

## **Programación del fixture deportivos mediante técnicas de gestión modernas**

**Sports programming fixture by modern management  
techniques**

**Julio Mario Daza-Escorcía\***

**Jesús R. Cohen Jiménez\*\***

\*Grupo de Investigación en Gestión Integral de Procesos Productivos. Corporación Politécnico de la Costa Atlántica, Barranquilla, Colombia, jdazae@pca.edu.co

\*\*Grupo de Investigación en Gestión Integral de Procesos Productivos. Corporación Politécnico de la Costa Atlántica, Barranquilla, Colombia, jcohenj@pca.edu.co

**Fecha de recepción:** 02 de Febrero de 2013

**Fecha de aceptación:** 17 de Junio de 2013

**Citación:**

Daza-Escorcía, J. M., & Cohen Jiménez, J. R. (2013). Programación del fixture deportivos mediante técnicas de gestión modernas. *Gestión, Competitividad e innovación*(1), 1-10.

## **RESUMEN**

*Este artículo se presenta la manera de cómo se puede abordar la confección del fixture de primera división del fútbol profesional colombiano mediante técnicas de gestión modernas, tales como la investigación de operaciones. Este fixture debe cumplir una serie de condiciones solicitadas por la asociación del Fútbol Profesional Colombiano (FPC), entidad que organiza el torneo. La presente investigación tiene en cuenta los criterios como el geográfico que es particularmente importante, debido a que la disposición de algunos equipos en lugares extremos del país implica largos desplazamientos, a menudo realizados por viaje terrestre, entre otros variables que analizaremos de manera detallada y que contribuyen a la correcta administración del deporte más atractivo del planeta. Este trabajo se encuadra en un área muy estudiada de la gestión de operaciones, conocida como sports scheduling. Este artículo presenta los criterios utilizados para definir la eficiencia de un fixture en términos de equidad deportiva, la forma en que consideraciones operacionales y económicas fueron introducidas al proceso de confección y cómo el modelo propuesto, junto a su implementación, dan al proceso una flexibilidad sin precedentes. Además de aumentar el atractivo del campeonato, estos factores en conjunto racionalizan el proceso de confección del fixture, haciéndolo más transparente y atractivo tanto a las dirigencias de los equipos de fútbol como a los seguidores de cada uno de los participantes en el torneo.*

**Palabras Claves:** Programación de Operaciones Deportivas, Gestión de Operaciones, Investigación de Operaciones, Fixtures Deportivos, Fútbol Profesional Colombiano.

## **ABSTRACT**

*This article presents the way how to deal with the confession of the first division fixture of Colombian professional football through modern management techniques, such as operations research. This fixture must meet certain conditions requested by the association of Colombian Professional Football (FPC), which organizes the tournament. This research takes into account criteria such as geographic is particularly important because the provision of some equipment in extreme parts of the country involves long journeys, often conducted by land travel, among other variables to be discussed in detail and contribute to the proper administration of the sport more attractive in the world. This work is framed in a very studied operations management, known as the sports scheduling. This article presents the criteria used to define the efficiency of a fixture in terms of sporting equity, how operational and economic considerations were introduced into the manufacturing process and how the proposed model, with its implementation, provide flexibility to the process without unprecedented. In addition to increasing the attractiveness of the tournament, these factors together, streamline the manufacturing process of the fixture, making it more transparent and attractive to both the leaders of the football teams as the followers of each of the participants in the tournament.*

**Keywords:** *Sport Scheduling, Operations Management, Operational Research, Fixtures, Colombian Soccer Championship..*

## 1. Introducción

La presente propuesta pretende el desarrollo de un modelo para el diseño, planificación y gestión integral de la programación de fixtures deportivos en el Fútbol Profesional Colombiano (FPC), que permita minimizar los costos operativos de los clubes en cuanto a las distancias totales viajadas y a su vez incrementar el atractivo de los campeonatos, generando un mejor aprovechamiento de los medios, las marcas registradas, la publicidad y comercialización, entre otros.

Esta investigación apunta hacia un objetivo específico en la programación de fixtures deportivos conocido en la literatura como Sports Scheduling [3]. El objetivo de la confección del fixture es obtener un cronograma de partidos que minimice las distancias totales viajadas, cumpliendo con las condiciones solicitadas, este problema es un caso particular del Traveling Tournament Problem (TTP), que es uno de los problemas combinatorios más difíciles planteados en la literatura específica (considerado NP-Completo [21]), actualmente es uno de los problemas mayormente estudiados y citados (en conjunto con el Problema del Agente Viajero), además es el problema estrella en el área de Sports Scheduling [10].

El uso de técnicas de sports scheduling es novedoso en Sudamérica: sólo se conoce antecedentes similares en el fútbol chileno en el año 2005 [9], en el fútbol argentino en el año 1995 [8], pero que no perduró en el tiempo. También en el fútbol europeo aparecen experiencias aisladas [1]. En cambio, su uso es habitual en los Estados Unidos: las más importantes ligas de básquetbol, béisbol y fútbol americano cuentan dentro de sus organizaciones con equipos de académicos o subcontratan empresas que programan sus campeonatos de manera eficiente [1].

Específicamente, los aportes de esta investigación al mejoramiento en la gestión de fixtures deportivos mediante técnicas de sports scheduling van dirigidos a la sostenibilidad en los clubes a través de la creación de torneos más equilibrados y atractivos al público, aumentando consigo la venta oficial de la boletería, de sus réplicas (como camisetas, balones, etc), el dinero proveniente del patrocinio en ellas y la transmisión de los partidos por televisión abierta y cerrada, lo anterior prevendrá la quiebra en los equipos que conforman cualquier liga o campeonato de la orbe y la intervención de los institutos para el deporte de cada país, tal es el caso del instituto colombiano para el deporte (Coldeportes) que amenaza con intervenir la División Mayor del Fútbol Colombiano (Dimayor) por la inminente quiebra de gran cantidad de sus cuadros, esta intervención conllevaría a posibles sanciones por parte de la FIFA y la exclusión de toda competencia internacional tanto a nivel de clubes como de seleccionados en cualquiera de sus divisiones o categorías.

Se plantea así el problema científico de este proyecto en términos de ausencia de metodologías y herramientas que garanticen de forma integral una solución para el diseño y gestión de programación de operaciones deportivas en federaciones, asociaciones o ligas de nuestro país. Para el logro de lo anterior se diseñaron tres etapas

de trabajo; i revisión bibliográfica, ii formulación del modelo y iii documentación de resultados. Estas constituyen los entregables de la investigación.

## 2. Metodología

El problema de investigación es la inexistencia de metodologías y herramientas que garanticen de forma integral una alternativa de solución para el diseño y gestión de fixtures deportivos de los campeonatos o ligas del FPC.

Como se mencionó, todavía existen muchos países que no cuentan con un sistema para gestión de sus fixtures, que permita minimizar costos basado en la adecuada asignación de los encuentros. A pesar de esto en los últimos años ha habido un creciente interés por desarrollar y utilizar métodos matemáticos y computacionales para el armado de fixtures.

La gestión de fixtures deportivos es un área estratégica de la logística en las competiciones de cualquier país. Contar con una alternativa de solución para problemas frecuentes como TTP, es crucial para direccionar políticas, especialmente en empresas cuya actividad económica principal es el deporte o depende directamente de este.

En términos financieros, según un informe de la consultora Deloitte & Touche, el negocio del fútbol representa la economía 17a más fuerte del mundo, con ventas que superan los 500 mil millones de dólares anuales. Haciendo un análisis macroeconómico, dice el informe, sólo 25 países producen anualmente un PIB mayor que la industria del fútbol en su conjunto [5].

A pesar de la recesión que ya se evidencia en buena cantidad de los países del primer mundo, se ha confirmado una vez más que las ligas más poderosas no sólo compiten dentro del campo de juego, sino que también lo hacen en su potencial económico. La Federación Internacional de Historia y Estadística de Fútbol (IFFHS por siglas en inglés) dio a conocer su clasificación de las Ligas más fuertes del mundo en 2010 [17], donde la española (Liga BBVA) se consolidó como la más fuerte del mundo, seguida de la inglesa (Premier League) y la italiana (Liga Calcio) en tercera ubicación. A nivel continental, Colombia se sitúa en octavo puesto, detrás de Brasil, Argentina, México, Ecuador, Perú, Paraguay y Chile que es veintavo en el ranking.

Sin embargo, uno de los problemas que jaquean a estas competencias son los altos costos, obligando a los equipos a centrarse en una gestión más eficiente del control de estos, en las ligas del primer mundo este fenómeno se observa en los salarios, mientras que en Latinoamérica el coste se ve reflejado por la mala gestión en sus fixtures deportivos. Ante estas evidencias surge la necesidad de responder las siguientes preguntas problema.

- ¿De qué manera se puede mejorar la programación de fixtures deportivos en el Fútbol Profesional Colombiano (FPC), que permita minimizar los costos operativos de los clubes en cuanto a las distancias totales viajadas y a su vez incrementar el atractivo de los campeonatos, generando un mejor aprovechamiento de los medios, las marcas registradas, la publicidad y comercialización, entre otros.?

A partir de lo anterior, surgen los siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son los aspectos que intervienen en la programación de fixtures deportivos en el Fútbol Profesional Colombiano (FPC)?
- ¿De qué forma se pueden planificar la programación de fixtures deportivos, maximizando el beneficio de los clubes y teniendo en cuenta las restricciones presentes por la federación del FPC?
- ¿Resulta viable la gestión de fixtures deportivos mediante técnicas de sports scheduling en la programación de operaciones deportivas del FPC?.

### **3. Estado del arte**

#### **3.1 Antecedentes de la situación actual e investigaciones anteriores**

En la literatura a lo largo de la historia se han propuesto diversas técnicas, y muchas de ellas se han aplicado a problemas reales, tales como los descritos en [4, 7, 14, 18, 23, 22, 27]. Entre las técnicas utilizadas, podemos destacar los trabajos realizados en base a Programación Entera [11, 19, 23, 24], Constraint Programming [13, 14,15, 16], y métodos heurísticos [4, 18, 22, 27, 26]. En el ámbito local, podemos mencionar el trabajo de Dubuc [8] este en el cual se utilizó Recocido Simulado (Simulating Annealing) para armar el fixture de la Asociación del Fútbol Argentino (AFA) que fue utilizado en el Torneo Apertura de fútbol 1994-1995, que básicamente debía satisfacer las condiciones impuestas por la televisión y otras relativas a la seguridad. Posterior a eso el trabajo de Duran [9] para el fútbol de primera división de Chile.

Aunque todavía existen muchos países que no cuentan con un sistema para gestión de sus fixtures en los Estados Unidos el uso de estas técnicas es habitual: las más importantes ligas de básquetbol, béisbol y fútbol americano cuentan dentro de sus organizaciones con equipos de académicos o subcontratan empresas que programan sus campeonatos de manera eficiente [1].

#### **3.2 Antecedentes de la posición que ocupa el negocio del fútbol**

En términos financieros, según un informe de la consultora Deloitte & Touche, el negocio del fútbol representa la economía 17a más fuerte del mundo, con ventas que superan los 500 mil millones de dólares anuales. Haciendo un análisis macroeconómico, dice el informe, sólo 25 países producen anualmente un PIB mayor que la industria del fútbol en su conjunto [5].

Algunas cifras que resumen el éxito comercial y económico que resultó del mundial organizado por la Federación Internacional del Fútbol Asociado (FIFA) en Alemania 2006, describen lo que representó el negocio del fútbol.

Primero, tres millones fueron los asistentes a los estadios, de los cuales la mitad fueron extranjeros. Segundo, 2,5 millones de turistas visitaron Alemania entre junio y julio, los que habrían gastado un mínimo de 1.000 dólares durante su estadía. Esto significa que 2.500 millones de dólares sería el dinero que le habría inyectado el Mundial de Fútbol a la economía alemana. Tercero, los 15 patrocinadores pagaron 500 millones de dólares a la organización. Cuarto, se calcula que 1.700 millones de dólares fue la recaudación de la FIFA en materia de derechos de televisión [5].

#### 4. Modelo de Sports Scheduling y variantes

Esta investigación apunta hacia un objetivo específico en la programación de fixtures deportivos conocido en la literatura como Sports Scheduling [3]. El objetivo de la confección del fixture es obtener un cronograma de partidos que minimice las distancias totales viajadas, cumpliendo con las condiciones solicitadas, este problema es un caso particular del Traveling Tournament Problem (TTP), que es uno de los problemas combinatorios más difíciles planteados en la literatura específica (considerado NP-Completo [21]), actualmente es uno de los problemas mayormente estudiados y citados (en conjunto con el Problema del Agente Viajero), además es el problema estrella en el área de Sports Scheduling [10].

En una competencia deportiva,  $n$  equipos deben jugar entre sí (1 o más veces) en un cierto período de tiempo siguiendo algún esquema. Uno de los esquemas más populares es el denominado Round Robin (RR) donde todo equipo  $e$  juega contra todos los demás una cierta cantidad  $r$  de veces a lo largo de todo el torneo. Si  $r$  es 1, el esquema se denomina Single Round Robin (SRR). Si  $r$  es 2, se denomina Doble Round Robin (partido y revancha). Por lo general, un partido se juega en el estadio de uno de los dos equipos. Se dice que un equipo juega de local cuando lo hace en su propio estadio, y que juega de visitante en caso contrario.

En general, un torneo simple con  $n$  equipos requeriría por lo menos  $n-1$  rondas si  $n$  es par y por lo menos  $n$  en el caso de que sea impar. Para simplificar las cosas, a lo largo de toda la investigación asumiremos que  $n$  (la cantidad de equipos), es par, ya que para contemplar los casos en donde  $n$  es impar, sólo tendremos que agregar un equipo ficticio o comodín. Entonces, cuando el fixture resultante indique que un cierto equipo  $e$  debe jugar contra ese equipo ficticio en la ronda  $r$ , diremos que le queda libre en la ronda  $r$ .

En base a un modelo de Programación Entera, también podemos representar un fixture Single Round Robin de  $n$  equipos como se describe a continuación [19, 20]:

Sea  $X_{ijr}$  una variable binaria que toma el valor 1 sólo si el equipo  $i$  juega contra el equipo  $j$  en la ronda  $r$  (podemos además asumir que  $i$  juega de local y  $j$  de visitante) y 0 en otro caso. El problema, entonces consiste en encontrar una matriz  $M[X_{ijr}]$  de ceros y unos que cumpla las siguientes condiciones:

$$(1) \quad \sum_{i=1}^n (X_{ijr} + X_{jir}) = 1, \quad \forall j, r$$

La restricción 1 establece que cada equipo juega exactamente una vez por ronda (ya sea de local o visitante).

$$(2) \quad \sum_{r=1}^{n-1} (X_{ijr} + X_{jir}) = 1, \quad \forall i \neq j$$

La restricción 2 permite que cada equipo juegue contra todos los demás exactamente una vez. Una solución factible para este conjunto de restricciones constituye un fixture SSR. Para un problema dado, se puede querer obtener sólo una solución cualquiera,

todas las posibles, o la mejor solución posible respecto de alguna función objetivo que se quiera optimizar.

Por otro lado, Como se mencionó, existe una gran diversidad de requisitos, condiciones y objetivos que los equipos, medios televisivos y otros actores interesados en el diseño de los fixtures suelen imponer a los organizadores. Algunos de estos requisitos se refieren a los patrones de localías HAP (Home Away Pattern, siguiendo la notación empleada en [6, 24] y otros). El HAP de un cierto equipo  $e$  es la secuencia de partidos que juega de local y de visitante. Por ejemplo la secuencia LLVLLV indica que los dos primeros partidos se jugará de local, el tercero de visitante, así sucesivamente. A continuación se describen algunos de los requisitos más frecuentes que los organizadores deben considerar:

- Para evitar favorecer o perjudicar a algún equipo, es necesario que todos jueguen la misma cantidad de partidos de local y de visitante.
- Ningún equipo puede jugar más de una cierta cantidad de partidos seguidos de local o de visitante. Además, para no dar ventajas, si dos equipos juegan entre sí más de una vez, se suele exigir que lo haga alternándose la localía.
- Dos equipos  $a$  y  $b$  deben tener HAP complementarios. Es decir que cuando  $a$  juega de local,  $b$  debe hacerlo de visitante y viceversa. Esto puede deberse a que  $a$  y  $b$  comparten el mismo estadio, o que por razones de seguridad y/o de transporte sea recomendable que jueguen en zonas alejadas.
- Un cierto equipo  $a$  debe jugar obligatoriamente de visitante (o de local) en una ronda o fecha determinada. Esto puede deberse, por ejemplo, a que su estadio ha sido reservado para otro evento en esa fecha.
- Dos equipos  $a$  y  $b$  no pueden enfrentarse en determinadas rondas. Esto es común que suceda entre dos rivales clásicos, y que por ejemplo, no se quiere que jueguen entre sí en las primeras rondas del torneo.
- Dos equipos  $a$  y  $b$  deben enfrentarse en una determinada ronda. Esto también puede darse entre dos rivales clásicos, y que por ejemplo, se quiere que jueguen en la última ronda del torneo.
- En los casos en que se jueguen dos vueltas (partido y revancha), es posible que se pida que el fixture sea espejado, es decir que la segunda vuelta sea igual a la primera pero invirtiendo las localías de todos los partidos. También es posible que no se requiera esto, sino que se solicite que exista al menos una cierta cantidad de rondas entre el partido y revancha de cada par de equipos. Si bien esto último brinda mayor flexibilidad, también incrementa el espacio de soluciones.
- Minimizar las distancias que los equipos recorren a lo largo del torneo. Esto puede ser con el objetivo de minimizar los costos y tiempos de los viajes, así como contribuir al mejor descanso de los jugadores.

## Conclusiones

La gestión de fixtures deportivos es un área estratégica de la logística en las ligas de cualquier país que actualmente requiere cuantiosos esfuerzos tanto organizacionales como de ingeniería. Contar con una alternativa de solución para problemas frecuentes como TTP, es crucial para direccionar algunas políticas, especialmente en empresas

cuya actividad económica principal es el deporte o depende directamente de este, e incluso si existen fortalezas al respecto.

La presente investigación apunta a mejorar la gestión en la programación de operaciones deportivas en federaciones, asociaciones o ligas que presentan este esquema. Inicialmente, el mercado potencial de esta propuesta es Colombia, donde ya han sido contactadas algunas compañías, para formalizar un proyecto de investigación y desarrollo ante entidades como el departamento administrativo de ciencia, tecnología e innovación (Colciencias).

Específicamente, los aportes de esta investigación al mejoramiento en la gestión de fixtures deportivos mediante técnicas de sports scheduling van dirigidos a la sostenibilidad en los clubes a través de la creación de torneos más equilibrados y atractivos al público, aumentando consigo la venta oficial de la boletería, de sus réplicas (como camisetas, balones, etc), el dinero proveniente del patrocinio en ellas y la transmisión de los partidos por televisión abierta y cerrada, lo anterior prevendrá la quiebra en los equipos que conforman cualquier liga o campeonato de la orbe y la intervención de los institutos para el deporte de cada país, tal es el caso del instituto colombiano para el deporte (Coldeportes) que amenaza con intervenir la División Mayor del Fútbol Colombiano (Dimayor) por la inminente quiebra de gran cantidad de sus cuadros, esta intervención conllevaría a posibles sanciones por parte de la FIFA y la exclusión de toda competencia internacional tanto a nivel de clubes como de seleccionados en todas sus divisiones o categorías.

Finalmente, en lo que concierne al ámbito de la optimización combinatoria, la comunidad científica se ha dedicado durante décadas, quizás desde la primera formulación de los problemas de programación de operaciones deportivas, a resolver problemas como el TTP considerados inabordables, y en la actualidad uno de los problemas mayormente estudiados y citados (en conjunto con el problema del agente viajero), y es sobre este que se han aplicado las metodologías de solución estado del arte; luego el sports scheduling puede ser muy fácilmente el próximo paso en la frontera del conocimiento, o por lo menos en la optimización de sistemas logísticos deportivos.

## Referencias

1. Bartsch, T, Drexl, A and Kröger, S, Scheduling the professional soccer leagues of Austria and Germany. En: Computers & Operations Research Vol.33 No 7 (2006).
2. Bean, J.C. and Birge, J.R., Reducing traveling costs and player fatigue. En: The National Basketball Association, Interfaces Vol.10 (1980), p. 98-102.
3. Briskorn, D. Sports leagues scheduling models, combinatorial properties, and optimization algorithms. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008. 170p.
4. Costa D., An evolutionary tabu search algorithm and the NHL scheduling Problem, En: INFOR Vol. 33, No.3 (1995), p.161-178.
5. Deloitte. Major international accounting and consulting firm. A Global Public Sector report. 2010 FIFA World Cup: A Turning Point for South Africa. URL: [http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Global/Local%20Assets/Documents/dtt\\_WorldCup2010.pdf](http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Global/Local%20Assets/Documents/dtt_WorldCup2010.pdf). Visitada en: Enero 20 de 2010.

6. De Werra, Geography, games and graphs, En: Discrete Applied Mathematics, (1980), p.327-337.
7. Dinitz J. and Froncek, D, Scheduling the XFL, En: Congressus Numerantium Vol.147, (2000), p.5-15.
8. Dubuc E., Problema de los fixtures condicionados, Departamento de Matemáticas, FCEyN, UBA, (manuscrito), (1995), Citado por: DURÁN, G., GUAJARDO, M. y SAURÉ, D. Tecnologías modernas de gestión para la programación del fútbol chileno, 2006, 11p
9. Duran, G., et all, Programación matemática aplicada al fixture de la primera división del fútbol chileno, En: Revista Ingeniería de Sistemas, Vol. 19, (2005), p.29-48.
10. Easton, K., Nemhauser, G., and Trick, M.. The traveling tournament problem: description and benchmarks. En: Proceedings of the 7th. International conference on principles and practice of constraint programming, Paphos, 2001, p. 580–584.
11. Fleurent, C. and Ferland, J., Allocating games for the NHL using integer programming”, En: Operations Research Vol.41 No.4, (1993), p.649-654.
12. Ho, W., Ang, J. and Lim, A. A hybrid search algorithm for the vehicle routing problem with time windows. En: International journal on artificial intelligence tools. Vol. 10, No. 3 (2001); 19 p.
13. Henz M., Constraint-based round robin tournament planning, Citado por: D. De Schreye, En: Proceedings of the International Conference on Logic Programming, Las Cruces, New Mexico (1999), p.545-557.
14. Henz, M., Scheduling a major basketball conference-revisited, En: Operations Research, Vol.49, No.1, (2001).
15. Henz, M., Friar tuck - a constrained-based tournament scheduling tool, En: IEEE Intelligent Systems, 2000 (URL: [http://www.comp.nus.edu.sg/\\_henz/projects/FriarTuck/](http://www.comp.nus.edu.sg/_henz/projects/FriarTuck/)).
16. Henz, M., MULLER, T., THIEL, S. and VAN BRANDENBURG, M., Global constraints for round robin tournament scheduling, URL: [http://www.comp.nus.edu.sg/\\_henz/drafts/one-factor.ps](http://www.comp.nus.edu.sg/_henz/drafts/one-factor.ps).
17. International Federation Of Football History & Statistics. Federación Internacional de Historia y Estadísticas. URL: <http://www.iffhs.de/?b6e28fa3002f71504e52d17f7370eff3702bb0a35b14>. Visitada en: Enero 20 de 2010.
18. Leonard, J., Interactive game scheduling with genetic algorithms, Master Thesis, Department of Computer Sciences, Royal Melbourne Institute of Technology University, Australia, (1998).
19. Schreuder, J., Constructing timetables for sport competitions, En: Mathematical Programming, Study No.13, (1980), p.58-67.
20. Schreuder, J., Construction aspects with ilp models for scheduling knvb fixture lists, (manuscrito en preparación), (2002).
21. Schaerf, A., Scheduling sport tournaments using constraint logic programming, En: Constraints No. 4, (1999), p.43-65.

22. Terril, B and Willis, R. Scheduling the Australian state cricket season using simulated annealing, En: Journal of the Operational Research Society Vol. 45 No.3, (1994), p.276-280.
23. Trick, M and Nemhauser, G., Scheduling a major college basketball conference, En: Operations Research Vol.46, No.1, (1998), p.1-8.
24. Trick, M., A schedule then break approach to sports scheduling, Aceptado En: Patat 2000 (Konstanz).
25. Van Brandenburg, M., Intermural tournament planning, (Technical Report), National University of Singapore, Noviembre 2000.
26. Von Zuben, F., and Concilio R, Evolutionary design of schedules in championships with compact genetic codification and local search, En: Workshop on Memetic Algorithms, GECCO 2000.
27. Right, M., Timetabling county cricket fixtures using a form of tabu search, En: Journal of the Operational Research Society Vol. 45, (1994), p.758-770.