 years, these problems have motivated a great amount of investigations in search of effective methods of solution, having given rise to an ample repertoire of possibilities, including the generation of columns, Benders decomposition, constraints programming methods, hybrid methods combined with integer programming and constraints programming, etc. Individual methods have become the most effective, but still problems with only eight teams result really difficult to solve.

Sport competitions have many economic aspects, including teams and players valuation, the planning of the tournament, teams managing, marketing policies, security and establishment of right rules. Television demists a very important paper in the financing of these activities, being the main source of income, reason why an attractive and profitable fixture is critical.

Models are normally characterized by an enormous amount of conflicting requirements that arise from the different teams, public, sponsors, etc. In order to solve these problems, special algorithms capable to integrate the different requirements must be used. Within existing literature several solution methods exist, but as algorithms improve, the number of requirements and restrictions also grows. Being able to obtain high quality solutions for sport leagues not only provides fixtures that satisfy the requirements from teams but also give rise to great economic gains. A fixture can constitute a significant factor when the price of transmission rights is negotiated with TV networks.

Chapter I includes a brief introduction to the import role that optimization of processes and investigation of operations play, as well as different methods of standard solutions for the optimization of combinatorial problems. Basic concepts of the Integer Programming are explained, Constraints Programming and Methaheuristic algorithms. All these solution methods were used within sport scheduling scope. Still more, the methods used for the resolution throughout this thesis are based on these standard methods.

Sport fixtures scheduling state-of-the-art is also explained. It introduces the concepts and terminology on the different representations of fixtures as well as clear examples on previous developments. The objective is to understand the main concepts in order to be able to carry out a rich and deep analysis of a particular fixture.

Chapter II analyzes the panorama of Argentine soccer and its present fixture. The goal is to find which are the key aspects that characterize the soccer tournament in Argentina and how they impact in the fixture. As a result, flaws and improvement points to consider when designing an optimal fixture are presented.

On the other hand, the methodology of Branch and Bound will be explained in detail and main considerations of resolution that will be used in the resolution of the problem will be presented.

Later, *Chapter III* details the restrictions and objectives necessary to obtain an optimal, attractive and beneficial fixture for the Argentine tournament. The flexibility of the model is demonstrated when adapting it successfully to different objectives that are meant to optimize completely different points of view. Not only its great flexibility is demonstrated but also its power of resolution that allows to consider different objective simultaneously and even so to obtain solutions of very high quality.

In the last, *Chapter IV*, main conclusions found throughout the development of this thesis as well as the possible future works that can enrich the present model are explained.

Although the feasibility of the complete model is demonstrated automatically by means of different software, it was necessary to reduce to 10 the amount of teams in order to be able to obtain fixtures in manageable times. However, if sufficient time is available, as the feasibility of the model is proved it is possible to obtain valid fixtures for the 20 teams that compete in the Argentine soccer tournament.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Este trabajo propone el análisis de la situación actual de fixture del torneo de primera división de fútbol argentino. El objetivo es el de desarrollar un modelo matemático que lo represente y lo optimice teniendo en cuenta diferentes restricciones y objetivos que lo hacen atractivo y rentable.

El método utilizado para la resolución es el de Programación Entera con el algoritmo de Branch and Bound. Este es un método que busca minimizar el árbol de búsqueda mediante ramificación y rebotes que elimina del árbol las soluciones no factibles y aquellas factibles pero de menor valor que el mejor valor encontrado hasta ese momento.

A partir del análisis del fixture actual se identifican las falencias y las oportunidades de mejora. Se desarrolla el modelo que permite proveer a los encargados del torneo de fútbol argentino de una herramienta muy poderosa y útil para el diseño de torneos rentables y de alto interés tanto para los espectadores como para los patrocinadores y emisoras de televisión.

Palabras Clave: algoritmo, optimización de procesos, software, fixture, programación entera, round robin, break (o quiebre), Branch and Bound, restricción, solución factible, valor titular.

ABSTRACT

This work proposes the analysis of the first division soccer fixture from Argentina. The goal is to develop a mathematical model that represents and optimize it considering different restrictions and objectives that make it attractive and profitable.

The method used for the resolution is the Integer Programming with the algorithm of Branch and Bound. This is a method minimizes the search tree by means of ramification and bounces, eliminating from the tree the nonfeasible solutions and those feasible ones but of with a poorer value than the best value found until that moment.

From the analysis of the present fixture, flaws and improvement points to consider when designing an optimal fixture are identified. The model provides the responsible of the Argentine soccer tournament scheduling of a very powerful and useful tool for the design of profitable matches and high interest for the spectators, sponsors and television transmitters.

Key words: algorithm, processes optimization, software, fixture, integer programming, round robin, break, Branch and Bound, restriction, feasible solution, incumbent value.

ÍNDICE

CAPÍTULO I - MARCO CONCEPTUAL	1
I.1 - INTRODUCCIÓN A LA OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES	1
I.1.1 - Breve historia de la optimización de operaciones	2
I.1.2 - Áreas de aplicación de la Optimización de Operaciones.....	3
I.2. - TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES	4
I.2.1 - Programación Entera	4
I.2.1.1 - Branch and Bound	5
I.2.1.2 - Branch and Cut	6
I.2.1.3 - Branch and Price.....	6
I.2.1.4 - Descomposición por Benders	7
I.2.1.5 - Aplicaciones y casos reales.....	7
I.2.2 - Programación por Restricciones.....	8
I.2.2.1 - Restricciones.....	8
I.2.2.2 - Backtracking.....	9
I.2.2.3 - Consistencia.....	9
I.2.2.3 - Propagación de restricciones	10
I.2.2.4 - Aplicaciones y casos reales.....	10
I.2.3 - Combinación de Programación Entera y por Restricciones	11
I.2.4 - Métodos de Solución Meta-heurística	11
I.2.4.1 - Búsqueda Tabú	12
I.3 - ACTUALIDAD DE LOS DESARROLLOS DE FIXTURES DEPORTIVOS	13
I.3.1 - Espacio de búsqueda.....	13
I.3.2 - Representación de los fixtures.....	15
I.3.3 - Torneos Round Robin.....	15
I.3.3.1 - Minimización de los Quiebres	18
I.3.3.2 - Minimización de las distancias recorridas	19
I.3.4 - Desarrollos previos de programación de fixtures deportivos	19
CAPÍTULO II – PROBLEMÁTICA DEL FIXTURE DEL TORNEO DE FÚTBOL ARGENTINO	21
II.1 – PANORAMA DEL FUTBOL ARGENTINO	21
II.1.1 - Modalidad del Torneo de fútbol argentino.....	21
II.1.2 - Los Cinco Grandes.....	22
II.1.3 - Distribución geográfica.....	22
II.1.4 - Equipos fuertes.....	23
II.1.5 - Equipos en Zona de Descenso.....	24
II.1.6 - Clásicos del fútbol argentino.....	24
II.1.6.1 - El Superclásico River Plate – Boca Juniors.....	25
II.1.7 - Desempeño de los equipos de local y de visitantes	26
II.1.8 – Asistencia a los estadios	27
II.1.9 - Ingresos económicos de los clubes de primera división.....	29
II.1.9.1 - Derechos de TV.....	30
II.9 - Violencia en el fútbol argentino	30
II.2 - ANÁLISIS DEL FIXTURE DEL FÚTBOL ARGENTINO	32
II.2.1 - Breaks o Quiebres	33
II.2.2 - Distribución de los partidos clásicos	34
II.2.3 - Localías entre equipos grandes	35
II.2.4 - Localías entre equipos <i>grandes</i> frente a equipos <i>no grandes</i>	36

II.2.5 - Encuentros consecutivos entre determinado tipo equipos	37
II.2.6 - Distancias geográficas y viajes realizados por los equipos	38
II.2.7 - Cantidad de encuentros en Buenos Aires y en el Interior	39
II.2.8 - Cruces entre hinchadas.	39
II.2.9 - Fixture espejado	45
II.3 - METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA	45
II.3.1 - Suboptimizando en problemas muy grandes	51
CAPÍTULO III – OPTIMIZACIÓN DEL FIXTURE DEL TORNEO DE FÚTBOL ARGENTINO	53
III.1 - REQUERIMIENTOS PARA UN FIXTURE DE FÚTBOL ÓPTIMO Y PLANTEO MATEMÁTICO	53
III.1.1 - Restricciones	54
III.1.1.1 - Variables de decisión	54
III.1.1.2 - Restricciones Duras	55
III.1.1.3 - Mejora de performance del modelo	65
III.1.1.3 - Restricciones Blandas u Objetivos	67
III.1.1.4 - Comparación entre la programación real y el modelo propuesto	69
III.2 - RESULTADOS EXPERIMENTALES	70
III.2.1 - Rangos de calificación	72
III.2.2 - Resultados Obtenidos	73
CAPÍTULO IV – CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	79
IV.1 - CONCLUSIONES	79
IV.2 - TRABAJOS FUTUROS	81
BIBLIOGRAFÍA	83
LIBROS	83
INFORMACIÓN GENERAL, INVESTIGACIONES E INFORMES TEÓRICOS	83
DESARROLLOS PREVIOS	84
MANUALES DE PROGRAMACIÓN UTILIZADOS EN EL MODELO	85
ANEXOS	87
ANEXO I - FIXTURES OBTENIDOS	88
ANEXO II - CRUCES PELIGROSOS	105
ANEXO III - Fixture Torneo Apertura 2006	115
ANEXO IV - Resultados Apertura 2006	116
ANEXO V – Tabla de posiciones Apertura 2006	117
ANEXO VI - Entradas vendidas de local y visitante en el Apertura 2006	118
ANEXO VII – Partidos jugados en Buenos Aires y en el Interior durante el Apertura 2006	119

CAPÍTULO I - MARCO CONCEPTUAL

A lo largo de este capítulo se da una breve introducción a la importancia rol que cumple la optimización de procesos y la investigación de operaciones así como también los diferentes métodos de soluciones estándar de los problemas de optimización combinatoria. Son explicados los conceptos básicos de la programación entera (PE), la programación por restricciones (PR) y los algoritmos meta-heurísticos. Todos los métodos de solución fueron utilizados dentro del ámbito de la programación de fixtures deportivos. Más aún, los métodos de resolución utilizados a lo largo de esta tesis están basados en los métodos estándares.

Se presenta el estado del arte de los desarrollos de los fixtures deportivos. Introduce los conceptos y terminología sobre las diferentes representaciones de fixtures así como también claros ejemplos sobre desarrollos previos. El objetivo buscado es el de comprender los conceptos fundamentales para luego poder llevar a cabo un adecuado análisis de un fixture dado.

I.1 - INTRODUCCIÓN A LA OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES

La toma de decisiones es un proceso iniciado cuando se observa un problema y se determina que es necesario resolverlo, procediendo a definirlo, formular un objetivo, reconocer las limitaciones o restricciones del mismo, generar alternativas de solución y evaluarlas hasta seleccionar la que le parece mejor. Este proceso puede ser cualitativo o cuantitativo.

El enfoque cualitativo se basa en la experiencia y el juicio personal. Las habilidades necesarias en este enfoque son inherentes a la persona y aumentan con la práctica. En muchas ocasiones este proceso basta para tomar buenas decisiones. El enfoque cuantitativo requiere habilidades que se obtienen del estudio de herramientas matemáticas que le permiten a la persona mejorar su efectividad en la toma de decisiones. Este enfoque es útil cuando no se tiene experiencia con problemas similares o cuando el problema es tan complejo o importante que requiere de un análisis exhaustivo para tener mayor efectividad a la hora de elegir la mejor solución.

La investigación de operaciones proporciona a los tomadores de decisiones bases cuantitativas para seleccionar las mejores decisiones y permite mejorar su habilidad para idear planes a futuro.

En el ambiente socioeconómico actual, altamente competitivo y complejo, los métodos tradicionales de toma de decisiones se han vuelto inoperantes e inadmisibles ya que los responsables de dirigir las actividades de las empresas e instituciones se enfrentan a

situaciones cada vez mas complejas y cambiantes que requieren de soluciones creativas y prácticas apoyadas en una base cuantitativa sólida.

En organizaciones grandes se hace necesario que el tomador de decisiones tenga un conocimiento básico de las herramientas cuantitativas que utilizan los especialistas para poder trabajar en forma estrecha con ellos y ser receptivos a las soluciones y recomendaciones que se le presenten.

En organizaciones pequeñas puede darse que el tomador de decisiones domine las herramientas cuantitativas y él mismo las aplique para apoyarse en ellas y así tomar sus decisiones.

El proceso comienza por la observación cuidadosa y la formulación del problema incluyendo la recolección de los datos pertinentes. El siguiente paso es la construcción de un modelo científico (por lo general matemático) que intenta abstraer la esencia del problema real. En este punto se propone la hipótesis de que el modelo es una representación lo suficientemente precisa de las características esenciales de la situación como para que las conclusiones (soluciones) obtenidas sean válidas también para el problema real. Después, se llevan a cabo los experimentos adecuados para probar esta hipótesis, modificarla si es necesario y eventualmente verificarla. Con frecuencia este paso se conoce como validación del modelo. Entonces, en cierto modo, la investigación de operaciones incluye la investigación científica creativa de las propiedades fundamentales de las operaciones.

La investigación de operaciones intenta encontrar una mejor solución (llamada solución óptima) para el problema bajo consideración. Decimos “una mejor solución” y no “la mejor solución” porque pueden existir muchas soluciones que empaten con la mejor. En lugar de contentarse con mejorar el estado de las cosas, la meta es identificar el mejor curso de acción posible. Aun cuando debe interpretarse con todo cuidado en términos de las necesidades reales, esta "búsqueda de optimalidad" es un aspecto importante dentro de la investigación de operaciones.

I.1.1 - Breve historia de la optimización de operaciones

Las raíces de la investigación de operaciones se remontan a muchas décadas atrás, cuando se realizaron los primeros intentos para emplear el enfoque científico en la administración de una empresa. Sin embargo, el inicio de la actividad llamada investigación de operaciones, casi siempre se atribuye a los servicios militares prestados a principios de la Segunda Guerra Mundial. Debido a los esfuerzos bélicos, existía una necesidad urgente de asignar recursos escasos a las distintas operaciones militares y a las actividades dentro de cada operación en la forma más efectiva. Por todo esto, las administraciones militares americana e inglesa hicieron un llamado a un gran número de

científicos para que aplicaran el enfoque científico a éste y a otros problemas de estrategia y táctica. Estos equipos de científicos fueron los primeros equipos de investigación de operaciones. Sus esfuerzos contribuyeron de una manera definitiva al triunfo del combate aéreo inglés en la isla de Campaña en el Pacífico, de la batalla del Atlántico Norte y de muchas otras.

Estimulados por el evidente éxito de la investigación de operaciones en lo militar, los industriales comenzaron a interesarse en este nuevo campo. Como la explosión industrial seguía su curso al terminar la guerra, los problemas causados por el aumento de la complejidad y especialización dentro de las organizaciones pasaron al primer plano. Comenzó a ser evidente para un gran número de personas, incluyendo a los consultores industriales que habían trabajado con o para los equipos de investigación de operaciones durante la guerra, que estos problemas eran básicamente los mismos que los enfrentados por la milicia, pero en un contexto diferente. De esta forma, la investigación de operaciones comenzó a introducirse en la industria, los negocios y el gobierno. Para 1951, ya se había introducido por completo en Gran Bretaña y estaba Estados Unidos en proceso de hacerlo.

Se pueden identificar por lo menos otros dos factores que jugaron un papel importante en el desarrollo de la investigación de operaciones durante este periodo. Uno es el gran progreso en el mejoramiento de las técnicas disponibles en esta área. Después de la guerra, muchos científicos que habían participado en los equipos de investigación de operaciones o que tenían información sobre este trabajo, se encontraban motivados a buscar resultados sustanciales en este campo; de esto resultaron avances importantes. Un ejemplo sobresaliente es el método simplex para resolver problemas de programación lineal, desarrollado en 1947 por George Dantzig. Muchas de las herramientas características de la investigación de operaciones, como programación lineal, programación dinámica, líneas de espera y teoría de inventarios, fueron desarrolladas casi por completo antes del término de la década de 1950. Además del rápido desarrollo teórico, el segundo factor que dio un gran ímpetu a la investigación de operaciones fue el advenimiento de las computadoras. Para manejar de manera efectiva los complejos problemas inherentes a esta disciplina, por lo general se requiere de un gran número de cálculos; llevarlos a cabo a mano puede resultar casi imposible. Entonces el desarrollo de la computadora electrónica digital, con su capacidad para realizar cálculos aritméticos, miles o tal vez millones de veces más rápido que los seres humanos, fue una gran ayuda para la investigación de operaciones.

I.1.2 - Áreas de aplicación de la Optimización de Operaciones

Muchas industrias, incluyendo la aérea y la de proyectiles, la automotriz, la de comunicaciones, computación, energía eléctrica, electrónica, alimenticia, metalúrgica, minera, del papel, del petróleo y del transporte, han empleado la investigación de

operaciones. Las instituciones financieras, gubernamentales y de salud están incluyendo cada vez más estas técnicas.

Para ser más específicos, se consideran algunos problemas que se han resuelto mediante algunas técnicas de Investigación de Operaciones. La programación lineal se ha usado con éxito en la solución de problemas referentes a la asignación de personal, la mezcla de materiales, la distribución y el transporte, y las carteras de inversión. La programación dinámica se ha aplicado con buenos resultados en áreas tales como la planeación de los gastos de comercialización, la estrategia de ventas y la planeación de la producción. La teoría de colas ha tenido aplicaciones en la solución de problemas referentes al congestionamiento del tráfico, al servicio de máquinas sujetas a descomposturas, a la determinación del nivel de la mano de obra, a la programación del tráfico aéreo, al diseño de presas, a la programación de la producción y a la administración de hospitales. Otras técnicas de Investigación de Operaciones, como la teoría de inventarios, la teoría de juegos y la simulación, han tenido exitosas aplicaciones en una gran variedad de contextos.

I.2. - TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES

La programación de actividades, tales como la distribución de trabajo, docentes y fixtures deportivos, son en general problemas de optimización combinatoria o de factibilidad y los métodos para resolverlos más comúnmente utilizados incluyen la programación entera (PE), la programación por restricciones (PR), algoritmos híbridos y los algoritmos meta heurísticos. Estos cuatro enfoques de trabajo proveen de poderosas herramientas para encontrar soluciones óptimas o casi óptimas.

I.2.1 - Programación Entera

Muchos problemas de este tipo han sido modelados como problemas de Programación Entera o problemas de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM). Ambos tipos de problemas son formulados como casos de programación lineal (PL) conteniendo una función objetivo lineal que debe ser maximizada o minimizada y un número de restricciones lineales que deben ser satisfechas. Las diferencias entre problemas de PL y problemas de PE/PLEM son las condiciones de variables enteras en la PE, y un subconjunto de variables enteras en un problema PLEM. A pesar de reducir en gran parte la región de soluciones posibles, las restricciones hacen al problema más difícil de resolver, requiriendo técnicas especiales de solución.

De entre los métodos existentes para resolver problemas de PE, algunos de los que probaron ser muy efectivos a la hora de resolverlo son los siguientes algoritmos:

- Branch and Bound
- Branch and Cut
- Branch and Price
- Descomposición por Benders.

I.2.1.1 - Branch and Bound

Branch and Bound es un algoritmo basado en un árbol de búsqueda que utiliza un método de ramificación variable para obtener integridad y rebotes y así evitar hacer un análisis total de todas las posibilidades.

El método comienza considerando el problema original con la región factible completa, que se llama problema raíz.

Los procedimientos de límite inferior y de límite superior se aplican al problema raíz. Si los límites coinciden, entonces se ha encontrado una solución óptima y el procedimiento termina. De lo contrario, la región factible se divide en dos o más regiones, que juntas totalizan la región factible anterior. Idealmente, esta división en subproblemas divide la región factible, y las regiones se convierten en los “hijos” del nodo raíz. El algoritmo se aplica recurrentemente a los subproblemas, generando un árbol de subproblemas. Si una solución óptima es encontrada para un subproblema, es una solución factible del problema total, pero no es necesariamente la solución óptima global. Al ser una solución factible, puede ser utilizada para analizar el resto del árbol: Cuando se maximiza una función objetivo, si el rebote entre la mejor solución factible hasta el momento, o valor titular, y el valor objetivo es mayor que el rebote entre el límite superior (mejor solución posible) del nodo analizado y el valor objetivo, entonces no puede existir una solución óptima global en el subespacio de la región factible representada por el nodo. Por lo tanto, el nodo se puede eliminar del análisis (Figura 1.1). Para el caso de la minimización de la función objetivo el procedimiento es el mismo pero el límite utilizado para el análisis del rebote es el inferior. Si se excede la mejor solución factible conocida, entonces no puede existir una solución óptima global en el subespacio

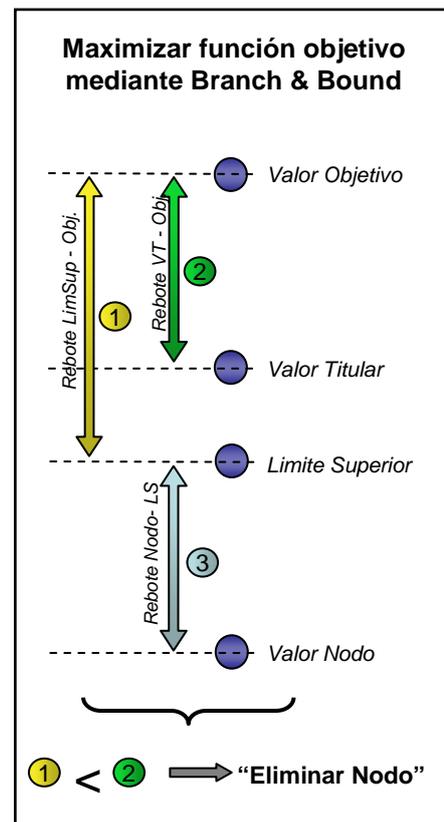


Figura 1.1 - Maximización de función mediante Branch & Bound

de la región factible representada por el nodo. Por lo tanto, el nodo se puede eliminar del análisis. La búsqueda procede hasta que se han resuelto o se han podado todos los nodos, o hasta un cierto umbral especificado entre la mejor solución encontrada y los límites inferiores en todos los subproblemas sin resolver.

I.2.1.2 - Branch and Cut

Branch and Cut es una generalización del método de Branch and Bound. Combina la idea de dividir usada en Branch and Bound con la idea de mejorar la relajación de la PL agregando un corte de soluciones no factibles.

La relajación de una PL es un método que permite que las variables enteras tomen valores fraccionales para así guiar al modelo hacia la solución mas rápidamente.

Este método comienza por la resolución de la PL sin la restricción de variables enteras. Cuando una solución óptima es obtenida, y esta solución tiene un valor no entero para una variable que se supone que debe ser entera, un algoritmo de corte de planos es utilizado para encontrar las restricciones lineales que son satisfechas por todos los puntos enteros factibles pero violadas por la solución fraccional actual. Si se encuentran dichas restricciones, éstas son agregadas a la PL, de tal forma que resolviéndola se obtendrá una solución diferente que será menos fraccional. Este proceso se repite hasta que o una solución entera es encontrada o hasta que no se hayan planos de corte adicionales.

En este punto, la etapa de Branch and Bound del algoritmo entra en juego, avanza por la ramificación y continúa al nodo siguiente.

Los cortes ayudan a la relajación de la PL dejando la región factible mas próxima a la zona de las soluciones factibles enteras. El problema principal de hacer cortes es la lenta convergencia hacia esta zona de solución óptima, pero los algoritmos de Branch and Cut son capaces de ramificar cuando la convergencia se hace lenta. Esta combinación ha demostrado ser muy eficaz puesto que las mejoras de las relajaciones de la LP dan lugar a árboles de búsqueda más pequeños.

I.2.1.3 - Branch and Price

Los algoritmos de Branch and Price son otra generalización de Branch and Bound. En contraste a las filas agregadas en Branch and Cut, en esta clase de algoritmo se agregan columnas adicionales a la relajación de la PL.

En el nodo raíz del árbol resolvemos un problema principal restringido donde la mayor parte de las columnas se omiten. Esto significa que la solución puede no ser la óptima pero mediante un problema de precio se puede encontrar columnas que mejoren el resultado si es que existe alguna. El problema de precio utiliza las variables duales del problema principal para calcular los precios sombra de las columnas omitidas. Si existe una columna de mejora, se agrega al problema principal restringido y éste es reoptimizado. El algoritmo se mantiene iterando entre el problema principal restringido y el problema de precio hasta que no se encuentre ninguna columna adicional beneficiosa en el problema de precio. Cuando sucede esto el algoritmo procede a un nuevo nodo según el proceso descrito en el algoritmo Branch and Bound. Las iteraciones entre el problema principal restringido y el problema de precio se repiten en cada nodo del árbol.

Estos algoritmos son aplicables a los problemas con un gran número de restricciones o a problemas donde una reformulación con un alto número de restricciones puede presentar ventajas.

I.2.1.4 - Descomposición por Benders

Benders propuso un método de descomposición para solucionar problemas de Programación Lineal Entera Mixta. Divide el problema en un problema principal que contiene todas las variables de número entero y un subproblema que contiene el resto de las variables. Cuando se resuelve el problema principal se encuentran los valores de prueba para las variables enteras y el subproblema se utiliza luego para obtener la mejor solución consistente con los valores de prueba. De esta solución se deriva un corte de Benders que establece un límite válido para el valor de la solución. El corte se agrega al problema principal y se resuelve el problema principal.

La parte esencial de la descomposición de Benders son los cortes de Benders que hacen posible poder aprender de errores. Cuando se agrega un corte de Benders, no sólo da información sobre la solución actual al problema principal, sino que también da información sobre todas las soluciones factibles. De esta manera el algoritmo puede evitar tener que buscar a través del árbol entero gracias a los límites que se obtienen durante la búsqueda.

I.2.1.5 - Aplicaciones y casos reales

Se tiene una cantidad inmensa de aplicaciones de estos tipos de algoritmos, entre las que destacan las siguientes:

- El problema de Scheduling

- El problema de la mochila (Determinar los elementos a incluir en un espacio limitado para maximizar el beneficio)
- El problema del vendedor viajero
- Problema de Asignación Cuadrática
- Problema de la Máxima Satisfacción

Entre las aplicaciones a casos reales se pueden encontrar los siguientes:

- “Un algoritmo branch-and-bound doble para resolver el problema flow-shop con bloqueos”.¹
- “A Branch-and-Cut Algorithm for the Symmetric Generalized Travelling Salesman Problem”.²
- “A Branch-and-Price Approach for the Maximum Weight Independent Set Problem”.³
- “Application of Benders Decomposition to an Equilibrium Problem”.⁴

I.2.2 - Programación por Restricciones

En la Programación por Restricciones (PR), el problema es modelado usando un conjunto finito de variables, un dominio finito para cada una de las variables y un sistema finito de restricciones. La tarea es encontrar para cada variable una asignación de un valor del dominio correspondiente tales que todas las restricciones sean satisfechas.

Esta programación ofrece un lenguaje de programación muy rico que permite una variedad enorme de tipos de restricciones. De esta manera es más fácil formular un problema usando un modelo intuitivo y la técnica de resolución resulta más fácil de utilizar para la gente que no posee una comprensión más profunda de los mecanismos subyacentes.

I.2.2.1 - Restricciones

Además de las restricciones lineares de igualdad y desigualdad conocidos de la PL, la PR también permite restricciones lógicas y restricciones globales.

¹ Ramón Company Pascual1, Manuel Mateo Dol1 - <http://io.us.es/cio2005/items/ponencias/139.pdf>

² Fischetti, M., Salazar, J.J., Toth, P.: “A Branch-and-Cut Algorithm...” - Operations Research

³ Deepak Warrier, Wilbert Wilhelm, Illya Hicks <http://ie.tamu.edu/People/faculty/Hicks/wilhelm.pdf>

⁴ Jordi Cabero, Álvaro Baíllo, Santiago Cerisola, Mariano Ventosa
<http://www.montefiore.ulg.ac.be/services/stochastic/pscc05/papers/fp303.pdf>

Las restricciones lógicas son aquellas en las cuales se establece condiciones lógicas como por ejemplo, *si X e Y son nulos entonces las restricciones son satisfechas*.

Las restricciones globales son restricciones que representan un sistema de restricciones con una estructura especial. Se utilizan a menudo para recolectar un grupo de restricciones similares para ayudar a los métodos de solución.

I.2.2.2 - Backtracking

Los problemas de PR se pueden solucionar por un algoritmo sistemático de búsqueda conocido como Backtracking, o vuelta hacia atrás. Éste es un algoritmo de búsqueda de árbol como el de Branch and Bound pero los nodos son puntos escogidos. En cada punto escogido, una variable está asignada a un valor consistente con los valores de las variables ya asignadas. De esta manera, el algoritmo constantemente extiende una solución parcial hacia una solución completa hasta que se detecta una inconsistencia o se obtiene una solución factible. En el primer caso, el algoritmo retrocede en el árbol de búsqueda hasta que alcanza la variable asignada más reciente. Desde este punto escogido se comienza nuevamente a asignar variables.

El backtracking tiene sus desventajas también. Entre ella se destaca el Trashing, que es asignar repetidamente variables a valores que no son factibles por los mismos motivos, trabajo redundante ya que no recuerda las asignaciones conflictivas, y la detección tardía de conflictos ya que no se detectan hasta que la inconsistencia ocurre.

I.2.2.3 - Consistencia

Se dice que un conjunto de restricciones es consistente cuando todas las asignaciones que no pueden ser parte de una solución factible se eliminan explícitamente. Esto significa que las variables pueden ser asignadas una por una sin hacer el uso de backtracking. Desafortunadamente, tal grado de consistencia es muy difícil de obtener y en su lugar se utiliza un grado menor de profundidad.

Las técnicas de consistencia se pueden utilizar para solucionar problemas de PR pero la tarea de obtener n-consistencias para un problema con n variables es a menudo mayor que solucionarlo usando Backtracking. En su lugar, las técnicas de consistencia se combinan con backtracking.

I.2.2.3 - Propagación de restricciones

La combinación de las técnicas de backtracking y de consistencia se conoce como propagación de restricciones y constituye hasta la fecha el método más eficaz para solucionar problemas del CP. Utiliza las fuerzas de ambas técnicas y evita algunas de las desventajas, ya que el árbol de búsqueda puede ser reducido y podemos limitar las técnicas de consistencia para obtener las k-consistencias para un k pequeño.

En cada punto escogido del árbol de búsqueda, las técnicas de consistencia se utilizan para reducir los dominios de las variables. Cada vez que nos trasladamos a un nuevo punto escogido, una variable ha sido asignada a un valor fijo y las técnicas de consistencia pueden reducir los dominios de las variables que están ocurriendo en las mismas restricciones de las variables fijas. Esto puede conducir a la reducción en los dominios de otras variables y de esta manera las inconsistencias pueden ser detectadas mucho antes que el algoritmo de backtracking alcance una inconsistencia.

I.2.2.4 - Aplicaciones y casos reales

Entre las aplicaciones de la programación por restricciones se destacan las siguientes:

- Problemas de Juegos.
- Comparaciones entre soluciones a problemas específicos.
- Problemas que implican concurrencia.
- Problemas de restricciones que se benefician del backtracking inteligente, paralelismo y/o análisis abstracto

Entre las aplicaciones a casos reales se pueden encontrar los siguientes:

- “Testing Concurrent Reactive Systems with Constraint Logic Programming”.⁵
- “Applying Constraint Programming to Protein Structure Determination”.⁶
- “A constraint programming agent for automated trading”.⁷
- Airport flight gate scheduling with constraint programming”.⁸

⁵ Heiko L’otzbeyer, Alexander Pretschner - <http://www4.in.tum.de/~loetzbey/papers/cp00.pdf>

⁶ Ludwig Krippahl and Pedro Barahona – http://ssdi.di.fct.unl.pt/~pb/papers/ludi_cp99.pdf

⁷ Erik Aurell, Magnus Boman, Mats Carlsson - <http://www.sics.se/~piak/publ/tac-final.pdf>

⁸ Erwin Pesch.- <http://www.cs.nott.ac.uk/~rxq/cis/ErwinPeschKeynote.pdf>

I.2.3 - Combinación de Programación Entera y por Restricciones

La PE es en general muy buena para solucionar problemas de optimización puesto que la relajación de la PL optimiza automáticamente el valor objetivo y da un límite inferior. La PR no proporciona tal límite pero las técnicas de propagación han demostrado ser acertadas para solucionar problemas altamente restringidos tales como problemas de planeamiento. La Descomposición Lógica de Benders es el método más utilizado este tipo de programación, la cual no será discutida en este trabajo debido a la profundidad y complejidad que estas requieren van más allá del alcance propuesto.

I.2.4 - Métodos de Solución Meta-heurística

Los métodos de solución discutidos hasta ahora han sido todos métodos exactos para obtener una solución óptima en una cantidad de tiempo finita. Sin embargo, para muchos problemas combinatorios y especialmente para muchos problemas de programación de actividades, el tiempo necesario para encontrar una solución óptima excede el tiempo disponible puesto que existe un número exponencial de soluciones. En estos casos, pueden utilizarse métodos heurísticos en vez de métodos exactos ya que la capacidad de encontrar una solución cercana a la óptima en tiempo razonable es más importante que probar la solución óptima.

Los métodos de solución heurística se pueden dividir en dos amplias clases de algoritmos: algoritmos constructivos y algoritmos locales de búsqueda. Los constructivos construyen la solución extendiendo una solución parcial hasta que se ha obtenido una solución completa. Esta clase de algoritmo es a menudo muy rápida pero su calidad puede variar. Los algoritmos locales de búsqueda, por otra parte, empiezan con una solución inicial e intentan encontrar mejorarla usando un cierto esquema de iteración. Son a menudo muy eficientes para encontrar soluciones que mejoran pero los algoritmos básicos pero corren el riesgo de quedar estancados en una solución óptima a nivel local.

Las propiedades fundamentales que caracterizan al algoritmo meta-heurístico son:

- Son estrategias que dirigen el proceso de búsqueda.
- La meta es explorar eficientemente el espacio de búsqueda para encontrar soluciones óptimas (cercanas).
- Se extienden desde procedimientos locales simples de búsqueda a procesos de aprendizaje complejos.
- Son aproximados y generalmente no determinísticos.
- Pueden incorporar mecanismos para evitar quedar atrapados en áreas determinadas del espacio de búsqueda.

- Permiten una descripción a nivel abstracto.
- Los más evolucionados métodos meta-heurísticos hacen el uso de la experiencia de búsqueda incorporada a una cierta memoria para dirigir la búsqueda.

I.2.4.1 - Búsqueda Tabú

La búsqueda tabú es una meta-heurística que guía un procedimiento heurístico de búsqueda local en la búsqueda de optimalidad global. Su filosofía se basa en derivar y explotar una colección de estrategias inteligentes para la resolución de problemas, basadas en procedimientos implícitos y explícitos de aprendizaje. El marco de memoria adaptativa de la búsqueda tabú no solo explota la historia del proceso de resolución del problema, sino que también exige la creación de estructuras para hacer posible tal explotación. De esta forma, los elementos prohibidos en la búsqueda tabú reciben este estatus por la confianza en una memoria evolutiva, que permite alterar este estado en función del tiempo y las circunstancias. En este sentido es posible asumir que la búsqueda tabú esta basada en determinados conceptos que unen los campos de inteligencia artificial y optimización.

Mas particularmente, la búsqueda tabú esta basada en la premisa de que para clasificar un procedimiento de resolución como inteligente, es necesario que este incorpore memoria adaptativa y exploración responsiva. La memoria adaptativa contrasta con los típicos diseños de memoria rígidos tales como las estrategias de ramificación y acotación.

El énfasis en la exploración responsiva considerada en la búsqueda tabú deriva de la suposición de que una mala elección estratégica puede proporcionar mas información que una buena elección realizada al azar, dado que una elección estratégica mala puede proporcionar pistas útiles sobre como guiar la búsqueda hacia zonas prometedoras. Por lo tanto, la exploración responsiva integra los principios básicos de la búsqueda inteligente y explota las características de las soluciones buenas a la vez que explora nuevas regiones prometedoras.

Entre las aplicaciones de métodos meta-heurísticos se destacan las siguientes:

- Problemas de Asignación.
- Clustering.
- Problemas de Grafos.
- Problema de la mochila.
- Redes Neuronales.
- Problemas de Permutación.

- Problemas del viajero.

Entre las aplicaciones a casos reales se pueden encontrar los siguientes:

- “Un algoritmo Tabu Search para un problema de asignación de vagones y trenes”.⁹
- “Uso de búsqueda tabú y algoritmos meméticos en el diseño de calendarios de transporte de componentes de automóviles”.¹⁰
- “Métodos de optimización heurística para la resolución de planificación forestal”.¹¹
- “Estudio del proceso de aplicación de la búsqueda tabú al diseño óptimo electromagnético”.¹²

I.3 - ACTUALIDAD DE LOS DESARROLLOS DE FIXTURES DEPORTIVOS

Siempre que hayan existido deportes competitivos, ha existido la necesidad de programar las fechas de los encuentros. Durante los últimos 30 años, esta programación se ha constituido en un área de investigación muy interesante dentro de las comunidades de investigación de operaciones y de la informática. Aunque puede parecer trivial programar un torneo, y de hecho existen métodos para programar torneos simples, cuando se agregan requisitos adicionales el problema se convierte en un problema combinatorio muy difícil de optimizar. De hecho, para muchos problemas, los casos con más de 10 equipos se consideran de gran dificultad y los métodos mas elaborados y complicados de solución son a menudo necesarios para el hallazgo de buenos fixtures.

I.3.1 - Espacio de búsqueda

En un torneo la cantidad de fixtures posibles crece de manera asombrosa a mediada que el número de participantes es mayor. Este número resulta del factorial de la cantidad de equipos en competencia. Es decir, si hay N equipos, existirán $N!$ fixtures posibles.

⁹ María Granillo, Irene Loiseau - <http://publicaciones.dc.uba.ar/Publications/2004/GL04>

¹⁰ Joaquín A. Pacheco, Jesús F. Alegre y Cristina R. Delgado – <http://eco-mat.ccee.uma.es/asepuma/laspalmas2001/laspalmas/Invo09.pdf>

¹¹ Marc Palahí Lozano1, Timo Pukkala – <http://www.medforex.net/papers/forest/Palah%C3%AD-Pukkala2.pdf>

¹² D. Morinigo, O. Duque, A. Rodriguez, V. Vázquez, A. Rivas - <http://www.aedie.org/xvirgiie/106-mori%F1igo.pdf>

Equipos	Fixtures Posibles
3	6
4	24
6	720
8	40.320
10	3.628.800
15	1.307.674.368.000
20	2.432.902.008.176.640.000

Tabla 1.1 - Relación número de equipos & fixtures posibles

A partir de la *Tabla 1.1* podemos ver rápidamente la velocidad con la que el número de fixtures factibles crece, haciéndose cada vez mucho mayor tan solo agregando unos pocos equipos adicionales en el análisis.

En el siguiente gráfico se puede apreciar con mayor facilidad la aceleración que tiene este crecimiento, siendo ya notable para tan sólo 6 equipos. Es decir, la diferencia que hay entre el número de posibilidades de una cantidad de, por ejemplo, 20 equipos como sucede en la realidad del torneo argentino de fútbol, hace que los valores para los casos de menor cantidad de equipos parezcan insignificantes.

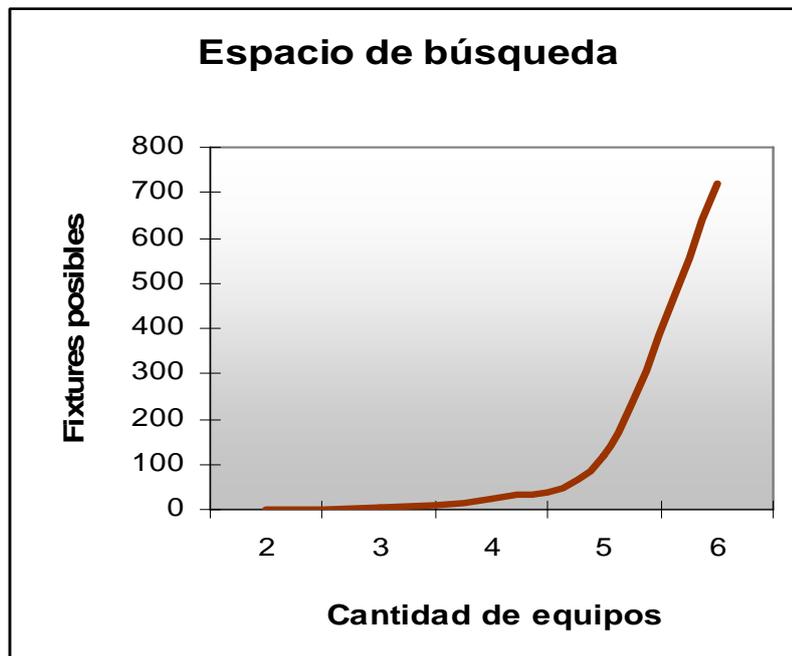


Figura 1.2 - Crecimiento del espacio de búsqueda

Es así como nos encontramos con la sorprendente cifra de unos 2.432.902.008.176.640.000 fixtures posibles para un torneo de 20 equipos. Aún teniendo tecnología moderna, con capacidad de investigar unos 500 fixtures por segundo llevaría casi 100.000 años en analizar cada uno de ellos por separado.

Estos números nos dan una idea de la complejidad del problema de implementar algún tipo de búsqueda sobre este enorme espacio de búsqueda.

Los métodos empleados para la solución se han desarrollado en un cierto plazo y los que hoy existen son capaces de encontrar soluciones óptimas o cercanas a las óptimas para difíciles casos. Además de la motivación del desafío de mejorar los desarrollos de métodos eficientes de solución, la programación de fixtures deportivos tiene un aspecto económico. Los deportes profesionales son un negocio muy grande y el rédito de una liga deportiva puede ser afectado por la calidad del fixture ya que una parte substancial proviene a menudo de redes de TV. Éstos compran los derechos de transmisión de los partidos pero con la exigencia de que diferentes condiciones se cumplan, como por ejemplo que los partidos más atractivos se lleven a cabo en determinadas fechas.

I.3.2 - Representación de los fixtures

Existen dos formas comúnmente utilizadas para la representación de un fixture deportivo.

Una de ellas consiste en una matriz o tabla donde están incluidos todos los equipos y las fechas del torneo, detallando para cada equipo el rival correspondiente a cada fecha. Es decir, será una matriz o tabla de $N \times (N - 1)$. Entonces diremos que el valor de la celda C_{rt} corresponde al rival del equipo r en la fecha t . El signo negativo implica que el equipo r disputará el encuentro de visitante.

Fecha	1	2	3	4	5
Equipo 1	6	-3	5	-2	4
Equipo 2	5	-6	-4	1	-3
Equipo 3	-4	1	6	-5	2
Equipo 4	3	-5	2	-6	-1
Equipo 5	-2	4	-1	3	6
Equipo 6	-1	2	-3	4	-5

Tabla 1.2 – Fixture de $N \times (N-1)$

La segunda forma de representación consiste en una matriz de $(N - 1) \times N/2$ donde se representan los encuentros a disputarse en cada fecha (Tabla 1.3).

I.3.3 - Torneos Round Robin

Un torneo Round Robin es un torneo donde los equipos juegan todos contra todos un número determinado de veces. La mayoría de las ligas de deportes juegan un torneo

Doble Round Robin, donde los equipos se enfrentan dos veces (partido y revancha), pero también existen los torneos Round Robin simples, triples y los cuádruples.

Al programar un torneo, los juegos se deben asignar a un número de fechas de manera tal que cada equipo juegue a lo más un juego en cada fecha. Cuando el número de equipos N es par se requieren de por lo menos $(N - 1)$ fechas, y cuando N es impar de por lo menos N fechas para programar un torneo Round Robin simple. Para mejor comprensión, a continuación se ilustran en la *Tabla 1.3* y la *Tabla 1.4* dos ejemplos de posibles fixtures.

Fixture para 6 Equipos

	Encuentro 1	Encuentro 2	Encuentro 3
Fecha 1	3 vs 6	1 vs 2	4 vs 5
Fecha 2	6 vs 2	5 vs 3	1 vs 4
Fecha 3	4 vs 3	2 vs 5	6 vs 1
Fecha 4	2 vs 4	3 vs 1	5 vs 6
Fecha 5	1 vs 5	6 vs 4	2 vs 3

Tabla 1.3 – Fixture $(N - 1) \times N/2$ para 6 equipos

Para los ejemplos propuestos, podemos ver que evidentemente se deben disputar al menos $N - 1$ fechas cuando N es par, y N de lo contrario, con $N/2$ partidos en cada fecha en el primer caso y $(N - 1)/2$ y un equipo libre en el segundo.

Fixture para 5 Equipos

	Encuentro 1	Encuentro 2	Encuentro 3
Fecha 1	Equipo 3 libre	1 vs 2	4 vs 5
Fecha 2	Equipo 2 libre	5 vs 3	1 vs 4
Fecha 3	4 vs 3	2 vs 5	bye (1)
Fecha 4	2 vs 4	3 vs 1	Equipo 5 libre
Fecha 5	1 vs 5	Equipo 4 libre	2 vs 3

Tabla 1.4 – Fixture $N \times (N+1)/2$ para 5 equipos

Los fixtures deportivos se clasifican en dos tipos diferentes: fixtures temporalmente restringidos y fixtures temporalmente relajados:

Fixtures Temporalmente Restringidos: el número de fechas, o los períodos en los cuales un juego puede llevarse a cabo, es igual a la cantidad de juegos que cada equipo debe jugar más cualquier fecha libre necesaria para las ligas con un número impar de equipos. De esta forma se buscan minimizar el número de fechas necesarias para completar el campeonato. Ejemplos de este tipo son las ligas europeas de fútbol tales como la española y la italiana, o los torneos de rugby disputados en Australia y Nueva Zelanda.

Fixtures Temporalmente Relajados: en un fixture relajado, es posible asignar juegos secuencialmente y obtener un fixture factible pero más largo temporalmente. Ejemplos de este tipo de torneo es el de la liga nacional de básquet (NBA) o de hockey (NHL) de Estados Unidos.

Los equipos tienen a menudo un lugar físico propio, o estadio. Se asume que cada vez que dos equipos se reúnen uno de los equipos juega de local mientras que el otro juega de visitante. La secuencia de los partidos de local y los partidos de visitante es conocido como el *patrón local-visitante*. En muchos torneos se considera atractivo tener un patrón que alterne entre localía y visita, y se conoce como break o quiebre en las fechas que difieren de esta alternación.

“Un Quiebre corresponde a dos juegos locales consecutivos o a dos juegos de visitante consecutivos.”

Para representar la asignación de los partidos de local y de visita para un torneo completo de n equipos se usa el conjunto patrón local-visitante. Un fixture es espejado cuando la primera y la segunda mitad son idénticas salvo por el hecho de que el patrón local visitante está invertido. En el siguiente ejemplo (*Tabla 1.5*) se puede observar un caso de un fixture para un campeonato Round Robin Doble espejado con 6 participantes, donde el signo negativo indica que el equipo juega de visitante.

Fecha	Primera Ronda					Segunda Ronda				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Equipo 1	6	-3	5	-2	4	-6	3	-5	2	-4
Equipo 2	5	-6	-4	1	-3	-5	6	4	-1	3
Equipo 3	-4	1	6	-5	2	4	-1	-6	5	-2
Equipo 4	3	-5	2	-6	-1	-3	5	-2	6	1
Equipo 5	-2	4	-1	3	6	2	-4	1	-3	-6
Equipo 6	-1	2	-3	4	-5	1	-2	3	-4	5

Tabla 1.5 - Fixture espejado de 6 equipos

Henz utiliza diversas técnicas de Programación por Restricciones (PR) para resolver este problema¹³; Trick propone una combinación entre Programación Entera y PR¹⁴; Urban y Russell incorporan diferentes funciones objetivos a cumplir, aplicando programación por objetivos¹⁵; de Werra modela el problema con teoría de grafos inspirado en el problema de un liga de basketball¹⁶; y Schaerf utiliza PR con una

¹³ “Constraint-based round robin tournament planning” – M. Henz

¹⁴ “A schedule-then-break approach to sports timetabling” – M. Trick

¹⁵ “Scheduling sports competitions on multiple venues” –Urban and R.A. Russell.

¹⁶ “Geography, games and graphs” –D. de Werra.

aproximación de dos etapas: la primera, la creación de patrones del torneo y la segunda, un problema de asignación¹⁷.

La mayoría de los estudios realizados sobre la programación de fixtures deportivos se pueden dividir en dos categorías, unos enfocados en la minimización de las distancias recorridas, y los otros enfocados en la minimización de los Quiebres.

I.3.3.1 - Minimización de los Quiebres

Cuando un equipo retorna de jugar un partido de visitante, es común que prefiera no jugar nuevamente de visitante la siguiente fecha. Por lo general se busca un patrón de partidos de visitante y local que alterne fecha en fecha. Estos patrones evitan que los espectadores tengan largos períodos sin poder asistir a un encuentro de su equipo en posición de local, y aseguran una ganancia regular gracias a ellos. Además, la fortaleza de un equipo a lo largo del torneo se refleja de manera mas justa en la tabla de posiciones cuando se alternan las localías. Esto se debe, por ejemplo, a que un equipo con una serie larga de partidos de local puede llegar a obtener mejores resultados que un equipo con varios partidos seguidos de visitante.

La necesidad de un patrón que alterne la localía ha conducido a una gran cantidad de investigaciones, desde soluciones gráfico teóricas para reducir al mínimo el número de quiebres hasta métodos de solución altamente sofisticados que contemplan grandes cantidades de restricciones. Schreuder estudió la liga de fútbol holandesa¹⁸ y en dicho estudio probó que:

“Para todo N equipos, existe un fixture con exactamente N – 2 quiebres y que este número es el óptimo”.

En la *Tabla 1.6* se puede observar lo recién expuesto, donde se muestra un fixture factible para seis participantes y que presenta un total de 6 quiebres, y a continuación el mismo pero con un patrón de localía visita óptimo de 4 quiebres.

Fecha	Fixture no óptimo					Total quiebres óptimo				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Equipo 1	6	3	5	-2	4	6	-3	5	-2	4
Equipo 2	5	-6	-4	1	-3	5	-6	-4	1	-3
Equipo 3	-4	1	6	-5	2	-4	1	6	-5	2
Equipo 4	3	-5	2	-6	1	3	-5	2	-6	1
Equipo 5	-2	4	-1	3	6	-2	4	-1	3	6
Equipo 6	-1	2	-3	4	-5	-1	2	-3	4	-5

Tabla 1.6 - Fixture con cantidad de quiebres libre vs fixture con cantidad mínima de quiebres

¹⁷ “Scheduling sport tournaments using constraint logic programming” –A. Schaerf.

¹⁸ “Minimizing Breaks in Sport Scheduling with Local Search” – P. Van Hentenryck and Y. Vergados

Durante los últimos 30 años, el foco de investigación se ha trasladado de los métodos constructivos aplicables a torneos generales sin complicadas restricciones, hacia métodos de descomposición capaces de manejar todas las restricciones necesarias para determinadas ligas de deportes.

I.3.3.2 - Minimización de las distancias recorridas

El Problema de Minimización del Recorrido contiene las condiciones fundamentales a tener en cuenta en la creación de un fixture deportivo de ligas donde la cantidad de viajes realizados por los equipos es un aspecto a tener en cuenta. Para muchas de estas ligas, son dos los requisitos básicos y fundamentales. El primero es un fixture que contenga patrones de localía y visita que garanticen la menor cantidad de viajes fuera de casa consecutivos (es decir, viajar de un equipo contrario directamente hacia otro equipo contrario para jugar nuevamente de visita) y la cantidad de partidos en casa seguidos. El segundo es la meta de prevenir un recorrido excesivo. Por simplicidad, se resumen estos objetivos como la reducción al mínimo del recorrido total.

A pesar que estos requisitos han sido tratados por programación entera o programación por restricciones (y a veces ambas), su combinación es relativamente un nuevo problema para ambos grupos. La programación por restricciones se ha utilizado con éxito para solucionar sistemas complejos de patrones de localía y visita. Los métodos de la programación entera se han utilizado para solucionar grandes problemas como el del viajero y el de transporte que requieren una reducción al mínimo del recorrido. Parecería ser que la integración de estas técnicas de resolución haría que el Problema de Minimización del Recorrido sea relativamente fácil de solucionar. Sin embargo, incluso para los casos más pequeños se han probado lo difícil que resulta con los métodos tradicionales. Así, el Problema de Minimización del Recorrido parece ser un buen caso para un acercamiento con una técnica combinada.

I.3.4 - Desarrollos previos de programación de fixtures deportivos

Como casos aplicados de estos problemas están los de Della Croce que resuelve el fixture para un torneo de tenis utilizando Tabu Search.

Nemhauser y Trick, para la liga de basketball universitaria de la Conferencia de la Costa Atlántica de Estados Unidos resolviéndolo con una aproximación de tres etapas: en la primera se genera una colección de patrones local/visita, en la segunda se agrupan los patrones en un fixture factible, y en la tercera se asignan los equipos al fixture, todo bajo un esquema de Programación Entera. Luego Henz propone una mejora en la performance de este esquema resolviendo cada una de las etapas con CP.

Entre las variantes de este tipo de problemas se encuentra el diseño de un torneo balanceado, *Balanced Tournament Design Problem (BTDP)*, donde hay estadios comunes en que deben ser jugados los encuentros. El BTDP es similar al problema del torneo *Round Robin simple*, donde cada equipo debe jugar contra otro exactamente una sola vez, pero se requiere que los partidos jugados por cada equipo sean igualmente distribuidos entre todos los estadios disponibles. Aggoun y Vazacopoulos resuelven este problema con CP. Anderson estudia aspectos teóricos del problema y propone métodos constructivos.

Dinitz estudia la complejidad del problema, enumerando la cantidad de torneos posibles para ligas con hasta 10 equipos. Hamiez resuelve el problema para grandes ligas, con hasta 40 equipos, usando *Tabu Search*. Resuelve el problema usando un algoritmo de mejoramiento para ligas con N equipos, tal que $(N - 1)$ no es múltiplo de 3.

El interés en esta área creció notablemente a partir de la formulación del *Traveling Tournament Problem (TTP)* por parte de Bean y Birge, quienes resolvieron el problema de la NBA de los Estados Unidos, donde las principales restricciones tienen que ver con el tiempo de descanso y la disponibilidad de los estadios. Costa consideró el problema de la minimización de la suma de las distancias viajadas por los equipos en la NHL de los Estados Unidos y lo resolvió con una meta heurística que combina ideas de algoritmos genéticos y *Tabu Search*.

Easton proponen una combinación entre Programación Entera y CP para encontrar la solución óptima del problema en ligas de hasta 8 equipos. Ribero desarrolla heurísticas para el caso espejado del TTP.

En aplicaciones reales a torneos de fútbol se encuentra la realizada por Schreuder quien mediante teoría de grafos resuelve el problema del campeonato holandés en dos etapas: primero resuelve la minimización del número de patrones con locales o visitas seguidos y luego asigna los equipos.

CAPÍTULO II – PROBLEMÁTICA DEL FIXTURE DEL TORNEO DE FÚTBOL ARGENTINO

A lo largo de este capítulo se analiza el panorama del fútbol argentino y su actual fixture. A partir del análisis de factores tales como la modalidad del torneo, distribución geográfica de los equipos, equipos fuertes y débiles, recaudaciones y violencia entre otros, se busca identificar cuales son los aspectos claves que caracterizan al torneo de fútbol en argentina y como repercuten en el fixture. Como resultado se presentan las falencias halladas y los puntos claves a mejorar y tener en cuenta a la hora de diseñar un fixture óptimo.

Por otro lado, se detallará la metodología de Branch and Bound y las consideraciones de resolución básicas que se utilizarán en la resolución del problema.

II.1 – PANORAMA DEL FUTBOL ARGENTINO

II.1.1 - Modalidad del Torneo de fútbol argentino

La Primera división del fútbol argentino es organizada por la Asociación del Fútbol Argentino en dos torneos anuales: el Torneo Clausura (disputado en la primera mitad del año) y el Torneo Apertura (disputado en la segunda mitad), que son disputados en la actualidad por 20 equipos (*Tabla 2.1*).

En ambos torneos todos los equipos se enfrentan en una oportunidad en cada fecha y participan en la totalidad de ellas, es decir, es un campeonato temporalmente restringido. De esta forma se puede considerar al torneo argentino como dos torneos Round Robin simples de 19 fechas cada uno, o como uno doble con la característica de ser espejado, es decir, Round Robin Doble Espejado de 38 fechas.

Como siempre el mayor desafío al crear el fixture de una liga deportiva es satisfacer los requisitos que presentan los equipos, los espectadores, emisoras de TV, otros torneos, etc. Estos requerimientos frecuentemente traen conflicto y exigen una solución capaz de tener en cuenta la cantidad de restricciones existentes y ponderarlas mediante un método de ranking o puntaje y así poder determinar el fixture óptimo o casi óptimo que mejor se adapte a las necesidades.

Club
Boca
Vélez
River
Banfield
Lanús
San Lorenzo
Racing
Independiente
Arsenal
Argentinos
Chicago
Quilmes
Belgrano (Cba)
Gimnasia (J)
Estudiantes
Gimnasia
Godoy Cruz
Newell's
Rosario Central
Colón

Tabla 2.1 - Equipos participantes

II.1.2 - Los Cinco Grandes

Los "cinco grandes" es la forma popular con que se denomina en Argentina a cinco importantes clubes de fútbol del país.

Estos son:

- Boca Juniors
- Independiente de Avellaneda
- Racing Club de Avellaneda
- River Plate
- San Lorenzo de Almagro.



Gráfico 2.1 - Promedio Nacional de Adhesiones

Si bien este término no tiene necesariamente que reflejar la actualidad de estas instituciones, debido a su origen histórico se han convertido en un uso popular en la cultura deportiva argentina.

Una encuesta realizada entre septiembre de 2003 y marzo de 2006 demostró que los cinco grandes son los equipos con mayor cantidad de simpatizantes por lo que es deseo de todos los equipos del torneo jugar contra ellos en casa, aumentando sus posibilidades de obtener buenos resultados en estos encuentros donde los puntos en juego suelen ser muy valiosos, y mantener las recaudaciones altas.

II.1.3 - Distribución geográfica

Actualmente, de los 20 equipos que disputan el torneo de primera división, la gran mayoría pertenece a la ciudad de buenos aires, 14 para ser más precisos. Es decir, un alto porcentaje de los partidos de cada fecha se llevará a cabo en dicho lugar. Los restantes 6 equipos se distribuyen entre Jujuy, Córdoba, Mendoza y Santa Fe. En la *Tabla 2.2* se detallan los equipos que no se encuentran en la ciudad de buenos aires.

Equipo	Zona
Belgrano (Cba)	Cordoba
Colón	Santa Fe
Gimnasia (J)	Jujuy
Godoy Cruz	Mendoza
Newell's	Santa Fe
Rosario Central	Santa Fe

Tabla 2.2 - Equipos del interior

Esto significa que los equipos deberán viajar en varias oportunidades durante el transcurso del campeonato para poder enfrentarse.



Figura 2.1 - Viajes entre equipos del interior y de Buenos Aires

II.1.4 - Equipos fuertes

Los equipos fuertes son aquellos equipos que son considerados como favoritos para obtener el título o realizar una buena campaña en el campeonato. Estos equipos por lo general son determinados por aquellas personas que viven en el ámbito del fútbol y conocen los estados actuales de los equipos. Sin embargo, no existe fórmula exacta que determine con total certeza cual son, es decir, son opiniones subjetivas apoyadas en los amplios conocimientos de los expertos en el tema.

Debido a esta subjetividad, se diseñará el modelo de manera tal que los equipos fuertes puedan ser elegidos según el criterio que se necesite. A lo largo de esta investigación se considerará como equipo fuerte a aquel que haya finalizado en el campeonato anterior (Apertura o Clausura) entre los 5 primeros equipos, ya que se supone que son los equipos están atravesando un buen momento y mantienen altas probabilidades (comparados con los demás equipos) de realizar una buena campaña en el campeonato entrante.

Equipos Fuertes
Estudiantes
Boca
River
Indendiente
Arsenal

Tabla 2.3 - Equipos fuertes

A la fecha del desarrollo de esta tesis, este grupo está conformado por los 5 primeros equipos correspondientes al torneo Apertura 2006 (*Tabla 2.3*).¹⁹

II.1.5 - Equipos en Zona de Descenso

El descenso de equipos a la segunda división (Nacional "B") se realiza a través de un sistema de promedios. Al finalizar cada temporada los dos equipos con el peor promedio de puntos en las tres últimas temporadas descienden, mientras que los equipos ubicados en las posiciones 17^a y 18^a de la tabla del descenso juegan a dos partidos la promoción.

Equipos Débiles
Argentinos
Belgrano (Cba)
Godoy Cruz
Nueva Chicago
Quilmes

Tabla 2.4 - Equipo débiles

Al igual que se hizo para los equipos fuertes, se considerará como equipo débil o en riesgo de descenso a aquel que esté posicionado entre los 5 últimos en la tabla de promedios de descenso. Los partidos entre, y en muchos casos contra, estos equipos pueden considerarse importantes ya que definen cuales son los equipos que perderán la categoría.

Nuevamente este grupo de equipos va a estar determinado, para nuestro caso de análisis, por los 5 últimos ubicados en la tabla de promedios finalizado el torneo Apertura 2006 (*Tabla 2.4*).

II.1.6 - Clásicos del fútbol argentino

La rivalidad entre determinados equipos del fútbol argentino es muy marcada. La popularidad, el fanatismo y la cultura futbolística del argentino hacen que cada uno de estos partidos sea un verdadero espectáculo. Estos partidos son de importancia no solo local sino también internacionalmente. Estas fechas son especiales ya que grandes cantidades de espectadores concurren a los estadios y las recaudaciones son muy altas, además del gran interés generado en los patrocinadores y transmisores de televisión y radio.

Los clásicos destacados están encabezados por el súper clásico del fútbol argentino River vs. Boca, los dos equipos más populares, equipos que nacieron bajo el mismo barrio de La Boca donde comienza su famosa rivalidad. En su gran mayoría, los clásicos le deben su existencia a la zona geográfica en la que están ubicados. Tal es el caso de Independiente y Racing, ambos de Avellaneda, protagonistas del *Clásico de Avellaneda*, o Rosario Central y Newells con el *Clásico de Rosario*. De los equipos de primera división se pueden destacar, un total de 5 partidos clásicos (*Figura 2.2*).

¹⁹ En el *Anexo IV* se presenta la tabla de posiciones correspondiente al Torneo Apertura 2006.

Una de las principales preocupaciones es la violencia de los hinchas (llamados barras bravas) cada vez mayor que se presenta en estos partidos. Es necesario encontrar un fixture que distribuya estos partidos a lo largo del campeonato de forma tal que el riesgo de violencia sea disminuido, por ejemplo, no jugar clásicos durante la misma fecha para así contar con disponibilidad policial adecuada sin desabastecer ciertas zonas de la ciudad.

Superclásico		
River Plate	vs.	Boca Juniors
Clásico de Avellaneda		
Independiente	vs.	Racing Club
Clásico de Rosario		
Rosario Central	vs.	Newells
Clásico de La Plata		
Estudiantes (LP)	vs.	Gimnasia y Esgrima (LP)
Clásico del Sur		
Banfield	vs.	Lanús

Figura 2.2 - Encuentros clásicos

Párrafo aparte merece el partido más importante entre los dos equipos más tradicionales y populares del fútbol argentino.

II.1.6.1 - El Superclásico River Plate – Boca Juniors

El Superclásico del fútbol argentino es el partido que enfrenta a los dos equipos más populares del país, River Plate y Boca Juniors.

Éste partido de fútbol concentra la atención de grandes masas no sólo en Argentina sino en muchos países del mundo. Es junto con el Real Madrid vs. FC Barcelona y el Celtic de Glasgow vs. Glasgow Rangers el que se vive con mayor pasión por parte de los aficionados, quienes lo sufren como si fuese de "vida o muerte".

Para señalar su gran relevancia mundial, es importante destacar una encuesta realizada por el diario inglés "The Observer", que sitúa este partido como uno de los "50 acontecimientos que uno debería ver antes de morir", junto a otros como "manejar tu propio automóvil de F1 en el Gran Premio de Mónaco" o presenciar un partido de tenis en el Court central de Wimbledon.

II.1.7 - Desempeño de los equipos de local y de visitantes

Siempre que un equipo juega fuera de casa, enfrenta una amplia gama de desafíos que pueden afectar de gran manera a su rendimiento. Al mismo tiempo, sus oponentes se benefician de una ventaja por jugar en casa y del apoyo de la multitud presente. No hay duda que para la mayoría de los deportes, jugar de local aumenta las probabilidades de ganar. No fue hasta tan solo hace unas pocas décadas que investigadores han calculado cuánto realmente afecta esta ventaja de jugar en casa y las causas de ello.

El estudio de la ventaja por ser local comenzó en 1977, cuando los investigadores B. Schwartz y S.F. Barsky calcularon la ventaja existente en diversos deportes americanos. Por ejemplo, en el hockey sobre hielo y el basketball, el 64 por ciento de los juegos fueron ganados de local y para el fútbol americano, la ventaja fue de un 60 por ciento de triunfos locales. A partir de estos resultados esta área de investigación creció enormemente. Es así como no tardo en investigarse este hecho para el fútbol. Resulto ser uno de los deportes con mayor ventaja para los equipos cuando juegan de local con un 69 por ciento de los juegos que se disputaban en el país.²⁰

¿Por que los equipos tienen ventaja cuando juegan de local? Existen numerosos aspectos que pueden influenciar. Solo imaginar una muchedumbre de más de 40.000 personas gritando y alentando a un equipo puede dar una idea del ambiente que tienen que soportar los jugadores, especialmente los visitantes. Es difícil creer que éste no tiene un efecto positivo en el equipo local. Y en los deportes que implican convertir goles y en el que se sancionan las infracciones, las muchedumbres ruidosas pueden también ayudar al equipo local influenciando, inconcientemente quizás, al árbitro.

En un estudio, expusieron a 40 árbitros de fútbol a dos situaciones diferentes, la primera expuestos al ruido de la muchedumbre y la segunda sin ella, y se le pidió tomar decisiones subjetivas sobre faltas y situaciones dudosas. El ruido de la muchedumbre los hizo más dubitativos en la toma de decisión, dando como resultado que sancionaran menos faltas al equipo local.

Todo el griterío y el aliento pueden tener otro efecto y es el de motivar enormemente el instinto de territorialidad del equipo local. Investigación reciente de la universidad de Northumbria demostró que todos los miembros de un equipo del fútbol, y en particular los arqueros, presentaron niveles de testosterona mucho más altos antes de un juego de local que de visitante. Antes de un juego de visitante, los jugadores presentaron 100 picogramos de testosterona por el mililitro de saliva. Este número asciende a los 153 picogramos para los juegos de local, y alcanza incluso los 167 picogramos cuando juegan contra rivales tradicionales. Los investigadores sugieren que el jugar en casa

20 "A Test of Social Facilitation as a Predictor of Home Performance Advantage" – David Dryden Henningsen, Mary Lynn Miller Henningsen, Mary Braz – Northern Illinois University, Michigan State University

conlleva un fuerte instinto de proteger su territorio. “En el reino animal si cedés tu propio territorio, eres carne muerta”, dicen.

Torneo	Puntos por partido		Prom. por partido	
	Local	Visitante	Local	Visitante
Clausura '04	284	221	1,49	1,16
Apertura '04	309	198	1,63	1,04
Clausura '05	321	195	1,69	1,03
Apertura '05	306	204	1,61	1,07
Clausura '06	309	207	1,63	1,09
Apertura '06	313	211	1,65	1,11
Promedio Gral			1,62	1,08

Tabla 2.5 - Puntos ganados de local vs. de visitante

Se puede ver el caso para el fútbol argentino en la *Tabla 2.5*. No caben dudas que existe una gran diferencia entre los puntos promedio que un equipo consigue cuando juega de local y cuando lo hace de visitante. Esto es fundamento suficiente como para que todos los equipos deseen jugar sus encuentros de local, especialmente cuando los puntos en juego son clave en el torneo, por ejemplo, cuando se enfrentan dos equipos que se encuentran en la cima de la tabla de posiciones y un resultado favorable para ellos puede definir o aumentar mucho las probabilidades de conseguir el título.

II.1.8 – Asistencia a los estadios

Un aspecto muy importante tanto para los patrocinadores como para los clubes de fútbol es la cantidad de entradas vendidas a lo largo del torneo. Las altas recaudaciones ayudan a los equipos a mantener una entrada de capital constante y fomenta a los patrocinadores a invertir en ellos.

Es objetivo también de la AFA maximizar las entradas vendidas por los equipos ya que un determinado porcentaje de los ingresos por las mismas, que varía según el encuentro que se dispute, será destinado a dicha entidad.

Una investigación realizada por Miguel Aníbal Díaz con datos de la AFA, publicado por el Diario Olé, el 18 de Julio de 2004, muestra que los cinco grandes son los equipos que históricamente más entradas venden en promedio por partido.

A continuación (*Tabla 2.6*) se muestra con más detalle los resultados del estudio, completando la tabla histórica con la mayoría de los equipos de primera división.

Equipo	Entradas Vendidas			Promedio		
	Local	Visitante	Total	Local	Visitante	Total
Argentinos	33.127	70.803	103.930	1.744	3.726	5.470
Arsenal	36.978	55.723	92.701	1.946	2.933	4.879
Banfield	52.118	54.396	106.514	2.743	2.863	5.606
Belgrano (Cba)	82.786	20.973	103.759	4.357	1.104	5.461
Boca	166.497	178.391	344.888	8.763	9.389	18.152
Colón	30.524	71.202	101.726	1.607	3.747	5.354
Estudiantes	74.117	55.767	129.884	3.901	2.935	6.836
G y Esg (Jujuy)	32.807	46.347	79.154	1.727	2.439	4.166
G y Esgrima LP	47.311	69.045	116.356	2.490	3.634	6.124
Godoy Cruz	56.454	25.417	81.871	2.971	1.338	4.309
Independiente	122.715	96.925	219.640	6.459	5.101	11.560
Lanus	58.944	49.033	107.977	3.102	2.581	5.683
Newell's	63.216	77.232	140.448	3.327	4.065	7.392
Nueva Chicago	32.033	61.029	93.062	1.686	3.212	4.898
Quilmes	29.575	58.832	88.407	1.557	3.096	4.653
Racing	123.317	101.301	224.618	6.490	5.332	11.822
River	144.648	174.799	319.447	7.613	9.200	16.813
Rosario Central	79.916	59.088	139.004	4.206	3.110	7.316
San Lorenzo	89.978	141.708	231.686	4.736	7.458	12.194
Velez	77.180	69.082	146.262	4.062	3.636	7.698
TOTAL			2.971.334			156.386

Tabla 2.6 – Histórico de localidades vendidas

Es importante aclarar y tener en cuenta que durante un encuentro la cantidad de espectadores que concurren al estadio es mucho mayor al de las entradas vendidas. Esto se debe a que solo se tiene en cuenta las entradas vendidas, es decir, la entrada de un socio no se considera una venta. Es lógico entonces que en muchos casos las recaudaciones de un club sean mayores de visitante que de local.

Estos datos nos permiten llegar a una primera aproximación de la recaudación promedio de un torneo de fútbol en argentina. Sin embargo, todos los torneos tienen sus particularidades que afectan directamente sobre la cantidad de entradas vendidas. Los equipos que hacen buenas campañas aumentan sus recaudaciones, y viceversa; la compra de jugadores fomentan a la gente a asistir a las canchas; las campañas inmediatas anteriores influyen mucho positiva o negativamente según los resultados obtenidos, etc. Es decir, la variación entre la recaudación promedio y la recaudación real de cada equipo esta muy relacionada con la situación actual del mismo.

Para el caso del torneo Apertura 2006, la recaudación total de cada equipo de primera división y la diferencia existente por partido con respecto al promedio histórico es la siguiente (Tabla 2.7):

<i>Equipo</i>	<i>Entradas Promedio</i>	<i>Apertura 06</i>	Δ
<i>Argentinos</i>	5.470	3.698	-1.772
<i>Arsenal</i>	4.879	4.560	-319
<i>Banfield</i>	5.606	4.161	-1.445
<i>Belgrano (Cba)</i>	5.461	9.019	3.558
<i>Boca</i>	18.152	12.656	-5.496
<i>Colón</i>	5.354	4.177	-1.177
<i>Estudiantes</i>	6.836	8.725	1.889
<i>G y Esg (Jujuy)</i>	4.166	3.894	-272
<i>G y Esgrima LP</i>	6.124	4.909	-1.215
<i>Godoy Cruz</i>	4.309	6.033	1.724
<i>Independiente</i>	11.560	11.000	-560
<i>Lanus</i>	5.683	4.957	-726
<i>Newell's</i>	7.392	6.115	-1.277
<i>Nueva Chicago</i>	4.898	6.213	1.315
<i>Quilmes</i>	4.653	4.445	-208
<i>Racing</i>	11.822	9.858	-1.964
<i>River</i>	16.813	15.447	-1.366
<i>Rosario Central</i>	7.316	7.030	-286
<i>San Lorenzo</i>	12.194	6.651	-5.543
<i>Velez</i>	7698	6.201	-1.497
TOTAL	156.386	139.752	-16.634

Tabla 2.7 - Comparación entre entradas vendidas Apertura 06 y promedio histórico²¹

Como se puede ver, era de esperar que los equipos grandes sean los que mayores recaudaciones tuvieron a lo largo del campeonato. Sin embargo, se puede ver que los resultados totales son menores que el promedio histórico, muestra de un serio problema que de no ser abordado oportunamente puede resultar en grandes pérdidas económicas en torneos futuros. Más en detalle, se puede ver que los equipos que menor caída sufrieron con respecto al promedio histórico son los que realizaron una mejor campaña, y por otro lado, los equipos recién ascendidos a primera división son de los pocos que presentan una diferencia positiva, obviamente motivados por el logro del ascenso.

II.1.9 - Ingresos económicos de los clubes de primera división

Argentina, tiene un modelo particular dentro de su estructura de ingresos, en la cual, prima la venta de jugadores para saldar los pasivos y resolver situaciones críticas. Lamentablemente, el 45% de los ingresos que generan los clubes de fútbol en Argentina están dados por la venta de las jóvenes estrellas que en muchos casos hipotecan el

²¹ En el Anexo VI se presentan las entradas vendidas de local y visitante para cada equipo durante el torneo Apertura 2006.

futuro, con ventas apresuradas de jugadores juveniles, para arreglar problemas ocasionados por su mala dirigencia.²²

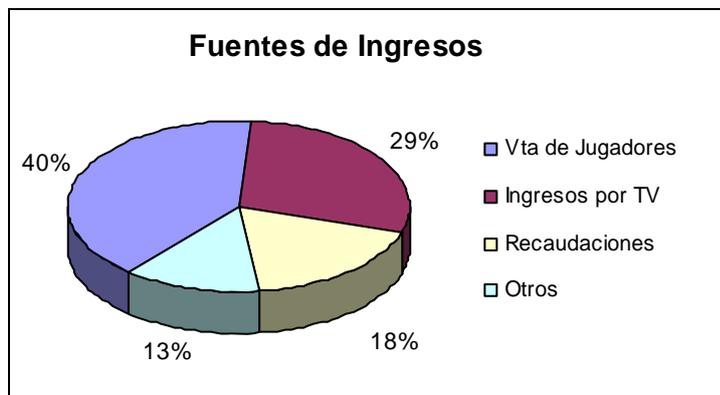


Gráfico 2.2 - Fuentes de ingresos

II.1.9.1 - Derechos de TV

Son pocos los deportes nacionales que cuentan con la posibilidad de tener una cobertura televisiva, y menos aún, los que pueden cobrar por dicha cobertura. Obviamente el fútbol, también el rugby, el básquet, el voley y el automovilismo, son los deportes que hoy tienen esa suerte. De estos, sólo algunos casos, como ser el básquet (7 millones anuales) el rugby (casi 2 millones anuales), el automovilismo y el fútbol, perciben ingresos por derechos de TV.

En lo que respecta al fútbol, la Asociación del Fútbol Argentino, viene cediendo sus derechos desde el año 1985 a Carlos Ávila quien en 1991 asoció su empresa Torneos y Competencias con el Grupo Clarín y, logrando sucesivas renovaciones a través de su controlada Televisión Satelital Codificada (TSC), posee los derechos hasta el 2014.

La empresa TSC le paga por año de contrato a la AFA 90 millones de pesos, que se ajustan conforme la tasa nominal básica (el costo del abono promedio de los grandes operadores de cable) y hay una propuesta de aumentar el contrato con AFA a 250 millones, de tal manera aumentaría las recaudaciones de los clubes de derechos de TV, pero esta en proceso de negociación todavía.²³

II.9 - Violencia en el fútbol argentino

No es novedad decir que los espectáculos deportivos se han transformado en grandes escenarios de violencia. Pero el fútbol, que mueve multitudes, está ubicado primero en

²² Revista "Sports & Brands Report" n° 009, Diciembre de 2005

²³ "La AFA busca salidas para la televisión" – Diario Página/12 – 24 Dic 2006

la lista de los disturbios. A pesar de la gravedad, muchos episodios quedan impunes, nadie se molesta en averiguar y mucho menos en inculpar a caras expuestas de las diferentes entidades futbolísticas. Los barras bravas son un mal que está instalado en la sociedad.

Argentina es uno de los más afectados, trayendo a sus espaldas hasta el día de hoy centenares de muertes producidas a raíz del fútbol. El primer caso fue en 1939 en un partido disputado entre Boca Juniors y Lanús, aunque existen casos anteriores de disturbios.

Algunos de los casos más terribles se produjeron en las mismas tribunas, ya sean con enfrentamientos entre hinchas o contra la policía, como también fuera de ellas. Existen dos casos que se destacan: un enfrentamiento entre simpatizantes de Boca Juniors y de Racing Club en la Ruta 2 que une a Buenos Aires con Mar del Plata, quienes se cruzaron con sus micros y protagonizaron un tiroteo que terminó con un herido. Otro suceso parecido ocurrió en un cruce de hinchas de River Plate y Newell's Old Boys; los primeros se dirigían a la ciudad de Rosario a presenciar un encuentro con Rosario Central, y los segundos viajaban a Buenos Aires al encuentro con Boca Juniors, y fue en un pasaje de la Ruta 9 donde ocurrió el lamentable incidente que terminó con la detención de cientos integrantes de ambas barras. Recientemente, en un clásico entre Rosario Central y Newell's Old Boys se produjeron serios incidentes entre la policía local y simpatizantes del conjunto visitante, quienes arrojaban piedras a sus rivales. La policía reprimió inexplicablemente con balas de goma en el momento en que la situación se había calmado.²⁴

El fútbol argentino tiene un desafío mucho más importante que cualquier competición deportiva: erradicar la violencia que se enquistó en su funcionamiento. Para este objetivo no alcanza la buena voluntad de un sector implicado y se deben concertar los esfuerzos a partir de una estrategia muy clara, firme y sostenida.²⁵

RANKING	
SEGUN LOS ORGANISMOS DE SEGURIDAD	
LAS MAS PELIGROSAS	
▶ River	
▶ Boca	
▶ Rosario Central	
▶ Newell's	
PELIGROSIDAD INTERMEDIA	
▶ Independiente	
▶ Estudiantes	
▶ Quilmes	
▶ San Lorenzo	
▶ Gimnasia de La Plata	
▶ Argentinos	
LAS MAS CONTROLADAS	
▶ Racing	
▶ Vélez	
▶ Lanús	
▶ Banfield	
▶ Colón	
▶ Arsenal	
▶ Godoy Cruz	
▶ Gimnasia de Jujuy	
▶ Belgrano	
▶ Chicago	

Figura 2.3 – Ranking de hinchadas peligrosas

²⁴ “Culturas Futbolísticas” – Wikipedia, la Enciclopedia Libre - www.wikipedia.org

²⁵ “Qué lugar ocupa cada una de las barras bravas” – Diario Clarín.com - www.clarin.com.ar

Si bien la programación del fixture no es capaz de controlar a los violentos dentro los estadios, una estrategia adecuada de programación puede ayudar a disminuir los enfrentamientos fuera de ellos. Es posible minimizar los posibles cruces entre barras bravas a la hora de realizar los recorridos hacia los respectivos estadios donde se disputarán sus encuentros. Evitando cruces, los hechos violentos que hoy en día son muy frecuentes y en los últimos años han provocado innumerables daños y hasta la muerte en varias oportunidades serán pocos y, por ende, más fáciles de controlar por parte del personal de seguridad a cargo ya que habrán menos cruces potencialmente peligrosos.

II.2 - ANÁLISIS DEL FIXTURE DEL FÚTBOL ARGENTINO

A simple vista, cualquiera puede pensar que el fixture actual no presenta falencias o que ninguna mejora es necesaria. Sin embargo, al igual que cualquier negocio o proceso productivo, es de fundamental importancia siempre buscar la mejora. De hecho, si no se mejora, con el tiempo las cosas comienzan a funcionar mal. Tal puede ser el caso del fixture del fútbol argentino. La cantidad de campeonatos conseguidos por los equipos más grandes, en especial River y Boca, ya es un signo fiel de disparidad entre los equipos. No son pocas las voces que se escuchan diciendo que los campeonatos están *diseñados* para ellos, y que el dinero compra un título. Si bien el poder de los equipos grandes es muy fuerte, es posible que nos estemos olvidando de un aspecto fundamental. Un aspecto que influye directamente sobre la campaña de un equipo: El fixture, la distribución de sus partidos. ¿No existirá un mejor fixture que el actual? ¿Uno que aumente la competitividad, así como beneficios y ganancias? Seguramente. Pero primero es necesario detectar las falencias actuales para así poder atacarlas de raíz.

La mejor forma de analizar un fixture y encontrar los problemas es mediante el estudio de un caso real. Para ello tomaremos como ejemplo el fixture y los resultados del torneo Apertura 2006 del fútbol primera división argentino.

En el análisis se tendrán en cuenta aspectos tales como:

- Cantidad de Breaks.
- Distribución de partidos clásicos.
- Consideraciones en partidos entre equipos grandes y no grandes.
- Encuentros consecutivos entre determinados tipos de equipos.
- Distancias geográficas y viajes realizados por los equipos.
- Cantidad de encuentros en Buenos Aires y el Interior.
- Cruces entre hinchadas.

- Fixture espejado.

A partir del análisis de estos aspectos, y comparados con la realidad, se habrán identificado aquellos puntos que merecen especial atención. De esta forma se podrá abordar a la búsqueda de soluciones que minimicen al máximo las fallas y nos permitan plantear un modelo que efectivamente demuestre la existencia de un nuevo y mejor fixture.

II.2.1 - Breaks o Quiebres

Como es explicó anteriormente, se intenta llevar al mínimo la cantidad de quiebres en un torneo Round Robin. Como se comentó, para un fixture de N equipos existen como mínimo $N - 2$ quiebres. Es decir, habrá dos equipos que no sufrirán quiebres. Para el caso en estudio, con 20 equipos, la cantidad óptima de quiebres será 18. Para ser mas exactos, 9 equipos con un quiebre local y 9 con uno de visitante.

Fecha	Tipo de Quiebre	
	Local	Visitante
3	Banfield	Lanus
4	Newell's	Rosario Central
6	Racing	Independiente
8	Argentinos	San Lorenzo
10	Arsenal	Estudiantes
12	Quilmes	G y Esgrima LP
14	G y Esg (Jujuy)	Godoy Cruz
16	Colón	Nueva Chicago
18	Belgrano (Cba)	Velez
Total	18	

Sin Quiebres: River y Boca

Tabla 2.8 - Quiebres en el Fixture Apertura '06

A partir del análisis del patrón de localías y visitas del fixture del torneo Apertura '06 (Tabla 2.8) se llega a la conclusión que efectivamente la cantidad de quiebres es la óptima. Existen 9 equipos con quiebres de local y 9 con quiebres de visita, completando con dos equipos que no presentan quiebres.

Puede ser llamativo que justamente River y Boca, los dos equipos que generalmente pelean por el título, sean los equipos que no poseen quiebres. Sin embargo, el motivo de fondo por el que no presentan quiebres no es para beneficiarlos deportivamente sino que se debe exclusivamente a contratos televisivos. Lo que se pretende es que en todas las

fechas uno de ellos que juegue de local para así garantizar grandes recaudaciones y televidentes.

Sin embargo, es posible lograr este objetivo mediante otra alternativa. Si se establece que Boca y River mantengan patrones invertidos de localía-visita lo garantizaremos. De esta forma estamos habilitando a que otros dos equipos diferentes no presenten breaks, permitiendo otras alternativas de fixture y quizás maximizar los beneficios y objetivos buscados.

Resumiendo, de ser necesario se puede mantener el nivel óptimo de 18 breaks en el torneo cumpliendo con la necesidad televisiva para River y Boca sin que éstos necesariamente no sean los equipos que posean quiebres.

II.2.2 - Distribución de los partidos clásicos

Los partidos clásicos de primera división son cinco. Todos estos encuentros, salvo el clásico de Rosario, Newells vs. Rosario Central, son disputados en Gran Buenos Aires y Capital Federal.

Como sabemos, estos partidos tienen un gran interés económico y público. Son encuentros que tienen un papel muy importante dentro del atractivo del campeonato. Es por ello que debe prestarse mucho cuidado a la hora de programarlos.

Como premisa principal es fundamental que estos encuentros sean disputados en fechas distintas. De lo contrario los clásicos que se superpongan dividirán el interés del público y los auspiciantes, disminuyendo las recaudaciones e ingresos por publicidades durante el encuentro, por ejemplo. Además, logrando que cada uno de ellos se dispute en fechas separadas se cubrirán más fechas con partidos sumamente atractivos para el campeonato, es decir, habrán al menos 5 fechas cubiertas con partidos importantes.

En el caso del campeonato Apertura '06 la distribución de los partidos es la siguiente:

Fecha 10	Superclásico	
	River Plate	vs. Boca Juniors
Fecha 15	Clásico de Avellaneda	
	Independiente	vs. Racing Club
Fecha 13	Clásico de Rosario	
	Rosario Central	vs. Newells
Fecha 11	Clásico de La Plata	
	Estudiantes (LP)	vs. Gimnasia y Esgrima (LP)
Fecha 2	Clásico del Sur	
	Banfield	vs. Lanús

Figura 2.4 – Distribución de encuentros clásico en el Apertura '06

Como se puede ver en la *Figura 2.4*, la distribución parece ser ideal, aunque podemos notar que el clásico del sur es jugado en la segunda fecha y no es lo ideal. Si queremos que los clásicos llenen sus estadios al máximo y mantenga un buen nivel de entretenimiento es necesario que los encuentros no se lleven a cabo ni muy al comienzo del campeonato ni muy al final. Esto se debe a que durante las primeras fechas un espectador puede llegar a no asistir a un encuentro debido a que todavía no se ha compenetrado y *atraído* por el campeonato; y puede no asistir al encuentro si éste se da en las últimas fechas debido a que su equipo puede ya haber perdido oportunidades para obtener el título o que su campaña sea mala.

Se puede concluir entonces que la distribución actual de los partidos clásicos en el fútbol argentino es casi óptima. De lograr incluir un solo clásico más en una banda ideal se alcanzará dicho objetivo.

II.2.3 - Localías entre equipos grandes

Los partidos entre los equipos grandes alcanzan altos índices de recaudación y asistencia de público, los ratings televisivos suelen ser los mayores del campeonato. Más aún, podemos notar que entre estos partidos están incluidos el *Superclásico* y el *Clásico de Avellaneda*, los dos clásicos más importantes del fútbol argentino.

Como sabemos los equipos grandes son cinco. Esto implica que cada grande enfrentará en cuatro oportunidades a otro grande. Una distribución ideal y equitativa para todos estos equipos estaría dada de forma tal que cada uno de ellos juegue dos de los partidos de local y dos de visitante.

Analizando en torneo Apertura '06 encontramos los siguientes resultados:

Equipo	Local			Visitante			Partidos de Local	Partidos de Visitante
	G	E	P	Ptos	G	E		
Boca	1	-	-	3	1	1	1	4
Racing	1	1	-	4	-	-	1	0
San Lorenzo	-	-	1	0	1	-	1	3
Independiente	1	1	1	4	-	-	1	0
River	2	-	-	6	-	1	1	1
Total Puntos				17				8
Promedio				1,89				0,89

*San Lorenzo vs. Racing suspendido

Tabla 2.9 - Rendimiento en encuentros entre "Equipos Grandes" durante el Apertura '06

Como se puede ver la *Tabla 2.10* la distribución de localías está muy mal determinada, habiendo un equipo que juega hasta 3 de los partidos de local, mientras otros dos equipos lo hacen en una sola oportunidad.

Logrando la distribución propuesta anteriormente se logrará que las recaudaciones sean distribuidas lo más equilibradamente posible y los hinchas puedan disfrutar de un encuentro de alto interés en su estadio en al menos dos oportunidades.

Además, en la tabla se puede observar claramente como los equipos cuando juegan de local tienen muchas más posibilidades de sumar puntos. El promedio de puntos ganados por partido de local alcanza el 1.89, exactamente un punto mas que de visitante. Este resultado es fuertemente apoyado también por los datos históricos²⁶.

Sin dudas, estas conclusiones son clara evidencia de que existe una falla en la distribución actual de los partidos en los equipos grandes, por lo que se propone como solución que los equipos jueguen la misma cantidad de partidos de local.

II.2.4 - Localías entre equipos *grandes* frente a equipos *no grandes*

Para los equipos *no grandes* los encuentros frente a *equipos grandes* tienen un alto grado de importancia. Los puntos en juego son muy valiosos tanto para el equipo que aspira al título (ya que usualmente los grandes tienen como objetivo el título también) como para el equipo que pelea por la permanencia en la categoría (ya que son puntos que generalmente se estiman muy difíciles de conseguir). Y la dificultad de conseguir esos puntos es aún mayor cuando se juega de visitante frente a un *grande* ya que el poderío de estos equipos en casa es aun mayor. De haber muchos enfrentamientos de

²⁶ Ver "II.1.7 - Desempeño de los equipos de local y de visitantes".

visitante frente a estos equipos el riesgo de perder demasiados puntos a lo largo del campeonato es muy grande.

Estas son algunas de las causas por las que un *equipo no grande* tiene la necesidad de jugar la máxima cantidad de partidos de local frente a estos equipos.

No se busca beneficiar a los equipos *no grandes* con partidos de local solo por ser más débiles sino que el problema real surge cuando la distribución de un equipo es altamente perjudicial comparado con la de otros. Para entender mejor nos remitimos al análisis del torneo Apertura '06.

Solo basta analizar los datos de la *Tabla 2.10* para inmediatamente darnos cuenta las diferencias existentes en los equipos. Mientras existen equipos con el beneficio de contar con hasta 4 de los 5 encuentros de local, hay otros tres equipos con tan sólo 1 juego de local. Más aún, esta diferencia la presentan equipos como Belgrano (Cba) y Argentinos Jrs o Quilmes que pelan por la permanencia. Esto resulta sin dudas en una desventaja muy grande para éstos últimos.

Para el caso en análisis en total son 38 los partidos que los *equipos no grandes* juegan de local contra *equipos grandes*. Si establecemos que los partidos de local deben ser al menos 2 y máximo 3 (para poder cumplir este requerimiento en el torneo clausura también), el total ascendería a un valor entre 30 y 45, valor aceptable teniendo en cuenta que el total de partidos en un campeonato es de 180. De esta forma se lograría una distribución mucho más equitativa para todos los equipos y no se estaría afectando al planeamiento de las fechas restantes.

Equipo	Local °/Grandes
Arsenal	4
Belgrano (Cba)	4
G y Esg (Jujuy)	4
Banfield	3
Estudiantes	3
Godoy Cruz	3
Lanus	3
Velez	3
G y Esgrima LP	2
Newell's	2
Nueva Chicago	2
Rosario Central	2
Argentinos	1
Colón	1
Quilmes	1
TOTAL	38

Tabla 2.10 – Localías de “Equipos chicos” frente a “equipos grandes”

II.2.5 - Encuentros consecutivos entre determinado tipo equipos

Del mismo modo que se llegó a la conclusión de que para un equipo los encuentros frente a *equipos grandes* son muy especiales e importantes, la frecuencia con la que los equipos *grandes/fuertes* juegan contra equipos *no grandes/no fuertes* es determinante también. Enfrentar a un equipo fuerte o grande trae consigo un gran desgaste tanto físico como mental y, como se dijo, los puntos en juego son muy valiosos. Es por ello que es recomendable que estos encuentros no se disputen de manera muy seguida.

El torneo Apertura '06 presenta como máximo dos encuentros consecutivos de este tipo para cada equipo, lo cual es una cantidad perfectamente admisible. Con lo que respecta

a este tema no se necesita ninguna mejora ya que el fixture actual es óptimo. Como premisa se adoptara que en tres encuentros consecutivos un equipo puede jugar como máximo dos partidos de éste tipo.

II.2.6 - Distancias geográficas y viajes realizados por los equipos

Al ser seis los equipos del interior, habrán exactamente 84 partidos entre un equipo de Gran Buenos Aires y Capital Federal frente a uno del interior. Es decir, se deberán realizar exactamente 84 viajes de un promedio de 725 Km. de distancia cada uno, con un máximo de 1040 Km. y un mínimo de 300 Km (*Tabla 2.11*).

Lamentablemente debido a la mala distribución de los equipos a lo largo del territorio argentino²⁷, que concentra al 70% de los equipos en la Ciudad de Buenos Aires y Capital Federal, los equipos del interior se ven obligados a recorrer grandes distancias constantemente. Más aún, si se continúa con la modalidad de tratar de minimizar al máximo los Breaks, no existe solución alguna a este problema.

Sin embargo, para el caso de los equipos en Buenos Aires la situación es diferente. De hipotéticamente (y prácticamente imposible que se dé) tener que jugar todos los encuentros contra equipos del interior de visitante, tendría que viajar sólo en 5 oportunidades, contra las 10 que debería hacerlo uno del interior. Es aquí cuando determinadas configuraciones podrían ayudar a desarrollar un fixture mejor.

Para detectar problemas consideremos nuevamente el Apertura '06. Para poder disminuir al máximo la fatiga y los inconvenientes que le causa a un equipo realizar viajes frecuentes, es necesario que un equipo no dispute encuentros de visitante contra equipos del interior muy seguido. Se puede notar que casi la mitad de los equipos tienen diagramados encuentros de este tipo relativamente cercanos. Si el torneo se disputa a lo largo de 19 fechas, resulta inaceptable que un equipo de Buenos Aires en 3 fechas consecutivas tenga que realizar 2 viajes al interior como sucede con éstos.

Ciudad	Km	Partidos
Belgrano (Cba)	694	14
Santa Fe	475	14
Jujuy	1525	14
Mendoza	1043	14
Rosario	306	28
Total Distancia	60886 Km	
Promedio	724,8 Km	

Tabla 2.11 - Distancias entre Bs As y ciudades del interior

Más aún, analizando los resultados, de los nuevos casos en los cuales se presenta esta situación, sólo dos equipos han logrado victorias, manifestando una disminución en el rendimiento debido a los viajes frecuentes.

²⁷ Ver "Figura 2.1 – Viajes entre equipos del interior"

Por estos motivos se concluye que el fixture del campeonato argentino no está contemplando un factor tan importante como las distancias geográficas. Es importante encontrar uno que sí lo haga.

II.2.7 - Cantidad de encuentros en Buenos Aires y en el Interior

En cada una de las fechas se disputan diez encuentros. Teniendo en cuenta que el 70% de los equipos tiene su sede en Gran Buenos Aires o Capital Federal existirá una alta probabilidad que gran cantidad de los encuentros se juegue allí. Si no se controla esta situación, en muchas fechas el fútbol estaría muy concentrado en Buenos Aires, desalentando el fútbol en el interior y la participación de los fanáticos. Es necesario establecer un límite que garantice que en todas las fechas jugadas habrá suficientes encuentros en el interior del país como para que esto no suceda.

Un torneo adecuado será aquel en el cual en cada fecha como máximo viajen tres equipos del interior hacia Buenos Aires. De esta forma se garantiza que siempre haya al menos tres encuentros en el interior del país.

El torneo Apertura '06 no solo no cumple con esta disposición sino que falla en ocho fechas, casi la mitad de las fechas del torneo²⁸. Es decir en 8 fechas del torneo hay menos de 3 enfrentamientos en el interior del país. Esto significa que una vez más, el fixture actual es ineficiente.

II.2.8 - Cruces entre hinchadas.

La violencia y los incidentes causados por el fanatismo en el fútbol argentino es cada vez mayor. Esta se ve manifiesta dentro y fuera de los estadios, pero si dudas los más graves se presentan fuera de ellos. Como se explicó, los cruces de hinchadas son muy peligrosos por lo que es necesario minimizarlas al máximo posible.

La localización de los estadios en el mapa, los viajes de las hinchadas hacia el estadio rival y los encuentros programados para cada fecha determinan si un cruce peligroso es posible.

Las barrabravas suelen tener afinidad o rivalidad con determinadas otras barrabravas. En el caso del fútbol argentino, y teniendo en cuenta el grado de peligrosidad de ellas, los *enemigos* de los principales equipos peligrosos en Capital Federal y Gran Buenos Aires son²⁹:

²⁸ Ver “Anexo VII – Partidos jugados en Buenos Aires y en el Interior durante el Apertura 2006”

²⁹ “El lugar justo para los inadaptados de siempre” - <http://www.barra-bravas.com.ar/>

River	Boca Racing Independiente	Independiente	Racing Boca River
Boca	River San Lorenzo Racing Independiente	Quilmes	Boca Lanus Banfield
San Lorenzo	Boca Argentinos	Racing	Independiente Boca River
Argentinos	San Lorenzo		

Figura 2.5 – Hinchadas enemigas de los principales equipos peligrosos

Teniendo en cuenta estos datos y haciendo un análisis cruzado con los datos sobre el grado de peligrosidad de cada uno de ellos podemos asignar un valor de peligrosidad potencial al cruce entre hinchadas de uno y otro equipo. Los resultados fueron los siguientes:

Hinchada	Peligro	Hinchada	Peligro	Riesgo en cruce
River	Alto	Boca	Alto	5
Independiente	Medio	Boca	Alto	4
Independiente	Medio	River	Alto	4
Quilmes	Medio	Boca	Alto	4
San Lorenzo	Medio	Boca	Alto	4
Argentinos	Medio	San Lorenzo	Medio	3
Racing	Baja	Boca	Alto	3
Racing	Baja	River	Alto	3
Independiente	Medio	Racing	Baja	2
Quilmes	Medio	Lanus	Baja	2
Quilmes	Medio	Banfield	Baja	2
Lanus	Baja	Banfield	Baja	1

} **Cruces que se deben Evitar**

Tabla 2.12 – Cruces peligrosos

En la *Tabla 2.12* podemos ver que hay 8 cruces que se debe tratar de evitar. Para poder lograrlo es necesario que en los encuentros sean programadas en cada fecha de forma tal que, según las localizaciones físicas de los clubes, el recorrido de las hinchadas hacia el club rival de la fecha no se crucen.

Para poder realizar este análisis primero debemos establecer cuales son los partidos que se deben evitar para que dos equipos determinados no se crucen. Se mostrará a continuación dos casos diferentes, en primer lugar los cruces entre River-Independiente

y en segundo lugar los cruces entre Boca-Independiente, ambos cruces de grado 4. Se demostrará que para el primer caso el fixture actual del torneo argentino de fútbol es óptimo mientras que el segundo presenta potenciales cruces dando lugar a riesgos innecesarios y evitables mediante una adecuada programación de los encuentros.

Para el primero de los casos, River-Independiente, los puntos conflictivos se pueden observar en el siguiente mapa.

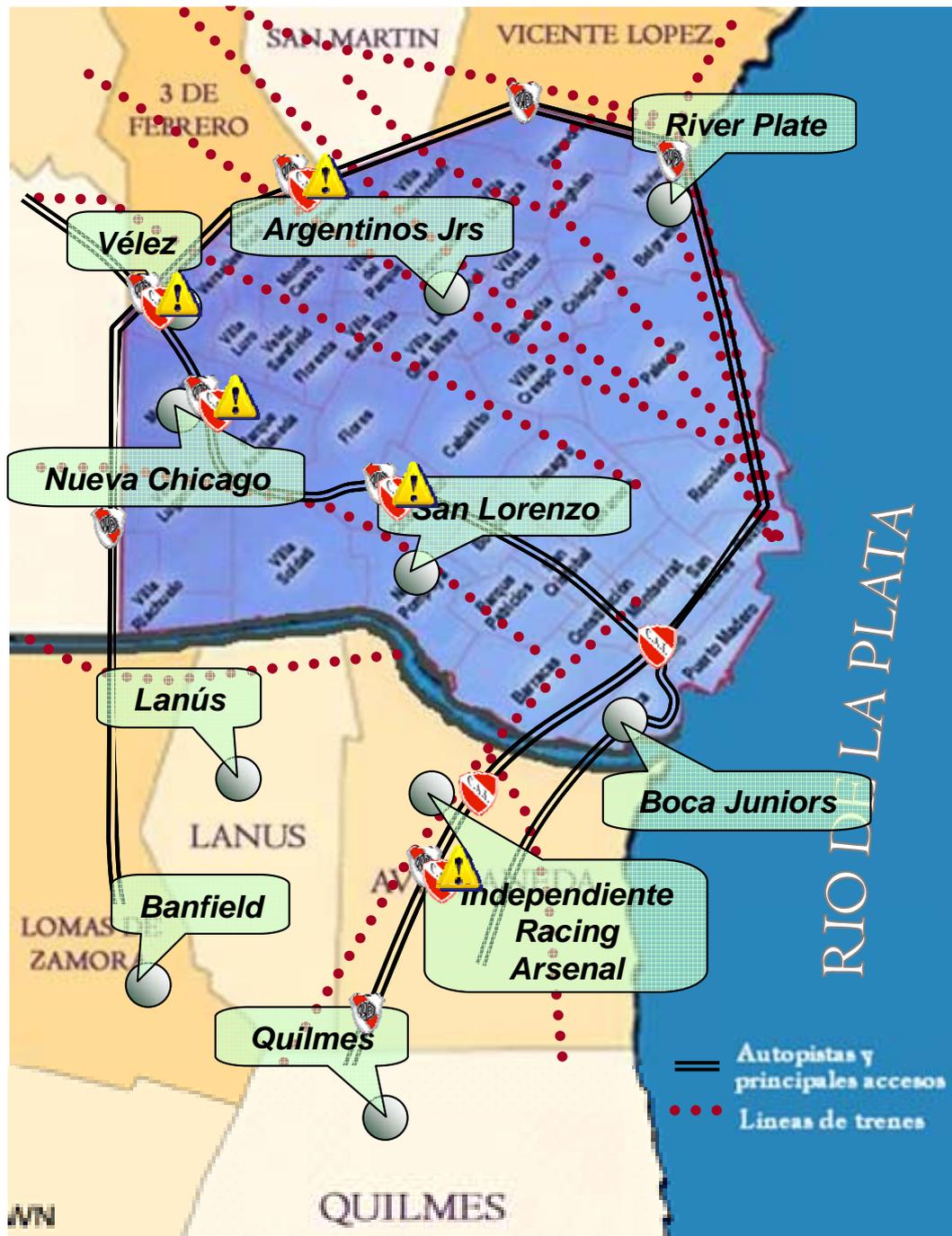


Figura 2.6 - Cruces peligrosos entre River e Independiente

Analizando el mapa de cruces se puede ver que hay 8 combinaciones de partidos diferentes que provocarían un potencial cruce en alguno de estos puntos. Estos 8 partidos establecen 5 puntos geográficos donde las hinchadas podrían cruzarse si determinados encuentros se llevan a cabo (*Figura 2.6*). Si en alguna fecha una de estas alternativas está programada, el fixture no estaría contemplando este peligro, por lo que contribuiría a un fixture riesgoso. Estas 8 combinaciones se presentan a continuación.

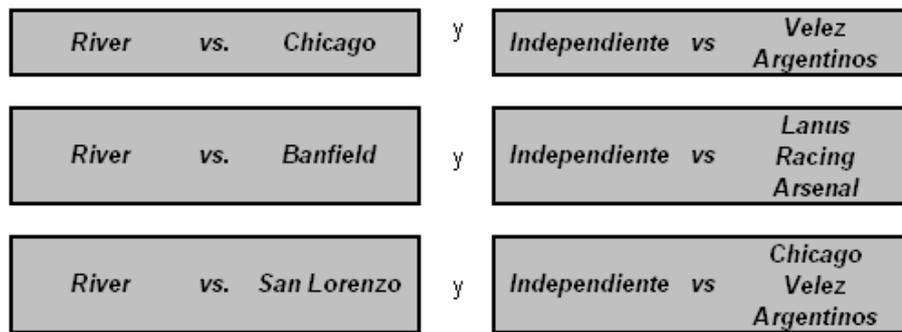


Figura 2.7 - Combinaciones de encuentros que provocan cruce peligroso entre River e Independiente

Analizando el fixture del Apertura '06 para River e Independiente podemos ver que en ninguna de las fechas del torneo se presenta una de estas combinaciones, por lo que para este caso no existen potenciales cruces entre las hinchadas de River e Independiente.

Por otro lado, para el segundo caso, Boca-Independiente, existen 6 puntos geográficos peligrosos (*Figura 2.8*).

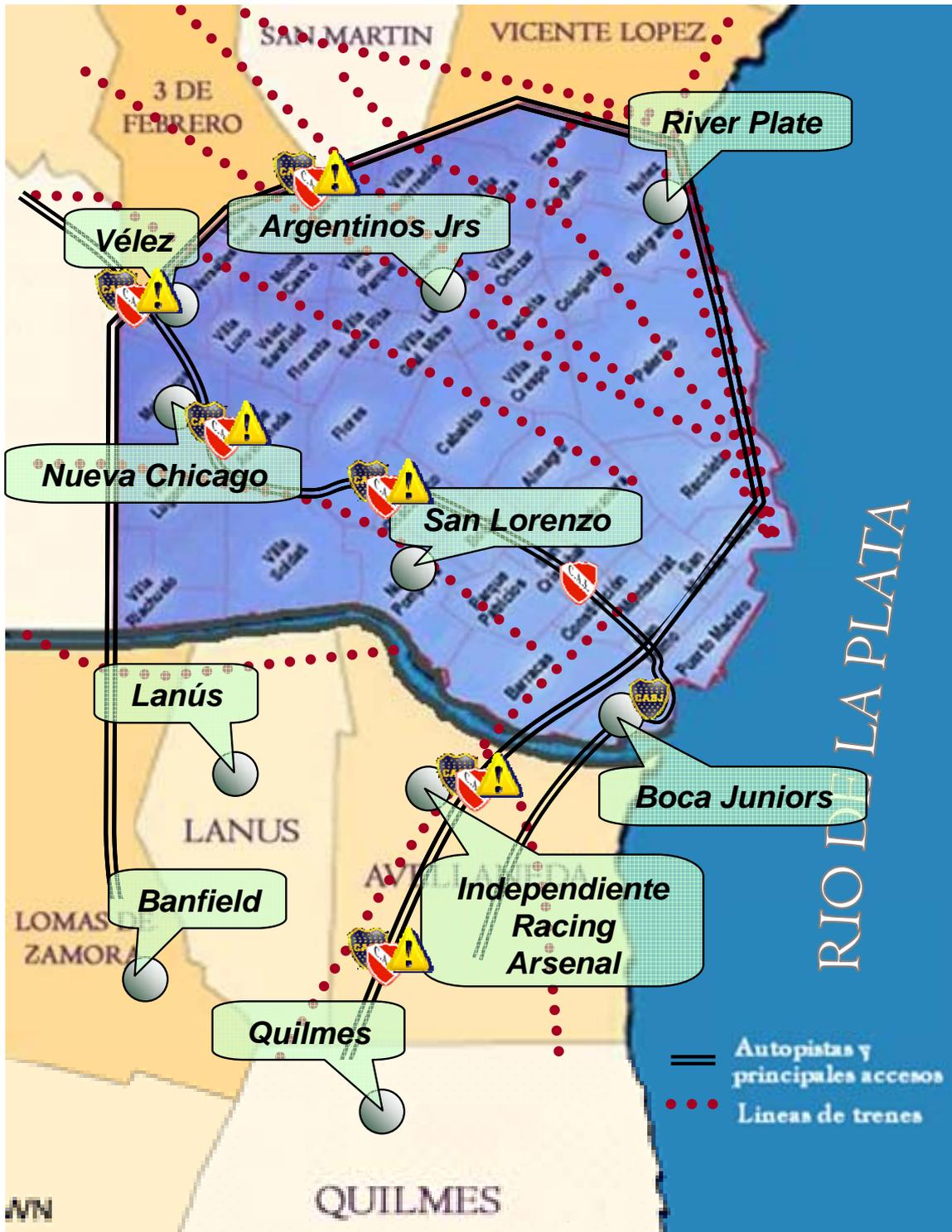


Figura 2.8 - Cruces peligrosos entre Boca e Independiente

Para este caso hay total de 18 combinaciones de encuentros posibles que significarían un potencial cruce entre ambas hinchadas.

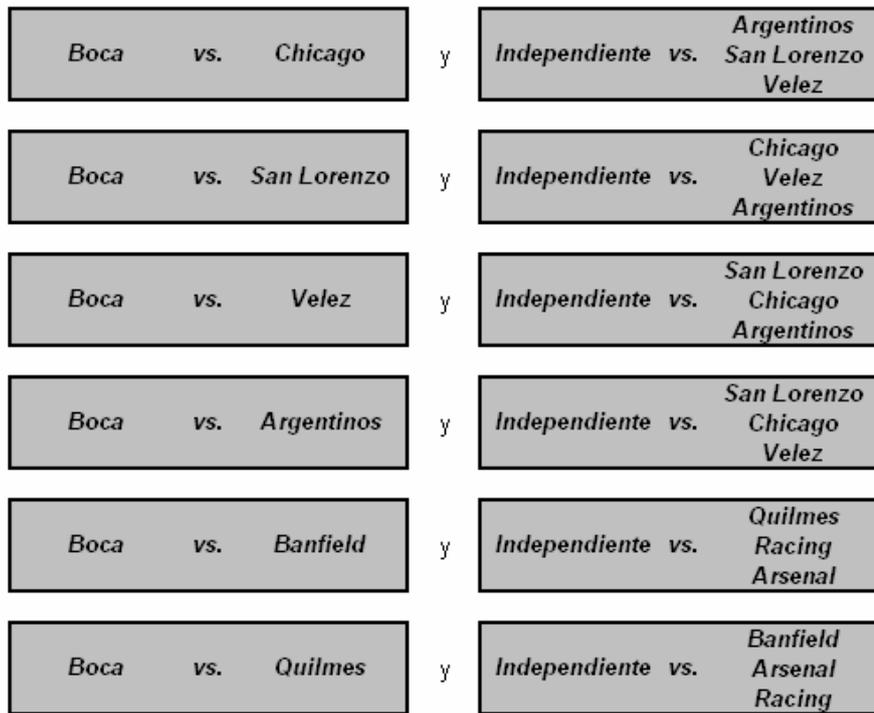


Figura 2.9 - Combinaciones de encuentros que provocan cruce peligroso entre Boca e Independiente

Volviendo al fixture del Apertura '06 para Boca e Independiente podemos ver que en la fecha 15 del torneo se presenta una de estas combinaciones. Cuando Boca visita a Quilmes, Independiente enfrenta a Racing. Este es uno de los casos de ineficiencia en tema de violencia entre hinchadas evitable mediante un adecuado fixture.

Extendiendo este análisis al resto de los 8 cruces que se creen potencialmente peligrosos, la programación actual del fixture viola 3 de ellos, una cantidad suficiente como para suponer que se trata de un fixture demasiado riesgoso si se tiene en cuenta que pueden ser evitados.³⁰ Es importante entonces, idear un modelo que contemple esta situación y minimice las posibilidades de cruces peligrosos de hinchadas.

Cruces Peligrosos		Fecha
Boca	Independiente	15
Quilmes	Boca	4
Argentinos	San Lorenzo	16

Tabla 2.13 - Cruces peligrosos en el Apertura '06

³⁰ En el Anexo II se presentan los restantes mapas de cruces y las violaciones para todos los cruces peligrosos en cuestión.

II.2.9 - Fixture espejado

Como se explicó anteriormente, el torneo de fútbol de primera división argentino es un torneo Round Robin doble espejado. Es decir, la segunda vuelta es igual a la primera pero invirtiendo las localías de todos los partidos.

Si bien esta puede ser una característica que no debería traer mayores complicaciones, puede limitar las posibilidades de aumentar los beneficios del torneo. Cuando el torneo es espejado se pierde la posibilidad de diseñarlo de manera tal que la primera ronda esté optimizada para un determinado objetivo y el clausura para otro completamente diferente. Un ejemplo puede ser que no permite que los encuentros del Apertura maximicen la recaudación y que los del Clausura maximicen la cantidad de encuentros atractivos hacia el final del torneo.

Permitiendo variar la distribución de los encuentros entre el primer torneo y el segundo, pero manteniendo la restricción de que si un equipo jugó de local frente a otro en la primera ronda debe hacerlo de visitante en la segunda, es posible diseñar torneos Apertura y Clausura que optimicen diferentes objetivos.

Además, si se diseña el torneo Clausura próximo a su comienzo se pueden tener en cuenta importantes factores a la hora de determinar la distribución de los encuentros como por ejemplo cuales son los equipos fuertes y candidatos, así como los débiles, una vez finalizado el torneo Apertura.

II.3 - METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En gran parte de los modelos de optimización las variables pueden tomar cualquier valor real, por ejemplo, la solución óptima de una mezcla puede contener 2,3 gramos de una sustancia y 3,1 gramos de otra. Sin embargo, en algunos modelos, estas variables están restringidas a tomar solo valores enteros, por ejemplo se pueden asignar 4 o 5 personas para una tarea, pero no 4,5 personas.

El planeamiento del fixture del campeonato argentino es uno de estos últimos casos, donde además de que sus variables deben tomar un número entero son variables binarias. Las variables binarias son un conjunto de variables enteras y discretas que pueden tomar solo los valores 0 o 1, asociadas por lo general a una orden de NO o SI ante una decisión. Para nuestro análisis por ejemplo, *un equipo de fútbol juega el partido entero de local o de visitante, nunca una parte de local y el resto de visitante.*

Frecuentemente nos encontraremos con modelos de programación entera que pareciera que se pueden resolver mediante métodos utilizados para variables de valores reales. Por ejemplo, es común encontrar modelos en los que la función objetivo y las

restricciones están descritas por variables enteras, asemejándose mucho a un problema de programación lineal estándar, excepto que las variables deben tomar valores enteros. Esto llevaría a la tentación de simplemente resolver el modelo mediante programación lineal estándar y luego redondear cualquier variable no entera al valor entero más cercano. ¡Esto no se debe hacer! A continuación se dará el siguiente ejemplo que demostrará lo erróneo que esto puede resultar.

Ejemplo:

Supongamos la situación para 2 equipos de fútbol a los que se le quiere maximizar los ingresos, que vienen dados por la función:

$X_{i,j}$: Cantidad de veces que el equipo i juega frente al j de local
Max $Z = X_{1,2} + 5X_{2,1}$
Sujetos a: $X_{1,2} + 10X_{2,1} \leq 20$ (1)
$X_{1,2} \leq 2$ (2)
$X_{1,2}, X_{2,1} \geq 0$ y Enteros (3)

Figura 2.10 - Ejemplo

La solución de la programación lineal estándar arroja los valores $Z = 11$ para $(2; 1,8)$. Lo primero que se tiende a hacer es aproximar $X_{2,1} = 1,8$ al entero más próximo, en este caso al $X_{2,1} = 2$. Sin embargo, ésta nueva solución no es válida ya que violaría la primera restricción. Entonces, naturalmente se iría en la otra dirección, $X_{2,1} = 1$, constituyendo una solución válida con resultado $Z = 7$.

Sin embargo esta no sería la solución óptima al problema, de hecho está muy alejada de la misma. La solución entera óptima es $(0; 2)$ donde $Z = 10$.

Es importante notar que mediante la aproximación de la solución factible $(2; 1,8)$ a enteros nunca podríamos haber llegado a la solución óptima $(0; 2)$.

La lección aprendida es que simplemente no se puede usar métodos de solución de valores pertenecientes a los reales para optimizar modelos de valores enteros. Se deben utilizar métodos completamente diferentes.

Hemos llegado así a nuestra primera conclusión en cuanto al método a elegir para resolver el problema de asignación del fixture óptimo para el torneo de fútbol argentino:

“Se debe utilizar el método de programación lineal entera.”

Lo primero que se puede pensar para resolver modelos de variables enteras es simplemente enumerar todas las posibles soluciones y elegir la mejor. Sin embargo funciona bien solo para pequeños problemas, ya que su dificultad se incrementa explosivamente a medida que aumentan las variables, tornándose imposible de resolver, inclusive para problemas medianos. Por ejemplo un problema binario de 20 variables tiene 2^{20} soluciones para enumerar, prácticamente imposible de resolver, aún para la computadora más rápida. Más aún en nuestro caso, donde como dijimos anteriormente, un fixture deportivo de 20 equipos tiene $20!$ combinaciones posibles.

De esta forma ha surgido un nuevo inconveniente. Se debe buscar un método que permita acotar las soluciones factibles y así lograr resolver el problema en un tiempo razonable mediante el uso de la informática.

“Se utilizará la técnica de Branch and Bound para facilitar la resolución del problema de la optimización del fixture deportivo.”

El método de Branch and Bound es la técnica principal para resolver problemas de programación entera y discreta. Este método está basado en la consideración de que la enumeración de las soluciones enteras tiene una estructura de árbol. Consideremos para nuestro caso del fixture tres variables ($X_{1,j}$ con $j: 2,3,4$) que vale 1 si el equipo 1 juega de local con el equipo j a lo largo de un torneo Round Robin Simple.

La figura muestra la enumeración completa de todas las soluciones posibles para estas variables, aún aquellas que no son válidas debido a otras restricciones del problema o modelo.

La estructura mostrada (Figura 2.11) tiene la forma de árbol apoyado en uno de sus lados sobre la raíz o *nodo raíz*, que contiene todas las soluciones posibles, y *las hojas* sobre la derecha. Estos nodos hijos enumeran las soluciones. Entonces tenemos 8 soluciones posibles: (2 posibles para $X_{1,2}$) x (2 posibles para $X_{1,3}$) x (2 posibles para $X_{1,4}$). Por ejemplo el nodo de más arriba indica que el equipo 1 jugará de local contra los equipos 2, 3 y 4. Los nodos restantes pueden pensarse como conjuntos de soluciones posibles. Por ejemplo, el nodo raíz representa todas las soluciones posibles que pueden ser generadas a lo largo del árbol. Otro nodo intermedio, por ejemplo el primer nodo a la derecha y arriba del nodo raíz representa todas las soluciones en las cuales $X_{1,2}$ vale 1 y las restantes variables toman cualquiera de sus valores posibles. Para cualquier par de

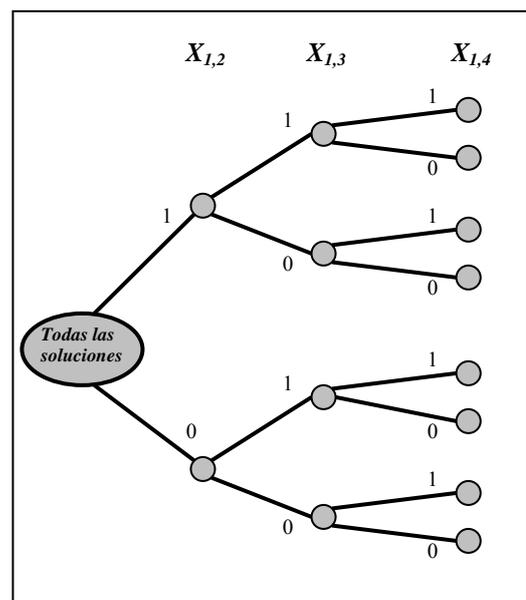


Figura 2.11 - Árbol de búsqueda para tres variables

nodos conectados directamente en el árbol, el *nodo padre* es el más cercano al nodo raíz, y el *nodo hijo* es el más cercano a las hojas.

La idea principal en el método de Branch and Bound es la de evitar lo máximo posible que el árbol crezca, ya que el árbol entero es demasiado grande para cualquier problema real. Este método hace crecer el árbol en etapas, de forma tal que crecen sólo los nodos más prometedores en cada etapa.

El nombre del proceso viene del *branching* (o ramificación) que sucede cuando un nodo es seleccionado para proseguir con el crecimiento y la nueva generación de nodos hijos de ese nodo. El *bound* (o rebote) surge cuando se estima el rebote en el mejor valor logrado cuando se hace crecer un nodo. Se espera que al final se haya hecho crecer solo una pequeña fracción de la enumeración completa del árbol.

Otro aspecto importante en este proceso es el corte o *podado* de las ramas, en el cual se corta y descarta permanentemente nodos cuando se demuestra que éste, o cualquiera de sus descendientes, nunca serán soluciones factibles u óptimas. El podado es uno de los aspectos más importantes del Branch and Bound ya que es precisamente lo que impide que el árbol de búsqueda crezca demasiado.

Para describir el método de Branch and Bound en detalle, primero debemos formalizar la terminología utilizada:

- *Nodo*: cualquier solución parcial o completa. Para los fixtures deportivos por ejemplo, un nodo de nivel tres en un problema de 5 variables puede representar la solución parcial 1-0-1-?-? que representa el patrón de localía y visita de un equipo, donde en la primera y en la tercera fecha juega de local mientras que en la segunda juega de visitante. El valor de las restantes dos variables aún no han sido determinadas.
- *Hoja (nodo hoja)*: una solución completa en la cual todos los valores de las variables son conocidos.
- *Brote (nodo brote)*: una solución parcial, factible o no factible. Se lo puede pensar como que dicho nodo puede crecer aún más, tal como lo hace un árbol real.
- *Función de Rebote o Bounding Function*: es el método para estimar el *mejor* valor de la función objetivo obtenible al hacer crecer un brote adicional. Sólo los brotes tienen asociados valores de función de rebote. Los nodos hoja tienen el valor de la función objetivo, que son valores totales y no estimados. Es importante que la función de rebote sea un estimador *optimista*. En otras palabras, si se está minimizando, se debe subestimar el mejor valor actual alcanzado por la función objetivo; si se está maximizando se debe sobreestimar el mejor valor actual alcanzado por la función objetivo. Se quiere que sea un estimador lo más exacto

posible para que el árbol de branch and bound sea lo más pequeño posible, dirigiéndose por el camino optimista. La función de rebote es la verdadera clave del branch and bound. Resulta difícil en muchos casos encontrar una buena función de rebote, pero los resultados son tremendamente favorables.

- *Ramificar, o expandir un nodo*: es el proceso de crear un nodo hijo para un nodo brote. Un nodo hijo es creado para cada valor posible de la siguiente variable. Por ejemplo, si la siguiente variable es binaria (como el caso de si un equipo juega contra determinado equipo o no en determinada fecha) habrá un nodo hijo asociado al valor cero y otro nodo hijo asociado al valor 1.
- *Valor titular*: es la mejor solución factible encontrada hasta ese momento. Puede no haber un valor titular cuando el proceso de solución comienza. En este caso, la primera solución completa factible encontrada durante el proceso de solución se convierte en el primer valor titular.

El método de Branch and Bound constituye un marco de trabajo muy general. Para especificar completamente como va a proceder el proceso, también se debe definir las políticas con respecto a la selección del siguiente nodo, selección de la siguiente variable, como podar, y cuando detener la búsqueda. Discutiremos estos aspectos a continuación.

En cualquier punto intermedio en el algoritmo, tenemos la versión actual del árbol de branch and bound, que consiste de nodos brote etiquetados con el valor de su función de rebote y otros nodos etiquetados en varias otras formas que veremos más adelante. La *política de selección de nodo* determina como elegir el próximo nodo brote para la expansión. Existen tres políticas populares para la selección del nodo:

- *Selección por el primer-mejor o mejor-global*: se elige el nodo brote que tiene el mejor valor de la función de rebote en cualquier parte del árbol de branch and bound. Si se está minimizando, esto significa elegir el nodo brote que tenga el menor valor de función de rebote; si se está maximizando significa elegir el nodo brote con el mayor valor de la función de rebote.
- *Primero en profundidad*: se elige solo de entre el conjunto de los nodos brote recientemente creados. Se elige el nodo brote que tenga el mejor valor en la función de rebote. La selección del primero en profundidad lleva a un paso más hondo en el árbol en cada iteración, por lo que llega al nodo hoja más rápidamente. Esta es una de las formas de alcanzar una solución titular de forma temprana. Si no se puede ir más profundo en el árbol, se retorna un nivel y se elige otro nodo hijo de este nivel.
- *El primero en anchura*: se expanden los nodos brote en el mismo orden en el cual fueron creados.

De forma parecida, una vez que el nodo brote ha sido elegido para la expansión, se debe elegir la siguiente variable a usar para crear los nodos hijo del nodo brote. La *política de selección de la variable* determina esta elección. Existen una serie de políticas estándar para la selección de la variable. Generalmente son elegidas simplemente en orden natural, a pesar de que una buena política de selección puede mejorar enormemente la eficiencia.

Además se necesita establecer las políticas y reglas para la poda de los nodos brote. Como fue mencionado, existen dos razones principales para podar un nodo brote: se puede mostrar que no existe ningún descendiente factible, o se puede mostrar que ningún descendiente será solución óptima.

El método para demostrar que ningún descendiente será óptima es estándar: si el valor de la función de rebote del nodo brote es peor que el valor de la función objetivo del titular, entonces el nodo brote puede ser podado. Esto se debe a que la función objetivo es un estimador optimista.

Los métodos para mostrar que ningún descendiente será factible puede variar según el problema específico. En los problemas que incluyen restricciones aritméticas estándar suele ser sencillo de detectar esta condición. Por ejemplo, supongamos una solución $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 1, ?, ?, ?)$ en un problema binario con la condición $-8x_1 - 5x_2 + 6x_3 + 4x_4 > 0$. Al estar x_1 y x_2 establecidas en el valor 1, no habrá ningún valor posible para las demás variables que satisfagan la restricción. Entonces podemos deducir que todos los descendientes de este nodo brote no serán factibles, por lo que el nodo es podado.

Existe otro caso en el cual la expansión del nodo brote puede ser detenida: cuando el mejor valor posible de la función objetivo obtenible por expansión puede ser vista directamente. Esto es conocido como la *penetración* de un nodo. Las funciones de rebote frecuentemente trabajan resolviendo un problema más simple que es creado ignorando algunas de las restricciones del problema real. A veces la solución a este problema más sencillo satisface todas las restricciones en el problema original, por lo tanto es la mejor solución para el problema original, y es obtenida sin tener que expandir más el nodo brote. Todo lo que es necesario en este punto es comparar esta solución con el valor titular, y si mejor que éste, entonces lo reemplaza, de lo contrario el nodo puede ser podado.

Finalmente, se necesita una *regla de terminación* que determine cuando parar de expandir el árbol de branch and bound. Para garantizar que se ha alcanzado la optimalidad, se detiene cuando el valor de la función objetivo titular es mejor o igual a la función de rebote asociada a todos los nodos brote. Esto significa que ninguno de los nodos brote puede llegar a desarrollarse en una solución mejor que la solución completa y factible que se tiene a mano, por lo que no hay razón para seguir expandiendo el árbol.

Por supuesto, de acuerdo a las políticas de poda, todos los nodos brote en esta condición ya habrán sido podados, por lo que esta regla de terminación lleva a decir que se detiene el proceso cuando no hay más nodos brote restantes que puedan ser considerados para seguir expandiendo. Esto prueba también que la solución titular en ese momento es la solución óptima.

“Para optimizar la resolución del fixture del torneo de fútbol argentino, la técnica de elección de nodos y variables dependerá según la etapa y profundidad en la que se encuentre en el árbol de decisiones, y será determinada automáticamente por el software”

Para el caso del desarrollo del fixture del torneo de fútbol argentino los softwares utilizados (en capítulos siguientes se detallará) permiten la opción de poder combinar estos diferentes tipos de selección de nodos y variables y determinar automáticamente en que momento conviene usar cada uno de ellos para optimizar la resolución.

II.3.1 - Suboptimizando en problemas muy grandes

El método de branch and bound disminuye la explotación combinatoria en las programaciones enteras, pero no la detiene toda de una vez. Existen muchos problemas en los cuales aún el árbol estándar de branch and bound es demasiado grande. En estos casos, se puede sacrificar la garantía de optimalidad proveída por el método de branch and bound a cambio de obtener una solución razonable y rápida, o dentro de los límites de memoria informáticos disponibles. Existen tres heurísticas principales, todas basadas en el branch and bound.

Detención por cercanía al valor óptimo: Consiste en elegir una distancia aceptable al valor óptimo, por ejemplo, 5%. Simplemente se detiene el proceso cuando la solución titular está dentro del 5% del mejor valor de la función de rebote de los nodos brote. La solución titular definitivamente estará dentro del 5% del óptimo, y puede estar mucho más cerca, incluso en el óptimo, sólo que requiere un montón de nodos adicionales para probarlo.

“La distancia aceptable al valor óptimo para la resolución del fixture de primera división de fútbol será del 10%”.

Búsqueda por ranking: Esta técnica es especialmente útil cuando hay limitaciones de memoria. Se establece un límite superior de la cantidad de nodos brote que se mantendrán en la memoria, por ejemplo 1000. Si este límite es alcanzado, se hace un ranking de acuerdo a los valores de la función de rebote y se mantienen sólo los nodos con los 1000 mejores valores. Por supuesto la garantía de optimalidad es perdida (ya que uno de los nodos descartados puede llegar a ser el nodo que finalmente lleva a la

solución óptima) pero la búsqueda puede ser llevada a cabo con las limitaciones de memoria existentes.

Búsqueda de profundidad hasta el primer titular: Si el tiempo es limitado, esta técnica es preferida ya es la técnica más capaz de encontrar una solución factible titular primero. Si el tiempo se agota, por lo menos una solución factible esta disponible a pesar de que la búsqueda sea detenida prematuramente.

CAPÍTULO III – OPTIMIZACIÓN DEL FIXTURE DEL TORNEO DE FÚTBOL ARGENTINO

El objetivo de este capítulo es el de detallar las restricciones y objetivos necesarias para obtener como resultado un fixture del fútbol argentino óptimo, atractivo y beneficioso. Se demuestra la flexibilidad del modelo al lograr adaptarlo exitosamente a diferentes objetivos que buscan optimizar puntos de vista completamente diferentes. No sólo se demuestra una gran flexibilidad sino que también su poder de resolución permite tener en cuenta diferentes objetivos simultáneos y aún así obtener soluciones de muy alta calidad.

III.1 - REQUERIMIENTOS PARA UN FIXTURE DE FÚTBOL ÓPTIMO Y PLANTEO MATEMÁTICO

El campeonato argentino consiste en un torneo Round Robin Simple Espejado, como se dijo anteriormente, jugado por 20 equipos por lo que cada equipo juega en 19 ocasiones, distribuidas en partidos como local o visitante. Cada equipo tiene su propio estadio y la mayoría esta concentrado en la Ciudad de Buenos Aires. Los días durante las cuales se llevarán a cabo los encuentros viene determinada de antemano por la Asociación del Fútbol Argentino (*ver Anexo IV*).

Junto con estas restricciones generales que hacen a la base de un fixture, se incorporan otras restricciones que están directamente relacionadas con los requerimientos de los equipos (evitar muchos partidos de visita seguidos, partidos importantes de local para aumentar las recaudaciones...) y de los auspiciantes y emisoras de televisión.

A partir de estas restricciones esenciales y generales, es posible obtener un fixture que se adapta a las exigencias principales para un torneo atractivo. A pesar de la alta complejidad en materia de procesamiento y resolución, el modelo diseñado supera ampliamente estas limitaciones. No solo es capaz de satisfacer todo tipo de restricciones sino que nos da la posibilidad de ir más de fondo y diseñar un fixture en torno a uno o varios objetivos simultáneos.

Estos objetivos buscarán maximizar un determinado beneficio y contribuirán en darle el mayor atractivo posible al torneo. Por ejemplo, se buscará minimizar el número de *quiebres* (un equipo jugando dos partidos consecutivos de local o de visitante) durante el campeonato, y por otra parte, se buscará lograr que los partidos decisivos del campeonato, ya sean para aquellos equipos candidatos al título o los comprometidos por el descenso, se disputen hacia el final del torneo ya que en ellas se definirán los equipos que perderán la categoría, los que clasificarán para los torneos internacionales, y quizás

lo más importante, se definirá el equipo campeón. También se tendrán en cuenta objetivos tales como la maximización de la recaudación y minimización de los cruces peligrosos entre las hinchadas.

Logrando estos objetivos se obtendrá un campeonato más competitivo, con mayor emoción, que se reflejará en los altos índices de asistencia del público y recaudaciones en los partidos.

En definitiva, los requerimientos y bases para diseñar el modelo se dividen en dos tipos. Las condiciones duras, que deben cumplirse obligatoriamente para obtener un fixture factible, y las condiciones blandas u objetivos, que se espera sean satisfechos y maximizados o minimizados según el caso, que en conjunto hacen más atractivo y rentable al torneo.

Estas y otras restricciones, que se verán en detalle, hacen que la búsqueda de una solución factible mantenga un nivel de complejidad muy alto. Es de fundamental importancia realizar un adecuado planteo de variables y ecuaciones que faciliten al máximo la resolución, ya que de lo contrario hasta las computadoras más potentes pueden tardar tiempos inmanejables antes de llegar a una solución, y peor aún, enormes pérdidas de tiempo tan solo para llegar a que no hay una solución factible.

Para poder llevar el problema de la programación del campeonato de fútbol argentino al ámbito matemático, se deben presentar las variables y restricciones en el lenguaje apropiado, así como también la función objetivo a optimizar.

III.1.1 - Restricciones

Las restricciones o requerimientos del torneo se pueden clasificar en restricciones duras y restricciones blandas. Las duras son aquellas que necesariamente deben ser satisfechas en todas las fechas por todos los equipos en cuestión, y las blandas son las que están directamente relacionadas con los objetivos buscados a la hora de optimizar el modelo.

A continuación se describirán las restricciones para el torneo de fútbol argentino, teniendo en cuenta los datos y estadísticas referentes al último campeonato jugado, el Apertura 2006.

III.1.1.1 - Variables de decisión

Lo primero que se define son las variables de decisión cuyo valor indicará si el equipo i jugará de local contra el equipo j en la fecha k .

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si el equipo } i \text{ juega de local contra el equipo } j \text{ en la fecha } k \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Una vez determinados los valores de estas variables de decisión se tendrá representado el fixture del campeonato de fútbol de primera división argentino. Dados estos valores se puede verificar si se trata de un fixture factible o no, es decir, si cumple o no con los requerimientos especificados.

III.1.1.2 - Restricciones Duras

Estructura del torneo

La estructura básica del campeonato está definida de antemano por las características del torneo impuestas por la Asociación del Fútbol Argentino (AFA), quien determina la cantidad de equipos participantes y la cantidad de fechas disponibles para disputar los partidos.

- El torneo resulta de dos rondas donde todos juegan contra todos. Participan 20 equipos durante un total de 19 fechas en una modalidad *todos contra todos enfrentándose exactamente una vez entre cada uno de ellos*.

$$\sum_{k=1}^{19} [X_{ijk} + X_{jik}] = 1 \quad \forall i, j = 1, \dots, 20 \quad i < j \quad (1)$$

- *Un equipo no puede enfrentarse a sí mismo*. Si bien esta restricción es obvia, si no se tiene en cuenta a la hora de la programación del modelo será imposible llegar a una solución factible.

$$X_{ijk} = 0 \quad \forall (i = j) \quad \forall k = 1, \dots, 19 \quad (2)$$

Restricción especial para el diseño de la Segunda Ronda

Para la segunda ronda se establecerá que no será espejado de la primera ronda para así poder diseñar el torneo teniendo en cuenta diferentes objetivos y aprovechar al máximo los beneficios posibles.

- *Si un equipo enfrenta a otro de local en el torneo apertura, lo debe enfrentar de visitante en el clausura.* Esta restricción permite que los signos de los patrones de localía visita se inviertan y da la libertad de modificar el orden del mismo de ser necesario.

Para esta restricción se adicionará como dato en el modelo los patrones de localía visita del torneo Apertura para luego invertir sus valores para el torneo Clausura.

Patrones de localías y visitas

Los patrones de localías y visitas corresponden a la secuencia de partidos de local y visitante que debe jugar cada equipo. La determinación de este patrón dependerá exclusivamente de las restricciones impuestas tanto por la AFA como por los requerimientos de los equipos e inversionistas (transmisoras de TV y patrocinadores por ejemplo).

- *Cuando se juega un partido, uno de los equipos juega en su casa, es decir, es local, mientras que el segundo lo hace de visitante.* Los equipos buscan jugar la mayor cantidad de partidos en casa para así obtener beneficios tanto deportivos como económicos.

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j < i}}^{20} [X_{ijk} + X_{jik}] = 1 \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad \forall k = 1, \dots, 19 \quad (3)$$

- *Cada equipo jugará 9 fechas de local y 10 fechas de visitante, o viceversa.* Esta distribución de los partidos busca mantener la igualdad entre los equipos y no favorecer a ninguno en particular otorgándole más cantidad de localías comparado a los demás. Una desproporción de este tipo puede impactar negativamente tanto en el rendimiento de los equipos desfavorecidos como en las recaudaciones y atractivo del torneo.

$$\sum_{k=1}^{19} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{20} X_{ijk} \geq 9 \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^{19} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{20} X_{ijk} \leq 10 \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad (5)$$

- *No pueden haber dos partidos consecutivos de local o visitante para cualquier equipo en las primeras dos fechas del torneo.* Si un equipo juega dos partidos consecutivos de local en las primeras dos fechas puede resultar beneficiado ya que, al hacerse los equipos más fuertes de local (como en la mayoría de los deportes) aumentan sus posibilidades de ganar sus encuentros y rápidamente colocarse en la cima y sacar ventaja de los demás. De la misma forma sucede para los equipos que juegan dos veces seguidas de visitante al comienzo del torneo, pero con efectos inversos.

$$\sum_{j=1}^{20} [X_{ij(k-1)} + X_{ijk}] = 1 \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad \forall k = 2, 19 \quad (6)^{31}$$

- *Los equipos pueden jugar a lo sumo dos partidos de local (7) o visitante (8) en forma consecutiva (Quiebre).* Mediante esta restricción se busca que los equipos no jueguen durante mucho tiempo de visitante, perjudicando a la audiencia local y provocando que el hincha pierda interés. Más aún, una cantidad de partidos jugados de visitante puede afectar negativamente a la performance deportiva del equipo.

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{20} [X_{ij(k-1)} + X_{ijk} + X_{ij(k+1)}] \leq 2 \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad \forall k = 2, \dots, 18 \quad (7)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{20} [X_{ji(k-1)} + X_{jik} + X_{ji(k+1)}] \leq 2 \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad \forall k = 2, \dots, 18 \quad (8)$$

³¹ La inecuación es válida para la fecha 19 ya que la restricción se repite para el cierre del campeonato como se verá mas adelante.

- *No pueden haber dos partidos consecutivos de local o visitante para cualquier equipo en las últimas dos fechas del torneo.* Esta restricción permite que los equipos jueguen uno de los dos últimos partidos de local, por lo que en la etapa final del torneo tienen la posibilidad de jugar en casa y correr con ventaja para sumar puntos.

$$\sum_{j=1}^{20} [X_{ij(k-1)} + X_{ijk}] = 1 \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad \forall k = 2, 19 \quad (9)$$

Limite de Quiebres

Para poder plantear adecuadamente las restricciones relacionadas con la limitación de los quiebres permitidos es necesario introducir dos nuevas variables de decisión cuyos valores indicarán si el equipo i presenta un break en la fecha $k+1$ de local o visitante según corresponda.

$$Y_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si el equipo } i \text{ tiene un Break en la fecha } k + 1 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$W_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si el equipo } i \text{ tiene un Break de local en la fecha } k + 1 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

- *Los equipos no pueden jugar más de una vez dos veces seguidas de visitante (quiebre de visitante) a lo largo de todo el torneo.* Como se dijo, jugar de visitante en dos fechas consecutivas puede resultar muy perjudicial para un equipo. Es por esto que la cantidad de Breaks de visitante se limita a una por equipo por campeonato, disminuyendo así el impacto que puede provocar este hecho.

$$\sum_{k=1}^{18} Y_{ik} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad (10)$$

Para poder hacer uso de esta restricción debemos establecer la relación que existen entre las variables Y_{ik} con las variables X_{ijk} . Esto se logra mediante la siguiente restricción:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{20} [X_{jik} + X_{ji(k+1)}] \leq 1 + Y_{ik} \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad \forall k = 1, \dots, 18 \quad (11)$$

- *Un equipo no puede tener dos Breaks de local en 5 fechas consecutivas.* Si bien la cantidad de quiebres de local (dos partidos máximo de local consecutivos) no está limitada, esta restricción establece que estos quiebres no estén lo suficientemente juntos y que el equipo se beneficie por jugar muchos partidos de local en pocas fechas y consolide su juego gracias a la confianza del juego en casa.

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{20} [X_{ij(k-2)} + X_{ij(k-1)} + X_{ij(k)} + X_{ij(k+1)} + X_{ij(k+2)}] \leq 3 \quad (12)$$

$$\forall i = 1, \dots, 20 \quad \forall k = 3, \dots, 17$$

Encuentros Clásicos

Los partidos especiales son aquellos encuentros entre equipos que por determinadas características inherentes hacen que los mismos tengan alta importancia dentro del torneo. Determinar de manera eficiente cuales son las fechas durante las cuales se llevarán a cabo puede aumentar de gran manera la competitividad, atracción y beneficios económicos del campeonato.

- *Los partidos denominados “clásicos” se deben jugar entre las fechas 8 y 17.* Mediante esta disposición se logra que los clásicos del fútbol argentino sean jugados en la etapa adecuada del torneo. Las fechas elegidas como límite buscan que estos partidos no sean jugados durante las primeras fechas, cuando el espectador puede no estar todavía muy involucrado en el torneo, ni muy tarde, cuando las expectativas y el interés del hincha de determinado equipo sean bajas ya que su equipo o el rival puede ya no tener aspiraciones al título o que su campaña es mala.

Debido a la formulación matemática utilizada, cada clásico requerirá una restricción particular. Sin embargo, la estructura de la inecuación matemática será la misma para todos, con la particularidad que los equipos afectados serán sólo los correspondientes al encuentro clásico en cuestión.

Superclásico		
River Plate	vs.	Boca Juniors

$$\sum_{i \in \text{SprC}} \sum_{\substack{j \in \text{SprC} \\ j \neq i}} \left[\sum_{k=1}^7 X_{ijk} + \sum_{k=18}^{19} X_{ijk} \right] = 0 \quad (13)$$

Clásico de Avellaneda		
Independiente	vs.	Racing Club

$$\sum_{i \in \text{CIAvda}} \sum_{\substack{j \in \text{CIAvda} \\ j \neq i}} \left[\sum_{k=1}^7 X_{ijk} + \sum_{k=18}^{19} X_{ijk} \right] = 0 \quad (14)$$

Clásico de Rosario		
Rosario Central	vs.	Newells

$$\sum_{i \in \text{CIRsrio}} \sum_{\substack{j \in \text{CIRsrio} \\ j \neq i}} \left[\sum_{k=1}^7 X_{ijk} + \sum_{k=18}^{19} X_{ijk} \right] = 0 \quad (15)$$

Clásico de La Plata		
Estudiantes (LP)	vs.	Gimnasia y Esgrima (LP)

$$\sum_{i \in \text{CLaPlata}} \sum_{\substack{j \in \text{CLaPlata} \\ j \neq i}} \left[\sum_{k=1}^7 X_{ijk} + \sum_{k=18}^{19} X_{ijk} \right] = 0 \quad (16)$$

- *Dos encuentros denominados clásicos no pueden jugarse en la misma fecha.* Esta restricción provocará que éste tipo de encuentros, que son de los más esperados por la afición, clubes y patrocinadores, estén distribuidos a lo largo de la banda permitida para los clásicos y así garantizar que no se superpongan abarcando así las mayor cantidad de fechas posibles.

$$\sum_{(i,j)} X_{ijk} + \sum_{(i,j)} X_{jik} \quad \forall k = 1..19 \quad \wedge \quad (i,j) = \left(\begin{array}{c} \text{River, Boca} \\ \text{Racing, Independiente} \\ \text{Newells, Rosario Central} \\ \text{Banfield, Lanús} \\ \text{Estudiantes, Gimnasia (LP)} \end{array} \right) \quad (17)$$

Equipos “Grandes”

- *Los encuentros entre equipos denominados “grandes” deben jugarse de tal forma que cada equipo “grande” enfrente a los restantes grandes en dos oportunidades de local y los dos restantes de visitante. Se logra así que todos los equipos grandes jueguen la misma cantidad de partidos de local. Esto ayuda también a que no se favorezca a ninguno deportivamente en partidos trascendentales como éstos.*

$$\sum_{k=1}^{19} \sum_{\substack{j \neq i \\ j \in \text{Grdes}}} X_{ijk} = 2 \quad \forall i \in \text{Grdes} \quad (18)$$

Equipos “No Grandes”

Los equipos que no son considerados grandes tienen muchas expectativas y también riesgos cuando enfrentan equipos grandes. Es por ello que se deben considerar ciertos aspectos para que éstos no se vean perjudicados a la hora de enfrentarlos y, por otro lado, puedan aprovechar los beneficios que trae un encuentro como tal.

- *Cada equipo denominado “no grande” debe jugar en al menos 2 y máximo 3 oportunidades de local contra uno “grande”. Jugar de visitante frente a los equipos grandes suele ser una gran desventaja por lo que es necesario que en cierta cantidad de ellos se juegue de local. Además, esto contribuye a aumentar de forma considerable las recaudaciones y beneficios económicos de los equipos “no grandes” ya que los equipos grandes suelen atraer muchos espectadores. Si se juegan más de 3 fechas de local, a la hora de diseñar el torneo clausura, y al ser 5 los encuentros contra equipos grandes, esta restricción no podría ser satisfecha.*

$$2 \leq \sum_{k=1}^{19} \sum_{\substack{j \neq i \\ j \in \text{Grdes}}} X_{ijk} \leq 3 \quad \forall i \in \text{NoGrdes} \quad (19)$$

- *Un equipo “no grande” no puede jugar en 3 fechas consecutivas contra un “equipo grande”.* Cuando un partido de estas características se lleva a cabo, suele pasar que el equipo no grande sufre un desgaste mayor que en otro tipo partido. Este desgaste es mucho mayor aún si juega dos partidos seguidos, por lo que un tercer partido sería una gran desventaja para el equipo “no grande” en cuestión.

$$\sum_{j \in \text{Grdes}} \left[X_{ij(k-1)} + X_{ijk} + X_{ij(k+1)} + X_{ji(k-1)} + X_{jik} + X_{ji(k+1)} \right] \leq 2 \quad (20)$$

$$\forall i \notin \text{Grdes} \quad \forall k = 2, \dots, 18$$

Equipos “Fuertes”

- *No pueden jugarse más de dos encuentros entre equipos “fuertes” en la misma fecha.* Al ser 5 los equipos fuertes, hay 10 encuentros entre este tipo de equipos. Esta restricción provocará que éste tipo de encuentros se desarrollen en al menos 5 fechas diferentes del torneo. Previene que hayan muchos encuentros interesantes (en este caso encuentros que pueden definir al campeón) simultáneos por lo que algunos perderían foco de atención.

$$\sum_{i \in \text{Grde}} \sum_{j \in \text{Grde}} X_{ijk} \leq 2 \quad \forall k = 1, \dots, 18 \quad (21)$$

Equipos “Débiles”

- *No pueden jugarse más de dos encuentros entre equipos “débiles” en la misma fecha.* Al ser 5 los equipos débiles, hay 10 encuentros entre este tipo de equipos. Esta restricción provocará que éste tipo de encuentros se desarrollen en al menos 5 fechas diferentes del torneo. Previene que hayan muchos encuentros interesantes (en este caso encuentros que pueden definir quienes pierden la categoría) simultáneos por lo que algunos perderían foco de atención.

$$\sum_{i \in \text{Debil}} \sum_{j \in \text{Debil}} X_{ijk} \leq 2 \quad \forall k = 1, \dots, 18 \quad (22)$$

Equipos “no fuertes”

- *Un equipo “no fuerte” no puede jugar 3 fechas consecutivas contra equipos “fuertes”. Para esta restricción se aplica la misma explicación que para el caso de los partidos entre equipos “no grandes” y equipos “grandes”.*

$$\sum_{j \in \text{Frtes}} [X_{ij(k-1)} + X_{ijk} + X_{ij(k+1)} + X_{ji(k-1)} + X_{jik} + X_{ji(k+1)}] \leq 2 \quad (23)$$

$$\forall i \notin \text{Frtes} \quad \forall k = 2, \dots, 18$$

Equipos cruzados

- *Los equipos denominados cruzados entre si deben jugar sus encuentros de forma tal que en cada fecha si uno juega de local su cruzado debe hacerlo de visitante. Un aspecto que está preocupando muchísimo es el alto grado de violencia que existe entre los simpatizantes de los equipos del fútbol en la argentina. Mediante esta restricción, se establece que los partidos entre equipos de la misma zona, que suelen ser clásicos, juegue en distinta región, por lo que se evitaría en cruce entre hinchadas. Por otra parte, para las transmisoras de TV es conveniente estos cruces ya que pueden maximizar la cantidad de posibles transmisiones en vivo *de local* de los principales equipos y estadios del torneo (los principales equipos suelen convocar gran cantidad de espectadores en sus partidos de local debido a la capacidad de sus estadios). Por ejemplo, si River y Boca juegan de local el mismo día, solo podrá transmitir un partido en vivo, y tendrá que esperar dos fechas para poder transmitir en vivo el partido de local del otro. En cambio, si uno juega de local una fecha y el otro de local la siguiente, puede transmitir en vivo a ambos equipos de local en fechas continuas.*

$$\sum_{k=1}^{20} [X_{hik} + X_{hjk}] = 1 \quad \forall i, j \in \text{Crzdos} \quad \forall h = 1, \dots, 20 \quad h \neq i \quad h \neq j \quad (24)$$

Los equipos que se consideran cruzados son los siguientes:

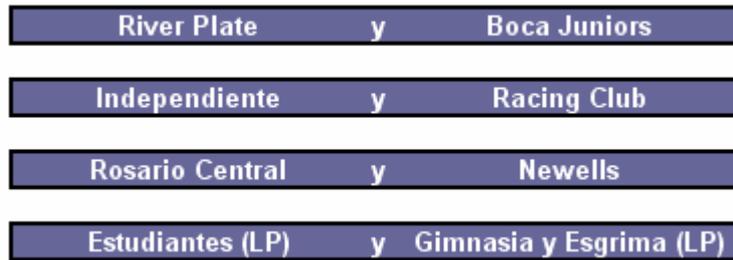


Figura 3.1 - Equipos cruzados

Distribución geográfica de los encuentros

Un aspecto importante es la presencia de equipos distribuidos en varios puntos alejados dentro de la Argentina. Esto provoca que los equipos tengan que realizar viajes frecuentes para enfrentarse e inevitablemente agotar a los jugadores y tener altos gastos. Es importante establecer ciertas pautas para mantener equitativo los viajes entre equipos para así disminuir las diferencias entre equipos.

- *En tres fechas consecutivas un equipo de la ciudad de Buenos Aires no puede jugar dos veces de visitante frente a equipos del interior.* Se evita de esta forma que un equipo se vea afectado por los largos viajes frecuentes, especialmente si es que el equipo está viajando por encuentros jugados en el exterior correspondientes a copas internacionales.

$$\sum_{j \in \text{Int}} [X_{ji(k-1)} + X_{jik} + X_{ji(k+1)}] < 2 \quad \forall k = 2, \dots, 18 \quad \forall i \in \text{BsAs} \quad (25)$$

- *En cada fecha no pueden disputarse más de 7 partidos en la ciudad de Buenos Aires.* Al ser la gran parte de los equipos pertenecientes a la ciudad de Buenos Aires (12 de los 20) es probable que sin esta restricción se obtenga un fixture donde en alguna fecha se juegue casi la totalidad de los partidos en Buenos Aires, por lo que podría perderse interés por el campeonato en el interior.

$$\sum_{i \in BsAs} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{20} X_{ijk} \leq 7 \quad \forall k = 1, \dots, 19 \quad (26)$$

Disminuir violencia evitando cruces entre hinchadas durante sus viajes.

- Como se explicó anteriormente, la violencia entre hinchadas está creciendo de manera alarmante, especialmente fuera de los estadios. Esta situación se presenta en muchos casos cuando una *hinchada*, rumbo al estadio de su rival, cruza en su camino a hinchadas de otros equipos que se dirigen hacia otros encuentros. Disminuyendo al mínimo posible los cruces potencialmente peligrosos se disminuirá la cantidad de conflictos y enfrentamientos entre ellas.

$$X_{ijk} + X_{jik} + X_{shk} + X_{hsk} \leq 1 \quad \forall k = 1, \dots, 19 \wedge \forall (i, j, s, h) \in Cruces \quad (27)^{32}$$

III.1.1.3 - Mejora de performance del modelo

Para mejorar la velocidad de resolución del modelo se agregan dos variables adicionales que representan cuando un equipo juega de local o de visitante en una determinada fecha.

$$Z_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si el equipo } i \text{ juega de local en la fecha } k \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$V_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si el equipo } i \text{ juega de visitante en la fecha } k \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Esta variable permitirá determinar el patrón de localía-visita de manera más rápida. El proceso lógico de resolución del programa primero resuelve el patrón de localía determinando los valores de las variables Z y luego asigna los rivales resolviendo las variables X .

³² En el Anexo II se encuentran todas las combinaciones de encuentros conflictivos que se deben evitar.

Para poder asociar las variables Z y V con las demás variables se utilizan las siguientes restricciones:

$$Z_{ik} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{20} X_{ijk} \quad \forall k = 1, \dots, 19 \quad \wedge \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad (28)$$

$$Z_{ik} - Z_{i(k+1)} \geq 1 - Y_{ik} \quad \forall k = 1, \dots, 18 \quad \wedge \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad (29)$$

$$V_{ik} - V_{i(k+1)} \geq 1 - W_{ik} \quad \forall k = 1, \dots, 18 \quad \wedge \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad (30)$$

$$V_{ik} + Z_{ik} \leq 1 \quad \forall k = 1, \dots, 19 \quad \wedge \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad (31)$$

En todas las restricciones en las que sea posible se reemplazará $Z_{ik} = \sum_{j=1, j \neq i}^{20} X_{ijk}$: Las restricciones (4) y (5) son reemplazadas por la (32), la (6) y la (9) por la (33), (7) por (34), (8) por (35), (12) por (36), (24) por la (37), y finalmente la (26) por la (38):

$$9 \leq \sum_{k=1}^{20} Z_{ik} \leq 10 \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad (32)$$

$$Z_{i(k-1)} + Z_{ik} = 1 \quad \forall k = 1, \dots, 19 \quad \wedge \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad (33)$$

$$Z_{i(k-1)} + Z_{ik} + Z_{i(k+1)} \leq 2 \quad \forall k = 1, \dots, 19 \quad \wedge \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad (34)$$

$$Z_{i(k-1)} + Z_{ik} + Z_{i(k+1)} \geq 1 \quad \forall k = 1, \dots, 19 \quad \wedge \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad (35)$$

$$Z_{i(k-2)} + Z_{i(k-1)} + Z_{ik} + Z_{i(k+1)} + Z_{i(k+2)} \leq 3 \quad \forall i = 1, \dots, 20 \quad \forall k = 3, \dots, 17 \quad (36)$$

$$Z_{ik} - Z_{jk} = 1 \quad \forall i, j \in \text{Crzdos} \wedge \forall k = 1, \dots, 19 \quad (37)$$

$$\sum_{i \in \text{BsAs}} Z_{ik} \leq 7 \quad \forall k = 1, \dots, 19 \quad (38)$$

III.1.1.3 - Restricciones Blandas u Objetivos

Las restricciones blandas son aquellas que determinan el objetivo a optimizar para lograr un torneo atractivo para la gente y beneficioso tanto para los equipos como para la Asociación de Fútbol Argentina y los patrocinadores, entre otros. Para el caso en cuestión los objetivos buscados son:

- *La minimización de los Breaks.*
- *Lograr que la mayor cantidad de partidos de alto interés sean disputados dentro de las fechas finales del torneo.*
- *Maximizar la recaudación total del torneo.*
- *Disminuir la violencia evitando cruces entre hinchadas durante sus viajes.*
- *Objetivos simultáneos.*

Minimización de Breaks

Como se comento en el capítulo donde se presento el desarrollo actual de los fixtures deportivos, uno de los objetivos mayormente buscados es el de la minimización de los Breaks. Este es el caso también para el torneo argentino, donde es de gran interés mantener una igualdad de condiciones entre los equipos, algo que suele ser cuestionado muy frecuentemente debido al poder e influencia que poseen los equipos grandes.

$$MIN = \sum_i \sum_k^{19} Y_{ik} + \sum_i \sum_k^{20} W_{ik}$$

Lograr que la mayor cantidad de partidos de alto interés sean disputados dentro de las fechas finales del torneo

Otro objetivo buscado es el de aumentar al máximo la emoción e interés del torneo. Logrando que los partidos definitorios del torneo, ya sean aquellos que definirán al campeón o aquellos que determinarán los equipos que perderán la categoría, sean jugados durante las fechas finales garantizarán que el campeonato tendrá emoción hasta las últimas fechas. Más aún, esto contribuirá a mantener altos índices de asistencia del público, maximizando las ganancias.

$$MAX = \sum_{i \in Debs} \sum_{j \in Debs} \sum_{k=1}^{20} k * X_{ijk} + \sum_{i \in Ftes} \sum_{j \in Ftes} \sum_{k=1}^{20} k * X_{ijk}$$

Al multiplicar la variable X por el índice k estamos logrando que cuanto mas tardía sea la fecha mayor será el resultado del objetivo. De esta forma se logra dar mayor valor en el funcional a los encuentros si son jugados durante las fechas finales.

Maximizar la recaudación total del torneo.

De acuerdo con el historial de entradas vendidas por cada equipo durante un campeonato es posible exigir al modelo que a partir de datos históricos y reales determine la secuencia de localías de cada uno que maximice la recaudación total de un campeonato. Como es lógico, la asistencia del aficionado de un equipo no siempre se comporta según la estadística. Simples ejemplos pueden ser, como es de imaginar, el público será mayor cuando la campaña del equipo sea buena, y viceversa, o sucesos como el fichaje de uno o varios jugadores pueden motivar a ir al estadio.

$$MAX = \sum_{i=1}^{20} \sum_{k=1}^{19} R_i * Z_{i,k}$$

El coeficiente R_i corresponde a la recaudación promedio de cada encuentro cuando el equipo i juega de local. Para poder tener en cuenta la variabilidad de la asistencia del público de los equipos de torneo en torneo, utilizamos la relación:

$$R_i = \frac{2 * R_{ih} + R_{iu}}{3}$$

Donde R_{ih} es la recaudación histórica promedio del equipo i , y R_{iu} corresponde a la recaudación del equipo i en el último torneo.

Objetivos simultáneos

Es posible también lograr obtener fixtures que contemplen más de un objetivo simultáneamente. De esta forma se estará buscando satisfacer más de una necesidad o beneficio para el mismo campeonato. Para el análisis se resolverán fixtures para todas las combinaciones posibles entre los objetivos anteriores.

Cuando uno de los objetivos incluye al de minimizar los breaks, se le invertirá el signo para así pasar a ser un funcional de maximización.

III.1.1.4 - Comparación entre la programación real y el modelo propuesto

Una vez expuesta y explicadas todas las restricciones que logran que del modelo resulte un fixture mucho mejor programado, teniendo en cuenta diferentes factores que la programación actual no contempla, resulta importante realizar una comparación entre ambos. La *Tabla 3.1* resume las principales características de cada uno de ellos.

RESTRICCIÓN	AFA	Modelo
Todos contra todos enfrentándose exactamente una vez entre cada uno de ellos	✓	✓
Cada equipo jugará 9 fechas de local y 10 fechas de visitante, o viceversa	✓	✓
No pueden haber dos partidos consecutivos de local o visitante para cualquier equipo en las primeras dos y en las últimas dos fechas del torneo	✓	✓
Los equipos pueden jugar a lo sumo dos partidos de local en forma consecutiva (Quiebre)	✓	✓
Los equipos pueden jugar a lo sumo dos partidos de visitante en forma consecutiva (Quiebre)	✓	✓
Los equipos no pueden jugar más de una vez dos veces seguidas de visitante (Break de visitante) a lo largo de todo el torneo	✓	✓
En 5 partidos consecutivos no pueden haber 2 breaks de local	✓	✓
Los partidos denominados "clásicos" se deben jugar entre las fechas 8 y 17	✗	✓
Dos encuentros denominados clásicos no pueden jugarse en la misma fecha	✓	✓
Los partidos entre los equipos denominados "grandes" deben jugarse de tal forma que cada equipo "grande" enfrente a los restantes grandes en dos oportunidades de local y los dos restantes de visitante	✗	✓
Cada equipo denominado "no grande" debe jugar en al menos 2 oportunidades de local contra uno "grande"	✗	✓
Un equipo "no grande" no puede jugar en 3 fechas consecutivas contra un "equipo grande"	✓	✓
Un equipo "no fuerte" no puede jugar 3 fechas consecutivas contra equipos "fuertes"	✓	✓
Los equipos denominados cruzados entre si deben jugar sus encuentros de forma tal que en cada fecha si uno juega de local su cruzado debe jugar de visitante	✓	✓
En tres fechas consecutivas un equipo de la ciudad de Buenos Aires no puede jugar dos veces de visitante frente a equipos del interior	✗	✓
En cada fecha no pueden disputarse más de 6 partidos en la ciudad de Buenos Aires	✗	✓
Objetivo: Minimizar Quiebres	✓	✓
Objetivo: Distribución de encuentros de alto interes hacia el final del torneo	✗	✓
Objetivo: Maximización de la recaudación	✗	✓
Objetivo: Planes de emergencia	✗	✓
Objetivo: Disminución de la violencia en viajes hacia los estadios	✗	✓
Objetivos personalizables	✗	✓
Objetivos múltiples	✗	✓

Tabla 3.1 - Comparación entre fixture AFA y fixture Modelo matemático

Se puede ver claramente que el modelo propuesto posee un nivel de detalle muy superior al actual, contemplando restricciones sumamente importantes para el desarrollo de un fixture atractivo para los equipos, la AFA, espectadores y patrocinadores y medios de transmisión.

III.2 - RESULTADOS EXPERIMENTALES

El modelo fue desarrollado en dos lenguajes de programación diferentes e independientes mediante el uso del software LINGO 9.0 y el AIMMS 3.0, y los solvers

LINDO y el CPLEX 10.0 respectivamente, ambos considerados muy poderosos y eficientes en la resolución de modelos de gran cantidad de variables y restricciones.

La programación del fixture de un torneo round robin es un problema de factibilidad, es decir, para comprobar su validez es necesario comprobar que ninguna restricción se contradice con otra, dando lugar a una solución posible o factible. Ambos softwares utilizados realizan un análisis de prefactibilidad que garantiza que el modelo es válido. En los dos casos el método de resolución utilizado fue el de Branch and Bound.

A pesar de utilizar dos de los softwares más veloces y recomendables, los tiempos requeridos para encontrar una solución al problema fueron muy largos. La computadora utilizada fue una Athlon XP 2400 con 512MB de memoria RAM. Para el caso del uso de AIMMS además se envió el modelo al laboratorio Paragon Decision Technology en Estados Unidos donde analistas especializados buscaron agilizar el modelo. Aún así, se requirieron en varias oportunidades hasta casi una semana para encontrar una solución.

La gran cantidad de corridas necesarias para poder optimizar el modelo y adaptarlo a los objetivos buscados, multiplicado por el tiempo que implica cada una de ellas, obligaron a disminuir la gran cantidad de variables. Para ello, nos limitamos a correr únicamente el análisis de prefactibilidad para 20 equipos, y encontrar una solución real para un torneo donde la cantidad de equipos se limita a 10, adaptando todas las restricciones a ello.

A continuación se detallan los datos utilizados para la resolución y la modificación de aquellas restricciones que necesiten ser adaptadas debido a la disminución de equipos.

Equipo	Grande	Fuerte	Débil	Interior
Belgrano (Cba)			x	x
Boca	x	x		
Estudiantes		x		
Godoy Cruz			x	x
Independiente	x			
Newell's				x
Nueva Chicago			x	
River	x	x		
Rosario Central				x
Velez				
Total	3	3	3	4

Clásicos			
River	vs	Boca	
Rosario Central	vs	Newell's	
Independiente	vs	Velez	*

Cruzados			
River	vs	Boca	
Rosario Central	vs	Newell's	

* Se consideró el encuentro entre Independiente y Velez como un clásico para añadir valor al análisis.

Tabla 3.2 – Datos utilizados en la resolución del modelo

Para el caso de las restricciones, las modificaciones con respecto al modelo que contempla la totalidad de los equipos se muestran a continuación en la *Tabla 3.3*.

Restricción	Torneo AFA	Modelo Prueba
Total Equipos	20	10
Equipos Grandes	5	3
Equipos Fuertes	5	3
Equipos Débiles	5	3
Equipos del Interior	6	4
Cantidad de partidos de local/visitante por equipo	9/10	5/4
Los partidos denominados "clásicos" se deben jugar entre las fechas	8 y 17	5 y 7
Cantidad de partidos clasicos	5	3
Cantidad de veces que un equipo "grande" debe jugar de local frente a otro "grande"	2	1
Cantidad mínima de veces que un equipo "no grande" debe jugar de local frente a otro "grande"	2	1
Cantidad máxima de partidos que pueden disputarse en la ciudad de Buenos Aires por fecha	7	3

Tabla 3.3 – Adaptación de modelo AFA a modelo de Prueba

A partir de estos datos ponemos ver que el modelo de prueba tiene una proporción de restricciones por equipo mayor que el original. Por ejemplo, hay un total de 5 equipos fuertes entre 20 equipos para el Torneo AFA (25% de los equipos) y en el modelo de prueba hay 3 fuertes entre 10 equipos, es decir, un 33% de los equipos son fuertes. Esto se repite para todas las restricciones, provocando que el modelo de prueba sea más complejo que el original pero al tener menos cantidad de variables los tiempos de resolución son manejables.

III.2.1 - Rangos de calificación

Antes de poder determinar si un fixture obtenido es aceptable o no para el torneo, es necesario establecer las pautas de análisis.

La *Tabla 3.4* resume los valores óptimos para cada objetivo y los rangos para cada calificación.³³

Objetivo	Valor Óptimo	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo
Breaks	8	[9 - 10]	11	12	>12
Partidos hacia el final	46	[44 - 45]	[40 - 43]	[35 - 39]	<35
Recaudación	406568	[403068- 406567]	[400568- 403067]	[398068 - 400568]	<398068

Tabla 3.4 - Rangos de calificación

³³ Los valores objetivos son determinados automáticamente por ambos softwares utilizados según las restricciones establecidas anteriormente y luego de realizar la prueba de factibilidad.

Como se dijo anteriormente, la cantidad mínima de breaks es de $N-2$ equipos participantes en el torneo, para este caso 8 breaks. Se admite que una solución sea muy buena aún hasta cuando presenta 10 breaks ya que sería el caso para el cual cada uno de los equipos posee exactamente un quiebre, lo que no favorecería y desfavorecería a ninguno de ellos. Es importante aclarar que este último caso es válido únicamente para el caso en el cual cada equipo tiene como máximo un break.

Para el caso de la búsqueda de llevar a cabo los partidos atractivos hacia el final del torneo los rangos están establecidos de forma tal que un fixture según su calificación tendrá distribuidos sus encuentros de alto interés aproximadamente en las siguientes zonas.

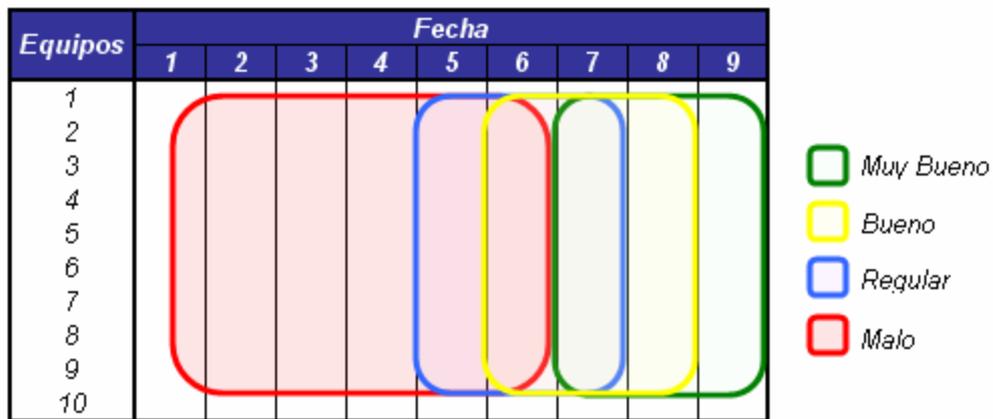


Figura 3.2 – Calificación de la distribución de encuentros atractivos

En cuanto a la recaudación, se estableció que los rangos están determinados de tal forma que por cada porcentual que disminuye del óptimo, la calificación baja un rango.

III.2.2 - Resultados Obtenidos

En total se resolvieron 8 fixtures correspondientes a diferentes objetivos (Tabla 3.5). Estos se resumen la siguiente tabla junto con los resultados obtenidos luego de correr el modelo en ambos softwares. Ambos resultados, el encontrado por LINGO y por el AIMMS son válidos, sin embargo se tendrán en cuenta únicamente los de LINGO ya que los tiempos de resolución fueron considerablemente menores en todos los casos.

Debido a la importancia que tiene la necesidad de disminuir la violencia entre hinchadas se tomo la decisión de que en todos los casos los posibles cruces entre hinchadas, que se analizaron anteriormente, son evitados.

Objetivo 1	Solo Restricciones
Objetivo 2	Minimizar Breaks
Objetivo 3	Maximizar partidos interesantes hacia el final del torneo
Objetivo 4	Maximizar total de entradas vendidas en el torneo

Fixture	Objetivos Apertura				Objetivos Clausura			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	✓				✓			
2		✓					✓	
3			✓					✓
4				✓	✓			
5		✓		✓	✓	✓		
6		✓	✓		✓			✓
7			✓	✓			✓	✓
8		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 3.5 - Objetivos según fixture

Los resultados para el torneo *Apertura* en cada caso muestran que el modelo resuelve gran eficiencia los requerimientos de un fixture óptimo. Salvo en el último caso, en el cual los resultados fueron muy buenos, en los restantes siete casos se obtuvo un fixture de calificación óptima, es decir, un fixture perfecto según los objetivos y requerimientos establecidos. La siguiente tabla muestra en más detalle cada uno de ellos.³⁴

Torneo Apertura

Objetivo	Valor Óptimo	Valor Modelo							
		Fix.1	Fix.2	Fix.3	Fix.4	Fix.5	Fix.6	Fix.7	Fix.8
Breaks	8	12	8	15	12	8	8	15	8
Partidos hacia el final	46	35	36	46	31	22	46	46	44
Recaudación	406568	395386	397366	401156	406568	406568	399873	406568	406568
Cruces entre Hinchadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Calificación Fixture	Óptimo	Muy Bueno							
----------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-----------

Tiempo de Resolución	LINGO	AIMMS
	0:04:13	0:13:24
	3:18:35	6:04:09
	0:06:46	0:15:34
	0:17:33	0:41:21
	1:24:16	2:56:26
	1:36:21	2:33:19
	1:31:43	3:54:49
	15:24:54	23:12:01

Tabla 2.6 – Resultados de los fixtures obtenidos por el modelo para el torneo Apertura

Como ejemplo de análisis, a continuación se muestra el fixture 8 que resume el fixture más complejo a resolver, teniendo en cuenta todo tipo de objetivos y requerimientos simultáneos.

³⁴ En azul se marcaron cuales son los objetivos que se tuvieron en cuenta en la resolución de cada caso.

Fixture 8 – Torneo Apertura

- Objetivos:** Maximizar partidos interesantes hacia el final del torneo
 Maximizar total de entradas vendidas en el torneo
 Minimizar Quiebres

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	-Independiente	Chicago	Belgrano	-Newells	Godoy Cruz	-Velez	Boca	-R. Central	Estudiantes
Boca	Godoy Cruz	-Velez	-Chicago	R. Central	-Estudiantes	Independiente	-River	Belgrano	-Newells
Independiente	River	-Godoy Cruz	Newells	-Belgrano	Velez	-Boca	Chicago	-Estudiantes	R. Central
Velez	-R. Central	Boca	-Estudiantes	Chicago	-Independiente	River	-Belgrano	Newells	-Godoy Cruz
R. Central	Velez	-Belgrano	Godoy Cruz	-Boca	Chicago	Newells	-Estudiantes	River	-Independiente
Newells	-Chicago	Estudiantes	-Independiente	River	-Belgrano	-R. Central	Godoy Cruz	-Velez	Boca
Estudiantes	Belgrano	-Newells	Velez	-Godoy Cruz	Boca	-Chicago	R. Central	Independiente	-River
Belgrano	-Estudiantes	R. Central	-River	Independiente	Newells	-Godoy Cruz	Velez	-Boca	Chicago
Chicago	Newells	-River	Boca	-Velez	-R. Central	Estudiantes	-Independiente	Godoy Cruz	-Belgrano
Godoy Cruz	-Boca	Independiente	-R. Central	Estudiantes	-River	Belgrano	-Newells	-Chicago	Velez

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	8
Partidos hacia el final	44
Recaudación	406568
Cruces entre Hinchadas	0

Calificación Fixture	Muy Bueno
-----------------------------	------------------

- Quiebre
- Partido Atractivo
- Partido Atractivo y Quiebre

Tiempo de Resolución LINGO 15:24:54
 AIMMS 23:12:01

Observando la distribución de los encuentros se concluye que efectivamente se ha logrado que los encuentros interesantes se disputen en una franja muy atractiva del torneo. A simple vista pareciera que existen encuentros interesantes fuera de la zona óptima. Sin embargo esto se debe a que las restricciones impuestas no permiten que estos encuentros se disputen en fechas finales del torneo. Un ejemplo claro es el del encuentro entre River y Boca que poseen la restricción de partido clásico (*debe disputarse entre la fecha 5 y la 7*). De esta forma, la distribución lograda es en este caso Muy Buena.

La recaudación fue la máxima posible teniendo en cuenta las estadísticas y cálculos realizados en capítulos anteriores, y los quiebres fueron mínimos, logrando 8. Como se predijo durante el capítulo de análisis de la problemática del fixture del fútbol argentino, efectivamente variando los equipos que no poseen quiebres (Independiente y Vélez en este caso) se obtiene un mejor fixture.

Es importante aclarar que la ejecución del modelo matemático para este caso fue detenida intencionalmente luego de 15hs 24min 54seg con dichos resultados como mejor solución factible hasta ese momento, calificado como Muy Bueno. Es posible que a costa de tiempo extra se encuentre la solución óptima, la cual definitivamente no será casi diferente a la actual encontrada.

Una vez definido el fixture para el torneo Apertura, quedarán definidos los signos de los encuentros (quien juega de local) durante el Clausura. Para ello, los signos son invertidos para lograr que el que jugó de local determinado encuentro en el Apertura, lo realice de visitante durante el Clausura.

Torneo Clausura

Objetivo	Valor Modelo							
	Fix.1	Fix.2	Fix.3	Fix.4	Fix.5	Fix.6	Fix.7	Fix.8
Breaks	10	14	14	12	12	8	12	8
Partidos hacia el final	26	45	31	26	33	46	34	44
Recaudación	401931	404588	400571	395386	395386	402081	395386	395386
Cruces entre Hinchadas	0	0	0	0	0	0	0	0

Calificación Fixture		Óptimo							
Tiempo de Resolución	LINGO	0:00:36	2:14:12	0:32:58	0:34:12	1:46:34	0:19:21	0:52:17	11:12:47
	A/MMS	0:02:15	3:28:46	0:54:19	0:39:58	2:59:37	0:33:19	1:28:51	18:06:53

Tabla 3.7 – Resultados de los fixtures obtenidos por el modelo para el torneo Clausura

Los resultados obtenidos fueron todos óptimos a pesar de no alcanzar los mismos valores óptimos considerados para el torneo Apertura. Esto se debe a que al tener los equipos que jugarán de local en cada encuentro predefinidos, el modelo debe ajustarse de manera tal que los óptimos varían según el fixture Apertura considerado. Se recuerda nuevamente que estos valores óptimos son calculados automáticamente por los softwares teniendo en cuenta todos estos factores junto con las restricciones y objetivos para cada caso.

Fixture 8 – Torneo Clausura

- Objetivos:** Maximizar partidos interesantes hacia el final del torneo
 Maximizar total de entradas vendidas en el torneo
 Minimizar Quiebres

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	Independiente	-Chicago	-Belgrano	Newells	-Godoy Cruz	Velez	-Boca	R. Central	-Estudiantes
Boca	-Godoy Cruz	Velez	Chicago	-R. Central	Estudiantes	-Independiente	River	-Belgrano	Newells
Independiente	-River	Godoy Cruz	-Newells	Belgrano	-Velez	Boca	-Chicago	Estudiantes	-R. Central
Velez	R. Central	-Boca	Estudiantes	-Chicago	Independiente	-River	Belgrano	-Newells	Godoy Cruz
R. Central	-Velez	Belgrano	-Godoy Cruz	Boca	-Chicago	-Newells	Estudiantes	-River	Independiente
Newells	Chicago	-Estudiantes	Independiente	-River	Belgrano	R. Central	-Godoy Cruz	Velez	-Boca
Estudiantes	-Belgrano	Newells	-Velez	Godoy Cruz	-Boca	Chicago	-R. Central	-Independiente	River
Belgrano	Estudiantes	-R. Central	River	-Independiente	-Newells	Godoy Cruz	-Velez	Boca	-Chicago
Chicago	-Newells	River	-Boca	Velez	R. Central	-Estudiantes	Independiente	-Godoy Cruz	Belgrano
Godoy Cruz	Boca	-Independiente	R. Central	-Estudiantes	River	-Belgrano	Newells	Chicago	-Velez

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	8
Partidos hacia el final	44
Recaudación	395386
Cruces entre Hinchadas	0

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

- Quiebre
- Partido Atractivo
- Partido Atractivo y Quiebre

Tiempo de Resolución LINGO 11:12:47
 AIMMS 18:06:53

Al igual que para el fixture Apertura, y teniendo en cuenta las mismas consideraciones explicadas anteriormente, se ha logrado una distribución de los encuentros interesantes se disputen a lo largo de una franja óptima del torneo. De esta forma, la distribución lograda de los encuentros en este caso es excelente.

La recaudación fue la máxima posible teniendo en cuenta las estadísticas y cálculos realizados en capítulos anteriores, y los quiebres fueron mínimos, logrando 8.

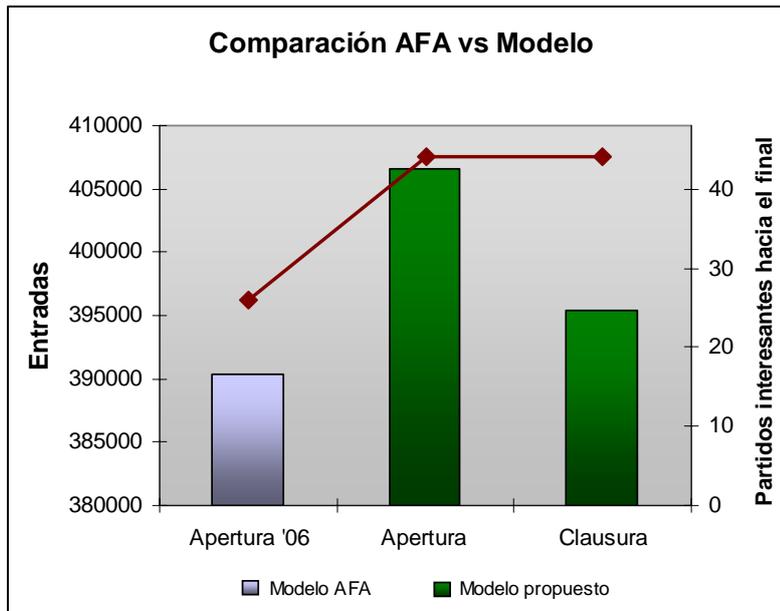


Gráfico 3.1 – Comparación resultados modelo AFA y modelo propuesto

El Gráfico 3.1 es resumen de la comparación de los resultados numéricos obtenidos entre los datos reales del torneo Apertura '06 y los obtenidos por el modelo propuesto. Se puede ver que efectivamente el modelo propuesto da como resultado fixtures mucho más atractivos y beneficiosos que el modelo propuesto actualmente por la AFA, tanto para el torneo Apertura como para el Clausura.

De esta forma llegamos a la conclusión que el modelo desarrollado constituye una herramienta muy útil que permite optimizar el fixture de un torneo de fútbol según diferentes restricciones y objetivos.

En el Anexo I se pueden encontrar los fixtures completos para cada uno de los casos.

CAPÍTULO IV – CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

IV.1 - CONCLUSIONES

La meta de esta tesis fue encontrar un modelo matemático al problema de la asignación de los encuentros en un torneo Round Robin de fútbol. El modelo debe ser lo suficientemente poderoso para ser implementado en un software que correrá durante un período de tiempo manejable en cualquier computadora personal disponible y actualizada. La investigación presentada es bajada a la realidad utilizando una gran cantidad de restricciones que surgen de los requerimientos del torneo de fútbol de primera división argentina. Esta necesidad enfoca la tesis a encontrar buenos fixtures rápidamente, con valores óptimos o casi óptimos. Es importante recordar que la ponderación de los valores de las restricciones y los objetivos son valores subjetivos, por lo que pueden variar según quien lo requiera. No obstante uno de los fuertes del modelo logrado es la alta flexibilidad que permite adaptar e integrar las diferentes necesidades particulares con gran facilidad.

Una codificación especial fue diseñada que permitió reducir el espacio de búsqueda y acelerar los tiempos de trabajo. Sin embargo, a pesar de esta considerable reducción los tiempos requeridos para la resolución mediante el método de Branch and Bound para 20 equipos fueron muy grandes.

Al ser el problema de asignación de encuentros en un torneo deportivo un problema de factibilidad, una vez diseñado el código matemático esta investigación se limitó únicamente a comprobar dicha factibilidad y así garantizar que es un modelo válido. Luego de ser validado mediante el uso de dos softwares diferentes (LINGO 9.0 y AIMMS 3.1), la cantidad de equipos analizados fue disminuida a 10 para manejar tiempos que permitan obtener fixtures rápidamente y así poder analizarlos.

Los resultados obtenidos de los nuevos fixtures para los diferentes objetivos (y combinaciones de objetivos) mostraron una gran capacidad del modelo para resolver este tipo de problemas. Los valores logrados fueron excelentes y la calidad de los fixtures obtenidos fue mucho más alta que la del fixture actual propuesto por la AFA.

Más aún, el modelo es adaptable a prácticamente cualquier tipo de restricción con simples modificaciones, y los parámetros, valores y datos pueden ser especificados a gusto permitiendo lograr un fixture totalmente personalizado.

Esta tesis no afirma que el algoritmo encontrado es el más eficiente existe hoy en día. De hecho, existen muchos otros trabajos de investigación con diferentes métodos de solución que pueden resultar muy eficientes también. Sin embargo, se puede suponer

que se ha presentado suficiente evidencia para mostrar que investigaciones futuras y mejoras sobre este algoritmo son recomendadas.

Este tipo de problemas de la vida real tienen el problema de que las peticiones y requerimientos de quien provee los datos por lo general aumentan a medida que se acerca la fecha de comienzo del torneo. Es prácticamente imposible que la AFA pueda predecir de manera muy anticipada cuales son las restricciones que van a ser necesarias para la próxima temporada. Entonces, en la práctica los datos no son completos sino hasta cerca del inicio de la temporada en cuestión. El modelo y la técnica utilizada en este problema hace posible implementar de manera muy simple estas nuevas restricciones y encontrar una nueva solución que optimiza la extensión del problema.

Con este modelo en funcionamiento, se provee a los administradores del torneo de fútbol argentino de una herramienta capaz de generar y optimizar torneos de alta calidad.

IV.2 - TRABAJOS FUTUROS

Existe una cantidad interesante de posibles extensiones para este problema. Una pregunta que surge a partir de esta investigación involucra al esfuerzo computacional en cada etapa de la resolución del algoritmo. ¿Puede nuestro modelo de programación entera ser reemplazado total o parcialmente por algún algoritmo más eficiente?

Se abren nuevas perspectivas y desafíos algorítmicos en relación a este problema. Puede ser posible mejorar la velocidad del modelo y aplicarlo a ligas con alta cantidad de participantes utilizando métodos más agresivos de corte en las asignaciones o fixtures no factibles. Métodos de aproximación heurística pueden llevar a fixtures adecuados.

Además, se debe notar que la mayoría de las restricciones usadas para la asignación de los encuentros fueron tratadas meramente como restricciones cuando hay muchas posibilidades de utilizar coeficientes de costos. Se puede llegar a tener una evaluación más rica que asigna un costo de ruptura a cada patrón y luego minimiza el costo total del conjunto de patrones que conforma el fixture. Esta flexibilidad es particularmente valorable en problemas donde existen muchos fixtures factibles.

Uno de los posibles intentos pasa por intensificar un enfoque de Programación por restricciones (PR) en paralelo al enfoque de Programación Entera, dado que la PR ha demostrado ser de suma utilidad en problemas de estas características a fin de encontrar rápidamente buenas soluciones factibles. También con esta misma idea se puede trabajar desde el campo de la meta-heurística dada su rapidez en términos computacionales.

Futuros desarrollos pueden considerar el algoritmo desarrollado en esta investigación como una buena fuente para aplicar en diferentes ámbitos. La flexibilidad del lenguaje con el que fue escrito el código matemático puede permitir aplicarlo a diferentes ligas deportivas, ya sea de fútbol en otros países u otras divisiones como también a otros deportes como rugby, tenis y hockey. Más aún puede servir como fuente para aplicaciones laborales, como por ejemplo la asignación de equipos de trabajo o cronogramas de actividades y distribución de recursos en producción, distribución y hasta en instituciones educativas donde recursos como el tiempo, profesores, aulas y materiales de trabajo son críticos y limitados.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- ❖ “*Investigación de Operaciones: Aplicaciones y Algoritmos*” - Wayne L. Winston (Thomson International - Mar 2006).
- ❖ “*Técnicas de investigación operativa*” - Tejera del Pozo, Pablo Fernández Martínez, Luis García Cabañes, Javier (Editorial Paraninfo, 1989).
- ❖ “*Investigación de operaciones*” – Hillier, Lieberman (McGraw Hill, Séptima edición, 2002)

INFORMACIÓN GENERAL, INVESTIGACIONES E INFORMES TEÓRICOS

- ❖ “*Michael Trick's Guide to Sports Scheduling*” - Michael Trick, <http://www.mat.gsia.cmu.edu/sports>
- ❖ “*Scheduling in sports*” - D. de Werra, P. Hansen, Elsevier Science (1981).
- ❖ “*The travelling tournament problem: description and benchmarks*” - K. Easton, G. Nemhauser and M. Trick (In Proceedings of the 7th. International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming, Paphos, 2001)
- ❖ “*A branch and bound algorithm for the robust spanning tree problem with interval data*” - R. Montemanni, L.M. Gambardella (Mar 16, 2005)
- ❖ “*Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*” - Christos H. Papadimitriou, Kenneth Steiglitz (Ene 29, 1998)
- ❖ “*Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems (2nd Edition)*” - Michael Pinedo (Ago 8, 2001)
- ❖ “*Asociación del Fútbol Argentino*” – <http://www.afa.org.ar>
- ❖ “*La página de estadística y fútbol – Universo Fútbol*” – <http://www.universofutbol.com.ar/pria.htm>

- ❖ “*Estadísticas de fútbol*” – <http://www.estadisticadefutbol.com.ar/>
- ❖ “*Historia del Fútbol Argentino*” – <http://www.futbolargentino.com.ar/historia/historia.html>
- ❖ “*Universo Fútbol – Fútbol Argentino*” – <http://www.universofutbol.com>
- ❖ “*Informe Especial: Violencia en el fútbol*” - <http://www.clarin.com/diario/especiales/violenciaenelfutbol/sumario.html> (14/05/2000)
- ❖ “*BarraBravas - El Lugar justo para los inadaptados de siempre*” – <http://www.barra-bravas.com.ar>
- ❖ “*Qué lugar ocupa cada una de las barras bravas*” - <http://www.clarin.com/diario/2006/09/05/deportes/d-04401.htm> (05/09/2006)
- ❖ “*Using Sports Scheduling to Teach Integer Programming*” - Michael A. Trick (2004)
- ❖ “*Scheduling a Major College Basketball Conference - Revisited*” - Martin Henz (Operations Research, Feb 2001)
- ❖ “*Venta de Entradas 2006*” – Departamento de Valores, Asociación de fútbol argentino (Dic 2006)
- ❖ “*Estadísticas - Venta de Entradas*” – Departamento de valores, Asociación de fútbol argentino (Jul 2004)
- ❖ “*Estudio sobre adhesiones a equipos de fútbol – Total País Marzo 2006*” – Equis investigación social (Mar 2006)

DESARROLLOS PREVIOS

- ❖ “*An evolutionary tabu-search algorithm and the NHL scheduling problem*” - D. Costa (1995).
- ❖ “*Interactive game scheduling with genetic algorithms*” - Jason Leonard, B.Eng. (1998)

- ❖ “*Scheduling a major college basketball conference-revisited*” - M. Henz (Operations Research, 2001).
- ❖ “*Combinatorial aspects of construction of competition Dutch professional football leagues*” - J. A. M. Schreuder (Discrete Applied Mathematics, 1992).
- ❖ “*Global Constraints for Round Robin Tournament Scheduling*” - Martin Henz, Tobias Müller, Sven Thiel (European Journal of Operational Research, 2004).
- ❖ “*Hybrid IP/CP Methods for Solving Sports Scheduling Problems*” - Rasmus Vinther Rasmussen (September 2006)
- ❖ “*Branch-and-cut for a real-life highly constrained soccer tournament scheduling problem*” - Guillermo Duran¹, Thiago F. Noronha, Celso C. Ribeiro, Sebastian Souyris, Andrés Weintraub (2006)
- ❖ “*Scheduling the Belgian Soccer League*” - Dries Goossens and Frits C.R. Spijksma (2006)

MANUALES DE PROGRAMACIÓN UTILIZADOS EN EL MODELO

- ❖ “*Optimization Modelling with LINGO*” - Linus Schrage (Lindo Softwares, 2006)
- ❖ “*AIMMS - User's Guide*” - Johannes Bisschop, Marcel Roelofs (Paragon Decision Technology Standard Copyright License, 2006)

ANEXOS

Esta sección contiene todos los resultados obtenidos así como la información utilizada durante el desarrollo de este trabajo. Los anexos incluidos son los siguientes:

- Anexo I – Fixtures Obtenidos
- Anexo II – Cruces Peligrosos
- Anexo III – Fixture Torneo Apertura 2006 e Información general
- Anexo IV – Resultados Apertura 2006
- Anexo V – Tabla de posiciones Apertura 2006
- Anexo VI – Entradas vendidas de local y visitante en el Apertura 2006
- Anexo VII – Partidos jugados en Buenos Aires y en el Interior durante el Apertura 2006

ANEXO I - FIXTURES OBTENIDOS

A continuación se presentan los fixtures obtenidos para los diferentes objetivos planteados durante el desarrollo de la tesis.

- Objetivo 1* Solo Restricciones
- Objetivo 2* Minimizar Breaks
- Objetivo 3* Maximizar partidos interesantes hacia el final del torneo
- Objetivo 4* Maximizar total de entradas vendidas en el torneo

<i>Fixture</i>	<i>Torneo Apertura</i>				<i>Torneo Clausura</i>			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	✓				✓			
2		✓					✓	
3			✓					✓
4				✓		✓		
5		✓		✓		✓	✓	
6		✓	✓			✓		✓
7			✓	✓			✓	✓
8		✓	✓	✓		✓	✓	✓

Fixture 1 – Torneo Apertura**Objetivos: Restricciones únicamente**

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>River</i>	Estudiantes	-Independiente	R. Central	-Velez	Boca	-Belgrano	Godoy Cruz	-Newells	Chicago
<i>Boca</i>	-Belgrano	Newells	-Estudiantes	Chicago	-River	Independiente	-R. Central	Velez	-Godoy Cruz
<i>Independiente</i>	-Newells	River	-Chicago	-Godoy Cruz	Belgrano	-Boca	Velez	Estudiantes	-R. Central
<i>Velez</i>	Godoy Cruz	-R. Central	Belgrano	River	-Estudiantes	Chicago	-Independiente	-Boca	Newells
<i>R. Central</i>	-Chicago	Velez	-River	Estudiantes	Godoy Cruz	-Newells	Boca	-Belgrano	Independiente
<i>Newells</i>	Independiente	-Boca	Godoy Cruz	-Belgrano	-Chicago	R. Central	-Estudiantes	River	-Velez
<i>Estudiantes</i>	-River	Chicago	Boca	-R. Central	Velez	-Godoy Cruz	Newells	-Independiente	Belgrano
<i>Belgrano</i>	Boca	-Godoy Cruz	-Velez	Newells	-Independiente	River	-Chicago	R. Central	-Estudiantes
<i>Chicago</i>	R. Central	-Estudiantes	Independiente	-Boca	Newells	-Velez	Belgrano	Godoy Cruz	-River
<i>Godoy Cruz</i>	-Velez	Belgrano	-Newells	Independiente	-R. Central	Estudiantes	-River	-Chicago	Boca

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	10
Partidos hacia el final	26
Recaudación	400023
Cruces entre Hinchadas	0

Tiempo de Resolución*LINGO*

0:04:13

AIMMS

0:13:24

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

Fixture 1 – Torneo Clausura**Objetivos: Restricciones únicamente**

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>River</i>	-Estudiantes	Independiente	-R. Central	Velez	-Boca	Belgrano	-Godoy Cruz	Newells	-Chicago
<i>Boca</i>	Belgrano	-Newells	Estudiantes	-Chicago	River	-Independiente	R. Central	-Velez	Godoy Cruz
<i>Independiente</i>	Newells	-River	Chicago	Godoy Cruz	-Belgrano	Boca	-Velez	-Estudiantes	R. Central
<i>Velez</i>	-Godoy Cruz	R. Central	-Belgrano	-River	Estudiantes	-Chicago	Independiente	Boca	-Newells
<i>R. Central</i>	Chicago	-Velez	River	-Estudiantes	-Godoy Cruz	Newells	-Boca	Belgrano	-Independiente
<i>Newells</i>	-Independiente	Boca	-Godoy Cruz	Belgrano	Chicago	-R. Central	Estudiantes	-River	Velez
<i>Estudiantes</i>	River	-Chicago	-Boca	R. Central	-Velez	Godoy Cruz	-Newells	Independiente	-Belgrano
<i>Belgrano</i>	-Boca	Godoy Cruz	Velez	-Newells	Independiente	-River	Chicago	-R. Central	Estudiantes
<i>Chicago</i>	-R. Central	Estudiantes	-Independiente	Boca	-Newells	Velez	-Belgrano	-Godoy Cruz	River
<i>Godoy Cruz</i>	Velez	-Belgrano	Newells	-Independiente	R. Central	-Estudiantes	River	Chicago	-Boca

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	10
Partidos hacia el final	26
Recaudación	401931
Cruces entre Hinchadas	0

Tiempo de Resolución *LINGO* 0:00:36
AIMMS 0:02:15

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

Fixture 2 – Torneo Apertura

Objetivos: Minimización de Quiebres

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	-Godoy Cruz	Newells	-Chicago	Estudiantes	-Boca	Velez	-R. Central	Independiente	-Belgrano
Boca	R. Central	-Belgrano	Velez	-Godoy Cruz	River	-Independiente	Newells	-Chicago	Estudiantes
Independiente	-Newells	Chicago	-Estudiantes	Belgrano	-R. Central	Boca	-Velez	-River	Godoy Cruz
Velez	-Chicago	Godoy Cruz	-Boca	R. Central	-Belgrano	-River	Independiente	-Estudiantes	Newells
R. Central	-Boca	Estudiantes	Belgrano	-Velez	Independiente	-Newells	River	-Godoy Cruz	Chicago
Newells	Independiente	-River	-Godoy Cruz	Chicago	-Estudiantes	R. Central	-Boca	Belgrano	-Velez
Estudiantes	Belgrano	-R. Central	Independiente	-River	Newells	-Godoy Cruz	Chicago	Velez	-Boca
Belgrano	-Estudiantes	Boca	-R. Central	-Independiente	Velez	-Chicago	Godoy Cruz	-Newells	River
Chicago	Velez	-Independiente	River	-Newells	Godoy Cruz	Belgrano	-Estudiantes	Boca	-R. Central
Godoy Cruz	River	-Velez	Newells	Boca	-Chicago	Estudiantes	-Belgrano	R. Central	-Independiente

 Quiebres

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	8
Partidos hacia el final	36
Recaudación	397366
Cruces entre Hinchadas	0

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

Tiempo de Resolución

LINGO

3:18:35

AIMMS

6:04:09

Fixture 2 – Torneo Clausura

Objetivos: Maximización de partidos atractivos hacia el final del torneo

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	-Velez	Belgrano	-Independiente	Chicago	-Newells	Godoy Cruz	Boca	-Estudiantes	R. Central
Boca	Chicago	-Newells	Godoy Cruz	-R. Central	Belgrano	-Estudiantes	-River	Independiente	-Velez
Independiente	Newells	-Chicago	River	-Godoy Cruz	Velez	-Belgrano	R. Central	-Boca	Estudiantes
Velez	River	-Godoy Cruz	-Newells	Estudiantes	-Independiente	Chicago	Belgrano	-R. Central	Boca
R. Central	Godoy Cruz	-Estudiantes	-Belgrano	Boca	-Chicago	Newells	-Independiente	Velez	-River
Newells	-Independiente	Boca	Velez	-Belgrano	River	-R. Central	Estudiantes	-Chicago	Godoy Cruz
Estudiantes	-Belgrano	R. Central	-Chicago	-Velez	Godoy Cruz	Boca	-Newells	River	-Independiente
Belgrano	Estudiantes	-River	R. Central	Newells	-Boca	Independiente	-Velez	-Godoy Cruz	Chicago
Chicago	-Boca	Independiente	Estudiantes	-River	R. Central	-Velez	-Godoy Cruz	Newells	-Belgrano
Godoy Cruz	-R. Central	Velez	-Boca	Independiente	-Estudiantes	-River	Chicago	Belgrano	-Newells

 Partidos Atractivos

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	14
Partidos hacia el final	45
Recaudación	404588
Cruces entre Hinchadas	0

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

Tiempo de Resolución LINGO 2:14:12
 AIMMS 3:28:46

Fixture 3 – Torneo Apertura

Objetivos: Maximización de partidos atractivos hacia el final del torneo

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	-Godoy Cruz	Independiente	Belgrano	-Chicago	-Newells	Estudiantes	-Boca	Velez	-R. Central
Boca	R. Central	-Chicago	-Independiente	Velez	Godoy Cruz	-Belgrano	River	-Newells	Estudiantes
Independiente	Belgrano	-River	Boca	-R. Central	-Velez	Chicago	Godoy Cruz	-Estudiantes	Newells
Velez	Chicago	-R. Central	Estudiantes	-Boca	Independiente	-Godoy Cruz	Newells	-River	Belgrano
R. Central	-Boca	Velez	-Godoy Cruz	Independiente	-Belgrano	Newells	Estudiantes	-Chicago	River
Newells	Estudiantes	-Belgrano	Chicago	-Godoy Cruz	River	-R. Central	-Velez	Boca	-Independiente
Estudiantes	-Newells	Godoy Cruz	-Velez	Belgrano	Chicago	-River	-R. Central	Independiente	-Boca
Belgrano	-Independiente	Newells	-River	-Estudiantes	R. Central	Boca	-Chicago	Godoy Cruz	-Velez
Chicago	-Velez	Boca	-Newells	River	-Estudiantes	-Independiente	Belgrano	R. Central	-Godoy Cruz
Godoy Cruz	River	-Estudiantes	R. Central	Newells	-Boca	Velez	Independiente	-Belgrano	Chicago

 Partidos Atractivos

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	16
Partidos hacia el final	46
Recaudación	401383
Cruces entre Hinchadas	0

Tiempo de Resolución

LINGO

0:06:46

A/MMS

0:15:34

Calificación Fixture	Óptimo
----------------------	--------

Fixture 3 – Torneo Clausura

Objetivos: Maximización total de entradas vendidas en el torneo

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	R. Central	-Velez	Godoy Cruz	-Independiente	Boca	Newells	-Belgrano	-Estudiantes	Chicago
Boca	-Godoy Cruz	Belgrano	-R. Central	Chicago	-River	-Estudiantes	Independiente	Newells	-Velez
Independiente	-Newells	Estudiantes	-Chicago	River	-Belgrano	Velez	-Boca	-Godoy Cruz	R. Central
Velez	-Estudiantes	River	-Belgrano	R. Central	-Newells	-Independiente	Godoy Cruz	-Chicago	Boca
R. Central	-River	Godoy Cruz	Boca	-Velez	-Estudiantes	Chicago	-Newells	Belgrano	-Independiente
Newells	Independiente	-Chicago	-Estudiantes	Belgrano	Velez	-River	R. Central	-Boca	Godoy Cruz
Estudiantes	Velez	-Independiente	Newells	-Godoy Cruz	R. Central	Boca	-Chicago	River	-Belgrano
Belgrano	Chicago	-Boca	Velez	-Newells	Independiente	-Godoy Cruz	River	-R. Central	Estudiantes
Chicago	-Belgrano	Newells	Independiente	-Boca	Godoy Cruz	-R. Central	Estudiantes	Velez	-River
Godoy Cruz	Boca	-R. Central	-River	Estudiantes	-Chicago	Belgrano	-Velez	Independiente	-Newells

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	14
Partidos hacia el final	31
Recaudación	400571
Cruces entre Hinchadas	0

Tiempo de Resolución

LINGO	0:32:58
AIMMS	0:54:19

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

Fixture 4 – Torneo Apertura**Objetivos: Maximización total de entradas vendidas en el torneo**

Equipo	Fechas								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>River</i>	Velez	-Godoy Cruz	R. Central	-Chicago	Boca	Newells	-Belgrano	Estudiantes	-Independiente
<i>Boca</i>	-Belgrano	Estudiantes	-Newells	Independiente	-River	-R. Central	Godoy Cruz	-Velez	Chicago
<i>Independiente</i>	Godoy Cruz	-R. Central	Belgrano	-Boca	Chicago	Velez	-Estudiantes	-Newells	River
<i>Velez</i>	-River	Newells	Godoy Cruz	-R. Central	Estudiantes	-Independiente	-Chicago	Boca	-Belgrano
<i>R. Central</i>	-Estudiantes	Independiente	-River	Velez	-Belgrano	Boca	Newells	-Chicago	Godoy Cruz
<i>Newells</i>	Chicago	-Velez	Boca	-Belgrano	Godoy Cruz	-River	-R. Central	Independiente	-Estudiantes
<i>Estudiantes</i>	R. Central	-Boca	Chicago	-Godoy Cruz	-Velez	Belgrano	Independiente	-River	Newells
<i>Belgrano</i>	Boca	-Chicago	-Independiente	Newells	R. Central	-Estudiantes	River	-Godoy Cruz	Velez
<i>Chicago</i>	-Newells	Belgrano	-Estudiantes	River	-Independiente	-Godoy Cruz	Velez	R. Central	-Boca
<i>Godoy Cruz</i>	-Independiente	River	-Velez	Estudiantes	-Newells	Chicago	-Boca	Belgrano	-R. Central

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	12
Partidos hacia el final	31
Recaudación	406568
Cruces entre Hinchadas	0

Tiempo de Resolución

LINGO	0:17:33
AIMMS	0:41:21

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

Fixture 4 – Torneo Clausura

Objetivos: Minimización de Quiebres

Equipo	Fechas								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	Belgrano	-Estudiantes	-Newells	Godoy Cruz	-Boca	Independiente	-R. Central	Chicago	-Velez
Boca	-Godoy Cruz	Velez	R. Central	-Estudiantes	River	-Chicago	Belgrano	-Independiente	Newells
Independiente	-Chicago	Newells	-Godoy Cruz	R. Central	Estudiantes	-River	-Velez	Boca	-Belgrano
Velez	R. Central	-Boca	Belgrano	-Newells	Chicago	-Godoy Cruz	Independiente	-Estudiantes	River
R. Central	-Velez	Chicago	-Boca	-Independiente	Belgrano	-Newells	River	-Godoy Cruz	Estudiantes
Newells	Estudiantes	-Independiente	River	Velez	-Godoy Cruz	R. Central	-Chicago	Belgrano	-Boca
Estudiantes	-Newells	River	-Chicago	Boca	-Independiente	-Belgrano	Godoy Cruz	Velez	-R. Central
Belgrano	-River	Godoy Cruz	-Velez	Chicago	-R. Central	Estudiantes	-Boca	-Newells	Independiente
Chicago	Independiente	-R. Central	Estudiantes	-Belgrano	-Velez	Boca	Newells	-River	Godoy Cruz
Godoy Cruz	Boca	-Belgrano	Independiente	-River	Newells	Velez	-Estudiantes	R. Central	-Chicago

 Quiebres

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	12
Partidos hacia el final	26
Recaudación	395386
Cruces entre Hinchadas	0

Tiempo de Resolución LINGO 0:34:12
 AIMMS 0:39:58

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

Fixture 5 – Torneo Apertura**Objetivos: Minimización de Breaks****Maximización total de entradas vendidas en el torneo**

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	Newells	-Estudiantes	Velez	Independiente	-Chicago	R. Central	-Boca	Belgrano	-Godoy Cruz
Boca	-Chicago	R. Central	-Belgrano	-Newells	Estudiantes	-Godoy Cruz	River	-Independiente	Velez
Independiente	Estudiantes	-Belgrano	Newells	-River	Godoy Cruz	-Velez	Chicago	Boca	-R. Central
Velez	Godoy Cruz	-Newells	-River	Chicago	-Belgrano	Independiente	-R. Central	Estudiantes	-Boca
R. Central	Belgrano	-Boca	Godoy Cruz	-Estudiantes	Newells	-River	Velez	-Chicago	Independiente
Newells	-River	Velez	-Independiente	Boca	-R. Central	Chicago	-Belgrano	Godoy Cruz	-Estudiantes
Estudiantes	-Independiente	River	-Chicago	R. Central	-Boca	Belgrano	Godoy Cruz	-Velez	Newells
Belgrano	-R. Central	Independiente	Boca	-Godoy Cruz	Velez	-Estudiantes	Newells	-River	Chicago
Chicago	Boca	-Godoy Cruz	Estudiantes	-Velez	River	-Newells	Independiente	R. Central	-Belgrano
Godoy Cruz	-Velez	Chicago	-R. Central	Belgrano	-Independiente	Boca	-Estudiantes	-Newells	River

 *Quiebras*

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	8
Partidos hacia el final	29
Recaudación	406568
Cruces entre Hinchadas	0

Tiempo de Resolución

LINGO

1:24:16

AIMMS

2:56:26

Calificación Fixture	Óptimo
----------------------	--------

Fixture 5 – Torneo Clausura

Objetivos: Minimización de Breaks

Maximización de partidos atractivos hacia el final del torneo

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	-Velez	Estudiantes	-Newells	-Independiente	Chicago	-R. Central	Boca	-Belgrano	Godoy Cruz
Boca	Godoy Cruz	-R. Central	Belgrano	Chicago	-Estudiantes	Newells	-River	Independiente	-Velez
Independiente	-Newells	Belgrano	-Estudiantes	River	-Godoy Cruz	Velez	-Chicago	-Boca	R. Central
Velez	River	-Godoy Cruz	-Chicago	Newells	Belgrano	-Independiente	R. Central	-Estudiantes	Boca
R. Central	-Belgrano	Boca	-Godoy Cruz	Estudiantes	-Newells	River	-Velez	Chicago	-Independiente
Newells	Independiente	-Chicago	River	-Velez	R. Central	-Boca	Belgrano	-Godoy Cruz	Estudiantes
Estudiantes	Chicago	-River	Independiente	-R. Central	Boca	-Belgrano	-Godoy Cruz	Velez	-Newells
Belgrano	R. Central	-Independiente	-Boca	Godoy Cruz	-Velez	Estudiantes	-Newells	River	-Chicago
Chicago	-Estudiantes	Newells	Velez	-Boca	-River	Godoy Cruz	Independiente	-R. Central	Belgrano
Godoy Cruz	-Boca	Velez	R. Central	-Belgrano	Independiente	-Chicago	Estudiantes	Newells	-River

Quiebre
 Partido Atractivo

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	12
Partidos hacia el final	33
Recaudación	395386
Cruces entre Hinchadas	0

Tiempo de Resolución LINGO 1:46:34
 AIMMS 2:59:37

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

Fixture 6 – Torneo Apertura

Objetivos: Minimización de Breaks

Maximización de partidos atractivos hacia el final del torneo

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	R. Central	-Belgrano	Independiente	Godoy Cruz	-Chicago	Boca	-Newells	Velez	-Estudiantes
Boca	-Chicago	Newells	Belgrano	-R. Central	Velez	-River	Estudiantes	-Godoy Cruz	Independiente
Independiente	Estudiantes	-R. Central	River	Chicago	-Godoy Cruz	Belgrano	-Velez	Newells	-Boca
Velez	-Godoy Cruz	Chicago	-Newells	Belgrano	-Boca	-Estudiantes	Independiente	-River	R. Central
R. Central	-River	Independiente	-Godoy Cruz	Boca	-Newells	Chicago	-Belgrano	Estudiantes	-Velez
Newells	Belgrano	-Boca	Velez	-Estudiantes	R. Central	-Godoy Cruz	River	-Independiente	Chicago
Estudiantes	-Independiente	Godoy Cruz	-Chicago	Newells	-Belgrano	Velez	-Boca	-R. Central	River
Belgrano	-Newells	River	-Boca	-Velez	Estudiantes	-Independiente	R. Central	-Chicago	Godoy Cruz
Chicago	Boca	-Velez	Estudiantes	-Independiente	River	-R. Central	Godoy Cruz	Belgrano	-Newells
Godoy Cruz	Velez	-Estudiantes	R. Central	-River	Independiente	Newells	-Chicago	Boca	-Belgrano

- Quiebre
- Partido Atractivo
- Partido Atractivo y Quiebre

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	8
Partidos hacia el final	46
Recaudación	399873
Cruces entre Hinchadas	0

Tiempo de Resolución

LINGO 1:36:21
AIMMS 2:33:19

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

Fixture 6 – Torneo Clausura**Objetivos: Minimización de Breaks****Maximización total de entradas vendidas en el torneo**

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	-R. Central	Belgrano	Independiente	-Godoy Cruz	Chicago	-Boca	Newells	-Velez	Estudiantes
Boca	Chicago	-Newells	-Belgrano	R. Central	-Velez	River	-Estudiantes	Godoy Cruz	-Independiente
Independiente	-Estudiantes	R. Central	-River	-Chicago	Godoy Cruz	-Belgrano	Velez	-Newells	Boca
Velez	Godoy Cruz	-Chicago	Newells	-Belgrano	Boca	Estudiantes	-Independiente	River	-R. Central
R. Central	River	-Independiente	Godoy Cruz	-Boca	Newells	-Chicago	Belgrano	-Estudiantes	Velez
Newells	-Belgrano	Boca	-Velez	Estudiantes	-R. Central	Godoy Cruz	-River	Independiente	-Chicago
Estudiantes	Independiente	-Godoy Cruz	Chicago	-Newells	Belgrano	-Velez	Boca	R. Central	-River
Belgrano	Newells	-River	Boca	Velez	-Estudiantes	Independiente	-R. Central	Chicago	-Godoy Cruz
Chicago	-Boca	Velez	-Estudiantes	Independiente	-River	R. Central	-Godoy Cruz	-Belgrano	Newells
Godoy Cruz	-Velez	Estudiantes	-R. Central	River	-Independiente	-Newells	Chicago	-Boca	Belgrano

 *Quiebre*

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	8
Partidos hacia el final	46
Recaudación	402081
Cruces entre Hinchadas	0

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

Tiempo de Resolución	LINGO	0:19:21
	AIMMS	0:33:19

Fixture 7 – Torneo Apertura

Objetivos: Maximización total de entradas vendidas en el torneo
 Maximización de partidos atractivos hacia el final del torneo

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	Godoy Cruz	-Chicago	Newells	-Belgrano	R. Central	-Boca	Velez	Independiente	-Estudiantes
Boca	-R. Central	Belgrano	-Independiente	Velez	-Godoy Cruz	River	-Estudiantes	-Newells	Chicago
Independiente	Estudiantes	-Godoy Cruz	Boca	R. Central	-Velez	Chicago	-Belgrano	-River	Newells
Velez	Chicago	-Newells	Belgrano	-Boca	Independiente	-Godoy Cruz	-River	Estudiantes	-R. Central
R. Central	Boca	-Estudiantes	Chicago	-Independiente	-River	Belgrano	Newells	-Godoy Cruz	Velez
Newells	-Belgrano	Velez	-River	Godoy Cruz	Chicago	-Estudiantes	-R. Central	Boca	-Independiente
Estudiantes	-Independiente	R. Central	Godoy Cruz	-Chicago	-Belgrano	Newells	Boca	-Velez	River
Belgrano	Newells	-Boca	-Velez	River	Estudiantes	-R. Central	Independiente	-Chicago	Godoy Cruz
Chicago	-Velez	River	-R. Central	Estudiantes	-Newells	-Independiente	Godoy Cruz	Belgrano	-Boca
Godoy Cruz	-River	Independiente	-Estudiantes	-Newells	Boca	Velez	-Chicago	R. Central	-Belgrano

 Partido Atractivo

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	15
Partidos hacia el final	46
Recaudación	406568
Cruces entre Hinchadas	0

Tiempo de Resolución LINGO 1:31:43
 AIMMS 3:54:49

Calificación Fixture **Óptimo**

Fixture 7 – Torneo Clausura

Objetivos: Maximización total de entradas vendidas en el torneo
 Maximización de partidos atractivos hacia el final del torneo

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	-Godoy Cruz	Chicago	-Newells	Estudiantes	-Velez	-R. Central	Boca	-Independiente	Belgrano
Boca	R. Central	-Belgrano	Independiente	-Chicago	Godoy Cruz	Estudiantes	-River	Newells	-Velez
Independiente	-Estudiantes	Godoy Cruz	-Boca	-R. Central	Belgrano	Velez	-Chicago	River	-Newells
Velez	-Chicago	Newells	R. Central	-Belgrano	River	-Independiente	Godoy Cruz	-Estudiantes	Boca
R. Central	-Boca	Estudiantes	-Velez	Independiente	-Newells	River	-Belgrano	Godoy Cruz	-Chicago
Newells	Belgrano	-Velez	River	-Godoy Cruz	R. Central	-Chicago	Estudiantes	-Boca	Independiente
Estudiantes	Independiente	-R. Central	Belgrano	-River	Chicago	-Boca	-Newells	Velez	-Godoy Cruz
Belgrano	-Newells	Boca	-Estudiantes	Velez	-Independiente	-Godoy Cruz	R. Central	Chicago	-River
Chicago	Velez	-River	-Godoy Cruz	Boca	-Estudiantes	Newells	Independiente	-Belgrano	R. Central
Godoy Cruz	River	-Independiente	Chicago	Newells	-Boca	Belgrano	-Velez	-R. Central	Estudiantes

 Partido Atractivo

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	12
Partidos hacia el final	34
Recaudación	395386
Cruces entre Hinchadas	0

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

Tiempo de Resolución LINGO 0:52:17
 AIMMS 1:28:51

Fixture 8 – Torneo Apertura³⁵

Objetivos: Maximizar partidos interesantes hacia el final del torneo
 Maximizar total de entradas vendidas en el torneo
 Minimizar Quiebres

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	-Independiente	Chicago	Belgrano	-Newells	Godoy Cruz	-Velez	Boca	-R. Central	Estudiantes
Boca	Godoy Cruz	-Velez	-Chicago	R. Central	-Estudiantes	Independiente	-River	Belgrano	-Newells
Independiente	River	-Godoy Cruz	Newells	-Belgrano	Velez	-Boca	Chicago	-Estudiantes	R. Central
Velez	-R. Central	Boca	-Estudiantes	Chicago	-Independiente	River	-Belgrano	Newells	-Godoy Cruz
R. Central	Velez	-Belgrano	Godoy Cruz	-Boca	Chicago	Newells	-Estudiantes	River	-Independiente
Newells	-Chicago	Estudiantes	-Independiente	River	-Belgrano	-R. Central	Godoy Cruz	-Velez	Boca
Estudiantes	Belgrano	-Newells	Velez	-Godoy Cruz	Boca	-Chicago	R. Central	Independiente	-River
Belgrano	-Estudiantes	R. Central	-River	Independiente	Newells	-Godoy Cruz	Velez	-Boca	Chicago
Chicago	Newells	-River	Boca	-Velez	-R. Central	Estudiantes	-Independiente	Godoy Cruz	-Belgrano
Godoy Cruz	-Boca	Independiente	-R. Central	Estudiantes	-River	Belgrano	-Newells	-Chicago	Velez

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	8
Partidos hacia el final	44
Recaudación	406568
Cruces entre Hinchadas	0

Calificación Fixture	Muy Bueno
-----------------------------	------------------

- Quiebre
- Partido Atractivo
- Partido Atractivo y Quiebre

Tiempo de Resolución LINGO 15:24:54
 AIMMS 23:12:01

³⁵ El modelo fue frenado intencionalmente luego de 15hs 24min 54seg.

Fixture 8 – Torneo Clausura

- Objetivos:** Maximizar partidos interesantes hacia el final del torneo
 Maximizar total de entradas vendidas en el torneo
 Minimizar Quiebres

Equipo	Fecha								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
River	Independiente	-Chicago	-Belgrano	Newells	-Godoy Cruz	Velez	-Boca	R. Central	-Estudiantes
Boca	-Godoy Cruz	Velez	Chicago	-R. Central	Estudiantes	-Independiente	River	-Belgrano	Newells
Independiente	-River	Godoy Cruz	-Newells	Belgrano	-Velez	Boca	-Chicago	Estudiantes	-R. Central
Velez	R. Central	-Boca	Estudiantes	-Chicago	Independiente	-River	Belgrano	-Newells	Godoy Cruz
R. Central	-Velez	Belgrano	-Godoy Cruz	Boca	-Chicago	-Newells	Estudiantes	-River	Independiente
Newells	Chicago	-Estudiantes	Independiente	-River	Belgrano	R. Central	-Godoy Cruz	Velez	-Boca
Estudiantes	-Belgrano	Newells	-Velez	Godoy Cruz	-Boca	Chicago	-R. Central	-Independiente	River
Belgrano	Estudiantes	-R. Central	River	-Independiente	-Newells	Godoy Cruz	-Velez	Boca	-Chicago
Chicago	-Newells	River	-Boca	Velez	R. Central	-Estudiantes	Independiente	-Godoy Cruz	Belgrano
Godoy Cruz	Boca	-Independiente	R. Central	-Estudiantes	River	-Belgrano	Newells	Chicago	-Velez

Objetivo	Valor Modelo
Breaks	8
Partidos hacia el final	44
Recaudación	395386
Cruces entre Hinchadas	0

Calificación Fixture	Óptimo
-----------------------------	---------------

- Quiebre
- Partido Atractivo
- Partido Atractivo y Quiebre

Tiempo de Resolución LINGO 11:12:47
 AIMMS 18:06:53

ANEXO II - CRUCES PELIGROSOS**River – Racing***Combinaciones de encuentros conflictivos*

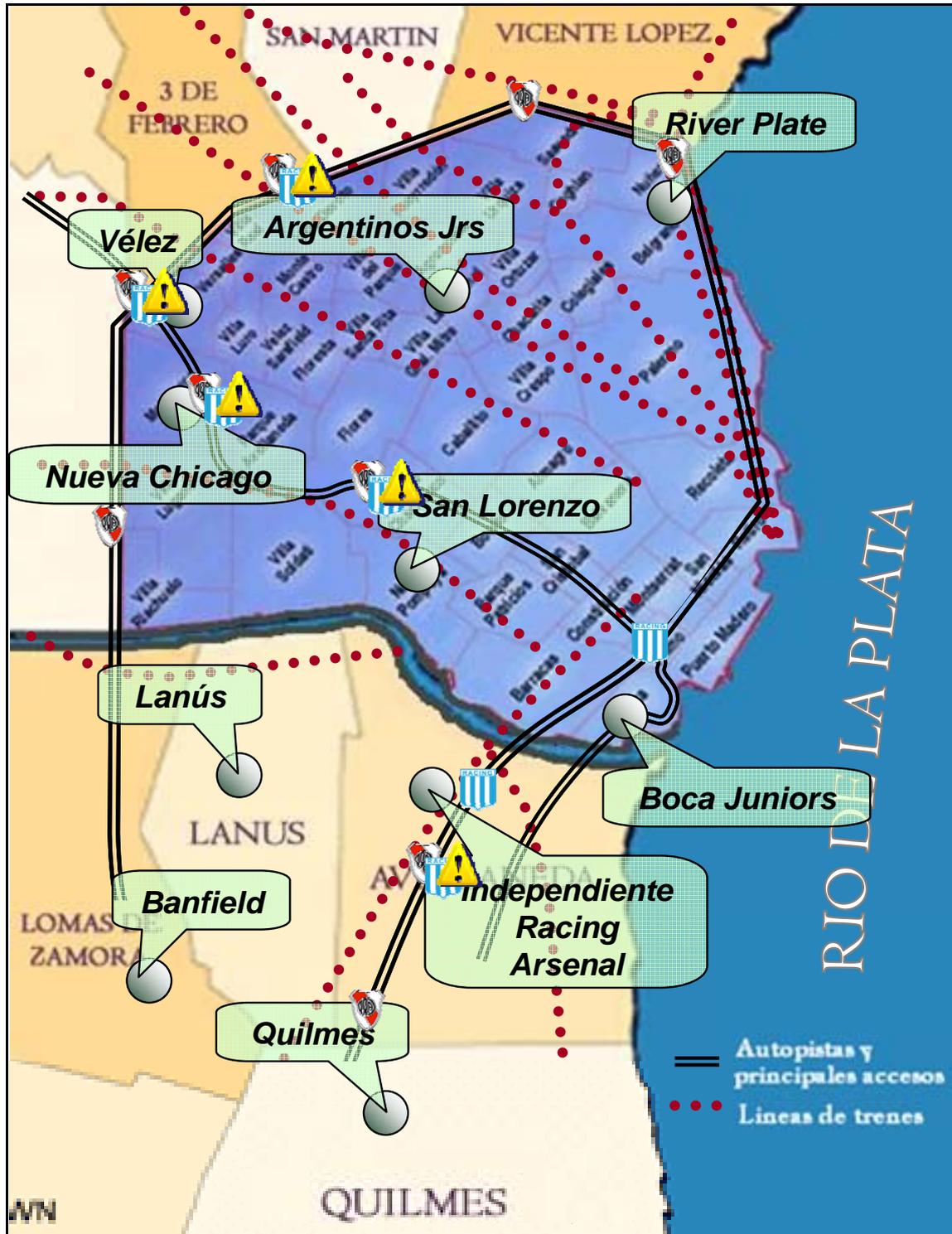
<i>Boca vs. Independiente</i>	∧	<i>Quilmes vs Racing Arsenal</i>
<i>Boca vs. San Lorenzo</i>	∧	<i>Quilmes vs Chicago Velez</i>
<i>Boca vs. Chicago</i>	∧	<i>Quilmes vs San Lorenzo Velez</i>
<i>Boca vs. Velez</i>	∧	<i>Quilmes vs San Lorenzo Chicago</i>
<i>Boca vs. River</i>	∧	<i>Quilmes vs. Argentinos</i>
<i>Boca vs. Argentinos</i>	∧	<i>Quilmes vs. River</i>
<i>Boca vs. Banfield</i>	∧	<i>Quilmes vs Arsenal Independiente Racing Lanus</i>
<i>Boca vs. Arsenal</i>	∧	<i>Quilmes vs Independiente Racing</i>
<i>Boca vs. Racing</i>	∧	<i>Quilmes vs Arsenal Independiente</i>

Se puede observar que en total son 18 combinaciones de encuentros que se deben evitar.

ANEXO II - CRUCES PELIGROSOS

River – Racing

Puntos geográficos de conflicto



Se puede observar que en total son 5 los puntos geográficos de conflicto.

ANEXO II - CRUCES PELIGROSOS

Boca – Racing

Combinaciones de encuentros conflictivos

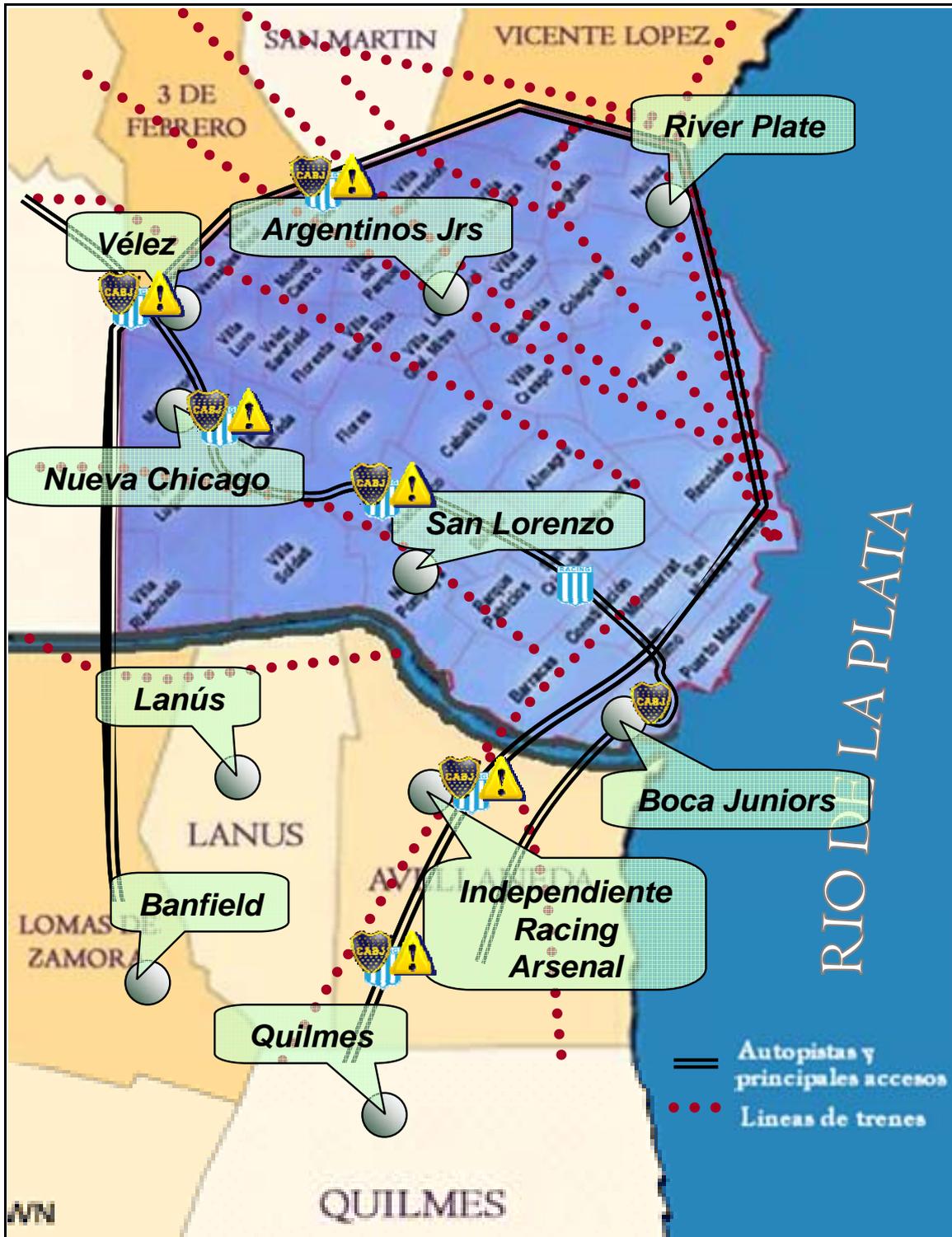
Boca vs. Chicago	y	Racing vs. San Lorenzo Velez Argentinos
Boca vs. San Lorenzo	y	Racing vs. Chicago Velez Argentinos
Boca vs. Velez	y	Racing vs. San Lorenzo Chicago Argentinos
Boca vs. Argentinos	y	Racing vs. San Lorenzo Chicago Velez
Boca vs. Banfield	y	Racing vs. Quilmes Racing Arsenal
Boca vs. Quilmes	y	Racing vs. Banfield Arsenal Racing

Se puede observar que en total son 18 combinaciones de encuentros que se deben evitar.

ANEXO II - CRUCES PELIGROSOS

Boca – Racing

Puntos geográficos de conflicto



Se puede observar que en total son 6 los puntos geográficos de conflicto.

ANEXO II - CRUCES PELIGROSOS**Boca – Quilmes***Combinaciones de encuentros conflictivos*

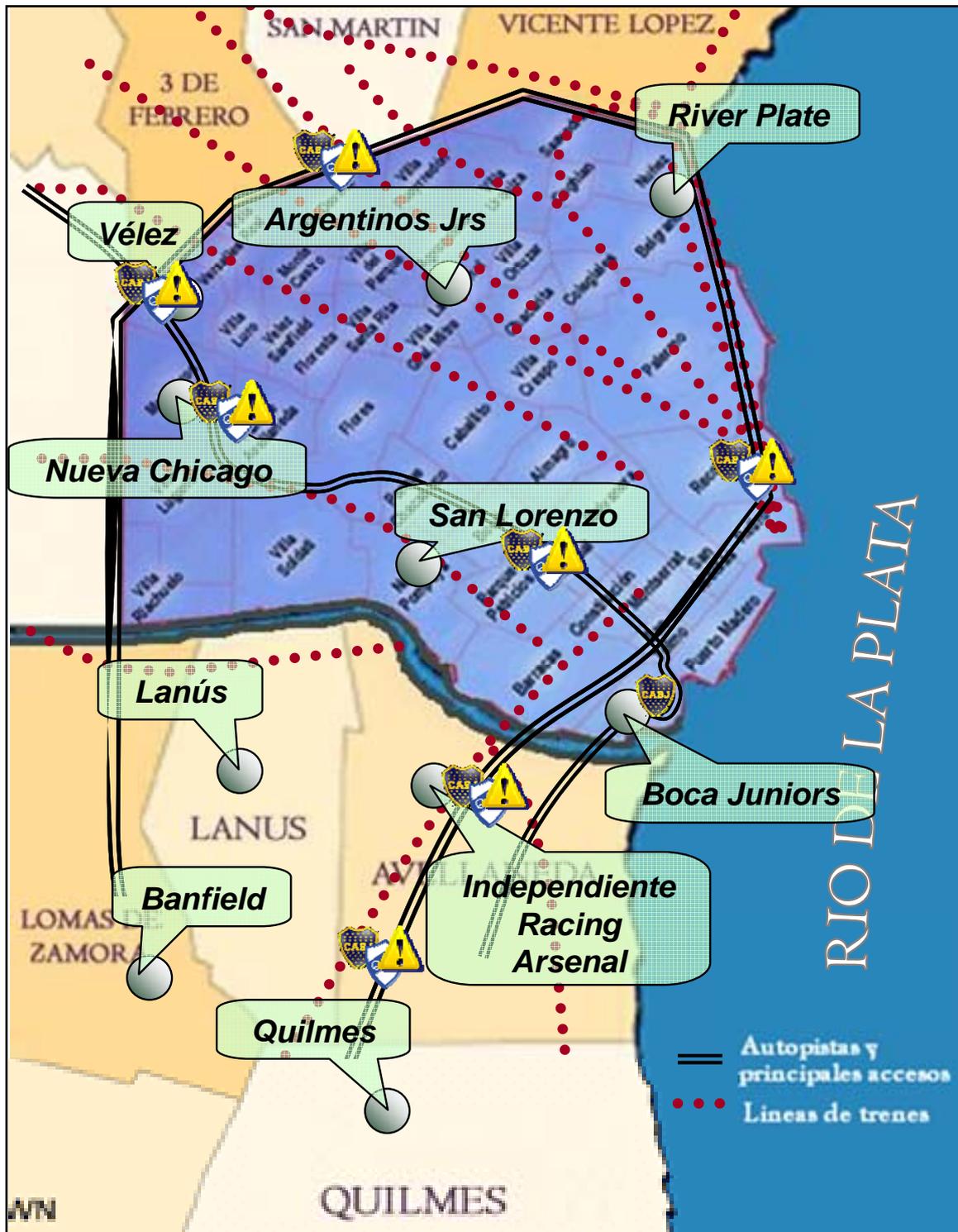
Boca vs. Independiente	y	Quilmes vs. Racing Arsenal
Boca vs. San Lorenzo	y	Quilmes vs. Chicago Velez
Boca vs. Chicago	y	Quilmes vs. San Lorenzo Velez
Boca vs. Velez	y	Quilmes vs. San Lorenzo Chicago
Boca vs. River	y	Quilmes vs. Argentinos
Boca vs. Argentinos	y	Quilmes vs. River
Boca vs. Banfield	y	Quilmes vs. Arsenal Independiente Racing Lanus
Boca vs. Arsenal	y	Quilmes vs. Independiente Racing
Boca vs. Racing	y	Quilmes vs. Arsenal Independiente

Se puede observar que en total son 18 combinaciones de encuentros que se deben evitar.

ANEXO II - CRUCES PELIGROSOS

Boca – Quilmes

Puntos geográficos de conflicto



Se puede observar que en total son 7 los puntos geográficos de conflicto.

ANEXO II - CRUCES PELIGROSOS

Boca – San Lorenzo

Combinaciones de encuentros conflictivos

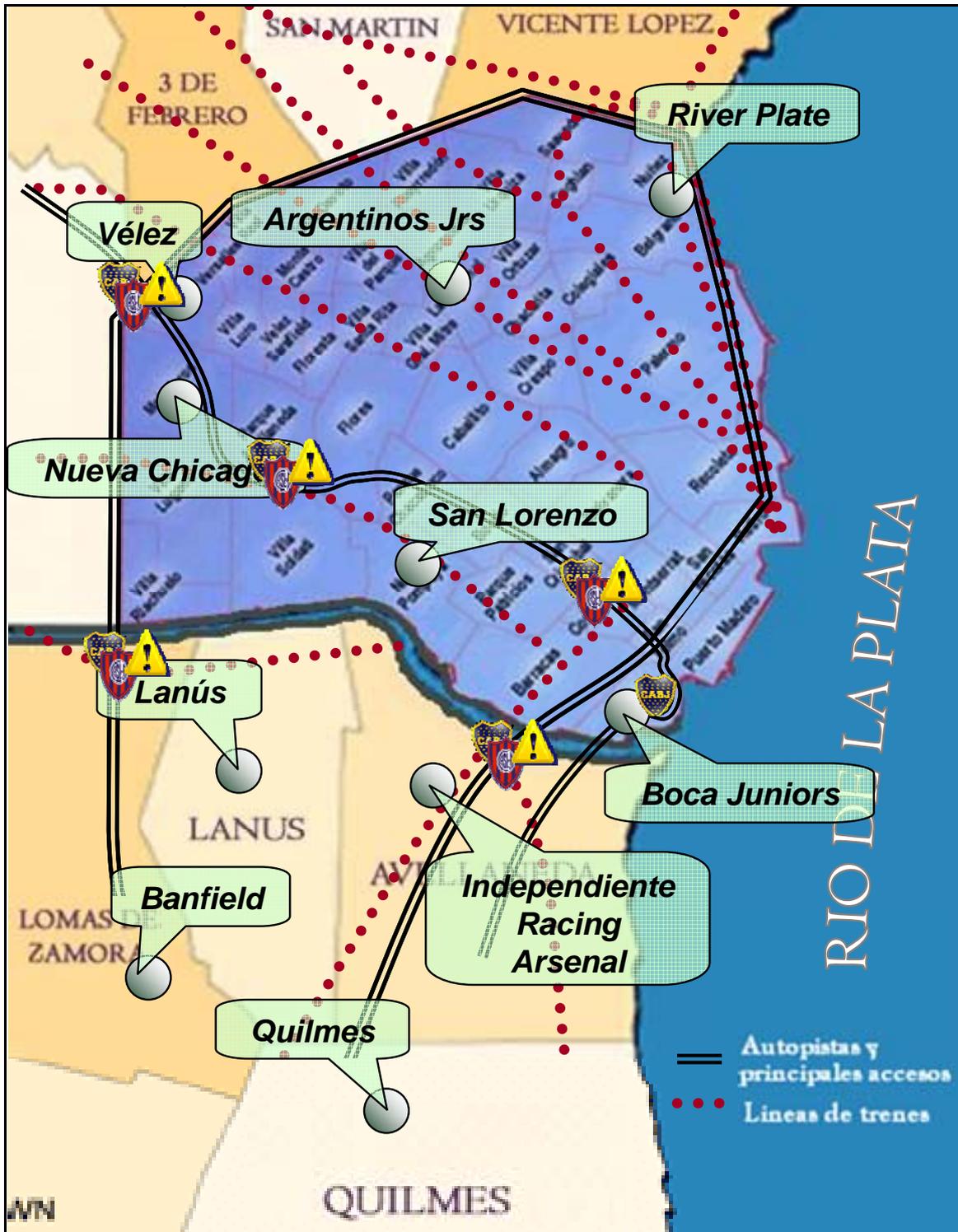
Boca vs. Independiente	y	San Lorenzo vs. Racing Arsenal Quilmes
Boca vs. Racing	y	San Lorenzo vs. Independiente Arsenal Quilmes
Boca vs. Arsenal	y	San Lorenzo vs. Independiente Racing Quilmes
Boca vs. Quilmes	y	San Lorenzo vs. Independiente Racing Arsenal
Boca vs. Chicago	y	San Lorenzo vs. Velez Argentinos Independiente Racing Arsenal
Boca vs. Argentinos	y	San Lorenzo vs. River
Boca vs. Lanus	y	San Lorenzo vs. Banfield
Boca vs. Velez	y	San Lorenzo vs. Chicago Argentinos Independiente Racing Arsenal

Se puede observar que en total son 24 combinaciones de encuentros que se deben evitar.

ANEXO II - CRUCES PELIGROSOS

Boca – San Lorenzo

Puntos geográficos de conflicto



Se puede observar que en total son 5 los puntos geográficos de conflicto.

ANEXO II - CRUCES PELIGROSOS

Argentinos Juniors – San Lorenzo

Combinaciones de encuentros conflictivos

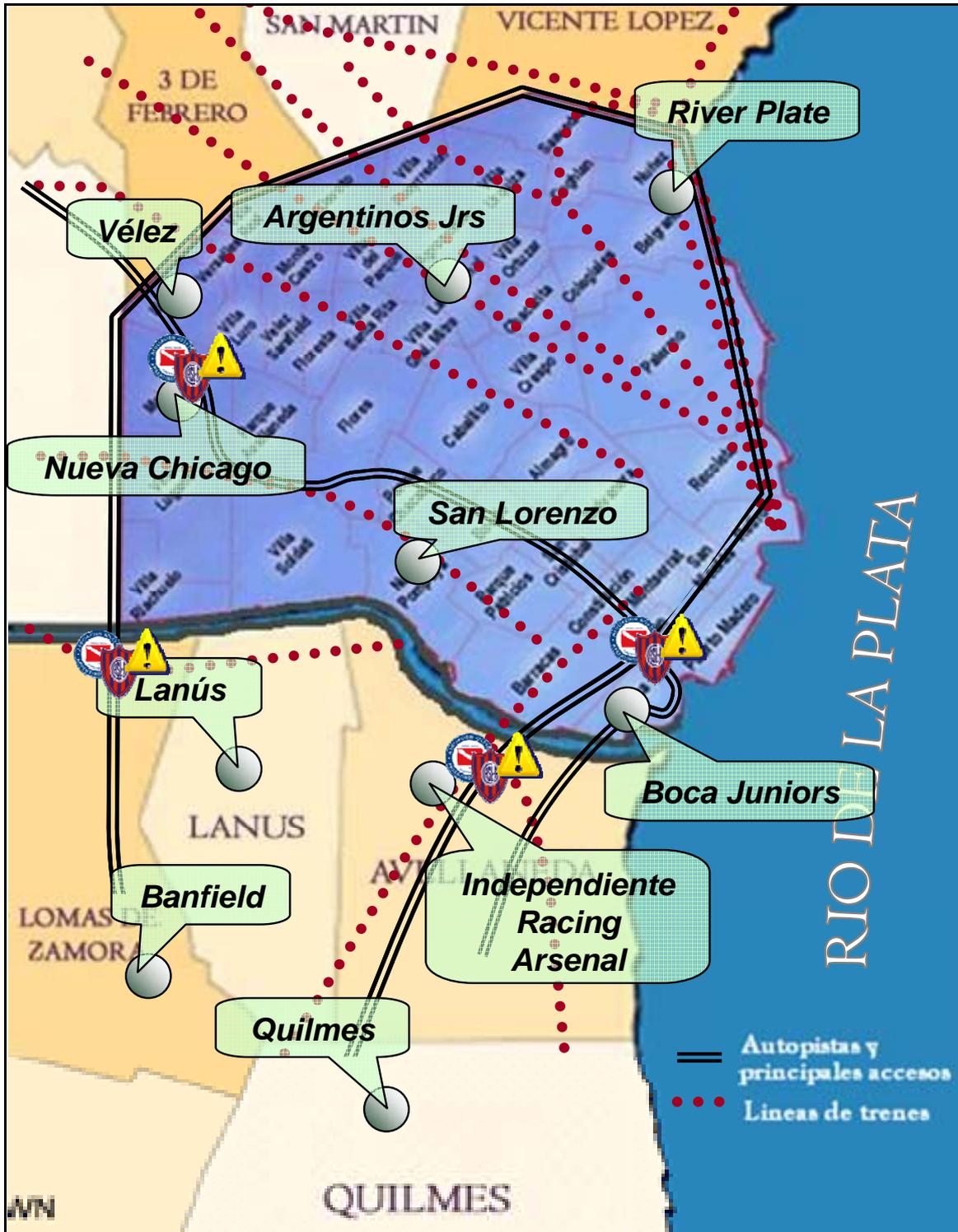
Argentinos vs. Chicago	y	San Lorenzo vs. Velez
Argentinos vs. Independiente	y	San Lorenzo vs Boca Racing Arsenal Quilmes
Argentinos vs. Racing	y	San Lorenzo vs Boca Independiente Arsenal Quilmes
Argentinos vs. Arsenal	y	San Lorenzo vs Boca Independiente Racing Quilmes
Argentinos vs. Quilmes	y	San Lorenzo vs Independiente Racing Boca Arsenal
Argentinos vs. Lanus	y	San Lorenzo vs. Banfield
Argentinos vs. Banfield	y	San Lorenzo vs. Lanus

Se puede observar que en total son 19 combinaciones de encuentros que se deben evitar.

ANEXO II - CRUCES PELIGROSOS

Argentinos Juniors – San Lorenzo

Puntos geográficos de conflicto



Se puede observar que en total son 4 los puntos geográficos de conflicto.

ANEXO III - Fixture Torneo Apertura 2006

Información general

Equipo	Grande	Fuerte	Débil	Interior	Fecha																		
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Argentinos			x		god	-chi	vel	-riv	new	-rac	lan	ars	-quil	gyej	-col	bel	-boc	ban	-rc	ind	-san	est	-gye
Arsenal		x			gye	-god	chi	-vel	riv	-new	rac	-arg	lan	quil	-gyej	col	-bel	boc	-ban	rc	-ind	san	-est
Banfield					-boc	lan	rc	-ind	san	-est	gye	-god	chi	-vel	riv	-new	rac	-arg	ars	-quil	gyej	-col	bel
Belgrano (Cba)			x	x	rc	-ind	san	-est	gye	-god	chi	-vel	riv	-new	rac	-arg	ars	-quil	gyej	-col	lan	boc	-ban
Boca	x	x			ban	-rc	ind	-san	est	-gye	god	-chi	vel	-riv	new	-rac	arg	-ars	quil	-gyej	col	-bel	lan
Colón				x	ind	-san	est	-gye	god	-chi	vel	-riv	new	-rac	arg	-ars	quil	-gyej	lan	bel	-boc	ban	-rc
Estudiantes		x			-quil	gyej	-col	bel	-boc	ban	-rc	god	-san	-lan	gye	-god	chi	-vel	riv	-new	rac	-arg	ars
G y Esg (Jujuy)				x	san	-est	gye	-god	chi	-vel	riv	-new	rac	-arg	ars	-quil	lan	col	-bel	boc	-ban	rc	-ind
G y Esgrima LP					-ars	quil	-gyej	col	-bel	boc	-ban	rc	-ind	san	-est	-lan	god	-chi	vel	-riv	new	-rac	arg
Godoy Cruz			x	x	-arg	ars	-quil	gyej	-col	bel	-boc	ban	-rc	ind	-san	est	-gye	-lan	chi	-vel	riv	-new	rac
Independiente	x	x			-col	bel	-boc	ban	-rc	-lan	san	-est	gye	-god	chi	-vel	riv	-new	rac	-arg	ars	-quil	gyej
Lanus					riv	-ban	-new	rc	-rac	ind	-arg	san	-ars	est	-quil	gye	-gyej	god	-col	chi	-bel	vel	-boc
Newells				x	vel	-riv	lan	rac	-arg	ars	-quil	gyej	-col	bel	-boc	ban	-rc	ind	-san	est	-gye	god	-chic
Nueva Chicago			x		-rac	arg	-ars	quil	-gyej	col	-bel	boc	-ban	rc	-ind	san	-est	gye	-god	-lan	vel	-riv	new
Quilmes			x		est	-gye	god	-chi	vel	-riv	new	-rac	arg	-ars	lan	gyej	-col	bel	-boc	ban	-rc	ind	-san
Racing	x				chi	-vel	riv	-new	lan	arg	-ars	quil	-gyej	col	-bel	boc	-ban	rc	-ind	san	-est	gye	-god
River	x	x			-lan	new	-rac	arg	-ars	quil	-gyej	col	-bel	boc	-ban	rc	-ind	san	-est	gye	-god	chi	-vel
Rosario Central				x	-bel	boc	-ban	-lan	ind	-san	est	-gye	god	-chi	vel	-riv	new	-rac	arg	-ars	quil	-gyej	col
San Lorenzo	x				-gyej	col	-bel	boc	-ban	rc	-ind	-lan	est	-gye	god	-chi	vel	-riv	new	-rac	arg	-ars	quil
Velez					-new	rac	-arg	ars	-quil	gyej	-col	bel	-boc	ban	-rc	ind	-san	est	-gye	god	-chi	-lan	riv

ANEXO IV - Resultados Apertura 2006

Fecha 1 - 5.08.2006			Fecha 8 - 24.09.2006			Fecha 15 - 12.11.2006		
Racing	2 0	Chicago	Estudiantes	2 1	Independiente	Banfield	1 2	Arsenal
Arsenal	3 1	Gimnasia	Argentinos	1 2	Arsenal	Estudiantes	3 1	River
Colón	1 4	Independiente	Vélez	2 0	Belgrano (Cba)	Gimnasia	0 3	Vélez
Gimnasia (J)	0 1	San Lorenzo	Lanús	2 0	San Lorenzo	Colón	1 3	Lanús
Newell's	3 0	Vélez	Racing	1 0	Quilmes	Belgrano (Cba)	0 1	Gimnasia (J)
Argentinos	1 0	Godoy Cruz	Newell's	1 0	Gimnasia (J)	Rosario Central	2 1	Argentinos
Quilmes	0 1	Estudiantes	Gimnasia	0 1	Rosario Central	Godoy Cruz	4 0	Chicago
Boca	3 0	Banfield	Chicago	0 1	Boca	Independiente	2 0	Racing
Lanús	0 2	River	Godoy Cruz	1 3	Banfield	Boca	3 1	Quilmes
Belgrano (Cba)	1 0	Rosario Central	River	1 1	Colón	San Lorenzo	2 1	Newell's
Fecha 2 - 13.08.2006			Fecha 9 - 01.10.2006			Fecha 16 - 19.11.2006		
Chicago	3 2	Argentinos	Colón	1 1	Newell's	Argentinos	2 0	Independiente
San Lorenzo	5 0	Colón	Banfield	1 1	Chicago	Arsenal	1 0	Rosario Central
Rosario Central	1 2	Boca	Gimnasia (J)	0 3	Racing	Vélez	2 0	Godoy Cruz
Independiente	3 1	Belgrano (Cba)	San Lorenzo	0 1	Estudiantes	Lanús	1 0	Chicago
Banfield	1 1	Lanús	Independiente	3 0	Gimnasia	Newell's	1 2	Estudiantes
River	3 3	Newell's	Rosario Central	1 1	Godoy Cruz	Quilmes	1 2	Banfield
Gimnasia	3 2	Quilmes	Quilmes	2 2	Argentinos	Colón	2 0	Belgrano (Cba)
Vélez	0 0	Racing	Boca	3 2	Vélez	River	2 0	Gimnasia
Estudiantes	1 0	Gimnasia (J)	Belgrano (Cba)	1 1	River	Gimnasia (J)	1 2	Boca
Godoy Cruz	2 1	Arsenal	Arsenal	1 1	Lanús	Racing	- -	San Lorenzo
Fecha 3 - 20.08.2006			Fecha 10 - 08.10.2006			Fecha 17 - 26.11.2006		
Banfield	1 1	Rosario Central	Gimnasia	3 2	San Lorenzo	Rosario Central	4 2	Quilmes
Belgrano (Cba)	2 2	San Lorenzo	Chicago	0 3	Rosario Central	San Lorenzo	0 0	Argentinos
Arsenal	2 0	Chicago	Argentinos	2 1	Gimnasia (J)	Chicago	1 1	Vélez
Boca	1 0	Independiente	Arsenal	2 1	Quilmes	Estudiantes	2 0	Racing
Colón	0 2	Estudiantes	Godoy Cruz	3 1	Independiente	Banfield	1 2	Gimnasia (J)
Gimnasia (J)	3 1	Gimnasia	Lanús	0 3	Estudiantes	Independiente	2 1	Arsenal
Newell's	0 1	Lanús	Vélez	2 2	Banfield	Gimnasia	2 1	Newell's
Quilmes	0 0	Godoy Cruz	Racing	2 1	Colón	Boca	4 1	Colón
Racing	3 1	River	Newell's	0 1	Belgrano (Cba)	Belgrano (Cba)	1 1	Lanús
Argentinos	0 1	Vélez	River	3 1	Boca	Godoy Cruz	0 1	River
Fecha 4 - 27.08.2006			Fecha 11 - 15.10.2006			Fecha 18 - 03.12.2006		
Lanús	1 2	Rosario Central	Rosario Central	1 2	Vélez	Lanús	2 0	Vélez
Vélez	0 0	Arsenal	Quilmes	1 2	Lanús	Quilmes	1 3	Independiente
Godoy Cruz	0 0	Gimnasia (J)	Colón	3 1	Argentinos	Arsenal	2 2	San Lorenzo
Chicago	2 1	Quilmes	Independiente	3 2	Chicago	Newell's	2 2	Godoy Cruz
Newell's	0 0	Racing	Estudiantes	7 0	Gimnasia	Colón	3 0	Banfield
Estudiantes	1 2	Belgrano (Cba)	Gimnasia (J)	0 0	Arsenal	Racing	3 1	Gimnasia
Independiente	2 1	Banfield	Belgrano (Cba)	0 1	Racing	River	1 2	Chicago
Gimnasia	3 2	Colón	San Lorenzo	3 0	Godoy Cruz	Gimnasia (J)	1 0	Rosario Central
San Lorenzo	1 7	Boca	Banfield	0 1	River	Belgrano (Cba)	1 0	Boca
River	2 0	Argentinos	Boca	3 1	Newell's	Argentinos	2 2	Estudiantes
Fecha 5 - 03.09.2006			Fecha 12 - 22.10.2006			Fecha 19 - 10.12.2006		
Argentinos	0 0	Newell's	Chicago	2 1	San Lorenzo	Independiente	1 2	Gimnasia (J)
Rosario Central	2 2	Independiente	Arsenal	2 1	Colón	San Lorenzo	2 4	Quilmes
Banfield	1 2	San Lorenzo	Vélez	2 1	Independiente	Godoy Cruz	0 0	Racing
Arsenal	0 2	River	Godoy Cruz	1 3	Estudiantes	Chicago	2 1	Newell's
Gimnasia (J)	3 0	Chicago	Newell's	0 0	Banfield	Gimnasia	1 0	Argentinos
Colón	2 0	Godoy Cruz	Argentinos	2 1	Belgrano (Cba)	Vélez	1 1	River
Belgrano (Cba)	1 0	Gimnasia	Quilmes	2 0	Gimnasia (J)	Banfield	3 1	Belgrano (Cba)
Boca	2 0	Estudiantes	River	2 0	Rosario Central	Rosario Central	3 0	Colón
Quilmes	0 3	Vélez	Lanús	0 1	Gimnasia	Boca	1 2	Lanús
Racing	0 1	Lanús	Racing	0 0	Boca	Estudiantes	2 0	Arsenal
Fecha 6 - 10.09.2006			Fecha 13 - 29.10.2006					
Estudiantes	0 0	Banfield	Gimnasia (J)	2 0	Lanús			
San Lorenzo	3 1	Rosario Central	Estudiantes	2 1	Chicago			
Godoy Cruz	1 1	Belgrano (Cba)	San Lorenzo	2 2	Vélez			
Vélez	2 0	Gimnasia (J)	Rosario Central	4 1	Newell's			
Racing	2 3	Argentinos	Belgrano (Cba)	0 1	Arsenal			
Lanús	2 4	Independiente	Independiente	0 0	River			
Chicago	1 0	Colón	Colón	0 0	Quilmes			
Newell's	2 2	Arsenal	Gimnasia	2 1	Godoy Cruz			
River	2 1	Quilmes	Boca	2 1	Argentinos			
Gimnasia	1 4	Boca	Banfield	3 2	Racing			
Fecha 7 - 17.09.2006			Fecha 14 - 05.11.2006					
Quilmes	2 3	Newell's	Argentinos	1 1	Banfield			
Argentinos	1 3	Lanús	Racing	1 1	Rosario Central			
Arsenal	3 2	Racing	Vélez	0 1	Estudiantes			
Rosario Central	1 0	Estudiantes	Lanús	3 3	Godoy Cruz			
Belgrano (Cba)	1 1	Chicago	Newell's	0 1	Independiente			
Boca	0 0	Godoy Cruz	Quilmes	2 3	Belgrano (Cba)			
Independiente	0 1	San Lorenzo	River	5 0	San Lorenzo			
Gimnasia (J)	1 2	River	Gimnasia (J)	2 0	Colón			
Banfield	0 0	Gimnasia	Chicago	2 2	Gimnasia			
Colón	1 0	Vélez	Arsenal	1 2	Boca			

ANEXO V – Tabla de posiciones Apertura 2006

Equipo	Total							Local							Visitante						
	Pts.	J	G	E	P	F	C	Pts.	J	G	E	P	F	C	Pts.	J	G	E	P	F	C
Estudiantes	44	19	14	2	3	35	12	22	9	7	1	1	20	5	22	10	7	1	2	15	7
Boca	44	19	14	2	3	41	17	25	10	8	1	1	22	8	19	9	6	1	2	19	9
River	38	19	11	5	3	33	17	20	9	6	2	1	21	8	18	10	5	3	2	12	9
Independiente	32	19	10	2	7	33	24	19	9	6	1	2	16	8	13	10	4	1	5	17	16
Arsenal	32	19	9	5	5	26	22	20	10	6	2	2	17	12	12	9	3	3	3	9	10
Lanús	31	19	9	4	6	26	24	10	9	3	1	5	11	15	21	10	6	3	1	15	9
Vélez	30	19	8	6	5	25	18	16	9	4	4	1	11	5	14	10	4	2	4	14	13
R. Central	28	19	8	4	7	28	22	17	9	5	2	2	19	11	11	10	3	2	5	9	11
Racing	26	18	7	5	6	22	18	17	9	5	2	2	14	8	9	9	2	3	4	8	10
Gimnasia J	26	19	8	2	9	19	19	16	10	5	1	4	13	9	10	9	3	1	5	6	10
San Lorenzo	25	18	7	4	7	29	33	14	9	4	2	3	18	16	11	9	3	2	4	11	17
Belgrano	23	19	6	5	8	18	24	13	10	3	4	3	8	8	10	9	3	1	5	10	16
Gimnasia LP	23	19	7	2	10	21	40	18	9	6	0	3	15	16	5	10	1	2	7	6	24
Chicago	22	19	6	4	9	20	32	17	9	5	2	2	13	12	5	10	1	2	7	7	20
Banfield	20	19	4	8	7	21	26	10	10	2	4	4	12	13	10	9	2	4	3	9	13
Argentinos	20	19	5	5	9	22	28	15	10	4	3	3	12	11	5	9	1	2	6	10	17
Colón	18	19	5	3	11	20	34	17	10	5	2	3	14	11	1	9	0	1	8	6	23
Godoy Cruz	17	19	3	8	8	19	26	12	9	3	3	3	12	10	5	10	0	5	5	7	16
Newell's	16	19	3	7	9	21	28	10	10	2	4	4	9	9	6	9	1	3	5	12	19
Quilmes	9	19	2	3	14	23	38	5	10	1	2	7	11	19	4	9	1	1	7	12	19

ANEXO VI - Entradas vendidas de local y visitante en el Apertura 2006

Equipo	Entradas Vendidas '06			Promedio '06		
	Local	Visitante	Total L y V	Local	Visitante	Total
<i>Argentinos</i>	22.397	47.870	70.267	1.179	2.519	3.698
<i>Arsenal</i>	34.563	52.084	86.647	1.819	2.741	4.560
<i>Banfield</i>	38.688	40.379	79.067	2.036	2.125	4.161
<i>Belgrano (Cba)</i>	136.720	34.637	171.357	7.196	1.823	9.019
<i>Boca</i>	116.083	124.376	240.459	6.110	6.546	12.656
<i>Colón</i>	23.815	55.551	79.366	1.253	2.924	4.177
<i>Estudiantes</i>	94.598	71.177	165.775	4.979	3.746	8.725
<i>G y Esg (Jujuy)</i>	30.667	43.324	73.991	1.614	2.280	3.894
<i>G y Esgrima LP</i>	37.921	55.341	93.262	1.996	2.913	4.909
<i>Godoy Cruz</i>	79.041	35.587	114.628	4.160	1.873	6.033
<i>Independiente</i>	116.773	92.232	209.005	6.146	4.854	11.000
<i>Lanus</i>	51.419	42.773	94.192	2.706	2.251	4.957
<i>Newell's</i>	52.297	63.893	116.190	2.752	3.363	6.115
<i>Nueva Chicago</i>	40.636	77.420	118.056	2.139	4.075	6.213
<i>Quilmes</i>	28.254	56.205	84.459	1.487	2.958	4.445
<i>Racing</i>	102.829	84.470	187.299	5.412	4.446	9.858
<i>River</i>	132.900	160.602	293.502	6.995	8.453	15.447
<i>Rosario Central</i>	76.795	56.781	133.576	4.042	2.988	7.030
<i>San Lorenzo</i>	49.079	77.296	126.375	2.583	4.068	6.651
<i>Velez</i>	62.173	55.650	117.823	3.272	2.929	6.201
TOTAL			2.655.296			139.752

ANEXO VII – Partidos jugados en Buenos Aires y en el Interior durante el Apertura 2006

Fecha	Partidos		
	Interior	Bs As	
1	4	6	
2	2	8	Falla
3	4	6	
4	2	8	Falla
5	4	6	
6	2	8	Falla
7	4	6	
8	2	8	Falla
9	4	6	
10	2	8	Falla
11	4	6	
12	2	8	Falla
13	4	6	
14	2	8	Falla
15	4	6	
16	3	7	
17	3	7	
18	4	6	
19	2	2	Falla

Se observan 8 fechas que fallan en la distribución geográfica de los encuentros