



**UNIVERSIDAD
TORCUATO DI TELLA**

Master in Management + Analytics

Balanceando objetivos de negocio y eficiencia: un nuevo
modelo de scheduling para la Liga Argentina de Básquet
utilizando Programación Lineal Entera Mixta

Nicolás García Aramouni

Director: Juan José Miranda Bront

Resumen

Hasta la temporada 2013-14, el fixture de la Liga Nacional de Básquetbol en Argentina consistía en partidos disputados los fines de semana y diagramados manualmente. Desde la temporada 2014-15, el fixture, diseñado con técnicas de programación lineal entera, contempla partidos todos los días de la semana, imitando el formato de la NBA. Existen diversas razones que sugieren que esta no es la estrategia óptima para el armado del calendario desde una perspectiva integral, tales como la diferencia entre la magnitud y la relevancia de la competencia en cada caso. Nuestro trabajo se enfoca en repensar la organización de la agenda de partidos, considerando la necesidad de un fixture eficiente que además tenga en cuenta los intereses estratégicos y de negocio de los clubes, el impacto de la localía y el efecto en el público seguidor del deporte. Para ello, se proponen distintos fixtures generados mediante técnicas utilizando técnicas de programación lineal entera. Cada fixture tiene distintas formas de organización del campeonato y/o funciones objetivo, tales como la minimización de la distancia total recorrida por los clubes, el emparejamiento de la distancia recorrida por los clubes, el emparejamiento del interés a lo largo de las fechas del campeonato y la maximización del interés en las últimas fechas del campeonato.

En base a datos reales, en el trabajo se realizan dos ejercicios. En primer lugar, evaluamos el armado del fixture de la temporada 2013-14 con técnicas de programación lineal entera, donde se observa que se reducen los kilómetros totales recorridos un 24,92% en comparación con el armado manual. Luego, se consideran propuestas alternativas de organización para la temporada 2018-19, donde un análisis de escenarios de asistencia a estadios muestra un incremento de los ingresos de la liga en ventas de entradas en un 26,31% en dólares junto con una reducción del 12,46% en los kilómetros totales recorridos.

Balancing business goals and efficiency: a new scheduling model for the Argentine Basketball League using Mixed Integer Linear Programming

Abstract

Until the 2013-14 season, the fixture of the National Basketball League in Argentina consisted of matches played on weekends and manually diagrammed. From the 2014-15 season onwards, the fixture, designed with integer linear programming techniques, includes games every day of the week, imitating the NBA format. There are several reasons that suggest that this is not the optimal strategy to set up the calendar from a comprehensive perspective, such as the difference between the magnitude and relevance of the competition in each case. Our work focuses on rethinking the organization of the match schedule, considering the need for an efficient fixture that also takes into account the strategic and business interests of the clubs, the impact of home field advantage and the effect on the public following the sport. For this, different fixtures generated by integer linear programming techniques are proposed. Each fixture has different forms of organization for the championship and/or objective functions, such as the minimization of the total distance traveled by the clubs, the maximization of fairness of the distance traveled by the different clubs, getting to an equitable interest throughout the championship rounds and the maximization of interest in the last days of the championship.

Based on real data, two exercises are carried out. First, we evaluated the setup of the 2013-14 season fixture with integer linear programming techniques, where it is observed that the total kilometers traveled are reduced by 24.92% compared to a manual setup. Then, different organization alternatives for the 2018-19 season are considered, where a scenario analysis on stadium attendance shows an increase in league revenues from ticket sales measured in US dollars of 26.31%, along with a 12.46% reduction in the total kilometers traveled.

Índice

1) Introducción	5
2) Influencia de la investigación operativa en el deporte	8
3) El Básquetbol	11
4) Básquetbol en Argentina	13
5) La Liga Nacional de Básquet	15
6) El sistema actual de fixture y la necesidad de un cambio	19
7) Enfoque de solución	25
8) Modelado	33
9) Análisis	46
10) Conclusiones y trabajo futuro	72
11) Apéndice	76

1) Introducción

El básquetbol es uno de los deportes más populares de Argentina y ha tenido, desde el comienzo del siglo, un importante crecimiento ayudado por el éxito de basquetbolistas argentinos, tanto en la selección nacional (por ejemplo, la medalla de oro obtenida en los Juegos Olímpicos de Atenas 2004) como en ligas del extranjero (como los cuatro títulos de la NBA conseguidos por Emanuel “Manu” Ginóbili). Este crecimiento ha llevado a un mayor desarrollo y popularidad de la Liga Nacional de Básquet, el torneo local argentino.

Sin embargo, el mayor nivel de desarrollo no trae sólo beneficios, sino también mayores exigencias de tener un torneo mejor organizado y cada vez más atractivo. Una de las formas más comunes de lograr una mejora en la organización y en la eficiencia es utilizar técnicas de investigación operativa para el armado de fixtures. La investigación operativa ha estado acompañando al deporte desde mediados de la década de 1970, cuando, por ejemplo, en 1973 Silverman y Shwartz [1] definieron bajo qué circunstancias un equipo de fútbol americano debería perder a propósito. Además, desde mediados de la década de 1990, se utilizan técnicas de programación lineal entera mixta para el armado de fixtures, como ha sido el caso de Fleurent y Ferland [2] para el hockey sobre hielo, Russell y Leung [3] para el baseball y Armstrong et al [4] para el cricket. No obstante, la adopción en Argentina de estas técnicas ha sido más tardía ya que, por ejemplo, en la Liga Nacional de Básquet (LNB), hasta la temporada 2013-14 la agenda de partidos era definida de forma manual. Actualmente, varias ligas, como, por ejemplo, las ligas de fútbol, básquet y voleibol se basan en técnicas de optimización para el armado de sus fixtures.

En la LNB hasta la temporada 2013-14 el fixture estaba basado en un sistema de parejas. De esta manera, una pareja visitaba a otra pareja en un fin de semana y los equipos jugaban partidos solo los viernes y los domingos. A partir de la temporada 2014-15, el sistema cambió radicalmente ya que los equipos dejaron de estar emparejados y se pasó a un sistema de giras, en el que se jugarían partidos todos los días de la semana, imitando a la NBA, la liga más importante del mundo. Así, la organización solicitó a los clubes que armen giras posibles y marquen cuáles de ellas serían sus “preferidas”, lo cual permite diseñar un modelo de

programación lineal entera (MILP) que intenta maximizar la cantidad de giras preferidas por los clubes.

El nuevo sistema ha tenido beneficios en términos de eficiencia ya que, por ejemplo, si se toma como métrica el promedio de kilómetros viajados por equipo por cada partido de visita, en la temporada 2014-15 se consiguió una reducción del 31% en comparación con la temporada 2013-14, aún cuando aumentaron la cantidad de partidos y equipos. Sin embargo, hay varias razones que hacen pensar que implementar dicho sistema en una liga federal dentro de un país con importantes niveles de desigualdad puede no ser una buena idea. En primer lugar, está la cuestión idiosincrática, ya que cambiar los días de juego representa un cambio grande tanto para jugadores como para fanáticos, lo cual puede llegar a afectar la relación de estos últimos con los clubes. Como menciona el presidente de Peñarol de Mar del Plata, Domingo Robles, "todos estamos acostumbrados a viernes y domingo, porque era una salida, después te ibas a comer una pizza, a los chicos ya los tenías acostumbrados de esa manera"[1]. Además, por más que en la NBA se utiliza el sistema de giras, los equipos juegan más partidos contra sus rivales cercanos, mientras que, con el último sistema implementado por la LNB, se juegan la misma cantidad de partidos contra los contrincantes que están cerca como con los que están lejos, lo cual hace crecer la cantidad de kilómetros recorridos.

Quizás la observación más importante es que por varios motivos, la Liga Nacional de Básquet y la NBA no son ni comparables ni similares. Por un lado, mientras que los equipos de la liga estadounidense son franquicias empresariales sin divisiones formativas o actividades sociales, lo contrario a los clubes argentinos. Además, mientras que los equipos NBA son de los conjuntos deportivos con mayor valuación económica, los equipos del campeonato argentino tienen un espíritu más local y llegan a reunir solamente a la comunidad de su propia ciudad, sin poder trascender demasiado internacionalmente. Finalmente, las condiciones económicas de ambos países difieren significativamente como para pensar que el mismo modelo de negocios puede ser implementado en ambos lugares. A modo de ejemplo, la diferencia en el nivel de desarrollo de ambas ligas está reflejada en la cantidad y la calidad de los datos disponibles: mientras que datos de variables como el nivel de asistencia a los partidos de la NBA son sumamente fáciles de acceder, en el caso de la LNB son prácticamente inexistentes ya que ni los clubes los miden.

Algunos de estos argumentos más importantes surgen desde dentro de la LNB ya que tras contactar a los clubes participantes de la temporada 2018-19 hemos descubierto descontento en varios de ellos. En general se resalta el hecho de que con el nuevo sistema la gente desconoce la fecha de los partidos y que en el fin de semana suele haber más público (en particular, la gente de QUIMSA comentó que la asistencia aumenta un 60%). Adicionalmente, el hecho de que los clubes no reciben dinero por las transmisiones por streaming de la liga suma a la inconformidad. Por otro lado, las comunicaciones con los clubes han develado que el público suele ser de la misma localidad, lo cual fue reforzado por el hecho de que algunos equipos han pedido no jugar los sábados porque “ese es el día que la gente va al cine o sale a comer”. Por estas razones, nos parece importante analizar el impacto del armado del fixture y la modalidad de competición en aspectos más generales del negocio. Para ello, proponemos un nuevo fixture en el que se vuelva a un sistema de parejas y con partidos solo los fines de semana. Este nuevo sistema podría estar compuesto por una única etapa nacional o por dos etapas: una etapa regional (en la que se enfrentan los equipos de una misma conferencia) y una etapa nacional. La organización de cada una de las etapas se genera con técnicas de MILP, lo cual además permite elegir distintas funciones objetivo: la minimización de la distancia total recorrida por los clubes, la minimización de la distancia hecha por el equipo que más kilómetros recorre, el emparejamiento del interés generado en cada una de las fechas del torneo y la maximización del interés en las últimas fechas del torneo. Como diferencia adicional con el sistema actual, en nuestra propuesta los equipos juegan más partidos con los equipos de la misma conferencia. Con esto en vista, nuestro trabajo realiza tres análisis distintos: elabora un fixture para la temporada 2013-14 para poder evaluar los beneficios en términos de distancia y eficiencia de una solución basada en MILP contra una manual, elabora un fixture para la temporada 2018-19 para poder medir si una propuesta que concentra partidos los fines de semana genera una mayor rentabilidad que el modelo actual y compara las distintas formulaciones propuestas para analizar cómo la toma de decisiones a la hora de armar los modelos (por ejemplo, la elección de la función objetivo) impacta en distintas variables de interés. De esta forma, este trabajo toma en cuenta a la hora de armar modelos operativamente eficientes la visión de negocio, para que las decisiones operativas reflejen el resultado de la estrategia general y que haya congruencia entre los objetivos de todos los actores involucrados. Además, a diferencia de la mayoría de los trabajos locales sobre *scheduling* deportivo,

proponemos múltiples formulaciones, cada una con un objetivo de negocio distinto para el armado del nuevo fixture.

El trabajo se estructura de la siguiente forma: la Sección 2 repasa la influencia de la investigación operativa en el deporte, la Sección 3 repasa la historia y situación actual del básquetbol, la Sección 4 repasa la historia del básquetbol en Argentina (con énfasis en el desarrollo de la selección nacional y el impacto de los basquetbolistas locales en el exterior). Por otro lado, la Sección 5 cuenta la historia de la Liga Nacional de Básquet, la Sección 6 expande sobre el sistema actual de fixture de la Liga Nacional de Básquet y expone las razones que hacen necesario un cambio de sistema, la Sección 7 explica nuestro enfoque de solución. Adicionalmente, la Sección 8 muestra el modelado matemático de nuestra solución, la Sección 9 hace un análisis comparativo de nuestras propuestas y una comparación contra las soluciones existentes y la Sección 10 concluye el trabajo.

2) Influencia de la investigación operativa en el deporte

Si uno considera que la investigación operativa (OR, por sus siglas en inglés) como el proceso de utilizar criterios científicos para tomar decisiones complejas, no es difícil imaginar cómo todo el mundo del deporte podría verse beneficiado por este tipo de técnicas. Ejemplos de esto serían un entrenador que puede optimizar el armado de un equipo según el rival en cuestión, el administrador de un club que puede mejorar la estrategia de *pricing* de los asientos de su estadio para maximizar ingresos o hasta un golfista que, habiendo medido condiciones de la cancha y climáticas, elige el palo que más lo acerca al hoyo. Sin embargo, más allá de los ejemplos teóricos o potenciales, hace más de 50 años que se vienen aplicando técnicas de OR en el mundo del deporte, y dada la tendencia creciente de la influencia de estas técnicas, no parece que este fenómeno vaya a caducar dentro de poco.

Es lógico pensar que una de las áreas en las que hubo influencia de la investigación operativa en el deporte ha sido el armado de tácticas y estratégicas. Como se mencionó en la introducción, la investigación operativa ha sido utilizada como técnica analítica en el mundo del deporte desde mediados de la década de 1970, tanto para el análisis del juego, como para el armado de fixtures deportivos. . Ha sido tanta la influencia de OR en el deporte y su impacto en la cultura del deporte que se han hecho películas al respecto, como la conocida Moneyball, que

trata del intento del gerente general de los Oakland Athletics de armar un equipo de baseball basado en el análisis estadístico de la performance los jugadores..

Alternativamente, otro de los elementos del deporte que han tenido una gran influencia de la investigación operativa ha sido el armado de fixtures para las distintas competencias. Hay muchos factores que ayudan a explicar el éxito económico de una liga deportiva: en primer lugar, el deporte debe ser lo suficientemente atractivo o popular para que fanáticos, sponsors y medios interesados; por otro lado, debe haber equipos y jugadores de calidad, quienes contribuyan a un espectáculo sin igual con encuentros memorables e inolvidables. Sin embargo, otro factor que no debería ser descuidado es la generación de fixtures adecuados que lleven a calendarios que satisfagan a jugadores, equipos, canales de televisión y fanáticos de la mejor forma posible. Como menciona Michael Trick [9] en su trabajo *Using Sports Scheduling to Teach Integer Programming*:

“Nadie que posea los derechos de televisación quiere pagar millones por un fixture que no cumple sus necesidades. Si todos los juegos atractivos están programados de una manera que no pueden ser transmitidos (por ejemplo, programando múltiples juegos atractivos al mismo tiempo), el titular de los derechos tendrá una audiencia más reducida y será menos probable que esté dispuesto a pagar un alto precio. De manera similar, si el horario es inconveniente para los fanáticos (por ejemplo, programando demasiados juegos en casa en un tiempo demasiado corto), los fanáticos reaccionarán asistiendo a menos juegos, lo que disminuirá los ingresos del equipo. El horario tiene un gran efecto en la valoración de un equipo.”

Cumplir con las restricciones y pedidos de todos los stakeholders involucrados puede ser un proceso engorroso, complicado y casi imposible de ejecutar manualmente. Por eso, hace más de 20 años que se han comenzado a utilizar técnicas de MILP que ayuden a armar fixtures eficientes y atractivos, que brinden ahorros económicos y agendas interesantes para las agencias televisivas y los fanáticos. Sin embargo, en nuestro país, estas técnicas han tardado un poco más. Una de las primeras ligas en adoptar la computación para el armado del fixture fue la Liga Nacional de Voleybol: tras cambiar un modelo armado manualmente con uno que utilizaba técnicas matemáticas y de computación, el equipo encabezado por Flavia Bonomo, Andrés Cardemil, Guillermo Durán, Javier Marengo y Daniela Sabán [10] consiguió una importante disminución de los kilómetros recorridos en conceptos de viajes. Por más que este nuevo formato fue recién aplicado para la temporada 2007-08, los autores realizaron un ejercicio para ver cómo hubiera sido el fixture durante los dos torneos anteriores si se hubiera aplicado su

enfoque. En particular, el modelo llevaba a una reducción del 22,34% de la distancia total recorrida para la temporada 2005-06 y del 15,41% para la temporada 2006-07. Por otro lado, en el caso de la Superliga de Fútbol Argentino, el objetivo fue otro: teniendo en cuenta que, en el formato actual, cada equipo juega una vez contra cada contrincante, es importante que la condición de localía de cada partido vaya cambiando entre torneos. Para ejemplificar el hecho de que el proceso anterior era deficiente en este aspecto, antes de la temporada 2018-19 River fue local contra Banfield seis veces consecutivas, Boca fue local contra Newell's cinco veces seguidas y Lanús fue local contra Boca en cinco ocasiones al hilo (en total existían 146 parejas de equipos cuya condición de localía de partidos se había repetido de forma consecutiva entre dos y seis veces). El equipo liderado por Guillermo Durán, de la Universidad de Buenos Aires (UBA), se puso como meta mejorar esta situación. Poniendo como objetivo minimizar la cantidad de partidos cuya condición de localía se venía repitiendo, se logró armar un fixture que revirtió la condición de localía en 114 de los 146 partidos cuya condición de localía se venía reiterando (se dio vuelta en el 100% de los partidos para los cuales la repetición de la localía se había dado 4, 5 o 6 veces, mientras que se revirtió la condición para el 75% de los partidos cuya condición de localía se había dado 2 o 3 veces seguidas), y se consiguió un mayor balance respecto a la cantidad de kilómetros recorridos por los equipos: a modo de ejemplo, el desvío estándar de la distancia recorrida tomando los 5 equipos grandes del fútbol argentino (River Plate, Boca Juniors, Independiente, Racing y San Lorenzo) se redujo de 2.693 en la temporada 2017/18 a 663 en la 2018/19, como mencionan Durán et al [11] .

El impacto de la computación y el análisis de datos en el deporte parece estar recién comenzando, en especial teniendo en cuenta la invención de nuevas métricas y modelos específicos para el análisis deportivo (como puede ser el modelo de Expected Goals, o xG, utilizado para el análisis de partidos de fútbol, el cual calcula la probabilidad de gol de cada una de las chances que un equipo tiene en un partido). Cada vez más instituciones deportivas tienen su propio equipo de *analytics* dedicado a estudiar los deportes desde una mirada estadística y crítica y hasta hay universidades, como la Universidad Católica de Murcia en España, que tienen programas con nombres como Máster en Big Data Deportivo. La relación entre OR y deportes, como puede observarse, está lejos de llegar a su fin.

3) El Básquetbol

El básquetbol (también conocido como baloncesto) es un deporte de equipo en el que dos equipos, en general conformados por cinco jugadores cada uno, juegan en una cancha rectangular con el objetivo de encestar una pelota en el aro del equipo contrario (colocado a 3,048 metros de altura), mientras se intenta evitar que el rival emboque el balón en el aro propio. Un tiro de campo vale dos o tres puntos, dependiendo si fue realizado dentro o fuera de la línea de tres puntos, respectivamente, mientras que los lanzamientos de falta valen un punto cada uno. Gana un partido el equipo que más puntos tiene al finalizar el tiempo reglamentario; sin embargo, si los equipos terminan empatados, juegan al menos un tiempo suplementario para decidir al ganador. Uno de los elementos distintivos de este deporte es que los jugadores que tengan posesión de la pelota deben avanzar picando la misma en la cancha, mientras que otra característica destacada es la gran cantidad de estilos de tiros que pueden llevar a una canasta (algunos nombres incluyen la *bandeja*, la *volcada* o el *gancho*).

Si bien el deporte fue inventado por un canadiense (James Naismith) en 1891 [II], Estados Unidos es el país en el que más se juega al básquetbol. En este sentido, la liga estadounidense, la famosa NBA, es la liga de baloncesto profesional más importante del mundo en términos de popularidad, salarios y talento. A modo de ejemplo, mientras que el jugador mejor pago de las ligas europeas, Nikola Mirotic, cobrará en la temporada 2019-20 un salario anual de US\$ 5,4 millones [III], el mayor salario de la NBA para esta próxima liga es más de 7 veces más grande ya que el base de los Golden State Warriors, Stephen Curry, tendrá una paga para el próximo año de US\$ 40.231.758 [IV]. Mientras que una gran proporción de los jugadores estadounidenses que llegan a la NBA lo hacen tras participar en los campeonatos universitarios, los denominados “internacionales”, suelen arribar al torneo más importante luego de brillar en la liga de otro país, por lo que para quienes tienen aspiraciones NBA, jugar en ligas como las europeas representa un mero trampolín, como ha sido el caso del esloveno de 20 años, Luka Doncic, quien llegó a la NBA tras ser el nombrado el mejor jugador de la liga española en 2018. A modo de resumen, por más que en el fútbol existen cinco ligas consideradas las más importantes (la inglesa, la española, la italiana, la alemana y la francesa) y que es posible que un futbolista esté indiferente en jugar en cualquiera de ellas, en el básquet la

historia es distinta ya que es extremadamente probable que el sueño de un jugador sea eventualmente participar en la NBA.

Por otro lado, históricamente hubo una diferencia de calidad tan grande entre los jugadores de Estados Unidos comparados con el resto del mundo que hasta 1992 dicho país no podía llevar jugadores profesionales a los Juegos Olímpicos (además, hasta 1994 se tuvo la misma limitación para las distintas Copas del Mundo). En este sentido, si uno mira solo lo acontecido en la competencia Olímpica desde que los jugadores NBA fueron permitidos, sólo en 2004 la medalla dorada fue conseguida por un país distinto a Estados Unidos, cuando el seleccionado argentino batió en la final a Italia, tras haber vencido al conjunto norteamericano en semifinales. Esta diferencia en calidad es una de las causas por la que, a diferencia del fútbol, muchos basquetbolistas le dan una mayor prioridad a la NBA por sobre las principales competencias internacionales. Un ejemplo de esto ha sido el Mundial 2019, en el que ningún jugador de EEUU del 1er y 2do quinteto ideal de la liga norteamericana decidió representar a su país en dicha competencia¹. Sumando a este argumento, a diferencia del fútbol, uno de los criterios más comunes que se utiliza para comparar el legado individual no es la cantidad de medallas doradas o títulos mundiales obtenidos, sino la cantidad de anillos NBA [V].

Sin embargo, esta diferencia no ha frenado la expansión mundial del deporte. A pesar de que el mayor núcleo de fanáticos y quizás de potenciales jugadores está ubicado en un solo país, el resto del mundo ha adoptado cada vez más a este deporte. A modo de ejemplo, la audiencia televisiva promedio del mundial FIBA 2019 fue un 80% mayor que la edición 2014 [VI]. Por otro lado, el partido China vs Polonia en dicha competencia fue el evento con mayor rating del año para el canal televisivo estatal chino, CCTV [VI]. Es más, hasta la propia NBA ha dedicado esfuerzos a globalizar su marca e impronta ya que desde la década de los 90 ha organizado la llamada NBA Global Games Series, la cual organiza partidos tanto amistosos como oficiales entre equipos de la liga más importante del mundo en países por fuera de Estados Unidos. Parte de estos encuentros se han hecho en países sin una gran historia en el mundo del básquetbol, como Japón, India o Sudáfrica. Sin embargo, una de las evidencias más tangibles en este deporte ha sido el casi imparable crecimiento de la cantidad de jugadores internacionales en la NBA. Dada la enorme diferencia de calidad entre esta liga con el resto, si de verdad un

¹ Sólo un jugador estadounidense del tercer quinteto ideal de la NBA (Kemba Walker) decidió representar a su país.

jugador es bueno, entonces jugará en la NBA y si existe una mayor globalización del deporte, entonces habrá una mayor calidad en el resto del mundo y aumentará la cantidad de jugadores que no son estadounidenses en dicha liga. De esta forma, analizamos la evolución el porcentaje de jugadores extranjeros sobre el total de la NBA entre la temporada 1979-80 y la actual 2019-20 en la Figura 1:

Porcentaje de Jugadores Extranjeros por Temporada en la NBA
1980-2020

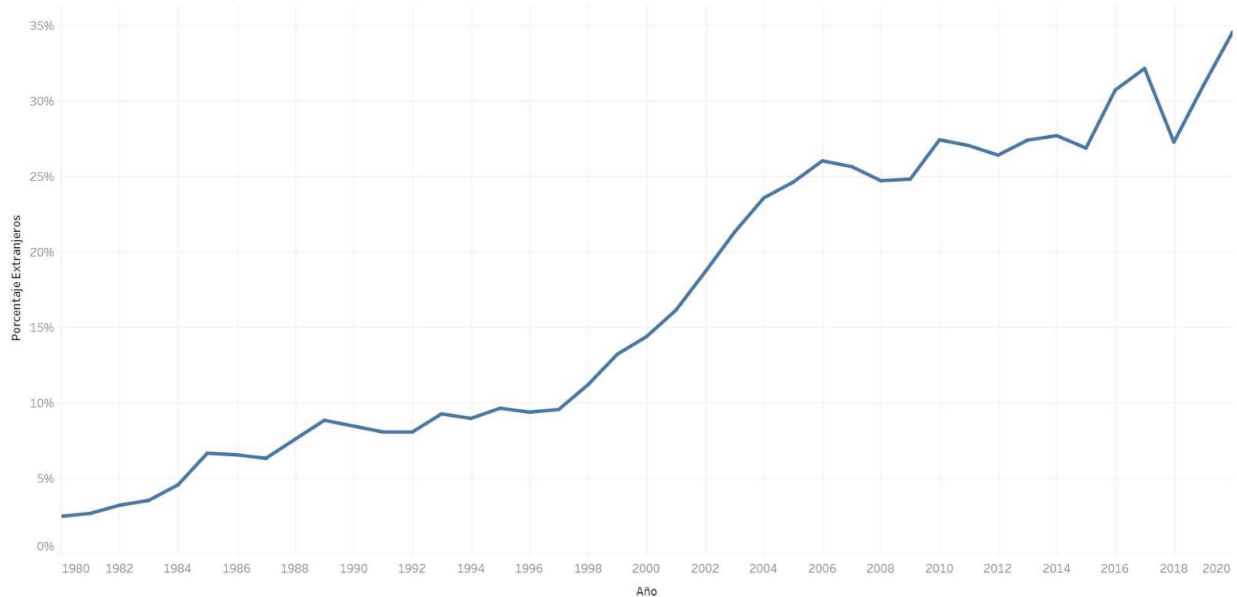


Figura 1: Evolución del porcentaje de jugadores extranjeros por temporada en la NBA: años 1980 a 2020.

Elaboración propia a partir de datos de basketball-reference.com

Como puede observarse en la Figura, la participación de los jugadores extranjeros crece a través de los años. Entre 1980 y 1999 el porcentaje de jugadores extranjeros nunca fue superior al 15%. No obstante, durante los últimos 5 años promedió el 30%, llegando a un máximo de 34% en esta última temporada. Esta Figura, así como los datos presentados anteriormente, muestran el incansable crecimiento a nivel global del básquetbol como deporte y marca.

4) Básquetbol en Argentina

Los comienzos de la relación entre el básquet y la Argentina se dieron por 1912, cuando el entonces profesor y director del Departamento de Educación Física de la Asociación Cristiana

de Jóvenes, Philip Paul Phillips comenzó a enseñar las reglas del deporte en un gimnasio ubicado en el microcentro de la Ciudad de Buenos Aires [VII]. Por más que en un primer momento solo juegan al básquet los asociados a la Asociación Cristiana, esto no frena el desarrollo del deporte ya que en 1917 se crea en Bahía Blanca la Asociación Bahiense de Basquetball [VIII] y en 1921 surge la Federación Argentina, formada por 13 equipos, se disputa el campeonato federado de la Argentina y se lleva a cabo el primer partido de la selección nacional organizada como tal. Tras haber sido el único país americano que funda la Federación Internacional de Básquetbol (FIBA, por sus siglas en francés) en 1932 y haber obtenido el Campeonato Sudamericano en 1934, la selección argentina se convirtió en el primer campeón mundial, tras coronarse en el campeonato disputado en Argentina en 1950. En el plano local, se destacó durante mediados de siglo la hegemonía de Gimnasia y Esgrima de Villa del Parque. Aunque se mantuvo cierto dominio en el básquet de selecciones sudamericano (consiguiendo los títulos en 1966, 1973, 1979, 1987 y el Panamericano 1995), las actuaciones en el plano mundial del equipo nacional durante la mayor parte de la segunda mitad del siglo XX fueron más modestas. Sin embargo, esto no frenó el desarrollo de los campeonatos locales, ya que en 1982 se anuncia la creación de la Liga Nacional, cuya primera edición se desarrolló en 1985, resultando Ferrocarril Oeste el primer campeón

Sin embargo, el mayor salto de calidad se observó a comienzos de la década de los 2000. Tras un buen preolímpico en 1999, dos argentinos desembarcan por primera vez en la NBA: Rubén Wolkowski y Juan Ignacio “Pepe” Sánchez. Sin embargo, en 2002 se da lo que parecía imposible: por primera vez, una selección argentina vence a un seleccionado estadounidense formado por jugadores NBA en el mundial de Indianápolis 2002, llegando por primera vez desde 1950 a una final mundialista. Eso daría comienzo a lo que se denominaría la “Generación Dorada”, una selección nacional formada por jugadores que tendría los mejores desempeños grupales e individuales de la historia. En el plano de selecciones, el éxito máximo se obtuvo en 2004, cuando luego de vencer nuevamente a Estados Unidos, se consiguió la medalla de oro en los Juegos Olímpicos de Atenas, convirtiendo a Argentina al único país que consiguió dicha distinción por fuera del seleccionado estadounidense desde que los jugadores NBA fueron habilitados a disputar dicho torneo. Además, se destacan las semifinales conseguidas en el Mundial 2006, la medalla de bronce en los JJOO 2008 y las semifinales de los JJOO 2012. Los logros grupales fueron complementados con galardones individuales: Emanuel Ginóbili,

considerado el mejor basquetbolista de la historia de Latinoamérica, llegó a la NBA en 2002 y a lo largo de 16 temporadas consiguió 4 títulos, 2 selecciones al juego de las estrellas y un premio al sexto hombre del año, entre otros galardones. En el plano grupal ayudó a consolidar, junto a sus compañeros Tim Duncan y Tony Parker el trío con mayor cantidad de victorias totales conseguidas y contribuyó al desarrollo de una franquicia que es hoy considerada como ejemplo de lo que es el manejo de un equipo. Todos estos logros han llevado a que sea considerado por medios estadounidenses como uno de los 50 jugadores más importantes de la historia de la NBA, ubicándolo en el puesto 37 [IX]. Además, deportistas como Andrés Nocioni, Fabricio Oberto (quien también consiguió un título en la liga estadounidense en 2007), Luis Scola (que en su primer año fue seleccionado como uno de los mejores 5 jugadores debutantes del campeonato) y Walter Herrmann también tuvieron pasos exitosos por la NBA.

Hoy, mirando en retrospectiva tras el retiro de la enorme mayoría de los jugadores de la Generación Dorada, su impacto es innegable. En primer lugar, le han abierto la puerta a basquetbolistas argentinos ya que hoy el país es sinónimo de profesionalismo, competitividad y calidad de juego. Es más, el sitio estadounidense SBNation considera que dicho grupo de jugadores cambió el básquetbol internacional para siempre, demostrando que la selección estadounidense podía ser vencida con la correcta combinación de “talento, trabajo en equipo y cohesión” [X]. Además, el básquet es hoy considerado uno de los deportes más populares en el país. Sin embargo, dada la falta de jugadores argentinos en la NBA (al menos, al comienzo de la temporada 2019-20) y la incertidumbre sobre los posibles futuros desempeños de la selección en competencias futuras (más allá del subcampeonato mundial obtenido en 2019), pueden llegar a existir dudas sobre el futuro de la popularidad de este deporte en el país.

5) La Liga Nacional de Básquet

Como fue mencionado anteriormente, en 1982 es anunciado en el famoso medio deportivo El Gráfico el lanzamiento de la LNB, impulsado por León Najnudel. Sin embargo, el partido inaugural fue tres años más tarde, el 26 de abril de 1985 entre Pacífico y Atenas de Córdoba, aunque el campeonato fue para Ferrocarril Oeste, quien venció en la serie de tres partidos final a Atenas de Córdoba. El primer campeón disputaría cuatro de las primeras cinco finales del torneo consiguiendo, además del título inaugural, los campeonatos de 1986 (venciendo a

Olimpo) y 1989 (ganándole otra vez a Atenas), y perdiendo la final de 1987 contra el equipo cordobés, quien además conseguiría el título de 1988 venciendo a River Plate y en 1990 frente a Sport Club. Durante los primeros años de competencia, la LNB tuvo varios cambios organizativos, en especial en el formato de las finales y el calendario utilizado. En cuanto al primer formato, sólo la primera temporada tuvo una serie final al mejor de tres, mientras que entre 1986 y 1990 las finales se jugaron al mejor de cinco partidos. En 1991 se dieron dos modificaciones importantes ya que no sólo se pasó de una serie final al mejor de siete partidos, sino que en vez de jugar una temporada por año calendario, cada campeonato arrancaría en la primavera de un año y terminaría en el otoño del siguiente, alineando el fixture con la NBA. Ambas modificaciones siguen vigentes hoy en día, aunque desde temporada 2015-16, la cantidad de equipos se ha aumentado a 20.

Tras 35 ediciones de la Liga Nacional de Básquet, el equipo con más campeonatos es Atenas de Córdoba con 9, aunque el podio lo completan Peñarol de Mar del Plata y San Lorenzo de Almagro, con 5 y 4 títulos respectivamente. En el caso de los entrenadores, el mayor poseedor de torneos es Sergio Hernández, actual director técnico de la Selección Argentina de Básquetbol, con 6, mientras que Julio Lamas tiene 5 y Rubén Magnano (ambos ex entrenadores del seleccionado nacional), 4. Por último, mirando a los jugadores Leonardo Gutiérrez es el que posee más campeonatos (10), mientras que Héctor Campana, Marcelo Milanesio y Marcos Mata tienen cada uno 7 campeonatos. Además, pueden destacarse algunas rivalidades históricas, dadas por cercanía geográfica (por ejemplo, Quilmes y Peñarol de Mar del Plata), legado y éxito histórico (Ferro, Atenas de Córdoba, Peñarol de Mar del Plata y Boca Juniors) y por herencia de las rivalidades provenientes del fútbol (como Boca Juniors y San Lorenzo de Almagro).

Algo que ha caracterizado históricamente a la Liga Nacional de Básquet a comparación con el Torneo de Primera División de Fútbol es su mayor grado de federalismo. A modo de ejemplo, observamos para las temporadas 2013-14 y 2018-19 el porcentaje de equipos en cada liga que venía de Buenos Aires o la Capital Federal versus el porcentaje proveniente a otras provincias tanto para la LNB como para el Campeonato de Primera División de Fútbol Argentino:

Porcentaje por Liga de los equipos que están en Buenos Aires versus el resto del país
Liga Nacional de Básquet y Torneo Primera División de Fútbol - Argentina

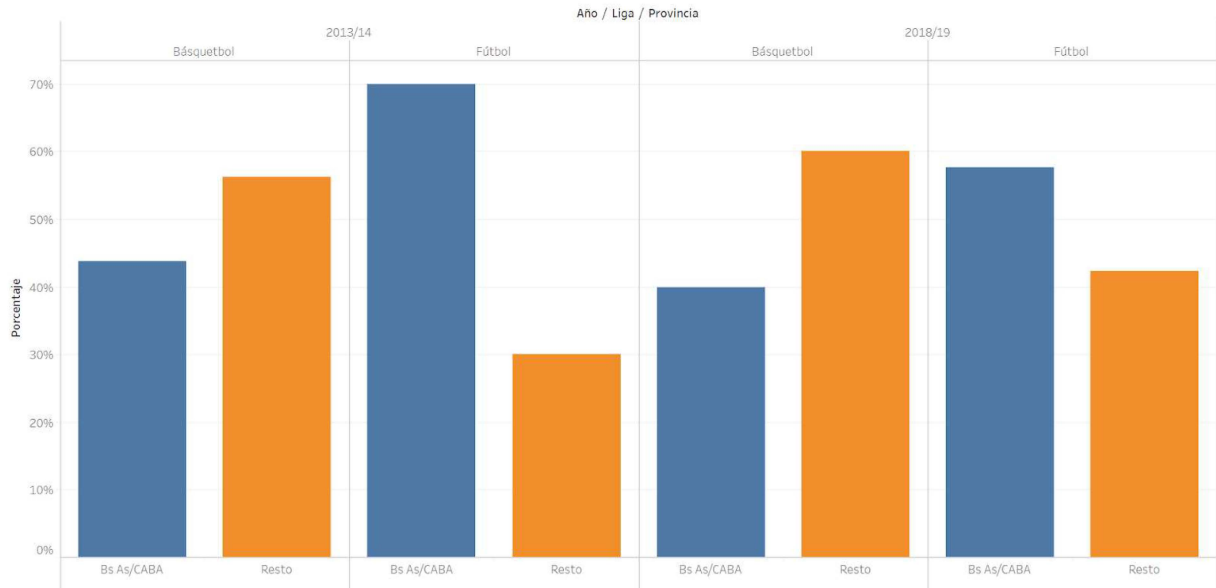


Figura 2: Porcentaje por Liga de los equipos que están situados en la Ciudad o Provincia de Buenos Aires versus el resto del país para las temporadas 2013-14 y 2018-19

En la misma dirección, pero no por eso menos interesante es observar la distancia promedio de los distintos equipos de las ligas correspondientes con el Congreso de la Nación Argentina. Aquí puede observarse un patrón similar: una menor distancia promedio para los equipos que disputan el Torneo de Primera División del Fútbol Argentino, lo cual refuerza la idea de que en dicho deporte existe una mayor concentración en Buenos Aires o zonas aledañas:

Distancia promedio al Congreso de la Nación de los equipos por temporada
Liga Nacional de Básquet y Torneo Primera División de Fútbol - Argentina

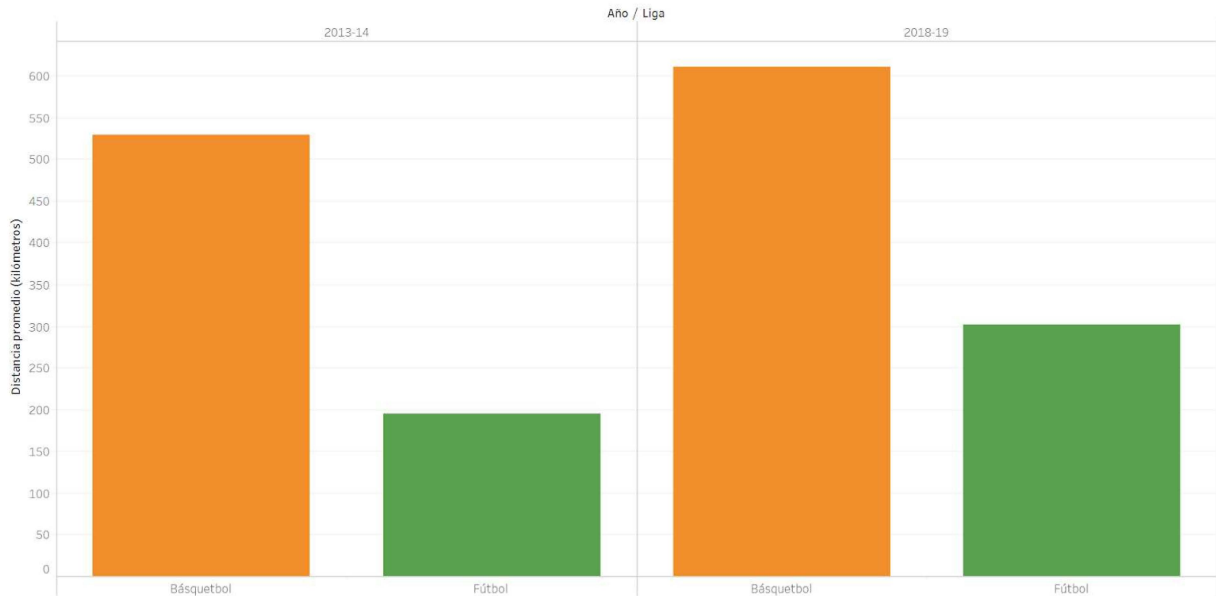


Figura 3: Distancia promedio al Congreso de la Nación por de los equipos participantes en cada liga para las temporadas 2013-14 y 2018-19

Actualmente, la Liga Nacional está atravesando un proceso de crecimiento y modernización. En dicho proceso, se ha intentado posicionar a la marca de La Liga, tal como se ha hecho en Estados Unidos o Europa. Se han tomado acciones concretas como mejorar iluminación, embellecer las camisetas de los equipos, brindar apoyo para que los distintos clubes puedan realizar mejores campañas de marketing e implementar una campaña de comunicación en redes sociales más agresiva. Para 2016, el presidente de la Asociación de Clubes de Básquetbol, Fabián Borro, sentenciaba que con estos cambios se logró triplicar el rating televisivo y que el básquet es el segundo contrato televisivo más grande a nivel de negocio para el canal que transmite la competición, TyC Sports [XI] . Además, la Asociación de Clubes de Básquetbol no sólo ha fomentado el básquetbol masculino profesional ya que la Liga no es la única competición bajo su paraguas. Algunos ejemplos de esto son La Liga de Desarrollo, la cual se implementó para que los jugadores de divisiones juveniles en los equipos de La Liga Nacional tengan más minutos para jugar ya que su rol en los equipos de la máxima competición suelen ser menores; la Liga Femenina que ayuda a desarrollar y fomentar el deporte entre las mujeres; La Mini Liga, que permite a los jugadores sub 15 de los equipos de la Liga Nacional tener un torneo en el cual desarrollarse y La Liga 3x3, torneo en el cual se juegan partidos reducidos

entre equipos de tres jugadores y permite tener partidos rápidos y cuya forma de juego está influenciada por el básquet callejero. Estos datos y hechos ayudan a evidenciar el crecimiento de una liga que ha sabido aprovechar el viento de cola que le ha dado el éxito de los deportistas argentinos en el exterior.

6) El sistema actual de fixture y la propuesta de un cambio

Hasta la temporada 2013-14 la Liga contaba con 16 equipos, divididos en dos conferencias. El certamen se jugaba en dos etapas: en la primera se enfrentaban los equipos de la misma conferencia mientras que en la segunda se enfrentaban entre todos los participantes, en ambos casos ida y vuelta. Por lo tanto, cada equipo jugaba 44 partidos en la etapa regular. El torneo se organizaba en un formato de parejas (asignadas de antemano, y que se mantienen durante toda la temporada) y los partidos solo se disputaban viernes y domingos. Cada fin de semana una pareja de equipos $A = (A_1, A_2)$ visitaba a otra pareja $B = (B_1, B_2)$. El viernes se enfrentaban A_1 con B_2 y A_2 con B_1 , mientras que el domingo se invertían los enfrentamientos. Había un fin de semana en la etapa regional y otro en la etapa nacional destinado a los enfrentamientos para los partidos entre equipos de una misma pareja ya que estos estarían ubicados cerca. Tras terminar la temporada, los 12 mejores equipos disputarían, para definir al campeón, unos playoffs con series al mejor de siete partidos.

La organización en parejas es una gran ventaja de este sistema ya que, al agrupar a los equipos se reducen a la mitad la cantidad de participantes entre los que hay que agendar partidos. Por otro lado, en esta propuesta una pareja visita a otra durante un fin de semana, mientras que en una organización basada en equipos, un equipo visita/recibe a un rival el viernes y otro el domingo, por lo que, en un sistema de parejas, se reduce la cantidad de partidos a agendar por fin de semana, lo cual hace más sencillo llegar a una buena solución. Sin embargo, este sistema contaba, según la organización, con dos problemas importantes: el primero era que las parejas y el fixture se armaban de forma manual, lo cual podía llegar a resultar en asignaciones ineficientes, mientras que el segundo era que al ser Argentina un país muy extenso, había poco aprovechamiento para jugar varios partidos de forma seguida, lo cual implicaba más viajes y desgaste. Por lo tanto, a partir de la temporada 2014-15 se decidió pasar a un sistema de giras, similar al utilizado en la NBA. Este cambio implicaba abandonar las parejas y que los partidos

que sólo pudieran ser disputados viernes y domingo. Sin embargo, este cambio hacía que fuera necesario diseñar el sistema de giras, para lo cual se utilizó un enfoque de MILP. En este sentido, habría que elegir de todas las giras posibles, las que hicieran que se minimice la distancia total recorrida. Sin embargo, esto puede no ser asequible en la práctica ya que el número de giras posibles es inmenso (por ejemplo: una gira de tres partidos del equipo de Santa Cruz, Hispano Americano, a Buenos Aires en la que visita a los equipos San Lorenzo, Boca Juniors y Obras Sanitarias tiene 6 combinaciones posibles). Por lo tanto, para facilitar el trabajo, se les pidió a los equipos que provean potenciales giras a realizar y que marquen cuáles de estas giras eran sus preferidas. Se incentivó a los equipos que provean giras redundantes y no tan deseables por una cuestión de que, en este contexto, aún encontrar una solución factible, aunque de mala calidad, puede ser un desafío en términos computacionales. Teniendo esto en consideración, se armó un modelo de MILP cuyo objetivo fuese maximizar la cantidad de giras preferidas, colocando restricciones para asegurar todos los enfrentamientos posibles entre los distintos equipos, para que todos los equipos tengan semanas de descanso por las Fiestas o para que ningún equipo juegue más de 4 partidos de forma consecutiva de visitante.

Estos cambios no fueron totalmente satisfactorios, ya que a partir de la temporada 2017-18 y por la enorme duración del torneo bajo este sistema se pasó a un sistema de conferencia única en el que se jugaba ida y vuelta todos contra todos. Al existir una reducción en la cantidad de partidos se instauró un torneo llamado Súper 20 que se disputaría en su mayoría antes del comienzo de la Liga y lo jugarían en formato de eliminación directa los 20 equipos de la LNB. Sin embargo, según los objetivos que se fueron planteados, los modelos de MILP utilizados han sido relativamente exitosos ya que al comparar los kilómetros totales recorridos por los distintos equipos en la temporada 2014-15, estos han sido 8% menores que en la edición 2013-14, por más que cada equipo haya jugado más partidos y por más que se haya aumentado la cantidad de equipos [12]. Es más, si se toma como métrica el promedio de kilómetros viajados por equipo por cada partido de visita, en la temporada 2014-15 se consiguió una reducción del 31% versus la temporada 2013-14. Estas menores distancias se han traducido en ahorros económicos, lo cual ha permitido a algunos clubes reemplazar viajes en bus por viajes en avión. Además, según el ex basquetbolista y presidente de Bahía Basket, Juan Ignacio “Pepe” Sánchez, este sistema “ha llevado [los] costos y tiempos de viaje a poco más de la mitad, lo que

ha permitido mayor tiempo de descanso y entrenamiento, y una disminución en las lesiones con respecto a otras temporadas”[12].

Sin embargo, hay varias razones que hacen pensar que la decisión de cambiar de un formato de parejas que juegan los fines de semana a equipos que juegan en cualquier día de la semana puede generar algunos efectos colaterales no deseables. En primer lugar, está la cuestión idiosincrática, ya que cambiar los días de juego representa un cambio grande tanto para jugadores como para los hinchas de los clubes. Como menciona el presidente de Peñarol de Mar del Plata, Domingo Robles, "todos estamos acostumbrados a viernes y domingo, porque era una salida, después te ibas a comer una pizza, a los chicos ya los tenías acostumbrados de esa manera"[I]. Por otro lado, por más que se disminuyen los viajes, puede haber injusticia en el nivel de cansancio de los distintos equipos que disputan un partido (por ejemplo, un equipo descansado puede enfrentar a uno que está en el cuarto partido de una gira), como criticaron en 2014 Leonardo Gutiérrez y Martín Leiva [XII]. Además, por más que en la NBA se utiliza el sistema de giras, los equipos juegan más partidos contra sus rivales cercanos. Esto no sucede con el último sistema implementado por la LNB, en el que se juegan la misma cantidad de partidos contra los contrincantes que están cerca como con los que están lejos, lo cual hace crecer la cantidad de kilómetros recorridos. Adicionalmente, al utilizar el sistema de giras se le está pasando el control del fixture a los clubes, los cuales pueden llegar a generar un schedule con una agenda que puede ser subóptima para la organización general de la liga. Si esto estuviera controlado de forma central, se podrían priorizar ciertos emparejamientos en los que la Liga tiene un interés estratégico (por ejemplo, colocar partidos en la turística ciudad de Mar del Plata durante las vacaciones de verano o el fin de semana largo de Semana Santa).

Quizás la crítica más importante es que, por varios motivos, la Liga Nacional de Básquet y la NBA no son semejantes. En primer lugar, mientras que los equipos de la liga estadounidense son manejados como empresas y tienen una importante impronta de negocio, los participantes del campeonato argentino son en su mayoría asociaciones civiles con un gran impacto en el desarrollo formativo del deporte y con una gran importancia en la comunidad local. Por este motivo, los clubes participantes de cada una de las dos ligas tienen objetivos distintos: mientras que en la NBA importa generar ganancias y un espectáculo sin igual, los clubes de la LNB son también lugares de encuentro y desarrollo para niños, jóvenes y toda la comunidad. Además, no

hay que dejar de mencionar que mientras muchos de los clubes y jugadores de la NBA son marcas globales (a modo de ejemplo, 3 jugadores de dicha liga – LeBron James, Stephen Curry y Kevin Durant – están entre los 10 deportistas mejores pagos del mundo [XIII]), que atraen a fanáticos y patrocinantes de todo el mundo, los equipos del campeonato argentino tienen un espíritu más local y llegan a reunir solamente a la comunidad de su ciudad, sin poder trascender demasiado internacionalmente. Adicionalmente, las condiciones económicas de ambos países difieren mucho como para pensar que el mismo modelo de negocios puede ser implementado en ambos lugares: mientras que turistas de todo el mundo visitan los estadios de la NBA y los partidos suelen estar llenos de público en casi todos los encuentros, algunos equipos de la LNB están localizados en lugares con un bajo nivel de desarrollo socioeconómico (por ejemplo, Quimsa está en una provincia, Santiago del Estero, en la que un 19,3% de los hogares tiene cloaca [13]), por lo que es difícil pensar que los fanáticos de estos clubes puedan costear hacer tres viajes en una semana a ver un entretenimiento deportivo. Por otro lado, como se mencionó anteriormente, la superioridad de la NBA contra el resto del mundo es abismal, por lo que es lógico que dicha liga pueda darse el lujo de organizar partidos en cualquier día de la semana. Es más, otro de los campeonatos más importantes de Estados Unidos, el torneo universitario nacional de la NCAA, para el cual se llegan a vender entradas que superan los US\$ 10.000 [XIV], tiene la enorme mayoría de sus partidos entre sábado y domingo (tan sólo la final nacional, día en el cual no hay partidos de NBA para que la atención esté focalizada en el campeonato universitario, se disputa un lunes). Para reforzar esto, vemos algunas de las ligas más fuertes por fuera de Estados Unidos y evaluamos el porcentaje de partidos que en la temporada 2018-19 que se han jugado en el fin de semana (se toma como fin de semana los partidos disputados los días viernes, sábado o domingo):

País	Liga	Porcentaje de partidos en fin de semana
Australia	NBL	52,5%
China	CBA	30,8%
España	Liga ACB	87,1%
Francia	LNB Pro A	54,6%
Grecia	HEBA A1	79,0%
Italia	Lega Basket Serie A	86,8%

Tabla 1: Porcentaje de partidos que se han jugado viernes, sábado o domingo en la temporada 2018-19 por liga.

Fuente: basketball-reference.com

Dado que, si la asignación fuese totalmente aleatoria, el porcentaje de partidos en el fin de semana debería ser aproximadamente 42,85% (dado por el resultado de la división de 3/7), se ve que, salvo en China, existe en estos torneos una preferencia por jugar partidos durante el fin de semana, en especial en las 3 ligas europeas más importantes según Bleacher Report [XV]: España, Grecia e Italia.

Tras comunicarnos con algunos de los clubes participantes de la temporada 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet Argentina, hemos descubierto que muchos compartían la opinión de que el nuevo sistema no era del todo satisfactorio. Con respecto a esto, hemos logrado contactarnos con siete de los veinte equipos de la Liga Nacional vía mail o teléfono (QUIMSA, Libertad de Sunchales, Atenas de Córdoba, Gimnasia de Comodoro Rivadavia, Hispano Americano, Peñarol de Mar del Plata y Quilmes de Mar del Plata) para consultarles sobre su opinión respecto del nuevo sistema. La opinión generalizada ha sido crítica (de los consultados sólo Gimnasia se mostró de acuerdo) ya que actualmente “la gente no sabe cuándo son los partidos”. Mostrando el espíritu local del deporte para algunos clubes, nos han mencionado que algunos equipos pidieron no jugar los sábados ya que “ese es el día que la gente va al cine o sale a comer”. Por más que en los clubes existe una generalizada ausencia de datos, las declaraciones más interesantes fueron dadas por QUIMSA (comentaron que el fin de semana aumenta la venta de entradas un 60%), Atenas de Córdoba (con el sistema anterior la asistencia promedio era 50%, mientras que ahora ese número se redujo a 30%) y Quilmes de Mar del Plata (dado el gran número de partidos consecutivos como local, marzo de 2019 fue el primer mes deficitario -ya

que mucha gente optaba por no ir a todos los encuentros- tras varios superavitaros). Es más, aunque todos los partidos pueden ser vistos vía streaming, los clubes no reciben dinero por esto.

Por otro lado, es interesante estudiar la estructura de costos de los clubes, la cual también muestra evidencia de que un mejor sistema es necesario. En particular, el tesorero del club Argentino de Junín, Daniel Poggi nos comentó que a principio de la temporada 2019/20 habían calculado que los costos logísticos eran muy similares a los honorarios profesionales (plantel de jugadores y cuerpo técnico), mientras que el encargado de la Liga Nacional del club San Martín de Corrientes, Alberto Ojeda sostiene que los costos logísticos representan el 70% de lo que se paga por nómina salarial, aunque afirma que, si no se tienen en cuenta los jugadores extranjeros, los costos logísticos superan los salariales. Lo que más preocupa de este número es que la cotización del dólar en dicho momento rondaba los 45 pesos, por lo que en un contexto de inestabilidad económica, depreciación de la moneda local y el hecho de que muchos de los gastos en una gira corresponden a bienes cuyos precios están dolarizados (por ej. pasajes de avión, hoteles) o a bienes transables (por ej. combustible, alimentos) hacen que los clubes (cuyos ingresos están en pesos) estén expuestos a distintos vaivenes de la economía nacional, la cual ha sufrido varios golpes desde abril de 2018. En este sentido, Ojeda nos comentó que el costo por kilómetro en la última temporada pasó de \$42 a \$62, lo cual refuerza la incertidumbre económica por la que pasan los clubes. Además, Poggi menciona que la falta de infraestructura logística del país fuerza a situaciones incómodas como la siguiente: “las giras de los equipos son de 2 o 3 partidos fuera de casa, y a veces el avión te deja en un Aeropuerto central donde jugás, pero a las 48 horas tenés que viajar a otra ciudad más cerca y habría que contratar una combi, y a las 48 horas. otra, con lo que significa el costo y la incomodidad”. Dicha declaración hace pensar que un sistema en el que haya menos partidos consecutivos en una semana podría ser más conveniente. Viendo los gastos incurridos por los clubes, cuando están de gira, Ojeda nos señaló que la estadía en hotel por 48 horas para la delegación de un club tenía un costo de \$ 150.000. Por último, Poggi nos comentó los siguientes costos incurridos por partido por los clubes (a precios de marzo de 2020):

Concepto	Costo en pesos argentinos
Costo Variable por kilómetro	70
Policía	20.000
Control de UTEDYC	5.000
Mesa de control	12.000
Jueces	40.000
Sistema de audio del estadio	1.000
Venta de entradas	3.000
Control de tableros y LED	4.000

Tabla 2: Costos incurridos por los clubes a la hora de viajar o ser locales de un partido de Liga Nacional de Básquet a precios de marzo 2020 según Argentino de Junín

Todo esto hace que sea imperativo repensar el sistema de scheduling de la Liga Argentina de Básquet. Por más que el objetivo de la organización central sea modernizar la competición e imitar a la NBA es importante contemplar la características particulares del deporte en nuestro país, incluyendo el espíritu local y federal existente. La asistencia de los partidos del torneo depende en gran parte de los habitantes de las distintas provincias argentinas, algunos de los cuales viven en zonas de subdesarrollo y pobreza. Este es un dato no menor a la hora de intentar que un torneo tenga el mayor crecimiento posible, en especial en un contexto en el que existe incertidumbre sobre si continuará en el futuro el éxito de los basquetbolistas argentinos en el exterior, el cual ha ayudado enormemente a hacer crecer el deporte en el país. Es decir, en un contexto en el que no se sabe si habrá jugadores nacionales en la NBA o si la selección podrá disputar los primeros puestos de las competencias internacionales, la Liga pasa a tener un papel más importante que antes en el desarrollo del básquetbol en Argentina, por lo que es importante intentar generar interés y fanatismo en la mayor cantidad de gente posible.

7) Problema a resolver

Según lo mencionado anteriormente, planteamos que sería mejor armar un fixture que traiga una mayor congruencia entre los objetivos de la organización central y los de los distintos

clubes. En este sentido, el cambio operativo vendrá de modificar el fixture para que se jueguen más partidos contra los rivales más cercanos y/o reducir la cantidad de partidos. Por lo tanto, consideramos como alternativa volver al sistema de parejas, restringiendo los partidos solamente los fines de semana, para luego hacer una comparación con el sistema actual. Reharemos por lo tanto los fixtures de las temporadas 2013-14 (última con un sistema manual de parejas) y 2018-19 (última temporada completa). A continuación, presentamos la ubicación geográfica de los clubes participantes por temporada:



Figura 4: Ubicación geográfica de los equipos participantes de la Liga Nacional de Básquet 2013-14



Figura 5: Ubicación geográfica de los equipos participantes de la Liga Nacional de Básquet 2018-19

7.a) Datos utilizados

Para el armado del fixture se utilizaron diversas fuentes de datos distintas. A continuación, se presentan las distintas fuentes con una pequeña muestra:

- Fixtures de las temporadas 2013-14 y 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet:

Fecha	Zona	Local	Puntaje	Visitante
10/09/2013	Zona norte	Atenas	90 - 95	Regatas (C)
10/10/2013	Zona norte	QUIMSA	99 - 97	La Unión
10/10/2013	Zona sur	Peñarol	91 - 86	Quilmes
10/11/2013	Zona norte	Estudiantes (C)	64 - 67	Olímpico (LB)
10/11/2013	Zona norte	Sionista	78 - 59	Libertad (S)

Tabla 3: Muestra del fixture de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

- Direcciones de los clubes participantes de las temporadas 2013-14 y 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet, utilizadas para calcular, mediante la librería de Python Geopy, una matriz de distancia entre los distintos equipos:

Equipo	Conferencia	Dirección
Atenas	Norte	Alejandro Aguado 775, General Bustos, Córdoba
QUIMSA	Norte	Independencia 660, G4200 Santiago del Estero
Peñarol	Sur	Garay 2524, Mar del Plata, Buenos Aires
Estudiantes (C)	Norte	San Luis 421, Concordia, Entre Ríos
Sionista	Norte	Enrique Carbó 149, Paraná, Entre Ríos

Tabla 4: Muestra del fixture de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

- Tabla de posiciones de las temporadas 2012-13 y 2017-18 de la Liga Nacional de Básquet. Más adelante se explicará el uso de la tabla de posiciones como *input* para calcular el interés esperado de un partido.

Equipo	Posición
Regatas (C)	1
Lanús	2
Peñarol	3
Boca Juniors	4
Argentino (J)	5

Tabla 5: Muestra de la tabla de posiciones de la temporada 2012-13 de la Liga Nacional de Básquet

7.b) Preguntas a responder

Una vez que se tienen los datos, es importante señalar cuál es el beneficio potencial de nuestra propuesta. En principio, la misma nos permite responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el beneficio de utilizar un fixture armado con MILP por sobre uno manual? Para hacer esto, compararemos nuestra propuesta de solución con el fixture manual utilizado en la temporada 2013-14
- ¿Cuál es el impacto en las ganancias económicas esperadas la decisión de pasar de un sistema de giras a uno de parejas en el que se juegan los fines de semana? Para eso compararemos nuestra propuesta con el fixture basado en giras utilizado en la temporada 2018-19.
- ¿Cuál es el impacto en las variables relevantes de negocio que tienen las decisiones sobre el modelado? Para esto, compararemos las múltiples formulaciones propuestas, cada una con un objetivo de negocio distinto.

7.c) Opciones para el modelado

Dado que nuestra propuesta implica un cambio de sistema (el pasaje de un sistema de giras a uno de parejas), consideramos que este puede no ser el único cambio posible a la hora de diseñar el nuevo fixture. A continuación, se presentan las distintas opciones que el potencial usuario podría modificar a la hora de usar el sistema propuesto:

- Armado de las parejas: Las parejas podrían estar armadas según técnicas basadas en la teoría de grafos o según un modelo de MILP.
- Etapas de la competencia: El torneo podría estar organizado en
 - Una única etapa nacional. Una pareja podría potencialmente jugar un fin de semana contra equipos de la misma conferencia y al siguiente contra contrincantes de la otra conferencia, como sugiere el presidente de Peñarol de Mar del Plata, Domingo Robles [1]. En este caso, se jugaría una vez contra los equipos de la conferencia contraria y dos veces (ida y vuelta) contra los equipos de la misma conferencia.
 - Dos etapas (una etapa regional y una etapa nacional). Se armaría un sistema parecido al existente previo a las giras: una primera fase regional en el que jugarían entre sí los equipos de una misma conferencia todos contra todos ida y vuelta y una segunda fase nacional en la que los equipos jugarían todos contra todos en una ronda (aunque, en la fecha intrapareja, se jugarían los dos partidos).
- Organización de la etapa regional: Uno de los principales beneficios de utilizar un sistema de parejas es que reduce la complejidad algorítmica del armado del fixture ya que en vez de tener que emparejar n equipos, se deben emparejar $\frac{n}{2}$ parejas. Si en el todo el torneo hay n equipos, entonces en cada una de las etapas regionales ya habrá $\frac{n}{2}$ equipos, por lo que la complejidad algorítmica si se arma el fixture de la etapa regional emparejando equipos individuales será la misma que la de la etapa nacional utilizando parejas.
- Función objetivo: Por más que en gran parte de la literatura el objetivo de los modelos de *sports scheduling* ha sido la minimización de la distancia total recorrida por los equipos, este no es el único tipo de fin que podría ser elegido. Además, se podría intentar que la distancia recorrida por todos los equipos sea lo más pareja posible, hacer que los distintos fines de semana generen un nivel de interés similar para mantener la atención del público en toda la competencia o maximizar el nivel de interés en las últimas fechas, enfrentando equipos rivales o que han finalizado cerca en la tabla de posiciones en la temporada anterior en los últimos encuentros, como proponen Durán y Guajardo [14].

De esta forma, y a través de las distintas combinaciones de elecciones que un usuario tiene, el potencial organizador de la liga podría evaluar distintos modelos para ver cuál es el más conveniente y, además, hacer un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de una decisión en alguna métrica (por ejemplo, ¿cuál es el impacto de intentar maximizar el interés en la liga en las últimas fechas en la distancia recorrida?). Por otro lado, el hecho de que haya más partidos entre equipos de la misma conferencia hace que sea más justo imitar a la NBA imponiendo dos tablas de posiciones para la clasificación a los playoffs: una por conferencia. Por más que esto acerca el formato de la LNB al de la liga estadounidense, esto se justifica por el hecho de que, a diferencia de la gran mayoría de los países europeos, Estados Unidos y Argentina son de los 10 países con más superficie del planeta. De esta forma, diagramamos las distintas opciones posibles:

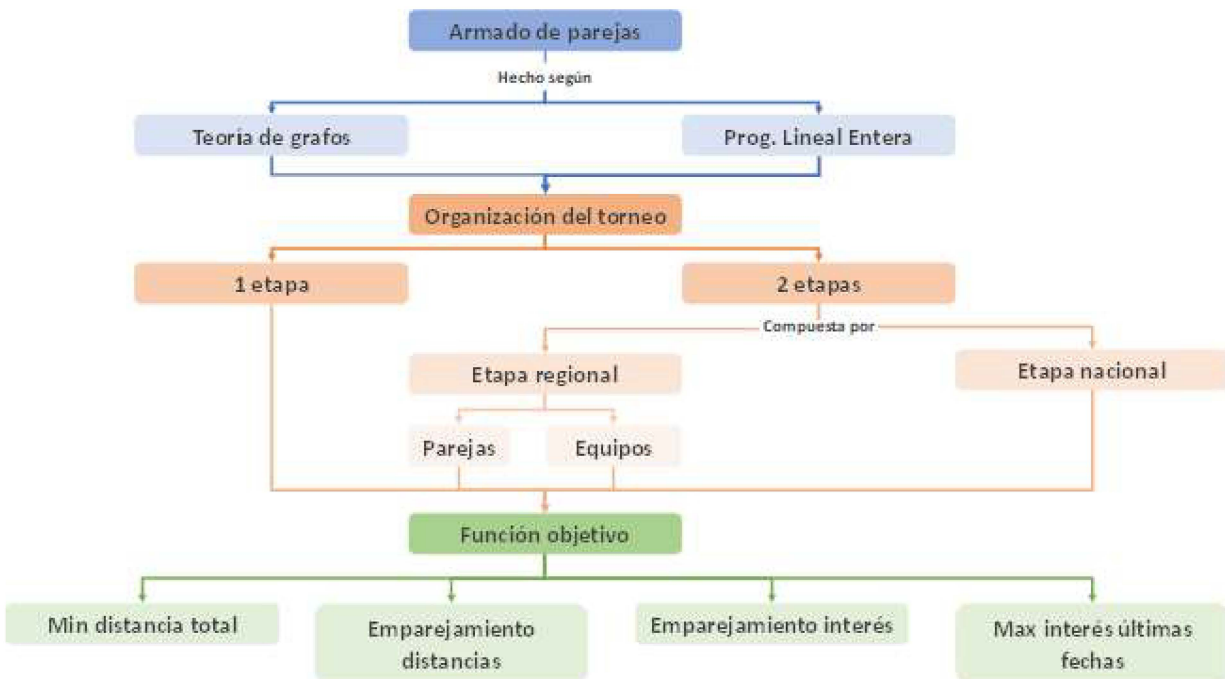


Figura 6: Distintas opciones propuestas para la organización del fixture de la Liga Nacional de Básquet

8) Modelado

8.a) Armado de las parejas

Como se mencionó anteriormente, se consideraron dos métodos distintos para el armado de parejas: el primero surge de la teoría de grafos y es llamado *minimum weight matching*. Este método parte de un grafo completo $G = (V, E)$ e intenta encontrar el subconjunto de ejes \hat{E} , tal que todos los nodos estén en un solo eje perteneciente a \hat{E} y tal que la suma del peso de los ejes en \hat{E} sea mínima [15]. A modo de ejemplo, presentamos un grafo con los equipos de la conferencia norte de la temporada 2013-14 de la LNB en el que los nodos son los equipos y los pesos de los ejes están representados por la distancia en kilómetros entre los distintos equipos:

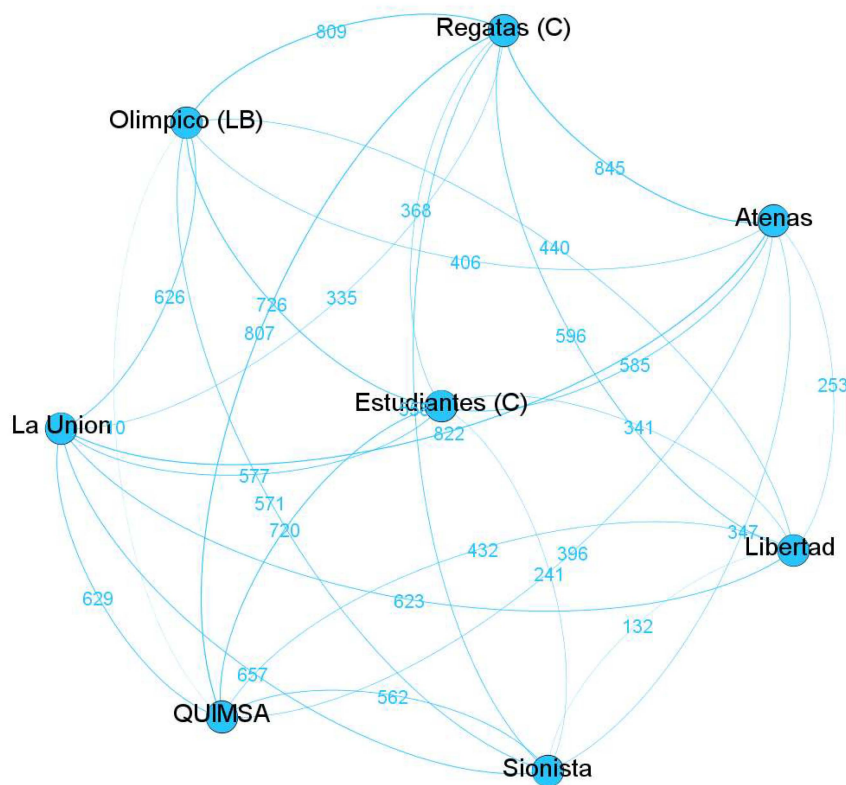


Figura 7: Grafo completo hecho con los equipos de la conferencia norte de la temporada 2013-14 de la LNB

Tras correr el algoritmo de *minimum weight matching*, volvemos a mostrar el grafo, ahora con distintos colores según la pareja. Fácilmente puede observarse que las parejas están formadas por equipos que están relativamente cerca entre sí:

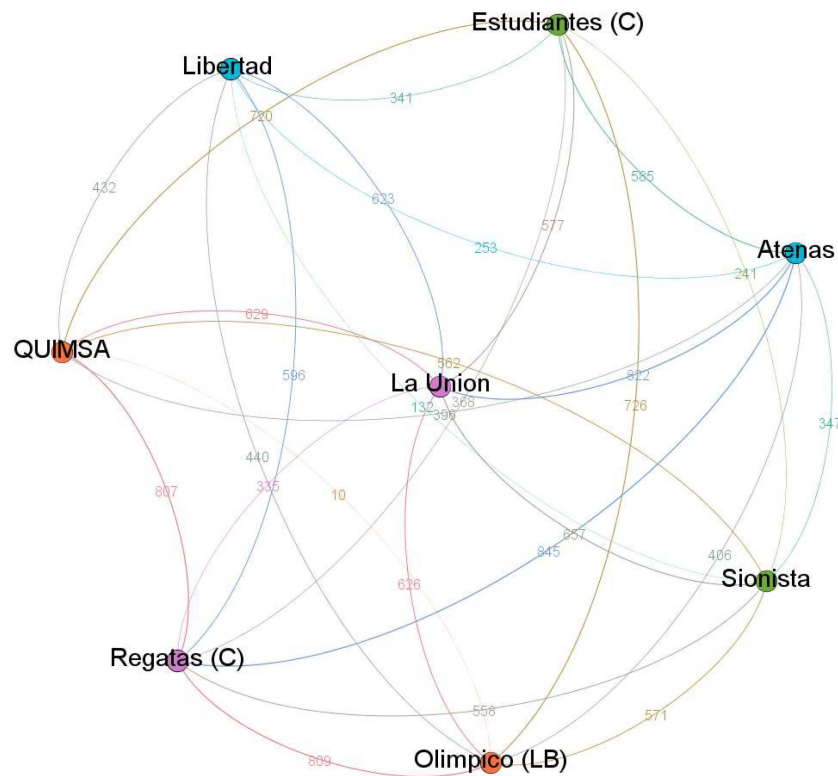


Figura 8: Grafo completo hecho con los equipos de la conferencia norte de la temporada 2013-14 de la LNB marcando con colores las distintas parejas

Como fue mencionado anteriormente, el segundo enfoque utilizado para el armado de parejas fue un modelo de MILP. Dicho modelo es una adaptación de lo presentado por Bonomo et al [10] . Los autores sugieren que por más que el enfoque de teoría de grafos da una solución válida al problema del *matching*, representa un óptimo local ya que en ningún momento considera el problema de los viajes entre las distintas parejas o el objetivo de minimizar la distancia total de los distintos equipos. La contracara de esto es que el algoritmo propuesto puede llegar a tardar varias horas en dar una solución satisfactoria (a modo de ejemplo, se

debió correr el modelo aproximadamente 8 horas a la hora de realizar los emparejamientos con los equipos de la temporada 2018-19 para tener un gap de optimalidad menor al 10%).

Los autores plantean que, bajo lo que pudieron observar, en general existe empíricamente una solución óptima que hace que cada equipo tenga dos fines de semana consecutivos como visitante antes de volver a su estadio para jugar de local. De esta forma, arman un modelo que imite esta suposición: todos los equipos arrancan en su hogar, pasan dos fines de semana de viajes jugando de visitante y posteriormente vuelven a su estadio y así sucesivamente. Este enfoque intenta generar el mejor emparejamiento posible encarando el problema de una manera global. Sin embargo, el output del modelo no es un fixture factible ya que, por ejemplo, según lo planteado, todos los equipos jugarían simultáneamente de visitante, lo cual es imposible.

Si n es la cantidad de equipos en la liga, formalmente, llamamos $P = \{1, \dots, n\}$ al conjunto de equipos de la liga y notamos con d_{ij} a la distancia a recorrer entre los equipos i y j , con $i, j \in P$, $i \neq j$. El cronograma de la liga lo modelamos mediante un conjunto de slots $TS = \{1, \dots, m\}$, donde m es igual a $n + \lceil (n-1)/4 \rceil$. ¿Por qué m tiene ese valor? Dado que el modelo supone que cada equipo arrancará en su hogar, tendrá cuatro partidos de visitante, volverá a su casa y así sucesivamente, podemos pensar que el término n corresponde a los $n-1$ partidos de visitante y el slot inicial en el que cada equipo está en su hogar. Por otro lado el término $\lceil (n-1)/4 \rceil$ corresponde a los slots en los que los participantes vuelven a su hogar. Por ejemplo, si hubiera 12 clubes participando, un equipo volvería a su hogar tres veces: luego de visitar los primeros cuatro contrincantes (en el slot 6 ya que en el 1 está en su hogar), luego de visitar los siguientes cuatro y luego de visitar los últimos tres, por lo que si $n = 12$, entonces $m = 15$. Por otro lado, el último slot de TS no es un partido si no que corresponde al momento en el que todos vuelven a su hogar, por lo que el conjunto de slots con partidos T se define como $\{1, \dots, m-1\}$.

Adicionalmente, identificamos algunas fechas en particular para facilitar la escritura del modelo: se define a H como el conjunto de fechas en los que un equipo está en su hogar. Formalmente $H = \{k : k = \min(m, 5t + 1) \text{ para } t = 0, \dots, \frac{n}{4}, t \in \mathbb{Z}\}$, donde el 5 está relacionado con la cantidad de partidos de visitante por gira. La intuición sobre los valores de H es la

siguiente: su primer valor será 1 (la primer fecha, ficticia), mientras que, como se observó en el caso en que $n = 12$, el segundo valor será 6 (durante los slots 2 a 5 se visitará a otros equipos). Por último, si $n - 1$ no fuese divisible por 4, entonces el último set de partidos de visitante será menor a 4 y por lo tanto, se volverá al hogar en el slot m . Además, se define a W como el conjunto de fechas en las que arranca un fin de semana. Formalmente, $W = \{k : k = 5t + 2, 5t + 4 \text{ para } t = 0, \dots, \lfloor \frac{n-1}{4} \rfloor, t \in Z\}$. Notar que W está definido de tal forma que para cada $f \in W$, los slots f y $f + 1$, representan los dos partidos en un fin de semana. De esta forma, los equipos de una pareja deberían jugar contra los equipos de otra pareja en los slots f y $f + 1$. Así, por más que el modelo está organizado en fechas, los slots pertenecientes a W definen el comienzo de un nuevo fin de semana.

Definimos la variable binaria w_{ij} que toma valor 1 si y sólo si los equipos i y j forman una pareja. Para modelar los viajes de los equipos, definimos las variables binarias y_{ijkt} que toman valor 1 si y sólo si el equipo i viaja de j a k después del slot t , con $i, j, k \in P$ y $t \in T$.

A modo de clarificación, se usará como ejemplo la Figura A.1 (a) de Bonomo et al [10] para aclarar la definición de los distintos parámetros del modelo en un escenario en el que existen doce equipos:

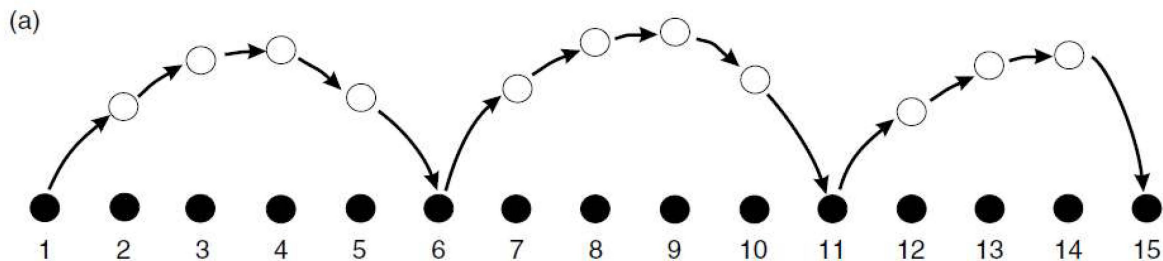


Figura 9: Figura A.1 (a) de Bonomo et al [10] en la que se muestran los $m=15$ slots en un escenario en el que hay $n=12$ equipos

En este caso, dado que $n = 12$, se puede observar como $m = 15$. Por otro lado, H (el conjunto de slots en los que un equipo vuelve a su casa) está compuesto por los slots 1, 6, 11 y 15. Por último, el conjunto W está conformado por los slots 2, 4, 7, 9, 12 y 14.

Modelo

$$\min \sum_{i \in P} \sum_{j \in P} \sum_{k \in P} \sum_{t \in T} d_{jk} * y_{ijkt}$$

$$S.T. \sum_{j \in P, i < j} w_{ij} + \sum_{j \in P, i > j} w_{ji} = 1 \quad \forall i \in P \quad (1)$$

$$y_{ijk1} = 0 \quad \forall i, j, k \in P, i \neq j \quad (2)$$

$$y_{ijk, m-1} = 0 \quad \forall i, j, k \in P, i \neq k \quad (3)$$

$$\sum_{k \in P} y_{ikjt} = \sum_{k \in P} y_{ijk, t+1} \quad \forall i, j \in P, \forall t \in T \setminus \{m-1\} \quad (4)$$

$$\sum_{k \in P} y_{iikt} = 1 \quad \forall i \in P, \forall t \in H \quad (5)$$

$$\sum_{k \in P} \sum_{t \in T} y_{ikjt} = 1 \quad \forall i, j \in P, i \neq j \quad (6)$$

$$y_{ijkt} + y_{ikjt} \leq w_{jk} \quad \forall i, j, k \in P, \forall t \in W, j < k \quad (7)$$

$$y_{ikpt} + w_{ij} - 1 \leq y_{jpkt} \quad \forall i, j, k, p \in P, \forall t \in W, i < j \quad (8)$$

$$y_{ijkt} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k \in P, \forall t \in T \quad (9)$$

$$w_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in P, i < j \quad (10)$$

La restricción (1) impone un *matching* entre los distintos equipos² mientras que las restricciones (2) y (3) aseguran que los equipos empiezan y terminan sus torneos en casa. La restricción (4) es la típica restricción de conservación de flujo. La restricción (5) asegura que cada equipo vuelve a su casa para cada slot en H. La restricción (6) pide que cada equipo visite a sus contrincantes una vez. Mientras que la restricción (7) hace que en cada fin de semana cada equipo i visite dos equipos de la misma pareja, la restricción (8) hace que el equipo emparejado con i visite a los mismos dos equipos en el mismo fin de semana, pero en el orden opuesto. Las restricciones (9) y (10) definen a las variables y_{ijkt} y w_{ij} como binarias.

² Esta es la única restricción que cambia con respecto al modelo presentado por Bonomo et al [10]. En su trabajo, no incluían el segundo término del lado izquierdo de la ecuación (es decir, la segunda sumatoria), lo cual potencialmente forzaba emparejamientos y, en nuestro caso, llevaba a un modelo infactible.

8.b) Modelo en dos etapas - Etapa regional

Como se puede observar en la Figura 6, el modelo para la etapa regional dependerá de la elección de organizarlo en parejas o equipos individuales. Además, por una cuestión de cantidad de equipos, el armado de las restricciones dependerá si se utilizan los equipos de la temporada 2013-14 o de la temporada 2018-19. Esto se debe a que, en el primer caso, al haber 16 equipos, habrá 4 parejas por conferencia, mientras que, en el segundo, al haber 20 equipos, habrá 5 parejas por conferencia. Para el modelado que sigue, a modo de ejemplo, se tomará como ejemplo el sistema de parejas de la temporada 2013-14, aclarando posteriormente cómo se vería afectado el problema según el cambio de organización o temporada.

Se define entonces a n como la cantidad de parejas por conferencia y a $P = \{1, \dots, n\}$ como el conjunto de parejas por conferencia. Por otro lado, durante un torneo, puede llegar a haber pausas en la competición. Por más que en la temporada 2013-14 no existen estas pausas, en la temporada 2018-19 existe un único receso por las fiestas y el Final Four del Torneo Super 20. Considerando a un fin de semana como un slot, definimos al conjunto C como los fines de semana en los que arranca una pausa intermedia del torneo. En este conjunto de fechas, los equipos volverán obligatoriamente a su casa. A continuación, presentamos las distintas jornadas según el torneo, marcando en naranja los slots en las que hay una pausa intermedia. Se puede observar que, en el caso de la temporada 2018-19, $C = \{4\}$:

Temporada 2013-14		Temporada 2018-19	
Weekend	Fecha	Weekend	Fecha
1	23-oct.-2013	1	30-nov.-2018
2	30-oct.-2013	2	07-dic.-2018
3	06-nov.-2013	3	14-dic.-2018
4	13-nov.-2013	4	21-dic.-2018
5	20-nov.-2013	5	04-ene.-2019
6	27-nov.-2013	6	11-ene.-2019
7	04-dic.-2013	7	18-ene.-2019
8	11-dic.-2013	8	25-ene.-2019
		9	01-feb.-2019
		10	08-feb.-2019
		11	15-feb.-2019

Tablas 6a y 6b: Fechas de la etapa regional para las temporadas 2013-14 (izquierda) y 2018-19 (derecha) cuando se utiliza un formato de parejas

Además, definimos a $FS = \{0, \dots, m + 1\}$ como el conjunto de time slots (fines de semana) en el modelo, siendo m la cantidad de slots destinados al torneo y estando definido como $m = 2n + |C|$. Es decir, m es igual a la cantidad de fechas con partido (como también existen los fines de semana con partidos intrapareja, la cantidad de fines de semana con partido es igual a $2n$) más la cantidad de pausas intermedias. Por otro lado, definimos que en el slot número 0 los equipos tienen que estar en su casa (para viajar a la locación del primer partido en el fin de semana número 1, la cual podría ser su propio estadio) y que en el slot $m + 1$ los equipos vuelven a su casa desde la locación del equipo local del fin de semana m . Por lo tanto, podemos definir a F como el conjunto de slots dedicados al torneo, por lo que $F = \{1, \dots, m\}$ y a $SP \in FS$ como el conjunto de slots en los que no hay partidos, es decir, $SP = C \cup \{0, m + 1\}$.

Por otro lado, podemos partir al conjunto de fechas F como F_1 y F_2 , siendo $F_1 = \{1, \dots, r\}$ y $F_2 = \{r + 1, \dots, m\}$. A su vez, definimos a r como la cantidad de fines de semana que tienen que pasar hasta que se cumpla una ronda del torneo (se cumple una ronda del torneo cuando todos los equipos juegan entre sí una vez). A modo de ejemplo, en el caso de la temporada 2013-14, $r = 4$ ya que, al no haber pausas, deben pasar 4 fines de semana para que todos los equipos se enfrenten entre sí. Sin embargo, en la temporada 2018-19, en la que hay 5 parejas por conferencia, $r = 6$ ya que se necesitan 6 fines de semana para que se cumpla la primera ronda (5 para los enfrentamientos más la pausa comenzada en el slot 4, como se puede observar en la tabla 6.b). En términos generales, r será igual a n más la cantidad de pausas que haya hasta que se cumplan n fines de semana con partidos. Adicionalmente, se define a I como el conjunto de fechas intrapareja, en los que los equipos de cada pareja se enfrentan entre sí. En este caso $I = \{1, r + 1\}$. Se definen por último a CP , como el conjunto de slots en F con partidos, es decir $CP = F / C$, mientras que se define a E como el conjunto de fines de semana con partidos interpareja, es decir $E = CP / I$.

Se define además a x_{ijt} como una variable que vale 1 si la pareja i juega de local contra la pareja j en el slot t , con $i, j \in P$ y $t \in FS$. Por otro lado, la constante \overline{d}_{ij} es igual a la distancia entre las parejas i y j , con $i, j \in P$. Esta distancia está calculada como la cota superior de la distancia recorrida por los equipos de las parejas i y j . Es decir, si existen dos parejas A (confirmada por los equipos A_1 y A_2) y B (confirmada por los equipos B_1 y B_2), la distancia entre A y B será calculada como el máximo de las distancias recorridas por los distintos

equipos (por ejemplo, la distancia recorrida por A_1 será igual a la distancia entre A_1 y B_2 más la distancia entre B_2 y B_1 , la distancia recorrida por B_2 será igual a la distancia entre B_2 y A_1 más la distancia entre A_1 y A_2 , etc.). Además, la variable y_{ijkt} es una variable binaria que vale 1 si la pareja i viaja desde j a k entre los fines de semana t y $t+1$, con $i, j, k \in P$ y $t \in FS$.

Modelado – restricciones

$$x_{iit} = 1 \quad \forall i \in P, \forall t \in I \quad (11)$$

$$x_{iit} = 0 \quad \forall i \in P, \forall t \in E \quad (12)$$

$$x_{iit} = 1 \quad \forall i \in P, \forall t \in SP \quad (13)$$

$$x_{ijt} = 0 \quad \forall i \in P, \forall t \in SP, i \neq j \quad (14)$$

$$\sum_{j \in P} x_{ijt} + \sum_{j \in P} x_{jit} = 1 \quad \forall i \in P, \forall t \in F \quad (15)$$

$$\sum_{j \in P, j \neq i} x_{ijt} + \sum_{j \in P, j \neq i} x_{jit} = 1 \quad \forall i \in P, \forall t \in E \quad (16)$$

$$\sum_{t \in E} x_{ijt} = 1 \quad \forall i, j \in P, i \neq j \quad (17)$$

$$\sum_{t \in F_1} x_{ijt} + \sum_{t \in F_1} x_{jit} = 1 \quad \forall i, j \in P, i \neq j \quad (18)$$

$$\sum_{t \in F} x_{ijt} + \sum_{t \in F} x_{jit} = 2 \quad \forall i, j \in P, i \neq j \quad (19)$$

$$\sum_{j \in P, j \neq i} x_{ijt} + \sum_{j \in P, j \neq i} x_{ij(t+1)} + \sum_{j \in P, j \neq i} x_{ij(t+2)} \leq 2 \quad \forall i \in P, \forall t, t+1, t+2 \in E \quad (20)$$

$$\sum_{j \in P, j \neq i} x_{jit} + \sum_{j \in P, j \neq i} x_{ji(t+1)} + \sum_{j \in P, j \neq i} x_{ji(t+2)} \leq 2 \quad \forall i \in P, \forall t, t+1, t+2 \in E \quad (21)$$

$$y_{ijkt} \geq x_{jit} + x_{kit+1} - 1 \quad \forall i, j, k \in P, \forall t \in FS, t < m+1 \quad (22)$$

$$y_{iikt} \geq x_{ijt} + x_{kit+1} - 1 \quad \forall i, j, k \in P, \forall t \in FS, t < m+1 \quad (23)$$

$$y_{ijit} \geq x_{jit} + x_{ikt+1} - 1 \quad \forall i, j, k \in P, \forall t \in FS, t < m+1 \quad (24)$$

$$y_{iiit} \geq x_{ijt} + x_{ikt+1} - 1 \quad \forall i, j, k \in P, \forall t \in FS, t < m+1 \quad (25)$$

La restricción (11) fuerza los enfrentamientos intrapareja en las fechas indicadas, mientras que la restricción (12) hace que no haya ese tipo de enfrentamientos en otro tipo de fecha. Lo

mismo sucede con las restricciones (13) y (14) con el conjunto de slots en los que una pareja debe volver obligatoriamente a casa. La restricción (15) limita la cantidad de partidos a uno por pareja y por fecha, mientras que la restricción (16) limita la cantidad de partidos entre parejas distintas a uno por fecha para cada equipo y fecha dentro del conjunto E . La restricción (17) hace que cada condición de localía entre distintas parejas se de una vez en el torneo. Mientras que la restricción (18) hace que las distintas parejas se enfrenten una vez obligatoriamente en la primera ronda, la restricción (19) hace que las distintas parejas se enfrenten dos veces en todo el torneo. Las restricciones (20) y (21) fuerzan a que un equipo no pueda repetir su condición de localía más de dos veces consecutivas. Estas últimas dos restricciones, incluidas en Bonomo et al [10], no son obligatorias para hacer un fixture factible, sino que incluirlas ayuda a una mayor paridad en la distribución temporal de los partidos de local y visitante de un equipo (sin una restricción de este estilo podría pasar que un equipo pase toda la primera ronda de local y la segunda de visitante). Por último, las restricciones (22) a (25) relacionan las variables x_{ijt} con las variables y_{ijkt} . Por ejemplo, la restricción (22) hace que la variable y_{ijkt} valga 1 sólo si x_{jit} y x_{kit+1} valen 1; es decir, si la pareja i juega de visitante contra j en el slot t y luego de visitante contra k en el slot $t + 1$.

Es interesante marcar cómo cambiaría el modelado para otra temporada o tipo de organización. En el caso de la temporada 2018-19, al tener una cantidad de parejas impar, desaparecerían las restricciones (11), (12) y (16), ya que al en cualquier fecha podría darse un enfrentamiento intrapareja. En el caso en el que se piense la organización con equipos individuales, desaparecerían las restricciones (11), (12) y (15). Además, se redefinen m y r : al no existir las fechas intrapareja $m = 2n - 2 + |C|$, mientras que se define a r como la cantidad de slots que tienen que pasan hasta que haya $n - 1$ slots destinados a partidos entre equipos.

Modelado – funciones objetivo

a) Minimización de la distancia total

$$\min \sum_{i \in P} \sum_{j \in P} \sum_{k \in P} \sum_{t \in FS, t \leq m+1} \overline{d}_{jk} * y_{ijkt} \quad (26)$$

s.t. Restricciones (11) a (25)

b) Emparejamiento de las distancias recorridas

$$\min Z \quad (27)$$

st. Restricciones (11) a (25)

$$Z \geq \sum_{j \in P} \sum_{k \in P} \sum_{t \in FS, t < m+1} \overline{d}_{jk} * y_{ijkt} \quad \forall i \in P \quad (28)$$

El hecho de que la función objetivo intenta minimizar Z fuerza a que dicha variable sea igual a la distancia recorrida por el equipo que más viaja. De esta forma, al intentar minimizar Z , se buscará emparejar las distancias recorridas por los equipos minimizando la distancia hecha por el equipo que más viaja, como puede observarse en la restricción (28).

c) Interés parejo a lo largo de las fechas

Para calcular el interés por fecha se define a p_{ij} como el nivel de interés que genera un partido/enfrentamiento entre parejas (en el caso en el que se esté pensando en organizar un torneo en parejas, p_{ij} se define como la suma del interés que generan los 4 partidos que se darán cuando la pareja i visite a la pareja j), a riv_{ij} como un indicador que vale 1 si los equipos i y j son considerados rivales, y a pos_i como la posición del equipo i en la temporada anterior a la que se quiere diagramar. Por último se define a la variable $AvgInt$ como el interés promedio por fin de semana y a D_t como el módulo de la diferencia del interés del fin de semana t con el promedio por fin de semana.

$$\min \sum_{t \in CP} D_t \quad (29)$$

st. Restricciones (11) a (21)

$$AvgInt = \frac{1}{|CP|} \sum_{i \in P} \sum_{j \in P} \sum_{t \in CP} p_{ij} * x_{ijt} \quad (30)$$

$$D_t \geq \left(\sum_{i \in P} \sum_{j \in P} p_{ij} * x_{ijt} \right) - AvgInt \quad \forall t \in CP \quad (31)$$

$$D_t \geq - \left[\left(\sum_{i \in P} \sum_{j \in P} p_{ij} * x_{ijt} \right) - AvgInt \right] \quad \forall t \in CP \quad (32)$$

Definiendo p_{ij} cuando se está evaluando un partido individual:

$$p_{ij} = \frac{1+riv_{ij}}{1+|pos_i-pos_j|} \quad (33)$$

Es importante aclarar que p_{ij} es un proxy utilizado para medir el interés esperado de un partido y parte del supuesto de que el desempeño de los equipos en torneos consecutivos será aproximadamente similar. Sin embargo, esta no es la única forma de medir el interés que puede generar un partido y lo mismo podría calcularse con rankings hechos por expertos (de forma tal de tener en cuenta sucesos que pasan entre temporadas -como, por ejemplo, las contrataciones-) o hechos con las valoraciones de mercado de cada equipo.. La restricción (30) define la variable $AvgInt$ como el interés promedio en las fechas en las que hay partido. Por otro lado, las restricciones (31) y (32) hacen que cada variable D_t sea igual al módulo de la diferencia del interés de cada fecha con el promedio del torneo. De esta forma, la función objetivo intenta emparejar el interés minimizando los módulos de las diferencias del interés de cada fecha con el promedio.

Por otro lado, es importante remarcar que, por más que para las formulaciones anteriores es preferible que la resolución del fixture de cada conferencia sea independiente (por ejemplo, si minimizamos la distancia de la pareja que más viaja, es mejor que cada conferencia tenga su “equipo que más viaja” en vez de que haya uno general), en este caso, es mejor resolverlo como un solo problema general. Esto se debe a que resolver por separado cada problema da un óptimo local que no necesariamente será el óptimo global del problema. Dicho en otras palabras, si, por ejemplo, tuviéramos que compensar el interés de los partidos de cuatro fechas para cada conferencia, y en ambos fixtures el máximo interés está en la fecha 4 y el mínimo en la fecha 2, esto haría que, al juntar ambos fixtures, se generaría un fixture desbalanceado en términos de interés. En este sentido, se modificarían las restricciones (17), (18) y (19) para que sólo contemplen equipos de la misma conferencia y se agregaría una restricción adicional que prohíba los enfrentamientos entre equipos de distintas conferencias.

d) Máximo interés en las últimas fechas

$$\max \sum_{i \in P} \sum_{j \in P} \sum_{t \in F} p_{ij} * x_{ijt} \quad (34)$$

st. Restricciones (11) a (21)

Definiendo p_{ijt} cuando se está evaluando un partido individual:

$$p_{ijt} = \frac{(1+rv_{ij}) * t}{1+|pos_i - pos_j|} \quad (35)$$

Notar que, en esta formulación p_{ijt} es igual a $p_{ij} * t$, lo cual nos da la idea que en realidad, para esta función objetivo, el interés de un partido depende linealmente de la fecha en la que está programando el mismo, además de qué tan parejos sean los equipos.

8.c) Modelo en dos etapas - Etapa nacional

Por más que en la subsección anterior se mostró el modelo de MILP utilizado para la etapa regional, si se piensa el modelo para la etapa nacional del fixture una enorme mayoría de las restricciones serían reutilizadas, por lo que, por una cuestión de no ser repetitivos, señalamos a continuación las restricciones que se reutilizan y cuales son desechadas:

- Las restricciones (11), (12), (13), (14), (15), (16), (20), (21) y todas las restricciones relacionadas a las funciones objetivo - (22) a (35) - se mantienen
- Las restricciones (17), (18) y (19) son reemplazadas.

Puede observarse que las restricciones que son reemplazadas son las que limitan la cantidad de partidos entre equipos. Esto es porque, mientras que los equipos en la etapa regional juegan dos veces entre sí, una de local y otra de visitante, en la etapa nacional solo se enfrentan una vez. Por lo tanto, a continuación, definimos las variables y restricciones adicionales:

Definición de variables

C_N : conjunto de parejas de la Conferencia Norte

C_S : conjunto de parejas de la Conferencia Sur

Modelado – restricciones

$$\sum_{i \in F} x_{ijt} + \sum_{i \in F} x_{jit} = 1 \quad \forall i, j \in P, i \neq j \quad (36)$$

$$\sum_{j \in C_S} \sum_{i \in F} x_{jit} \leq \frac{n}{4} + 1 \quad \forall i \in C_N, i \neq j \quad (37)$$

$$\sum_{j \in C_N} \sum_{i \in F} x_{jit} \leq \frac{n}{4} + 1 \quad \forall i \in C_S, i \neq j \quad (38)$$

Mientras que la restricción (36) hace que las parejas se enfrenten solo una vez en la etapa nacional, mientras que las restricciones (37) y (38) ponen una cota superior a la cantidad de parejas de la otra conferencia que un equipo puede visitar. Esto puede servir para que, en el caso de que los equipos de una conferencia particular estén muy cerca entre sí (por ejemplo, si hay una gran cantidad de equipos concentrados en Capital Federal y Gran Buenos Aires), no suceda que estos jueguen la enorme mayoría contra los equipos de la conferencia opuesta de local. De esta forma, se intenta balancear la cantidad de partidos que los equipos juegan de visitante. Por otro lado, el valor de la cota $(\frac{n}{4} + 1)$ implica que un equipo visitará, como mucho, a la mitad más uno de los equipos de la conferencia contraria (si hay n equipos, habrá $\frac{n}{2}$ por conferencia).

8.d) Modelo en una etapa - Etapa única

Así como con la etapa nacional, en el modelado de la etapa única habrá una gran cantidad de restricciones heredadas de los dos enfoques previos que se repetirán, mientras que algunas serán reemplazadas. A continuación, las detallamos:

- Las restricciones (11), (12), (13), (14), (15), (16), (20), (21), (37), (38) y todas las restricciones relacionadas a las funciones objetivo - (22) a (35) - se mantienen
- Las restricciones (17), (18), (19) y (36) son reemplazadas.

Otra vez, las restricciones que sufren un cambio son las que ponen límites a la cantidad de partidos entre equipos. Recordemos que, en el modelo de etapa única, un equipo juega dos veces contra los equipos de la misma conferencia, una de local y otra de visitante, mientras que

juega solo una vez contra los equipos de la conferencia contraria. A continuación, detallamos las restricciones que logran esto:

Modelado – restricciones

$$\sum_{t \in E} x_{ijt} = 1 \quad \forall i, j \in C_N, i \neq j \quad (39)$$

$$\sum_{t \in E} x_{ijt} = 1 \quad \forall i, j \in C_S, i \neq j \quad (40)$$

$$\sum_{t \in E} x_{ijt} + \sum_{t \in E} x_{jit} = 1 \quad \forall i \in C_N, j \in C_S, i \neq j \quad (41)$$

$$\sum_{t \in E} x_{ijt} + \sum_{t \in E} x_{jit} = 1 \quad \forall i \in C_S, j \in C_N, i \neq j \quad (42)$$

$$\sum_{t \in E} x_{ijt} + \sum_{t \in E} x_{jit} = 2 \quad \forall i, j \in C_N, i \neq j \quad (43)$$

$$\sum_{t \in E} x_{ijt} + \sum_{t \in E} x_{jit} = 2 \quad \forall i, j \in C_S, i \neq j \quad (44)$$

Las restricciones (39) y (40) hacen que una condición de localía entre dos equipos de la misma conferencia se de solo una vez (lo cual evita que, si se enfrentan dos veces, jueguen dos veces en el estadio del mismo equipo), mientras que las restricciones (41) y (42) hacen que los equipos de conferencias distintas se enfrenten una sola vez. Por último, las restricciones (43) y (44) fuerzan a que los equipos de la misma conferencia jueguen entre sí dos veces.

9) Análisis

Una vez hecho el modelado y armado el fixture, queda ver cómo se compara nuestra solución con las existentes, o cómo difieren las distintas soluciones propuestas en la Figura 6. Los modelos fueron resueltos desde la API de Python de la versión 12.9.0 de CPLEX desde una computadora con 8 GB de memoria RAM y un procesador Intel i5, imponiendo un límite de 12 horas o 7 GB de RAM sobre la corrida. De esta forma, la siguiente sección se dividirá en tres subsecciones que encaran tres temas distintos:

- Un análisis de la solución manual de la temporada 2013-14, comparándola con nuestra propuesta basada en MILP. De esta forma, se puede observar claramente los beneficios de incorporar conceptos del análisis de datos y la matemática aplicada a la toma de decisiones de negocios.
- Un análisis de la solución del modelo de giras de la temporada 2018-19, comparándola con nuestra propuesta de una o dos etapas, con partidos solo los viernes y domingo. De esta forma, se puede evaluar si la nueva propuesta genera menor distancia y/o mayor ingreso que el modelo existente.
- Un análisis del impacto en distancias o interés generado por cada una de las distintas opciones del modelado (por ej. la elección de la función objetivo o del método de emparejamiento).

9.a) Análisis versus el modelo manual de la temporada 2013-14

¿Por qué es interesante comparar una solución manual con una solución basada en la MILP? Porque de esta forma se puede evaluar y apreciar los beneficios de una solución analítica y pensada desde los datos. Es por esto que compararemos las distancias totales y por equipo de nuestro fixture para la etapa regional de la temporada 2013-14 vs el existente en ese momento del tiempo (se compara solo con la etapa regional ya que la etapa nacional propuesta en este trabajo tiene una menor cantidad de partidos que la original, por lo que, para hacer una comparación justa, no se toman en cuenta para el análisis). Aclaremos, además, que el modelo utiliza un emparejamiento vía teoría de grafos, organiza la primera etapa en parejas y utiliza una función objetivo que minimiza la distancia recorrida total. Además, a modo de aclaración, señalamos que, por una cuestión de expresividad y espacio, hemos utilizado para todas las próximas tablas y figuras, abreviaciones de los nombres de los distintos equipos, por lo que a continuación, se aclara la correspondencia entre nombre completo y abreviatura:

Nombre completo	Abreviatura
Argentino (J)	ARG
Atenas	ATE
Boca Juniors	BOC
Estudiantes (C)	EST
Gimnasia (CR)	GCR
La Unión	UNI
Lanús	LAN
Libertad	LIB
Obras	OBR
Olímpico (LB)	OLB
Peñarol	PEÑ
Quilmes	QMP
QUIMSA	QUI
Regatas (C)	REG
Sionista	SIO
Weber Bahía	WEB

Tabla 7: Nombre completo y abreviatura de los equipos de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

Por otro lado, para entender mejor qué es lo que estamos analizando, mostramos una muestra del output de nuestro modelo, es decir, parte del fixture generado para la etapa regional de la Conferencia Sur, señalando con celdas sombreadas las fechas intrapareja:

Fecha	Día	PEÑ	QMP	LAN	BOC	GCR	WEB	ARG	OBR
1	10/23/2013	@QMP	PEÑ	@BOC	LAN	@WEB	GCR	@OBR	ARG
2	10/30/2013	BOC	LAN	@QMP	@PEÑ	@OBR	@ARG	WEB	GCR
3	11/1/2013	LAN	BOC	@PEÑ	@QMP	@ARG	@OBR	GCR	WEB
4	11/6/2013	@OBR	@ARG	WEB	GCR	@BOC	@LAN	QMP	PEÑ
5	11/8/2013	@ARG	@OBR	GCR	WEB	@LAN	@BOC	PEÑ	QMP
6	11/13/2013	@WEB	@GCR	OBR	ARG	QMP	PEÑ	@BOC	@LAN
7	11/15/2013	@GCR	@WEB	ARG	OBR	PEÑ	QMP	@LAN	@BOC
8	11/20/2013	QMP	@PEÑ	BOC	@LAN	WEB	@GCR	OBR	@ARG
9	11/27/2013	WEB	GCR	@OBR	@ARG	@QMP	@PEÑ	BOC	LAN
10	11/29/2013	GCR	WEB	@ARG	@OBR	@PEÑ	@QMP	LAN	BOC
11	12/4/2013	OBR	ARG	@WEB	@GCR	BOC	LAN	@QMP	@PEÑ

Tabla 8: Muestra del fixture generado por nuestro modelo para los equipos de la temporada 2013-14. Cada columna representa el fixture de un equipo. Cuando un registro comienza con "@" implica que el equipo del fixture juega de visitante contra el equipo señalado por el registro. De caso contrario, el equipo de fixture juega de local. Las celdas sombreadas corresponden a las fechas intrapareja

Habiendo sentado las bases para lograr un mayor entendimiento sobre el análisis, comenzamos comparando la distancia total de ambos modelos:

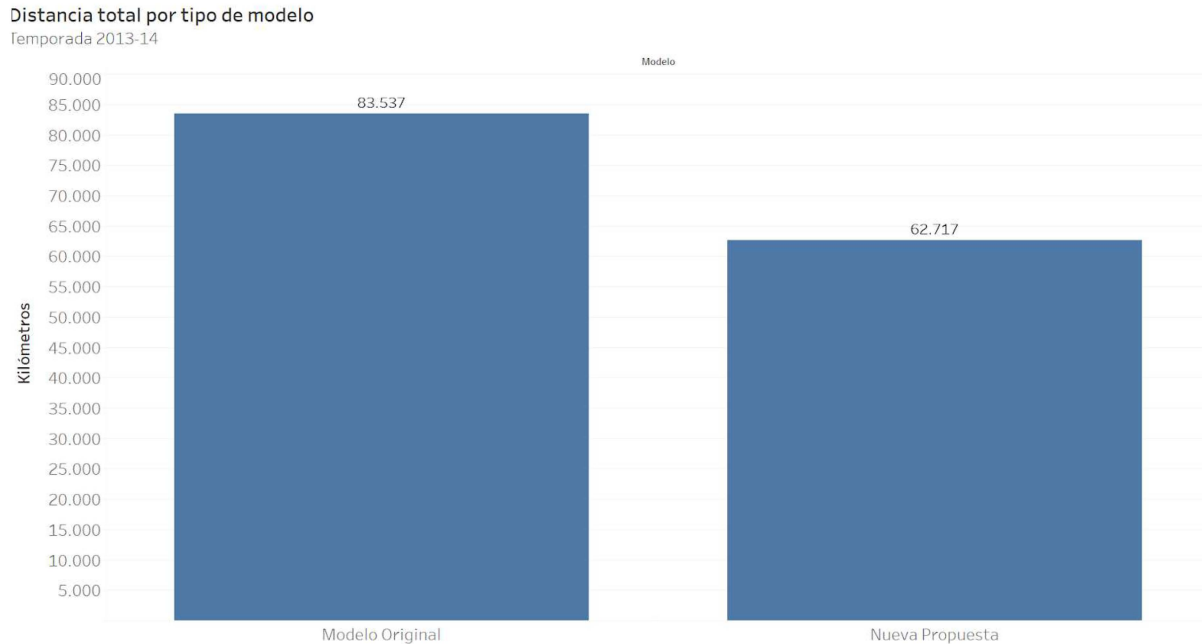


Figura 10: Comparación de la distancia total recorrida por tipo de modelo para la etapa regional de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

Mientras que, en el modelo original, la suma de kilómetros totales en concepto de viajes de los equipos asciende a 83.537 kilómetros, en nuestra propuesta, ese número se reduce hasta 62.717 kilómetros, lo cual significa una reducción de 24,92%. Además, el tiempo de resolución del modelo ha sido menor a 1 minuto, llegando además al óptimo global del problema, lo cual es una gran ventaja.

Por otro lado, resulta sumamente interesante ver cómo difiere la variación en las distintas recorridas entre los distintos equipos participantes. Para analizar esto, evaluamos la distancia recorrida por partido, por equipo (se ve la distancia por partido en vez de la total solo por una

cuestión de expresividad -es relativamente más sencillo entender cuánto son 400 km que 4.000-):

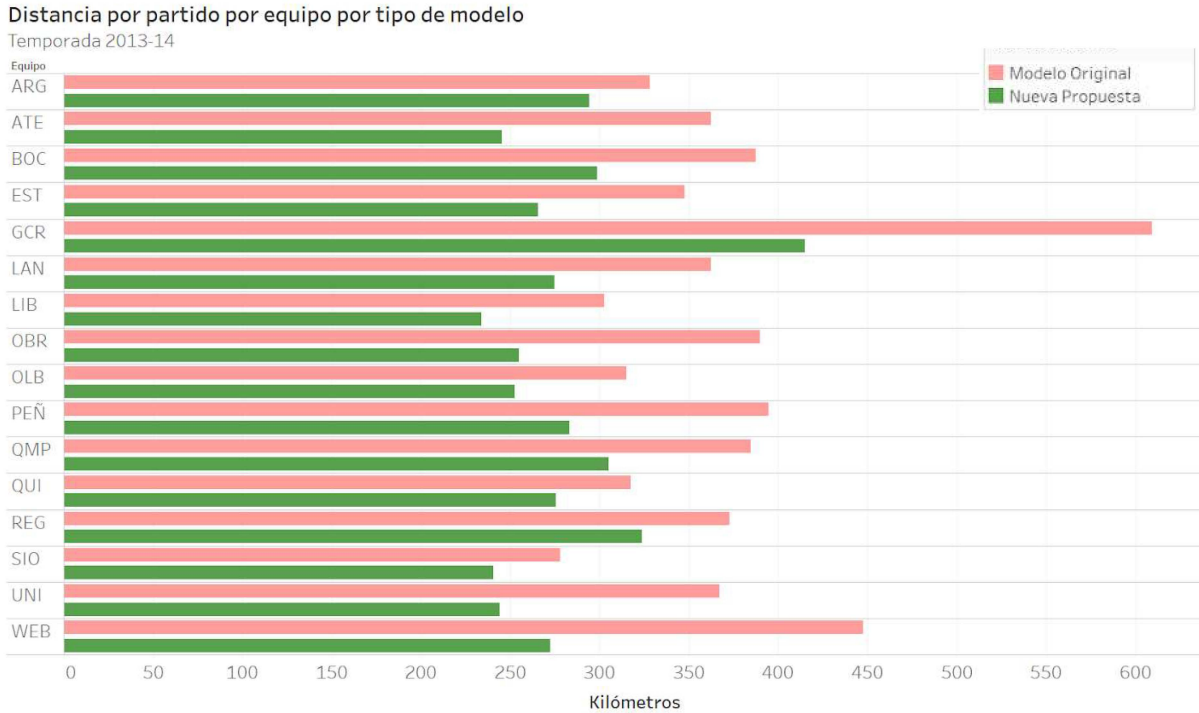


Figura 11: Distancia por partido por equipo por tipo de modelo para la etapa regional de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

Una de las mejores noticias es que todos los equipos tienen una reducción de la distancia por partido recorrida, lo cual indica que la utilización de un modelo que se basa en la matemática aplicada genera beneficios para todos o, en otras palabras, “es un juego de suma positiva”. Sin embargo, las reducciones en términos porcentuales no han sido iguales entre todos los equipos ya que, mientras Weber Bahía tuvo una reducción de 447,69 kilómetros por partidos a 272,41 km (una reducción del 39,15%), otros equipos tuvieron una disminución bastante menor (como Argentino de Junín, que obtuvo una reducción del 10,34%, pasando de 328,19 km por partido a 294,24 km por partido o Regatas (C), que pasó de 372,71 km por partido a 323,80 km por partido, lo que representa una disminución del 13,12%). Como puede observarse, las mayores reducciones se ven en los equipos que más distancia recorrían en el fixture original, lo cual parece indicar que el nuevo modelo ayuda a no solo ser más eficiente de manera global reduciendo los kilómetros viajados, sino que además, como efecto secundario no

explícitamente buscado, contribuye a ser más justo. Para confirmar esto, evaluamos distintas estadísticas descriptivas de las distancias por partido por equipo según el tipo de modelo:

Estadísticas descriptivas de las distancias por partido por equipo por tipo de modelo
Temporada 2013-14

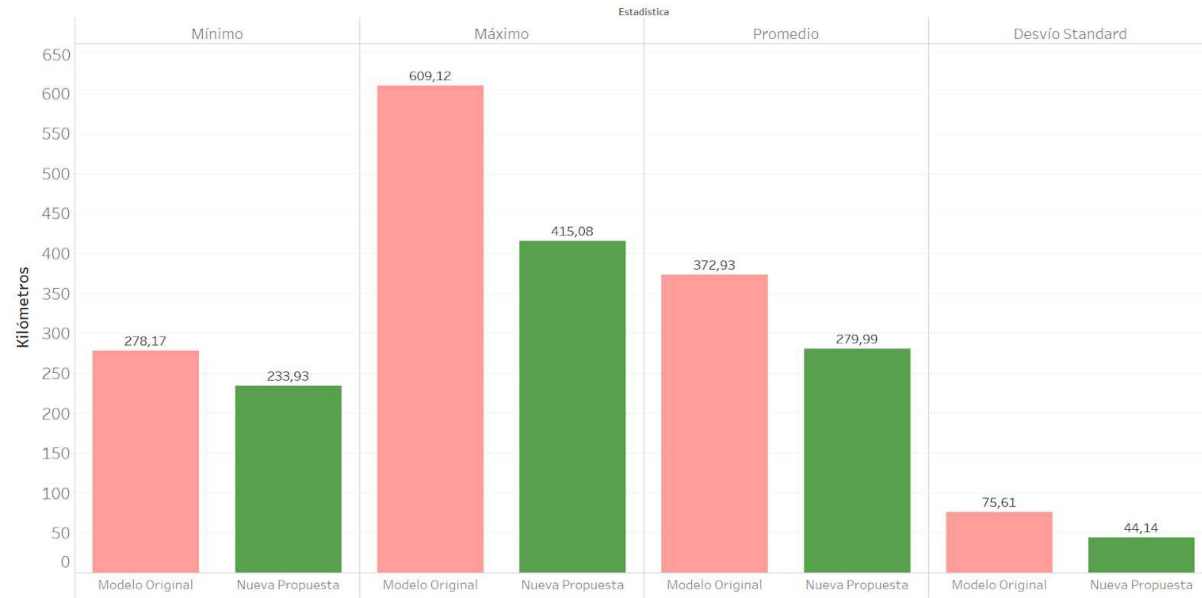


Figura 12: Estadísticas descriptivas de las distancias por partido por equipo por tipo de modelo para la etapa regional de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

De manera similar a la Figura 12, todas las estadísticas descriptivas del conjunto de distancias por partido y por equipo tienen una reducción en el nuevo modelo. Mientras que la máxima distancia por partido y por equipo pertenece en ambos modelos a Gimnasia (CR), esta se reduce de 609,12 km a 415,08 km -una reducción del 31,85%-. Sin embargo, la mínima distancia por partido y por equipo en ambos modelos pertenece a equipos distintos (en el modelo original a Sionista y en nuestra propuesta a Libertad). A pesar de esto, este indicador se reduce un 15,90%, de 278,17 km a 233,93 km. Además, para mostrar de forma resumida el gran beneficio del uso de la MILP a la hora de la elaboración de fixtures sobre un modelo manual, se puede destacar que el promedio de las distancias por partido por equipo se redujo un 24,92% - de 372,93 km a 279,99 km -, mientras que el desvío standard de las distancias por partido por equipo se redujo un 41,62%, de 75,61 km a 44,14 km. De esta forma, es evidente que, tanto en cuestiones de eficiencia global como de trato parejo, una solución basada en el análisis de datos puede ser superior a una solución manual.

9.b) Análisis versus el modelo de giras de la temporada 2018-19

En términos de negocios, mientras que para la temporada 2013-14 proponemos una mejora en términos de eficiencia operativa, en 2018-19 nos enfocamos en la visión de negocio y estrategia. En este sentido, nuestra solución, mientras intenta ser lo más eficiente posible (utilizando MILP para el armado del fixture), propone un cambio en la organización de los partidos haciendo que se jueguen menos partidos totales (si se elige el modelo de una única etapa nacional) o más partidos contra los equipos más cercanos (si se elige el modelo de dos etapas). De esta forma, incorporamos a nuestro modelo un contexto más general que captura otros aspectos relevantes del negocio en términos de costos y objetivos en la elaboración del fixture. Para calcular el beneficio económico de una solución, tomamos los siguientes supuestos:

- Un precio por entrada de AR\$ 200 [XVI]
- Costos fijos por partido de AR\$ 50.000 [XVI]
- Un tipo de cambio de pesos argentinos por dólar de aproximadamente 40,01 AR\$/US\$³
- Costo por kilómetro viajado de US\$ 2 [12]
- Dada su mayor popularidad, el porcentaje de ocupación cuando Boca Juniors o San Lorenzo juegan de local es de 100%
- Como aproximadamente 15% de los equipos consultados demostraron estar conformes con el sistema actual y señalaron tener una ocupación promedio del 75%, se toma que tres clubes -seleccionados tras un sorteo-: Regatas (C), Quilmes y Olímpico (LB) tienen dicho porcentaje de ocupación.
- Para los clubes restantes, se consideran las declaraciones hechas por gente de Atenas de Córdoba, por lo que se supone que, si el partido es durante un fin de semana (viernes, sábado o domingo) la ocupación es de 50% y, si no, de 30%.

Además, a modo de aclaración, señalamos que, por una cuestión de expresividad y espacio, hemos utilizado para todas las próximas tablas y figuras, abreviaciones de los nombres de los

³ Este tipo de cambio es el promedio durante la temporada regular de la Liga Nacional de Básquet 2018-19. Las cotizaciones diarias del tipo de cambio provienen de la COM3500 del Banco Central de la República Argentina, disponibles en <https://www.bcra.gob.ar/Pdfs/PublicacionesEstadisticas/com3500.xls>

distintos equipos, por lo que a continuación, se aclara la correspondencia entre nombre completo y abreviatura:

Nombre Completo	Abreviatura
Argentino (J)	ARG
Atenas	ATE
Boca Juniors	BOC
Comunicaciones	COM
Estudiantes (C)	EST
Ferro	FER
Gimnasia (CR)	GCR
Hispano Americano	HIS
Instituto	INS
La Unión	UNI
Libertad	LIB
Obras	OBR
Olímpico (LB)	OLB
Peñarol	PEÑ
Quilmes	QMP
QUIMSA	QUI
Regatas (C)	REG
San Lorenzo	SLO
San Martín (C)	SMC
Weber Bahía	WEB

Tabla 9: Nombre completo y abreviatura de los equipos de la temporada 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet

Por último, aclaramos cómo se calcula el beneficio de cualquier propuesta, declarando las siguientes variables:

$P_i \rightarrow$ Partido número i , $i = 1, 2, \dots, n$

$O_i \rightarrow$ Ocupación del partido i en cantidad de personas

$d_{ij} \rightarrow$ Distancia recorrida por el equipo j para ir desde el partido $i - 1$ al partido i

$$\text{Ingreso Total en US\$} = \sum_i \left(\frac{O_i * 200 - 50.000}{40.01} \right) - \sum_i \sum_j 2 * d_{ij}$$

Es interesante marcar que, mientras que para nuestra propuesta O_i es fijo (ya que bajo nuestros supuestos, la ocupación solo depende de si el partido se disputa un fin de semana o no), para el sistema actual podría ser una variable que podría ser incorporada al modelo a la hora de decidir los partidos.

Por otro lado, dado que analizaremos varias de nuestras propuestas, nos parece relevante describir cada una de ellas:

Nombre	Cantidad Etapas	Cálculo de distancias	Función Etapa Regional	Funcion Etapa Nacional	Función Etapa única
A	1	TTP	-	-	Máx. interés en últimas fechas
B1	2	TTP	Mín. distancia total	Máx. interés en últimas fechas	-
B2	2	No TTP ⁴	Mín. distancia total	Máx. interés en últimas fechas	-

Tabla 10: Especificaciones de las corridas hechas sobre los datos de la etapa regional de la temporada 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet

Habiendo hecho las aclaraciones pertinentes, comenzamos analizando la propuesta A: un fixture de etapa única, organizado en parejas hechas vía teoría de grafos y con una función objetivo que maximiza el interés en las últimas fechas del torneo.

⁴ Bajo el cálculo de distancias “No TTP”, se asume que un equipo vuelve a su casa entre dos fines de semana. En el cálculo “TTP”, se supone que los equipos no pasan obligatoriamente por su casa entre dos fines de semana, sino que viajan directamente de la locación del equipo local del último partido del fin de semana t al estadio del equipo local del primer partido del fin de semana $t+1$.

Ingreso total por tipo de modelo
Temporada 2018-19
Propuesta A: Campeonato de una sola etapa



Figura 13: Beneficios económicos esperados por el modelo original y nuestra propuesta de un torneo de una sola etapa para la temporada 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet

Como se ve en la Figura 13, esta propuesta da un beneficio económico menor, ya que la solución original da un beneficio económico esperado de US\$ 2.104.619 mientras que nuestra propuesta tiene un beneficio esperado de US\$ 1.963.913 lo cual representaría una caída de 6,69%. Esto nos hace pensar que quizás realizar un cambio en la cantidad de partidos totales y en la cantidad de partidos por rival no es una buena idea desde el lado del negocio ya que lleva a un menor beneficio económico que la solución original.

Dado este resultado, repetiremos el análisis, pero tomando un modelo que mantiene la cantidad de partidos prácticamente intacta en comparación contra el fixture actual (es decir, un modelo de dos etapas, con una etapa regional y una nacional). Sin embargo, habrá más partidos contra los equipos más cercanos que con los que están más alejados. Además, se utiliza un modelo en el que el emparejamiento se hizo vía teoría de grafos. En la etapa regional se utilizó una función objetivo que minimiza la distancia total mientras que, en la etapa nacional, una que maximiza el interés en las últimas fechas:



Figura 14: Beneficios económicos esperados por el modelo original y nuestra propuesta de un torneo -TTP- de dos etapas para la temporada 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet

Fácilmente puede observarse que el supuesto del aumento de la demanda dado por la gran concentración de partidos en el fin de semana hace que los beneficios económicos esperados aumenten en gran cuantía, hasta llegar a US\$ 2.751.232, lo cual representa un aumento de 30,72% sobre la solución original. A simple vista, esto parece ser suficiente como para justificar un cambio de sistema. Sin embargo, los análisis comparativos hasta ahora tienen subyacente un gran supuesto: los equipos viajan entre fin de semana y fin de semana a las distintas ciudades sin volver a su casa antes. Es decir, si un equipo juega el domingo de un fin de semana en Mar del Plata (por ejemplo, para visitar a Peñarol) y el viernes de la semana siguiente en Comodoro Rivadavia (por ejemplo, para visitar a Gimnasia), se toma que la distancia de ese viaje es la distancia entre Mar del Plata y Comodoro Rivadavia. Existen algunas razones para hacer esto: en principio, este supuesto es tomado por parte de los autores del modelo actual de la Liga Nacional de Básquet cuando elaboraron el fixture de la Liga Argentina de Voley [10]. Además, sin este supuesto, no existe un modelo que eficiente la distancia recorrida ya que, si tras cada fin de semana, los equipos vuelven a su hogar, no hay forma de efficientizar los viajes ya que el problema pasa a ser uno de simple factibilidad. Sin embargo, dado que no es tan ilógico pensar que este sea el caso, por un momento asumiremos que, tras un fin de semana, los equipos

vuelven a su casa. En principio, esto no debería ser un problema mayúsculo ya que al limitar a dos la cantidad de fines de semana consecutivos con la misma condición de localía, nuestro modelo no tomaría en cuenta en cuenta sólo uno de los tres viajes asociados a esas fechas. En este caso, la distancia adjudicada a un partido del viernes es la distancia entre el equipo en cuestión y el local del partido del viernes, mientras que la distancia adjudicada al partido del domingo es la suma entre la distancia entre el local del viernes y el local del domingo más la distancia entre el local del domingo y el equipo en cuestión. Empezaremos viendo cómo impacta este supuesto en la distancia total (el modelo que supone que tras un fin de semana un equipo vuelve a su casa se encuentra bajo la columna “No TTP”; esto es porque el modelo clásico que arma un fixture con doble *round robin*, suponiendo que los equipos viajan entre partidos sin pasar por su hogar es comúnmente llamado *Tournament Traveling Problem*, o TTP):

Distancia total según si se supone que los equipos vuelven a su casa tras un fin de semana (No TTP) o no (TTP)
Temporada 2018-19

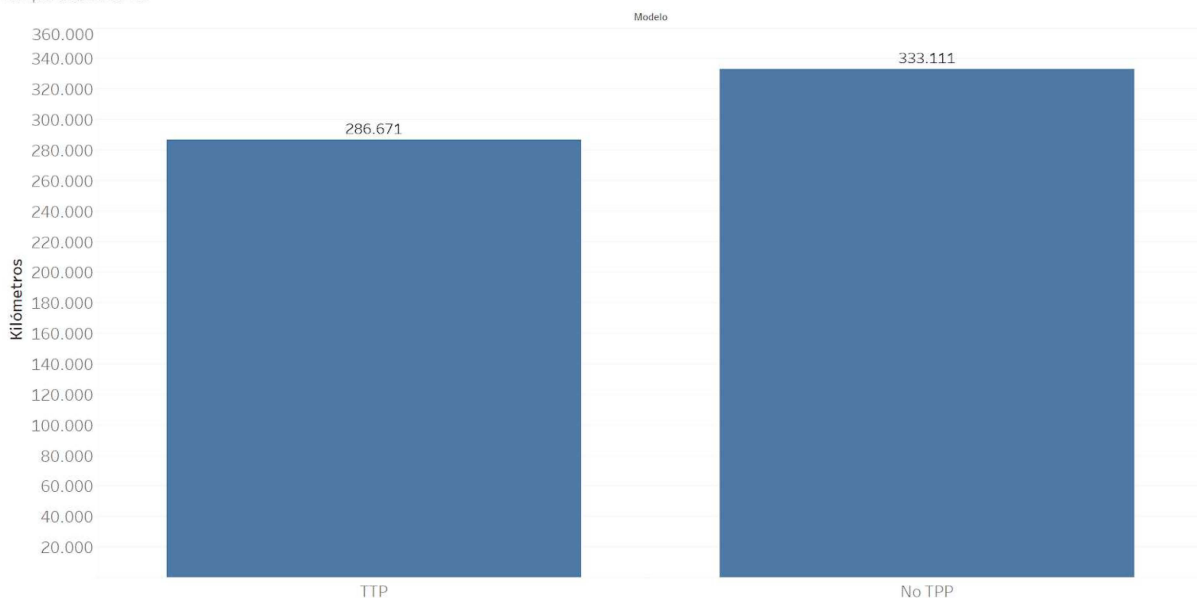


Figura 15: Distancia total dependiendo de si suponemos que tras un fin de semana los equipos vuelven a su casa (“No TTP”) o no (“TTP”) para nuestra propuesta de un torneo de dos etapas para la temporada 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet

En la figura 15 puede observarse que tomando el supuesto que tras un fin de semana los equipos vuelven a su casa, la distancia aumenta considerablemente, de 286.671 km a 333.111 km, lo cual representa un aumento del 16,20%. Por más que queda claro que, con este

supuesto, los ingresos se verían perjudicados, queda ver si este perjuicio es lo suficientemente grande como que nuestra propuesta pase a ser menos rentable que la original:



Figura 16: Beneficios económicos esperados por el modelo original y nuestra propuesta de un torneo -No TTP- de dos etapas para la temporada 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet

Afortunadamente, aún con el supuesto de que tras un fin de semana los equipos vuelven a su hogar, nuestra solución sigue dando un ingreso mayor, pasando de US\$ 2.104.619 en el modelo original a US\$ 2.658.352, lo cual representa un incremento del 26,31%. Ahora sí, podemos confirmar que la nueva solución, la cual concentra sus partidos entre viernes y domingo, genera un mayor beneficio económico que la solución anterior. Resumiendo, de esta forma comparamos el ingreso total del fixture original con cada una de nuestras propuestas:



Figura 17: Beneficios económicos esperados por el modelo original y nuestras propuestas de torneo para la temporada 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet

Ahora, por más que hemos visto que nuestro modelo genera una mejor rentabilidad, queda observar si esto genera una gran pérdida de eficiencia representada por un aumento de los kilómetros viajados (para el modelo original, dado que los equipos juegan potencialmente cualquier día de la semana, suponemos que los equipos viajan entre los locales de cada partido, sin pasar necesariamente por su hogar):

Distancia total por tipo de modelo
Temporada 2018-19

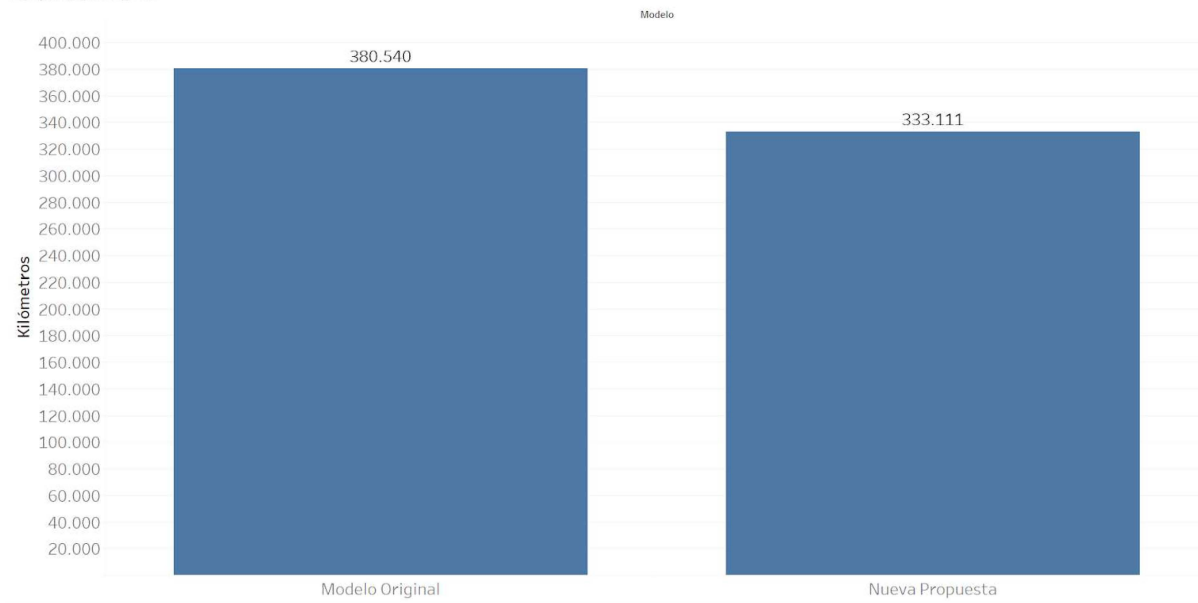


Figura 18: Distancias totales para el modelo original y nuestra propuesta de un torneo -No TTP- de dos etapas para la temporada 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet

La nueva propuesta no solo deja mayores beneficios económicos, sino que, además, genera un fixture más eficiente ya que los equipos viajan menos kilómetros, lo cual es explicado por el hecho que, por más que los equipos vuelven a su casa tras cada fin de semana, juegan más veces contra equipos cercanos. Esto hace que la distancia total pase de 380.540 km a 333.111 km, lo cual representa una reducción de 12,46%. Por último, no deja de ser interesante ver si esta reducción de las distancias de viajes se da en todos los equipos o sólo para algunos, por lo que evaluaremos la distancia por partido por equipo para cada propuesta:

Distancia por partido por equipo por tipo de modelo
Temporada 2018-19

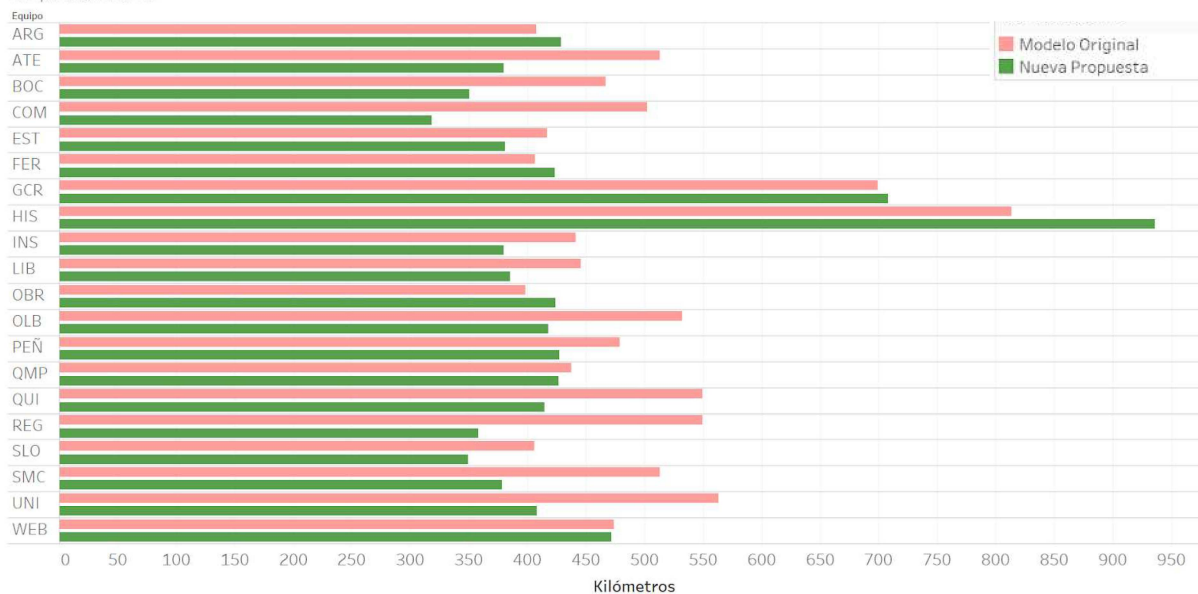


Figura 19: Distancias por partido por equipo para el modelo original y nuestra propuesta de un torneo -No TTP- de dos etapas para la temporada 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet

Este análisis es sumamente interesante ya que, en este caso, el nuevo modelo no es universalmente beneficioso (para 15 de los 20 equipos -el 75%- el nuevo modelo trae menor distancia por partido). Para los equipos para los cuales el nuevo modelo es beneficioso en términos de distancia, la reducción promedio es de 19,07%, y va desde una reducción de 0,46% para Weber Bahía (de una distancia de 473,90 km por partido pasa a una de 471,71 km) a una reducción de 36,55% para Comunicaciones (que pasa de una distancia por partido de 502,01 km a 318,52 km). Por otro lado, para los equipos para los que el nuevo modelo genera un aumento de la distancia recorrida, el aumento promedio de la distancia por partido por equipo es de 6,44%, y los aumentos van desde 1,28% para Gimnasia (CR) (de una distancia de 699,19 km pasa a una de 708,13) hasta 15,04% para Hispano Americano (que pasa de una distancia de 813,53 km por partido a una de 935,90 km).

Parte de la presunta ventaja de nuestro modelo en términos de beneficios económicos en comparación del modelo original reside en el supuesto de que existe una diferencia entre las ocupaciones esperadas del fin de semana y el resto de los días. Por lo tanto, para el siguiente

análisis modificaremos el porcentaje de gente que se espera en los días de la semana para evaluar si nuestra solución sigue siendo superior en términos de beneficios económicos:

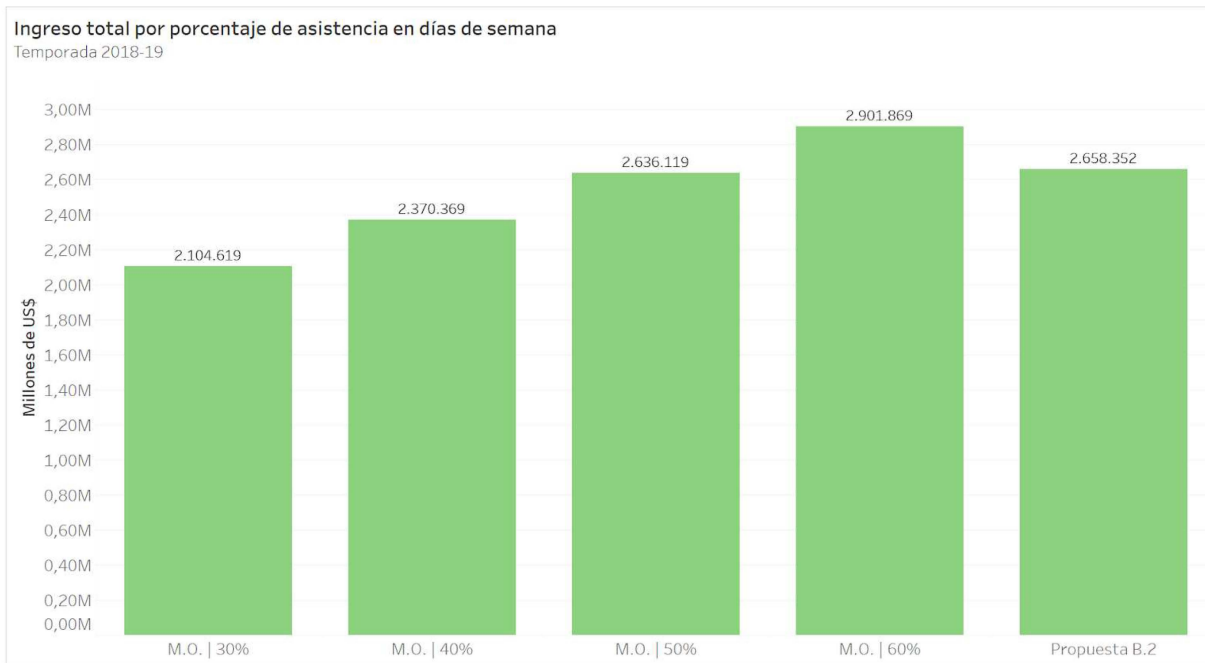


Figura 20: Beneficios económicos esperados por el modelo original (M.O.) según el porcentaje de asistencia en días de semana y nuestra propuesta B.2 de torneo para la temporada 2018-19 de la Liga Nacional de Básquet

Como se mencionó anteriormente, suponiendo que la ocupación de los días de semana es del 30%, nuestro modelo da un ingreso 26,31% superior, pasando de US\$ 2.104.619 a US\$ 2.658.352. Por más que el modelo original pasa a tener un ingreso esperado de US\$ 2.370.369 cuando el porcentaje de ocupación de los días de semana es del 40%, nuestro modelo sigue teniendo un 12,15% más de ingresos. Sin embargo, cuando este porcentaje pasa a ser 50%, nuestra propuesta es apenas 0,84% superior y cuando es 60% (algo quizás poco verosímil dado lo que se expuso anteriormente), es 8,38% peor.

9.c) Análisis del impacto en distancias e interés generado por cada una de las distintas opciones del modelado

Como fue mostrado en la Figura 6, se pensaron varias formulaciones posibles como potenciales mejoras al sistema actual. Dichas formulaciones varían en la función objetivo utilizada, método de emparejamiento u forma de organización (en parejas o equipos individuales). Dado que

nuestros modelos intentan llegar a un objetivo sobre la distancia recorrida por los equipos o el interés generado por los partidos, es interesante cómo cada formulación modifica dichas variables. Por una cuestión de complejidad, solo hemos podido hacer las comparaciones sobre las formulaciones hechas en la etapa regional de la temporada 2013-14. Tras cumplirse los límites de 12 horas de corrida o 7 GB de memoria, algunos modelos tienen un enorme gap de optimalidad que dificulta su comparación. A modo de ejemplo, definir la etapa regional de la temporada 2013-14 minimizando la distancia total en una organización de parejas tarda menos de un segundo y el gap de optimalidad es 0. Sin embargo, el tiempo que lleva hacer lo mismo para la temporada 2018-19 es mayor a una hora, por más que la cantidad de parejas solo aumentó en una unidad. Es por esto, que hemos definido hacer este análisis para el problema más pequeño: la etapa regional de la temporada 2013-14. De esta forma, describimos las variantes de las distintas formulaciones analizadas:

N° Modelo	Emparejamiento	Método de organización	Función objetivo
9C1	Min Weight Matching	Parejas	Min distancia total
9C2	Min Weight Matching	Parejas	Min distancia del equipo que más viaja
9C3	Min Weight Matching	Parejas	Interés parejo
9C4	Min Weight Matching	Parejas	Max interés últimas fechas
9C5	PLE	Parejas	Min distancia total
9C6	PLE	Parejas	Min distancia del equipo que más viaja
9C7	PLE	Parejas	Interés parejo
9C8	PLE	Parejas	Max interés últimas fechas
9C9	-	Equipos individuales	Max interés últimas fechas
9C10	-	Equipos individuales	Interés parejo

Tabla 11: Especificaciones de las corridas hechas sobre los datos de la etapa regional de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

Podrá observarse que no existen especificaciones con funciones objetivas relacionadas con distancia cuando se organiza la etapa en equipos individuales. Como fue mencionado anteriormente, esto es explicado por el hecho de que se decidió limitar el análisis a las corridas para las cuales este gap de optimalidad era suficientemente pequeño (menor al 5%) luego de 12 horas de corrida. De esta forma, solo se comparan distintas soluciones para ver cómo impactan ciertas decisiones en las variables de interés que forman parte de la función objetivo (distancia o interés en los partidos), lo cual puede ser interesante para un ejecutivo que está encargado de armar el fixture definitivo. Por otro lado, para hacer los análisis de distancia, aclaramos que se vuelve a un contexto del TTP en el sentido de que no se supone que los equipos vuelven a su hogar tras un fin de semana, sino que viajan desde el local del partido del domingo al local del partido del viernes siguiente.

En este sentido, comenzamos comparando cómo impacta la decisión de la función objetivo sobre la distancia total recorrida, tomando solo las observaciones en las que se organizó la etapa en parejas (ya que no se llegó a un óptimo en todas las funciones objetivo organizando con equipos individuales) y computando el promedio de la distancia dada con cada método de emparejamiento (es decir, a modo de ejemplo, la columna “Min. distancia total” de la siguiente Figura toma como valor el promedio de la distancia total dada por los modelos 9C1 y 9C5):

Distancia total por función objetivo
Nuestras propuestas - Temporada 2013-14

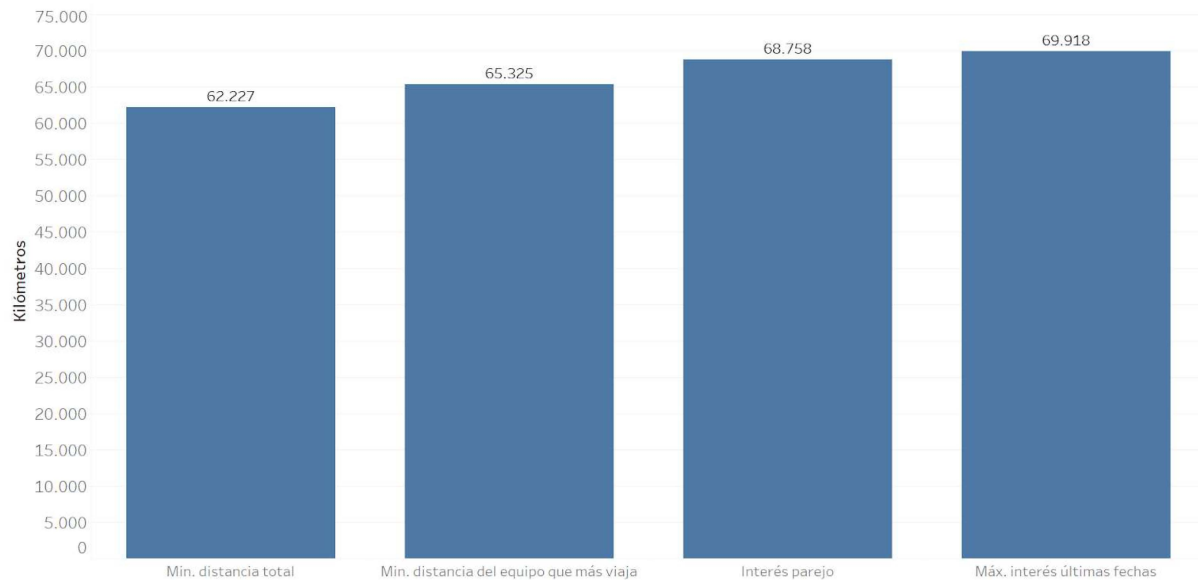


Figura 21: Distancia total por función objetivo para la etapa regional de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

Lógicamente, es claro que la función objetivo que intenta minimizar la distancia total, termina logrando su cometido, generando una distancia total de 62.227 km. Ahora bien, el análisis más interesante viene de ver cuántos kilómetros más terminan siendo recorridos cuando se decide cambiar de objetivo; es decir, cuánto tengo que sacrificar por intentar perseguir otra meta. Cuando se decide emparejar las distancias minimizando la distancia del equipo que más viaja, las distancias llegan a 65.325, lo cual representa un aumento del 4,98%, mientras que cuando se interesa emparejar el interés generado en las distintas fechas, el incremento es del 10,49% (la distancia recorrida por los clubes llega a 68.758 km). Sin embargo, la mayor distancia se da cuando se intenta maximizar el interés en las últimas fechas de la competición, cuando esta llega a 69.918 km (lo cual representa un incremento del 12,36% con respecto a la función objetivo que minimiza la distancia total). Por otro lado, podemos comparar otra de las funciones objetivo, viendo como varía la distancia por partido del equipo que más viaja (otra vez, solo tomando solo las observaciones en las que se organizó la etapa en parejas y computando el promedio de la distancia dada con cada método de emparejamiento):

Distancia por partido del equipo que más viaja por función objetivo
Nuestras propuestas - Temporada 2013-14

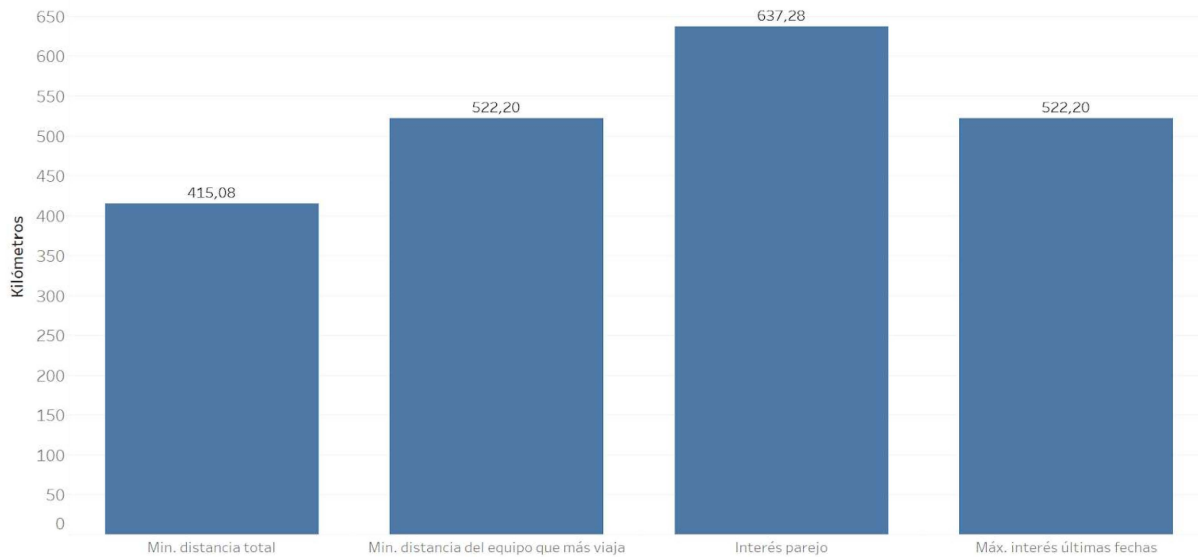


Figura 22: Distancia por partido del equipo que más viaja por función objetivo para la etapa regional de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

Aquí puede observarse uno de los resultados más interesantes ya que se puede ver cómo la función objetivo que hace el mejor trabajo en minimizar la distancia del equipo que más viaja no es la que tiene explícitamente dicha meta. Esto no se debe a una cuestión de error de formulación o porque los modelos no llegaron a un óptimo, sino por el hecho de que se están utilizando parejas y no equipos individuales a la hora de modelar. A la hora de computar la distancia entre dos parejas, es necesario tomar una decisión sobre qué se va a tomar ya que varios criterios pueden parecer válidos a primera vista: se puede tomar la distancia entre el punto medio entre los equipos de cada pareja, un promedio de las distancias entre los equipos de cada pareja, etc. En este caso, se tomó la máxima distancia recorrida por un equipo en un fin de semana. Es decir, si existen dos parejas A (conformada por los equipos A_1 y A_2) y B (conformada por los equipos B_1 y B_2), la distancia entre A y B será calculada como el máximo de las distancias recorridas por los distintos equipos (por ejemplo, la distancia recorrida por A_1 será igual a la distancia entre A_1 y B_2 más la distancia entre B_2 y B_1 , etc.). De esta forma, la distancia tomada por el modelo representa una cota superior a la que efectivamente el equipo recorrerá, aunque no sea la efectivamente recorrida. Es por este hecho que, al hacer esto, es posible que no se obtenga el óptimo global al problema, como

efectivamente terminó ocurriendo. Como se ve en los datos, cuando la función intenta minimizar la distancia del equipo que más viaja, dicho equipo recorre 522,20 km por partido, mientras que cuando se minimiza la distancia total, dicho equipo recorre 415,08 km por partido, un 20,51% menos. Es más, aún cuando se elige un objetivo que no está relacionado con las distancias, como es maximizar el interés en las últimas fechas, la distancia por partido del equipo que más viaja es la misma que cuando se intenta minimizar explícitamente dicho indicador, lo cual refuerza dicha desventaja del armado del torneo en parejas. Sin embargo, al intentar emparejar el interés generado en las distintas fechas la distancia por partido del equipo que más viaja asciende a 637,28 km, lo cual representa un aumento del 53,53% con respecto a la distancia por partido cuando se intenta minimizar la distancia total y un incremento del 22,04% con respecto a cuando se intenta minimizar la distancia del equipo que más viaja.

Por otro lado, mirando las especificaciones en las que se organiza la etapa uno en parejas, se puede ver cómo cambia el interés generado utilizando la métrica introducida en la sección 8 en los distintos fines de semana según la función objetivo elegida (otra vez, para cada fin de semana se toma el promedio del interés según cada método de emparejamiento):

Interés por fin de semana por función objetivo
 Nuestras propuestas - Temporada 2013-14

Núme..	Función Objetivo			
	Min. distancia total	Min. distancia del equipo que más viaja	Interés parejo	Máx .interés últimas fechas
1	1,862	1,862	1,862	1,862
2	2,197	1,566	1,803	1,566
3	1,264	1,264	1,803	1,264
4	1,759	2,389	1,615	2,389
5	1,862	1,862	1,862	1,862
6	1,759	2,389	1,827	1,264
7	1,264	1,408	1,591	1,566
8	2,197	1,423	1,803	2,389

Figura 23: Interés generado por fin de semana por función objetivo para la etapa regional de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

Es fácilmente observable ver cómo cambia la distribución temporal del interés generado por función objetivo. En las funciones relacionadas con distancia no parece haber un patrón definido en cuanto al interés ya que, por ejemplo, dos de las tres fechas menos interesantes del fixture cuando se intenta minimizar la distancia del equipo que más viaja son las últimas dos -algo que, además, podría ser poco deseable-. Sin embargo, cuando se intenta emparejar el interés, no hay grandes cambios en los intereses de las distintas fechas, lo cual es reflejado en la gran similitud entre los colores de dicha columna. Por otro lado, es relevante observar el interés creciente en la última etapa del torneo cuando se intenta maximizar el interés en las últimas fechas (lo cual se suma al hecho de que el interés de la última fecha de dicha función objetivo es el máximo interés generado de todas las especificaciones analizadas). Además, dado que cada equipo debe enfrentarse una vez en cada mitad del torneo, no parece sorprendente ver que el interés de la última fecha de la primera ronda es igual al interés de la última fecha de la segunda ronda cuando se intenta maximizar el interés en las últimas fechas.

Como se mencionó en la sección 8, se probaron dos métodos de emparejamiento: uno basado en la teoría de grafos (*Minimum Weight Matching*) y uno basado en MILP. El segundo, según los autores Bonomo et al [10], genera una mejor solución en términos de distancia ya que realiza el

emparejamiento viendo el problema del armado de fixture como un todo en vez de ver solo el armado de parejas. Por lo tanto, continuamos evaluando las distancias totales según el método de emparejamiento, promediando las distancias totales según el método (es decir, el valor de la primera columna es igual al promedio de la distancia total de los modelos 9C1, 9C2, 9C3 y 9C4):

Distancia total por método de emparejamiento
Nuestras propuestas - Temporada 2013-14

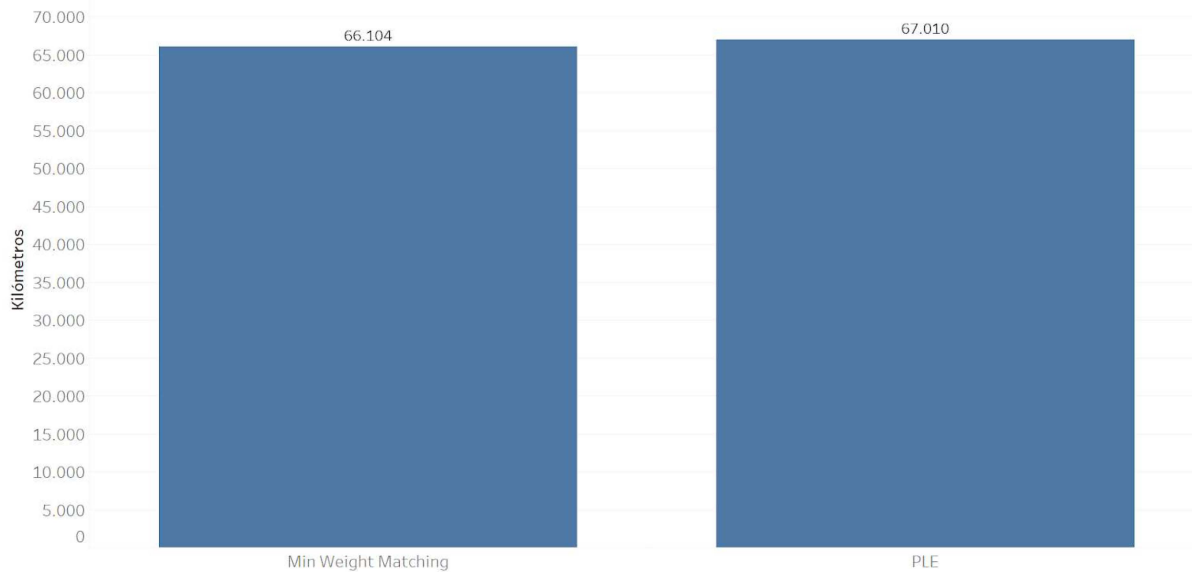


Figura 24: Distancia total por método de emparejamiento para la etapa regional de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

A simple vista, no puede observarse una ventaja del método basado en MILP ya que, por más que la distancia total promedio de dicho método es 67.010 km, esta es 1,37% mayor que cuando se utiliza el método de emparejamiento basado en teoría de grafos (la distancia total promedio es de 66.104 km). Sin embargo, esta diferencia es distinta según la función objetivo que se esté analizando, como vemos en la siguiente figura:

Distancia total por método emparejamiento y función objetivo
Nuestras propuestas - Temporada 2013-14

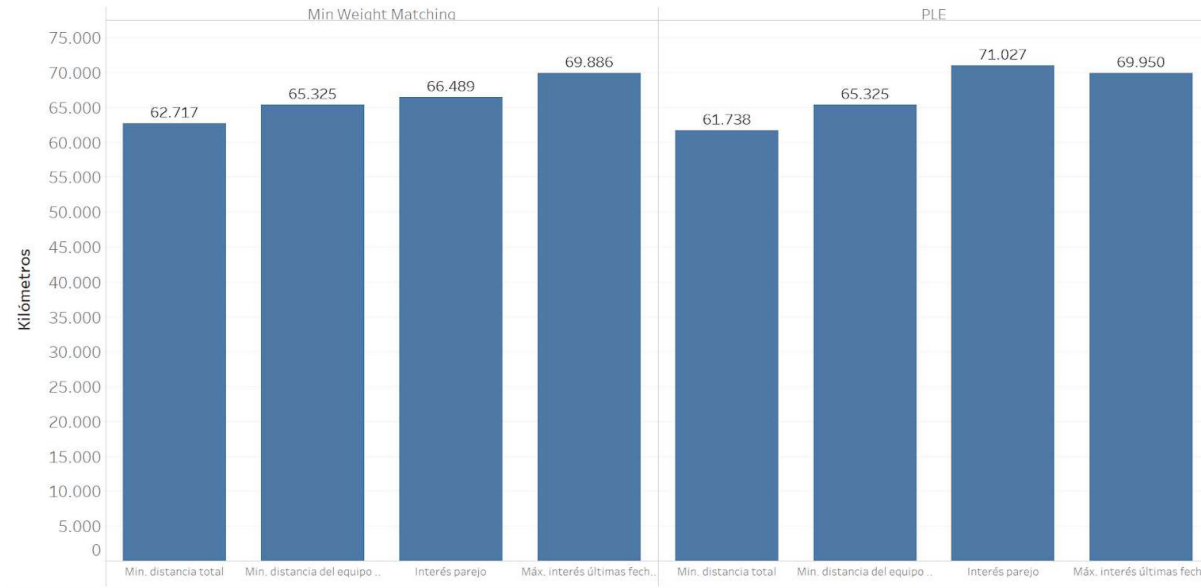


Figura 25: Distancia total por método de emparejamiento y función objetivo para la etapa regional de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

La Figura 25 marca que el método de emparejamiento por MILP logra su propósito de reducir las distancias recorridas en término de viajes solo cuando la función objetivo es minimizar la distancia total recorrida ya que cuando se empareja vía teoría de grafos la distancia total es 62.717 km, mientras que, si se empareja con MILP, dicha cifra se reduce hasta 61.738, lo cual representa una reducción de 1,56%. Sin embargo, al observar el resto de las funciones objetivo, emparejar vía MILP no representa una sustancial ventaja ya que, por ejemplo, si se utiliza una función que empareja el interés, la distancia total versus el método de emparejamiento vía teoría de grafos aumenta 6,83% (de 66.489 km a 71.027 km) y que si se elige una función que maximiza el interés en las últimas fechas, dicha distancia total aumenta 0,09% (de 69.886 km a 69.950 km).

Otro de los análisis interesantes implica ver cómo cambia la distribución de los intereses por fecha según si se organiza la etapa en parejas o en equipos individuales. Comenzaremos comparando el interés por fecha -y no fin de semana- según dichas organizaciones cuando en ambos casos se utiliza una función objetivo que aspira maximizar el interés en las últimas

fechas del campeonato (para la columna del emparejamiento por fechas se toma, para cada fecha, el interés promedio de ambas especificaciones -los modelos 9C4 y 9C8-):

Interés por fecha por tipo de organización de los equipos
Nuestras propuestas - Temporada 2013-14

	Parejas	Equipos individuales
1	1,862	0,894
2	1,513	0,964
3	1,619	1,060
4	1,048	1,129
5	1,481	2,017
6	2,314	2,846
7	2,465	3,393
8	1,862	0,894
9	1,048	0,964
10	1,481	1,060
11	1,513	1,129
12	1,619	2,017
13	2,314	2,846
14	2,465	3,393

Figura 26: Interés por fecha por tipo de organización para la etapa regional de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

La siguiente figura demuestra que la organización por parejas tiene una importante desventaja: genera cierta rigidez a la hora de armar los distintos fixture. De esta forma, no necesariamente se podrá llegar al mismo óptimo que se conseguiría al organizar la agenda de partidos tomando los equipos individuales, aún cuando se utilice la misma función objetivo. Al quitar esta rigidez, se ve que el patrón temporal del interés es, para cada ronda del torneo, claramente creciente. Esto se debe a que en una organización por parejas, el interés esperado por el enfrentamiento de dos parejas es igual a la suma del interés de los cuatro partidos que lo conforman. De esta forma, mientras que al organizar por equipos sí se evalúa el interés individual de cada partido, al organizar por parejas esto no suceda (ya que se observa el interés de los cuatro partidos correspondientes). Aún más, organizar por equipos permite llegar a niveles de interés mayores en las últimas fechas: si se toma la suma del interés de las últimas tres fechas cuando se organiza el torneo por equipos individuales esta es 29,03% mayor que cuando se organiza por

parejas. La contracara de esto es que la distancia total recorrida aumenta un 56,56% (de 69.918 km cuando se organiza en parejas a 109.466 km cuando se organiza por equipos).

Por último, comparando la organización en parejas versus equipos individuales, nos centramos en el análisis cuando la función objetivo intenta emparejar el interés en todas las fechas, evaluando el desvío standard para nuestra métrica de interés para cada organización:

Desvío Standard del interés por fecha por tipo de organización de los equipos
Nuestras propuestas - Temporada 2013-14

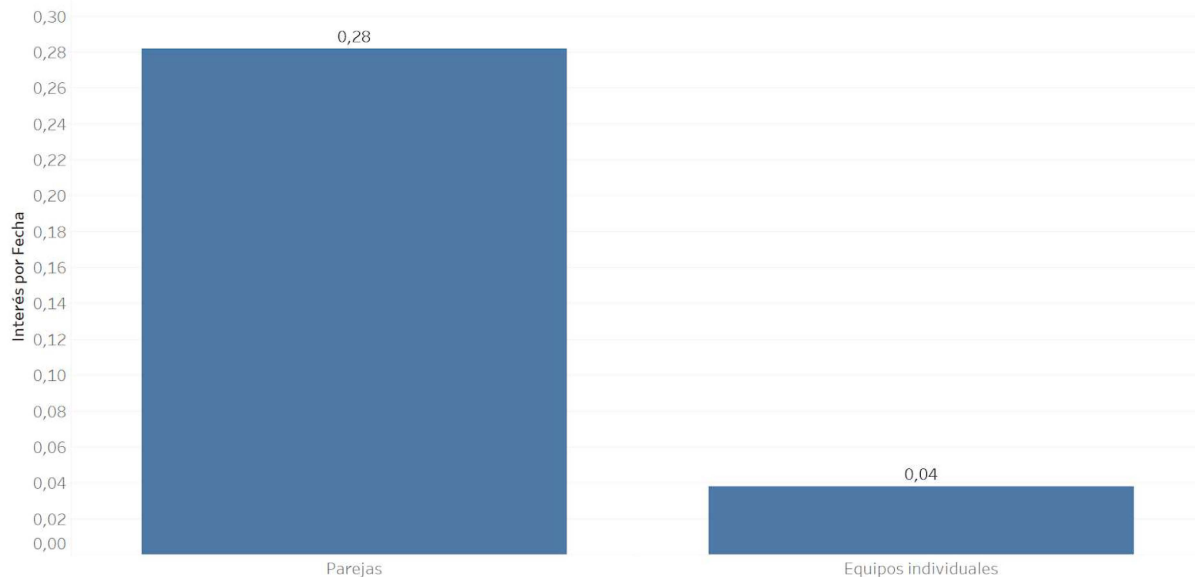


Figura 27: Desvío standard del interés por fecha por tipo de organización para la etapa regional de la temporada 2013-14 de la Liga Nacional de Básquet

Otra vez, se puede observar cómo trabajar con equipos individuales le quita al modelado una rigidez introducida por el modelo en parejas. Mientras que el desvío standard del interés por fecha del modelo por parejas es de 0,28, al cambiar al modelo de equipos individuales, esto pasa a ser 0,04. Sin embargo, así como en el caso anterior, comparando ambas organizaciones, la distancia cambia drásticamente: de un promedio de distancia total de 68.758 km para el modelo en parejas, esto pasa a ser 103.982 km, lo cual representa un aumento del 51,23%.

10) Conclusiones y trabajo futuro

El básquetbol es uno de los deportes más populares de Argentina y ha tenido, desde el comienzo del siglo, un importante crecimiento ayudado por el éxito de basquetbolistas

argentinos, tanto en la selección nacional como en ligas del extranjero. Este crecimiento ha llevado a un mayor desarrollo y popularidad de la Liga Nacional de Básquet, el torneo local argentino.

Sin embargo, el mayor nivel de desarrollo no trae solo beneficios, sino también mayores exigencias de tener un torneo mejor organizado y cada vez más atractivo. Una de las formas más comunes de lograr una mejora en la organización y en la eficiencia operativa es utilizar técnicas de la investigación operativa para el armado de fixtures. La adopción en Argentina de estas técnicas ha sido más tardía que en otros países ya que, por ejemplo, en la Liga Nacional de Básquet, hasta la temporada 2013-14 la agenda de partidos era definida de forma manual.

Como fue ya mencionado, en la Liga Nacional de Básquet hasta la temporada 2013-14 el fixture se armaba de forma manual y estaba basado en un sistema de parejas. De esta forma, una pareja visitaba a otra pareja en un fin de semana y los equipos jugaban solo los viernes y los domingos. A partir de la temporada 2014-15, el sistema cambió radicalmente ya que los equipos dejaron de estar emparejados y se pasó a un sistema de giras, en el que se jugarían partidos todos los días de la semana, imitando a la NBA. De esta forma, la organización les pidió a los clubes que armen giras posibles y marquen cuáles de ellas serían sus “preferidas”, lo cual permite diseñar un modelo de MILP que intenta maximizar la cantidad de giras preferidas por los clubes.

El nuevo sistema ha tenido beneficios en términos de eficiencia ya que en la temporada 2014-15 se consiguió una reducción del 31% en el promedio de kilómetros viajados por equipo por partido respecto a la temporada 2013-14. Sin embargo, hay varias razones que hacen pensar que implementar dicho sistema en una liga federal dentro de un país con importantes niveles de desigualdad puede generar efectos indirectos no deseados. En primer lugar, cambiar los días de juego representa un cambio en las costumbres equipos e hinchas. Además, por más que en la NBA se utiliza el sistema de giras, los equipos juegan más partidos contra sus rivales cercanos, mientras que, con el último sistema implementado por la LNB, se juegan la misma cantidad de partidos contra los contrincantes que están cerca como con los que están lejos.

Quizás el aspecto más importante es que por varios motivos, la Liga Nacional de Básquet y la NBA no son ni comparables ni similares. Es más, algunas de las quejas que demuestran esta

diferencia surgen desde dentro de la liga, ya que varios clubes muestran inconformidad con el sistema actual.

Por estas razones, nos parece importante proponer y evaluar con una perspectiva de negocio más amplia un nuevo fixture en el que se vuelva a un sistema de parejas y con partidos solo los fines de semana. Este nuevo sistema podría estar compuesto por una única etapa nacional o por dos etapas: una etapa regional (en la que se enfrentan los equipos de una misma conferencia) y una etapa nacional. La organización de cada una de las etapas se realiza con técnicas de MILP, lo cual además permite elegir distintas funciones objetivo: la minimización de la distancia total recorrida por los clubes, la minimización de la distancia hecha por el equipo que más recorre, el emparejamiento del interés generado en cada una de las fechas del torneo o la maximización del interés en las últimas fechas del torneo. Como diferencia adicional con el sistema actual, en nuestra propuesta los equipos juegan más partidos con los equipos de la misma conferencia. Con esto en vista, nuestro trabajo realiza tres análisis distintos: (i) elabora un fixture para la temporada 2013-14 para poder evaluar los beneficios en términos de distancia y eficiencia de una solución basada en MILP contra una manual, (ii) elabora un fixture para la temporada 2018-19 para poder medir si una propuesta que concentra partidos los fines de semana genera una mayor rentabilidad que el modelo actual, y (iii) compara las distintas formulaciones propuestas para analizar cómo la toma de decisiones a la hora de armar los modelos (por ejemplo, la elección de la función objetivo) impacta en distintas variables de interés. De esta forma, este trabajo toma en cuenta la generación de fixtures operativamente eficientes con una mirada de estrategia y visión de negocio, para que la estrategia operativa sea el resultado de la estrategia general de negocio. Además, a diferencia de la mayoría de los trabajos locales sobre fixtures deportivos, propone más de una formulación posible para el armado de la nueva solución.

Entre los principales resultados del trabajo, el modelo basado en MILP para la etapa regional de la temporada 2013-14 presenta una reducción del 24,92% en concepto de kilómetros viajados por los equipos en comparación con el modelo manual. Además, nuestro modelo es beneficioso para todos los equipos en términos de kilómetros viajados (suponiendo que los equipos no vuelven a su hogar tras un fin de semana). Por otro lado, nuestra propuesta de un modelo de dos etapas para la temporada 2018-19 en el que se intenta minimizar la distancia

total viajada en la etapa regional y maximizar el interés en las últimas fechas para la etapa nacional proyecta un incremento en los beneficios económicos esperados de 30,72% (suponiendo que los equipos no vuelven a su casa tras un fin de semana) y de 26,31% sacando este supuesto. Además, aún sin considerar dicho supuesto, la distancia total recorrida se reduce un 12,46% y un 75% de los equipos obtienen una reducción de los kilómetros viajados. Adicionalmente, se hace una comparación entre los distintos modelos para evaluar cómo impactan ciertas decisiones en las variables de interés. A modo de ejemplo, la función objetivo que intenta minimizar la distancia total, termina logrando su cometido, generando una distancia total de 62.227 km. Sin embargo, cuando se decide emparejar las distancias minimizando la distancia del equipo que más viaja, las distancias llegan a 65.325 kms, lo cual representa un aumento del 4,98%, mientras que cuando se interesa emparejar el interés generado en las distintas fechas, el incremento es del 10,49% (la distancia recorrida por los clubes llega a 68.758 km). No obstante, la mayor distancia se da cuando se intenta maximizar el interés en las últimas fechas de la competición, cuando esta llega a 69.918 km (lo cual representa un incremento del 12,36% con respecto a la función objetivo que minimiza la distancia total.

Nuestro trabajo no es totalmente el punto final a la hora de pensar fixtures para la Liga Nacional de Básquet ya que, como se mencionó, no se pudo llegar a un óptimo global para algunas de las formulaciones propuestas, por lo que no es posible considerarlas para el análisis. Una posible solución sería generar formulaciones más pequeñas que obtengan óptimos locales utilizables. Por otro lado, una posible crítica es que, en un contexto de un modelo nacional de una sola ronda, si en la temporada siguiente se volviera armar el fixture, es posible que algunas asignaciones se repitan. Esto es algo solucionable ya que se podría “castigar” las asignaciones hechas en la temporada pasada (por ejemplo, haciendo que la distancia correspondiente sea el doble a la real o el interés generado esperado sea la mitad del real) para intentar minimizar dichos enfrentamientos. Sin embargo, consideramos que el valor de nuestro trabajo reside en incorporar una mirada general que contempla objetivos de negocios diversos ; y en el análisis comparativo de varias soluciones propuestas como mejora a la situación actual.

11) Apéndice

Para enfatizar el hecho de que se pensó a nuestro modelo como una solución integral de negocios, decidimos desarrollar una interfaz gráfica (GUI, por sus siglas en inglés) hecha mediante la librería PySimpleGUI de Python para mostrar cómo imaginábamos el potencial uso de nuestra herramienta. A continuación, se muestran impresiones de pantalla a modo de ilustración (además se puede encontrar una demostración en video en el siguiente link: https://www.youtube.com/watch?v=Se_yI6MQYfs&feature=youtu.be):

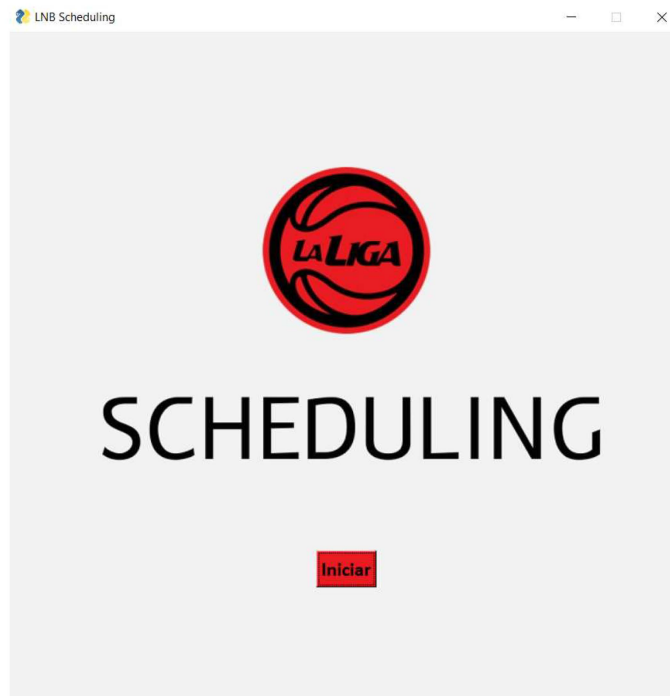


Figura 28: Pantalla de bienvenida de la GUI diseñada

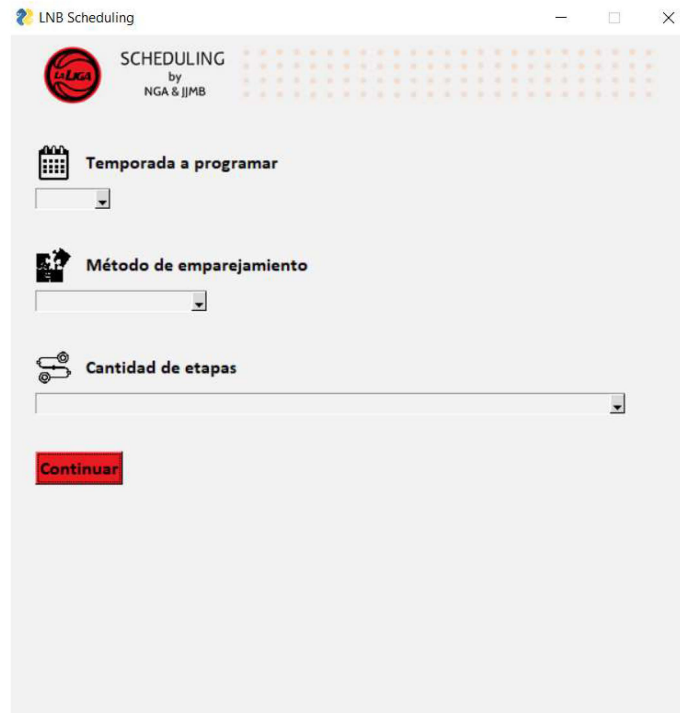


Figura 29: Pantalla de seteo de opciones generales de la GUI diseñada

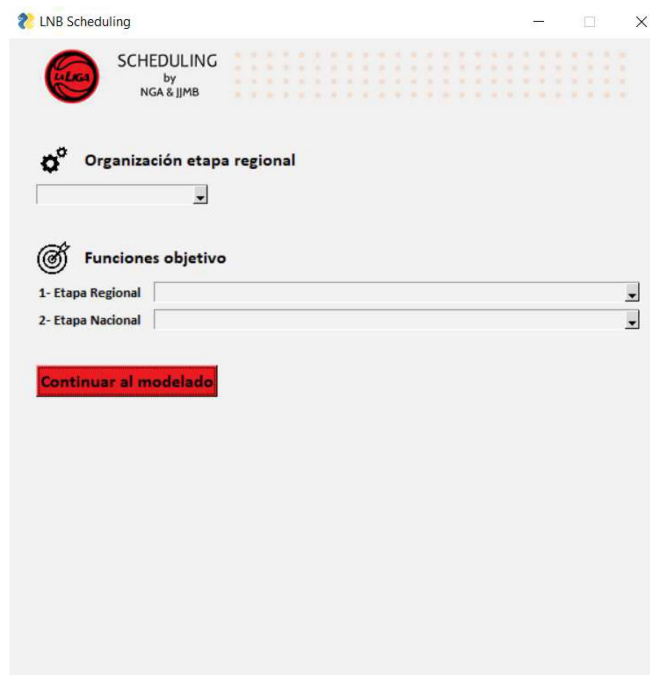


Figura 30: Pantalla de seteo de opciones de organización y objetivos del modelado de la GUI diseñada



Figura 31: Pantalla de la GUI diseñada que muestra el fixture generado

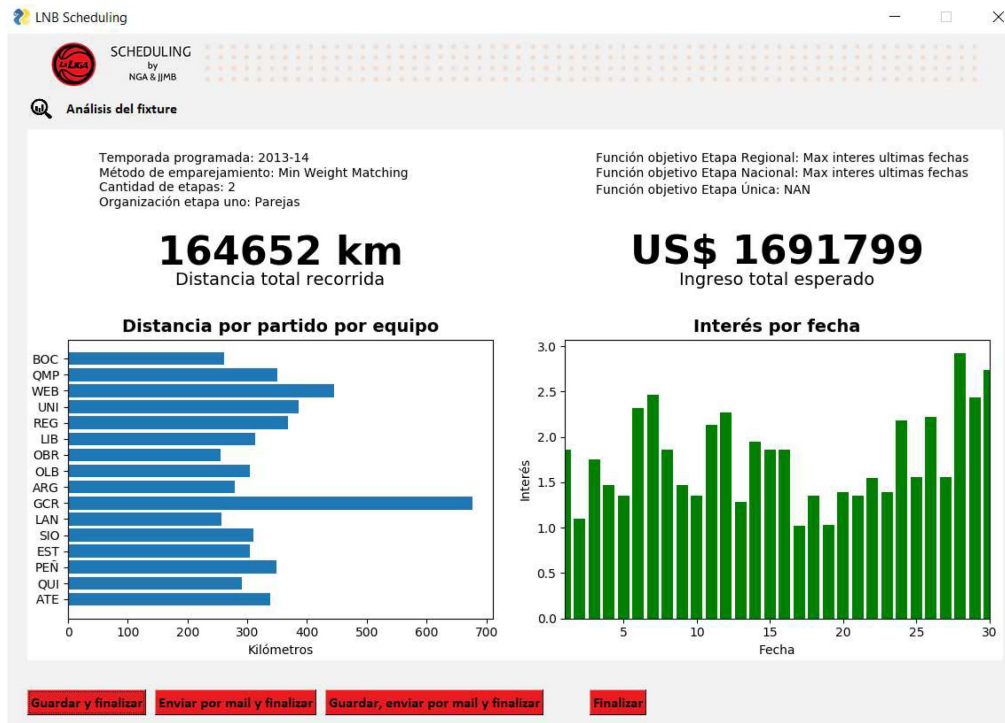


Figura 32: Pantalla de la GUI diseñada que muestra un análisis del fixture generado

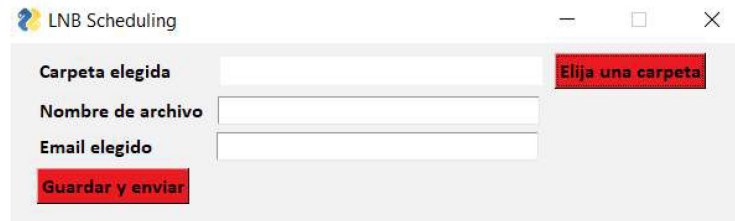


Figura 33: Pantalla de la GUI diseñada que ofrece opciones de guardado del fixture generado o el análisis del mismo

Referencias bibliográficas

Papers académicos

- [1] Silverman, D., & Schwartz, B. L. (1973). How to win by losing. *Operations Research*, 21(2), 639-643.
- [2] Fleurent, C., & Ferland, J. A. (1993). Allocating games for the NHL using integer programming. *Operations Research*, 41(4), 649-654.
- [3] Russell, R. A., & Leung, J. M. (1994). Devising a cost effective schedule for a baseball league. *Operations Research*, 42(4), 614-625.
- [4] Armstrong, J., & Willis, R. J. (1993). Scheduling the cricket world cup—a case study. *Journal of the Operational Research Society*, 44(11), 1067-1072.
- [5] Freeze, R. A. (1974). An analysis of baseball batting order by Monte Carlo simulation. *Operations Research*, 22(4), 728-735.
- [6] Ladany, S. P. (1975). Optimal starting height for pole-vaulting. *Operations Research*, 23(5), 968-978.
- [7] Washburn, A. (1991). Still more on pulling the goalie. *Interfaces*, 21(2), 59-64.
- [8] Swartz, T. B., Gill, P. S., Beaudoin, D., & desilva, B. M. (2006). Optimal batting orders in one-day cricket. *Computers & operations research*, 33(7), 1939-1950.

- [9] Trick, Michael A. "Using sports scheduling to teach integer programming." *INFORMS Transactions on Education* 5.1 (2004): 10-17
- [10] Bonomo, Flavia, et al. "An application of the traveling tournament problem: The Argentine volleyball league." *Interfaces* 42.3 (2012): 245-259.
- [11] Durán, Guillermo, et al. "More than the Coca-Cola formula: Scheduling the Argentina's Football Superliga", presentation made at MathSport Asia 2018, XLRI, Jamshedpur, India
- [12] Durán, G., Durán, S., Marengo, J., Mascialino, F., & Rey, P. A. (2019). Scheduling Argentina's professional basketball leagues: A variation on the Travelling Tournament Problem. *European Journal of Operational Research*, 275(3), 1126-1138.
- [13] INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Disponible en https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/censo2010_tomo1.pdf. (Consultado el 18 de noviembre de 2019)
- [14] Durán, G., & Guajardo, M. (2014). El fixture de las clasificatorias sudamericanas para la copa mundial de fútbol mediante programación entera. *Revista de Ingeniería de Sistemas Volumen XXVIII*.
- [15] Galil, Z. (1986). Efficient algorithms for finding maximum matching in graphs. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 18(1), 23-38.

Artículos periodísticos

- [I] Martín, Roberto, "Robles: 'Los dirigentes nos traicionamos entre nosotros'". *Básquet Plus*. Publicado el 14 de junio de 2016. Disponible en <https://basquetplus.com/articulo/robles-los-dirigentes-nos-traicionamos-entre-nosotros>. (Consultado el 18 de noviembre de 2019)
- [II] Griffiths, Sian: "The Canadian who invented basketball", BBC, publicado el 20 de septiembre de 2010. Disponible en <https://www.bbc.com/news/world-us-canada-11348053>. (Consultado el 30 de octubre de 2019)

[III] “The Top 10 EuroLeague salaries of 2019-20”, Eurohoops, publicado el 20 de julio de 2019.
Disponible en

<https://www.eurohoops.net/en/trademarks/909850/the-top-10-euroleague-salaries-of-2019-20/> (Consultado el 30 de octubre de 2019)

[IV] “2019-20 NBA Player Contracts”, basketball-reference.com. Disponible en

<https://www.basketball-reference.com/contracts/players.html>. (Consultado el 30 de octubre de 2019)

[V] Chiari, Mike, “Michael Jordan Ranks Kobe Bryant over LeBron James, Saying 'Five Beats Three'”. Bleacher Report, publicado el 2 de agosto de 2017. Disponible en

<https://bleacherreport.com/articles/2725253-michael-jordan-ranks-kobe-bryant-over-lebron-james-saying-five-beats-three> (Consultado el 30 de octubre de 2019)

[VI] “Biggest-ever FIBA World Cup reaches record-breaking three billion people”, Around the Rings. Disponible en

http://aroundtherings.com/site/A_78089/Title_Biggest-ever-FIBA-World-Cup-reaches-record-breaking-three-billion-people/292/Articles (Consultado el 31 de octubre de 2019)

[VII] “Básquet: Primeros latidos”, El Gráfico, publicado el 3 de abril de 2012. Disponible en

<https://www.elgrafico.com.ar/articulo/0/4151/basquet-primeros-latidos>. (Consultado el 4 de noviembre de 2019)

[VIII] “Historia del Básquet Argentino”, Confederación Argentina de Básquetbol. Disponible en

<https://www.argentina.basketball/ar/historia-del-basquet-argentino> (Consultado el 4 de noviembre de 2019)

[IX] Bailey, Andy; “Bleacher Report’s All-Time Player Rankings: NBA’s Top 50 Revealed”, Bleacher Report, publicado el 26 de septiembre de 2019. Disponible en

<https://bleacherreport.com/articles/2854727-bleacher-reports-all-time-player-rankings-nbas-top-50-revealed?share=other#slide0>. (Consultado el 5 de noviembre de 2019)

[X] Maisonet, Eddie; “Argentina’s golden generation changed international basketball forever”. SBNation, publicado el 8 de septiembre de 2014, disponible en

<https://www.sbnation.com/nba/2014/9/8/6107243/argentina-golden-generation-manu-ginobili-fiba-world-cup>. (Consultado el 5 de noviembre de 2019)

[XI] Hecker, Pablo, “La Liga de básquet nacional es un negocio de \$450 millones”, El Cronista, publicado el 11 de abril de 2016. Disponible en <https://www.cronista.com/deportes/La-Liga-de-basquet-nacional-es-un-negocio-de--450-millones-20160411-0019.html>. (Consultado el 10 de noviembre de 2019)

[XII] “Leo Gutiérrez y Leiva, citados por sus críticas al fixture de la Liga Nacional”. Clarín. Publicado el 30 de diciembre de 2014. Disponible en https://www.clarin.com/basquet/basquetbol-liga-nacional_0_r1IMt7D5P7l.html. (Consultado el 18 de noviembre de 2019)

[XIII] Badenhausen, Kurt: “The World’s Highest-Paid Athletes”, Forbes. Publicado el 11 de junio de 2019. Disponible en <https://www.forbes.com/athletes/#3632c97455ae>. (Consultado el 18 de noviembre de 2019)

[XIV] Abdeldaiem, Alaa. “Average Ticket Price for North Carolina vs. Duke is Currently More than \$4000”. Sports Illustrated. Publicado el 19 de febrero de 2019. Disponible en: <https://www.si.com/college-basketball/2019/02/19/duke-unc-ticket-prices-acc-rivalry-game-over-4000-zion-williamson> (Consultado el 18 de noviembre de 2019)

[XV] Martin, Josh, “Power Ranking the Best Basketball Leagues in the World, Outside of the NBA”, Bleacher Report. Publicado el 9 de agosto de 2012. Disponible en <https://bleacherreport.com/articles/1291287-power-ranking-the-best-basketball-leagues-in-the-world-outside-of-the-nba#slide4>. (Consultado el 18 de noviembre de 2019)

[XVI] Cardone, Matías, “La devaluación llegó a la Liga Nacional de básquet”. Perfil. Disponible en <https://442.perfil.com/2019-03-30-666188-la-devaluacion-llego-a-la-liga-nacional-basquet/> (Consultado el 25 de enero de 2020)