

Gestión de la plantilla médica en un servicio de urgencias

Alberto Gómez, Javier Puente, Paolo Priore, Raúl Pino, Isabel Fernández

Dpto. Administración de Empresas y Contabilidad. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón. Campus Viesques s/n 33204. Gijón. agomezg@uniovi.es, jpunte@uniovi.es, priore@uniovi.es, pino@uniovi.es, ifq@uniovi.es

Abstract

Este trabajo aborda el estudio la confección de calendarios de trabajo de la plantilla médica de un Servicio de Urgencias Hospitalario (SUH), problema que afecta mayoritariamente a empresas en las que sus empleados trabajan bajo un patrón rotatorio. El trabajo pretende establecer, mediante técnicas de algorítmica genética, un método automático para la confección de carteleras mensuales de trabajo, lo que permite evitar su confección y optimizar el cumplimiento de restricciones "hard" y "soft" impuestas al problema y que recogen los requisitos de los trabajadores de un SUH. El estudio también muestra los resultados obtenidos respecto al grado de cumplimiento de las restricciones impuestas al problema y la adaptabilidad del sistema a los cambios impuestos en tales restricciones

Palabras clave: Gestión de turnos, Algoritmos Genéticos, Gestión hospitalaria.

1. Introducción

Este trabajo es una actualización de trabajos previos en el campo de la confección de calendarios de trabajo en un servicio de Urgencias. La planificación de los turnos de trabajo es un problema que afecta a un gran número de empresas, en las que los trabajadores están sometidos a algún tipo de rotación. Los investigadores en el campo de la investigación operativa y de la inteligencia artificial han desarrollado numerosos sistemas para intentar optimizar este problema. En el trabajo, se aborda la elaboración de un método para automatizar la gestión de los turnos usando algoritmos genéticos que optimiza el cumplimiento de restricciones "hard" y "soft" impuestas al problema y que recogen los requisitos de los trabajadores de este tipo de servicios. El estudio también muestra los resultados obtenidos respecto al grado de cumplimiento de las restricciones impuestas al problema y la adaptabilidad del sistema a los cambios impuestos en tales restricciones.

El objetivo de la planificación de los turnos de trabajo busca automatizar la decisión del orden en que se deben realizar una serie de trabajos con el fin de satisfacer las metas o políticas impuestas por la organización. Si bien las publicaciones existentes sobre estos problemas son numerosas (Glover y otros, 1986), no existe una solución global que sirva para todos los problemas, pues cada caso tiene sus restricciones y características propias.

Existen modelos matemático exactos, que se pueden emplear en casos sencillos (con un número pequeño de restricciones); en casos más complicados, su aplicación no es plenamente satisfactoria, llegando incluso en algunos casos, a ser inaplicable. Por este motivo se recurre a la utilización de técnicas heurísticas, que aunque no proporcionan los mejores resultados, si pueden ofrecer una solución que satisfaga todas las condiciones de partida. En Bechtold, Brusco y Showalter (1991) se proporciona una revisión y una comparación de las diferentes heurísticas utilizadas para este tipo de problemas.

Una de las técnicas heurísticas más utilizadas en los últimos años son los algoritmos genéticos

(AGs). La primera aplicación de AGs al problema de turnos fue realizada para organizar los horarios de clases en una universidad Italiana (Colorni y otros, 1990). Desde esta fecha se han realizado diversas aportaciones en este campo con ayuda de AG, algunas de las más importantes, se encuentran recogidas en Burke, Jackson, Kingston y Weare (1997).

2. Material y Métodos

Debido a la heterogeneidad encontrada en la estructura de los Servicios de Urgencia hospitalarios, la elaboración de carteleras o calendarios de trabajo, para el colectivo médico, no responde a un patrón general de comportamiento. Esta heterogeneidad es debida a múltiples factores como la capacidad del servicio, la modalidad de trabajo, el tipo de contratación de personal o la identidad de las actividades desarrolladas entre otros. Esta heterogeneidad hace que los resultados específicos de un estudio de planificación diaria sean válidos, exclusivamente, para un servicio de urgencias en el que queden definidos a priori los aspectos anteriormente considerados. En particular, nuestro estudio, se centró en la elaboración de carteleras para el servicio de urgencias de un hospital de categoría secundaria, con capacidad de 497 camas. En dicho servicio se dispone de 11 camas para urgencias generales y 13 para observación. La contratación de personal es combinada, existen trabajadores indefinidos y otros temporales; la modalidad de trabajo combina turnos con guardias, y las tareas desarrolladas son las propias de urgencias generales. Las características generales del servicio, son las siguientes:

- La plantilla del servicio médico está compuesta por 16 personas y por un número indeterminado de trabajadores temporales que cubrirán los turnos y/o guardias que, por las restricciones específicas impuestas, no pueda cubrir el personal fijo.
- El personal del servicio trabaja en distinta modalidad según el día sea laborable o festivo. Se consideran como festivos los sábados, domingos y los días de fiestas locales, regionales o nacionales, así como los días de Nochebuena y Nochevieja, en cuyo caso se trabaja en la modalidad de guardia de presencia de veinticuatro horas (desde las 10'00 h.) El resto de días laborables se trabaja en la modalidad de turnos; bien de mañana (de 8'00 a 15'00 h.), de tarde (de 15'00 a 22'00 h) o de noche (de 22'00 a 8'00 h.) Además, todos los días laborables, una persona debe cubrir una guardia de veinticuatro horas (desde las 8'00 h.), en "guardia de box".

2.1. Restricciones del Problema.

Dentro de las restricciones impuestas al sistema de turnos se pueden distinguir dos tipos: las restricciones fuertes (que obligatoriamente deben ser cumplidas), y las débiles, que no necesariamente habrán de cumplirse aunque se considerará mejor solución aquella que las cumpla en mayor medida.

Las restricciones fuertes son las siguientes:

- Debe respetarse un número mínimo de trabajadores asignado a cada turno. En general, los días laborables tendrán asignadas cuatro personas a cada turno de mañana y tarde, dos al turno de noche, y una persona de guardia de "box" durante todo el día. Los sábados, domingos y festivos, el servicio trabajará en la modalidad de guardia, en la que en general trabajarán cuatro personas ininterrumpidamente durante 24 horas.
- Siempre que se trabaje en la modalidad de guardia, al menos dos trabajadores de los 16 de plantilla fija deben cubrir la guardia.

- Cualquier trabajador que cubra una guardia de “box”, una guardia de festivo o un turno de noche no trabajará al día siguiente.
- Deben respetarse las restricciones de periodos de baja o vacaciones.

Como restricciones débiles se tienen las siguientes:

- Cada trabajador debe realizar tres guardias al mes (una de ellas de “box”).
- Se procurará que cada empleado trabaje el mismo número de sábados y domingos a lo largo del mes.
- Un trabajador debe mantener el mismo turno de trabajo durante una misma semana.
- Se procurará mantener el orden de turnos sucesivamente semana tras semana, según la estructura: mañana, tarde, noche
- Las guardias de box deben ir ligadas al turno de noche.
- Es preferible que el día anterior a una guardia se trabaje por la mañana que por la tarde.
- Se procurará equilibrar el número de turnos del mismo tipo entre diferentes trabajadores.
- No se utilizarán trabajadores temporales en la medida de lo posible
- Los trabajadores temporales realizarán exclusivamente guardias de festivo y de “box”.

Tras un análisis detallado de las restricciones impuestas en el problema, se aprecia la dificultad de encontrar una solución que resuelva el problema de asignación de turnos. Además ha de tenerse en cuenta que la planificación se realiza mensualmente y que mes a mes debe equilibrarse la carga de trabajo de todos los empleados, por lo que el sistema de planificación debe estar dotado de una “memoria” que recoja los históricos acumulados del año para cada trabajador. A la hora de aplicar los algoritmos genéticos al problema estudiado, se comprueba la validez de cada potencial solución (una solución no será válida cuando no se cumplan todas las restricciones fuertes, y en tal caso se introduce una función que modifica los genes de los individuos no factibles, para transformarlos en factibles). Posteriormente es necesario definir una función de fitness que nos permita medir la aptitud de cada individuo o solución.

2.2. Algoritmos Genéticos. Aplicación al problema de estudio.

Dentro de los paradigmas de aprendizaje automático, los Algoritmos Genéticos se presentan como uno de los más prometedores en el camino hacia la inteligencia artificial. Actualmente han demostrado su validez en múltiples áreas de aplicación (Wong y Bodnovich, 1998). Los AGs adoptan un vocabulario tomado de la propia genética natural, así se habla de individuos (genotipos, o cromosomas), que representan una codificación del dominio del problema. Esta codificación se debe transformar para obtener su significado físico (fenotipo). Los pasos que realiza un algoritmo genético son (Goldberg,89):

- Se genera un conjunto de N soluciones válidas al problema. Estas entidades se pueden generar al azar o a partir de soluciones ya conocidas del problema, las cuales se pretenden mejorar.

- Se evalúan las soluciones existentes y se decide, en función del fitness (aptitud del individuo), la probabilidad de que una solución sobreviva. A continuación, se crea una nueva población en la que los mejores individuos están representados en mayor número.
- La población auxiliar se somete a un proceso de reproducción o recombinación de genes (normalmente, se trata de un proceso de cruce y otro de mutación). Al final de los cuales, se obtiene una nueva población.
- Se continúa en los pasos dos y tres hasta que se cumpla el criterio de parada.

A la hora de aplicar los algoritmos genéticos al problema estudiado, surge la necesidad de adaptar el AG al mismo. Así, en primer lugar, el AG comprueba la validez de cada potencial solución (una solución no será válida cuando no se cumplan todas las restricciones fuertes, y en tal caso se introduce una función que modifica los genes de los individuos no factibles, para transformarlos en factibles). Posteriormente es necesario definir una función de *fitness* que nos permita medir la aptitud de cada individuo o solución.

Una vez comprobada la factibilidad de una solución propuesta se analiza su calidad en función del mayor grado de cumplimiento de las restricciones débiles consideradas; el *fitness* asociado a una solución será la suma de todas las puntuaciones obtenidas para cada restricción. Como no todas las restricciones débiles tienen igual importancia, deben ponderarse para conseguir que las más importantes se cumplan en mayor medida. Además, cada una de ellas presenta varios niveles de aceptación. Por ejemplo, no es lo mismo que un trabajador en turno de mañana tenga los cinco turnos de una semana por la mañana, que cuatro o que tres. Para tener en cuenta esta característica se ha decidido ir dando puntos a la función de *fitness* dependiendo no sólo del criterio, sino también de la calidad de la solución.

A la hora de determinar la calidad de los niveles de aceptación, se debe analizar la solución propuesta semana a semana y trabajador por trabajador; de forma que para la restricción “mismo turno de trabajo durante una misma semana”, si en una semana, una persona determinada tiene asignado el mismo turno de trabajo durante todos los días laborables, a esa solución se le añade la puntuación de máximo nivel (nivel 6). En el caso de no tener el mismo turno asignado todos los días laborables de la semana, se otorga una puntuación de mayor nivel a la solución que implique mayor número de turnos iguales (es decir, es preferible tener asignadas cuatro mañanas que tres, y así sucesivamente).

Para cumplir la restricción “mantener el orden de los turnos semana tras semana”, al terminar de evaluar cada semana, se almacena el turno que ocupó cada trabajador durante la misma; de esta forma, al evaluar la semana siguiente, se tendrá en cuenta ese valor, otorgando mayor puntuación a las soluciones que impliquen una rotación semanal de turnos de la forma: mañana – tarde – noche – mañana – etc.

Además del análisis semanal, también hay un análisis de los sábados y días festivos para analizar la restricción débil “antes de guardia mejor mañana que tarde”. De este modo, se asigna mayor puntuación a una solución que asigne turno de mañana al día anterior. Por último, también se realiza un análisis mensual trabajador por trabajador, buscando que cada uno tenga tres guardias al mes (una de ellas de box). Cuanto más alejado se esté de este número, menor puntuación se otorga.

3. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos para dos posibles ponderaciones de importancia de las restricciones débiles (ver tabla 1), puntuadas en una escala de 1 a 10 (de menor a mayor prioridad).

Tabla 1. Ponderación de las restricciones débiles

Restricción	Peso Solución 1	Peso Solución 2
	1	2
Cada trabajador debe realizar tres guardias (una de ellas de "box").	6	10
Se procurará equilibrar el número de sábados y de domingos para todos los trabajadores del mes.	8	8
Un trabajador debe mantener el mismo turno de trabajo durante una misma semana.	9	9
Se procurará mantener el orden de turnos sucesivamente semana tras semana, según la estructura: mañana, tarde, noche	4	8
Las guardias de "box" deben ir ligadas al turno de noche.	10	10
Es preferible que el día anterior a una guardia se trabaje por la mañana a trabajar por la tarde.	3	7
Se procurará equilibrar el número de turnos del mismo tipo entre diferentes trabajadores.	6	5
No se utilizarán trabajadores temporales en la medida de lo posible	2	2
Los trabajadores temporales realizarán exclusivamente guardias de festivo y de "box".	9	5

Se puede observar cómo las ponderaciones impuestas para la segunda solución, requieren un mayor cumplimiento de las restricciones débiles más importantes; de este modo, si realmente se consigue una mejor cartelera con esta imposición (pese al esfuerzo computacional adicional necesario), el algoritmo demostrará su eficiencia. Las carteleras obtenidas se muestran en las Figuras 1 y 2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
OP1	M	M	M	M	G		T	T	T	T	T				G		B				M	M	M	M	M			T	T	T	T	
OP2	T	T	T	T			M		M		B		G			M	M	M			B		M	M	M			M	M	M	M	
OP3		M		M			M	M	M	M	M				M	G		M			G		M		B			M	M	M	M	
OP4		B		M			T		M		M				M		M	M	M	G		T	T	T	T	T	G		T	T	T	
OP5	M	M	M	M		G		T	T	T	T	G																				
OP6	M		B			G		M		M					T		T	T	T			M	M	M	M	M	G		T		M	
OP7	M		M				M	M	M	M	M	G			T		T	T	T			M		M	B		G		M	M	M	
OP8	T	T	T	T			M		M		B		G		M		M	M	M			G		T	T	T	T		M		M	
OP9	M	M	M	M	G		T	T	T	T	T				M		M		B			M	M	M	M	M		G		T	T	T
OP10																M		M				T	B		M				T		B	
OP11	T	T	T	T				B		M			G			M	M					T	T	T	T	T	G		M		M	
OP12		M		B			M	M	M	M	M	G			T		T	T	T			G		M	M	M			M	M	M	M
OP13	M		M			G		M	M	M	M	M			T		T	T	T	G		M		B		M			M	M	M	M
OP14	T	T	T	T			M		B		M				M	G		M	M	G		T	T	T	T	T			M		M	
OP15																																
OP16	M	M	M	M	G		T	T	T	T	T				M		B		M			M	M	M	M	M		G		T	T	T
TR1	B					G									B							G					G		B		B	
TR2							B									G						G						G		T		
TR3					G		M						G																	B		
TR4													G																			
TR5																																
TR6																																

Figura 1. Primera solución (M = mañana, T = tarde, N = noche, G = guardia, B = box)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
OP1	M	M	M	M	G		T	T	T	T	T				G		B				M	M	M	M	M			T	T	T	T	
OP2	T	T	T	T			M	M	M	M	B	G			G	M	M	M			B	M	M	M	M			M	M	M	M	
OP3		M		M			M	M	M	M	M			M	G		M			G		M		B				M	M	M	M	
OP4		B		M			T	M		M				M		M	M	M	G		T	T	T	T	T		G		T	T	T	
OP5	M	M	M	M		G		T	T	T	T	G																				
OP6	M		B			G		M		M				T		T	T	T			M	M	M	M	M	G		T		M		
OP7	M		M				M	M	M	M	M	G		T		T	T	T			M		M		B		G		M	M	M	
OP8	T	T	T	T			M		M		B	G		M		M	M	M			G		T	T	T	T		M		M		
OP9	M	M	M	M	G		T	T	T	T	T			M		M		B			M	M	M	M	M		G		T	T	T	
OP10																M		M				T	B	M	M			T		B		
OP11	T	T	T	T			B		M			G			M	M					T	T	T	T	T	G		M		M		
OP12		M		B			M	M	M	M	M	G		T		T	T	T			G		M		M			M	M	M	M	
OP13	M		M		G		M	M	M	M	M			T		T	T	T			M		B	M	M			M	M	M	M	
OP14	T	T	T	T			M		B		M			M	G		M	M	G		T	T	T	T	T			M		M		
OP15																																
OP16	M	M	M	M	G		T	T	T	T	T			M		B		M			M	M	M	M	M		G		T	T	T	
TR1	B				G									B							G						G		B		B	
TR2						B									G						G								T			
TR3				G		M						G																	B			
TR4												G																				
TR5																																
TR6																																

Figura 2. Segunda solución (M = mañana, T = tarde, N = noche, G = guardia, B = box)

4. Discusión de resultados

1ª Solución (Figura 1): A la vista del resultado relativo a la primera solución, las restricciones fuertes se cumplen siempre. Respecto a las restricciones débiles: La de tener al menos tres guardias (una de ellas de “box”) que tenía una ponderación de 6, tiene un cumplimiento del 53,8% para trabajadores fijos que no tengan descanso asignado (porcentaje que sube al 75% si sólo se exige la realización de tres guardias, sin importar su tipo). Tan sólo los operarios OP4 y OP9 tienen asignadas 4 guardias, y OP16 sólo dos. Respecto al equilibrado de sábados y domingos, con una ponderación de 8, tan sólo deja de cumplirse en los OP11 y OP13. La restricción relativa a tener igual turno toda la semana (ponderación 9), se cumple en un 90% de los casos (excepto en 7 ocasiones de un total de 70). La restricción de secuencia ordenada M-T-N (ponderación 4), tan sólo se cumple en un 55,4%, aunque sólo los OP6 y OP13 mantienen una estructura ordenada durante todo el mes. La condición de tener ligado el “box” a la noche (ponderación 10) tiene un grado de cumplimiento del 100% salvo para los trabajadores temporales. Respecto a que el día anterior a una guardia se trabaje mejor de mañana que de tarde (ponderación 3) la proporción es favorable de 7 a 4. El número de guardias y el de turnos de noche está bastante equilibrado entre los distintos trabajadores, pero no los de mañanas y tardes. La restricción relativa a que los trabajadores temporales trabajen de guardia o “box” (ponderación 8), se cumple siempre.

2ª Solución (Figura 2): A la vista del resultado relativo a la segunda solución, las restricciones fuertes también se cumplen siempre. Respecto a las restricciones débiles: La de tener tres guardias (una de ellas de “box”) que tenía una ponderación de 10, tiene un cumplimiento del 100% para trabajadores fijos que no tengan descanso asignado. Tan sólo OP2 tiene, de las tres guardias, dos de “box”. El equilibrado de sábados y domingos, con una ponderación de 9, tiene un cumplimiento del 100%. La restricción relativa a tener igual turno toda la semana (ponderación 9), se cumple en un 90% de los casos (al igual que en la solución primera, deja de cumplirse en tan sólo 7 ocasiones de un total de 70). La restricción de secuencia ordenada M-T-N (ponderación 8), tiene un grado de cumplimiento del 76,4%; además 9 de los 16 trabajadores fijos mantienen una estructura ordenada durante todo el mes. La condición de tener ligado el “box” a la noche (ponderación 10) tiene un grado de cumplimiento del 100% salvo para los trabajadores temporales. Respecto a que el día anterior a una guardia se trabaje mejor de

mañana que de tarde (ponderación 7) la proporción es favorable 10 a 3. El número de guardias y el de turnos de noche está bastante equilibrado entre los distintos trabajadores, salvo OP2 que tiene 6 noches asignadas frente a la media (3-4), pero no los de mañanas y tardes. La restricción relativa a que los trabajadores temporales trabajen de G o B (ponderación 5), se cumple excepto en un turno de mañana y otro de tarde.

En la Tabla 2 se ilustra resumidamente el grado de cumplimiento de las restricciones débiles en las dos soluciones propuestas (últimas dos columnas). Puede observarse como, en general, el algoritmo responde adecuadamente a la variación de ponderaciones en las restricciones; así, cuando la ponderación aumenta en una restricción, el grado de cumplimiento de la misma en la solución aumenta proporcionalmente.

A la vista de las soluciones obtenidas, se aprecia un alto grado de cumplimiento de las restricciones impuestas al problema. Además, el algoritmo ha sido probado en diferentes situaciones simuladas (diferentes periodos vacacionales, periodos de baja, festivos, etc.) lo que nos permite confirmar la idoneidad del método en la configuración automática de carteleras para servicios de estas características.

Tabla 2. Cumplimiento de las restricciones débiles

Restricción		Cumplimiento Solución 2
Cada trabajador debe realizar tres guardias (una de ellas de "box").	53.8%	100%
Se procurará equilibrar el número de sábados y de domingos para todos los trabajadores del mes.	87.5%	100%
Un trabajador debe mantener el mismo turno de trabajo durante una misma semana.	90%	90%
Se procurará mantener el orden de turnos sucesivamente semana tras semana, según la estructura: mañana, tarde, noche	55.4%	76.4%
Las guardias de "box" deben ir ligadas al turno de noche.	100%	100%
Es preferible que el día anterior a una guardia se trabaje por la mañana a trabajar por la tarde.	63.6%	76.9%
Los trabajadores temporales realizarán exclusivamente guardias de festivo y de "box".	100%	88.23%
Se procurará equilibrar el número de turnos del mismo tipo entre diferentes trabajadores.		
Mañanas	-	-
Tardes	-	-
Noches	Sí	Sí
Guardias	Sí	Sí
No se utilizarán trabajadores temporales en la medida de lo posible Número:	4	4

5. Conclusiones

En este trabajo se aborda un problema de difícil tratamiento por métodos matemáticos exactos como es la distribución horaria para el colectivo de médicos en un servicio de urgencias hospitalario. Ante la dificultad del problema planteado, debido al alto número de restricciones impuestas, se ha optado por resolverlo con la ayuda de métodos heurísticos; en concreto con el uso de algoritmos genéticos. El uso de esta técnica permite el tratamiento de diferentes tipos de restricciones. Así, se puede exigir que determinadas restricciones se cumplan siempre (las

denominadas restricciones fuertes) y que otras restricciones (las denominadas débiles) tengan el mayor grado de cumplimiento posible en la solución que se proponga. Para ello, el método propuesto, permite tener en cuenta posibles ponderaciones de importancia de las restricciones débiles haciendo que las soluciones propuestas se adapten, en cuanto a grado de cumplimiento, a la mayor o menor importancia impuesta a las mencionadas restricciones. Los resultados que se han obtenido son satisfactorios tanto en términos de grado de cumplimiento de las restricciones como por el hecho de proporcionar soluciones aplicables en la práctica.

References

- Bechtold, S.E.; Brusco, M.J.; Showalter, M.J. (1991): A comparative Evaluation of Labor Tour Scheduling Methods, *Dec. Sci.* 22, pp. 683-699.
- Brusco, M.J.; Jacobs, L.W.; Bongiorno, R. J.; Lyons, D. V.; Tang, B. (1995): Improving personnel scheduling at airline stations, *Oper. Res.*, Vol. 43, No. 5, pp. 741-751.
- Burke, E.K.; Jackson, K.S.; Kingston, J.H.; Weare, R.F. (1997). Automated Timetabling: The State of the Art, *The computer Journal*, Vol. 40, No. 9, pp. 565-571.
- Colomi, A.; Dorigo, M.; Maniezzo, V. (1990). Genetic Algorithms: A New Approach to the Time-Table Problem, *NATO ASI Series*, Vol. F 82, Springer-Verlag, pp. 235-239.
- Dantzig, G.B. (1954). A Comment on Edie's 'Traffic Delays at Toll Booths', *Oper. Res.*, Vol. 2, No. 3, pp. 339-341.
- Glover, F.; McMillan, C. (1986). The general employee scheduling problem: An integration of MS and AI, *Comput. Ops. Res.* 13, pp. 563-773.
- Goldberg, D.E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison - Wesley Co., Inc, Reading, MA.
- Koza, J.R. (1992). *Genetic Programming On the programming of Computers by Means of Natural Selection*. The MIT Press, pp. 819.
- Man, K.F.; Tang, K.S.; Kwong, S. (1996). Genetic Algorithms: Concepts and Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 43, No. 5, pp. 519-534.
- Michalewicz, Z. (1996). *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, 3^o ed. New York: Springer-Verlag,
- Wong, B.K.; Bodnovich, T.A. (1998). "A Bibliography of genetic algorithm business application research: 1988-June 1996". *Expert Systems*, Vol. 15, No. 2, pp. 75-82.