

PLANIFICACIÓN DINÁMICA CON RESTRICCIONES PARA EL MANTENIMIENTO EFICIENTE DE LOCACIONES PETROLERAS

Claudio Fernández, Andrea Villagra, Eugenia de San Pedro,

Marta Lasso y Daniel Pandolfi

*Universidad Nacional de la Patagonia Austral - Unidad Académica Caleta Olivia
LabTEM- Laboratorio de Tecnologías Emergentes
Ruta 3 Acceso Norte s/n
(9011) Caleta Olivia - Santa Cruz - Argentina
{cfernandez,avillagra,edesanpedro,mlasso,dpandolfi}@uaco.unpa.edu.ar*

Palabras clave: Locaciones Petroleras, Planificación Dinámica, Algoritmo Evolutivo.

Resumen. En este trabajo se presenta una herramienta (PAE, Planificación basada en un Algoritmo Evolutivo) que utiliza un algoritmo evolutivo generador de múltiples soluciones para la planificación dinámica del mantenimiento preventivo de locaciones petroleras.

La explotación y el transporte de petróleo son actividades muy importantes para el desarrollo económico de la sociedad industrial moderna. Sin embargo, estas actividades son generadoras de riesgos que se traducen en contaminaciones accidentales o crónicas que afectan directamente al ecosistema. Es importante que las empresas petroleras realicen un correcto mantenimiento de sus locaciones.

PAE es una herramienta capaz de brindar en forma oportuna la planificación del recorrido. El beneficio debe observarse desde dos aspectos. Primero, una planificación es mejor que otra, si para un mismo número de locaciones a visitar el costo de recorrido e intervención planificada es menor. Segundo, si con un mismo tiempo de intervención es posible realizar el mantenimiento a más locaciones, reduciendo la probabilidad de caída al incrementar la cantidad de locaciones recorridas. PAE está en su tercera fase de desarrollo, en la que se han incorporado restricciones al momento de la planificación. Los resultados obtenidos han sido satisfactorios ya que minimizan el tiempo total de una planificación y maximizan la cantidad de locaciones visitadas, satisfaciendo las restricciones establecidas.

1. INTRODUCCIÓN

Los Algoritmos Evolutivos (AEs) son algoritmos de optimización estocásticos basados en el mecanismo de selección natural y genéticas naturales, son metaheurísticas que comparten un concepto base común, que es simular la evolución de los individuos que forman la población usando un conjunto de operadores predefinidos de selección y de búsqueda. Existe una gran variedad de AEs, dentro de ellos se incluyen los algoritmos genéticos, estrategias evolutivas y programación evolutiva. En este trabajo se aplican los algoritmos genéticos. Los algoritmos genéticos (AGs) fueron propuestos originalmente por (Holland, 1975). Los AGs se han aplicado exitosamente en varios problemas de optimización de funciones y han mostrado ser eficientes en la búsqueda de soluciones óptimas o cercanas al óptimo. Tendencias actuales en AEs hacen uso de enfoques con multirecombinación (Eiben y Bäck, 1997; Eiben et al., 1994, 1995) y enfoques con múltiples padres conocidos como *Multiple Crossover Multiple Parent* (MCMP) (Esquivel et al., 1997, 1994, 1999). Los Algoritmos Evolutivos (AEs) han sido aplicados exitosamente en la resolución de diversos tipos de problemas de planificación tales como *scheduling* o *routing* (Chang et al., 2005; Guo y Lingle, 2005; Jaskowski y Sobotka, 2006). En el marco del proyecto de investigación se está desarrollando una herramienta prototipo denominada PAE (Planificación basada en un Algoritmo Evolutivo) que mejore las planificaciones dinámicas del mantenimiento de locaciones petroleras, teniendo en cuenta la ocurrencia de contingencias que producen interrupciones en la planificación original. Esta herramienta utiliza como motor de planificación un algoritmo evolutivo multirecombinativo que es el generador de múltiples soluciones a este problema.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las empresas petroleras realizan visitas de mantenimiento preventivo a cada una de sus locaciones petroleras (pozos productores, inyectoras, baterías y colectores). Un yacimiento está formado por bloques y a su vez éste por baterías. Cada batería está formada por pozos de producción que son en promedio entre 15 y 20. Cada pozo tiene diferente nivel de producción que es conocido a priori y varía en el tiempo. La producción del pozo define la categoría y la cantidad de veces que debe visitarse al mes. Los pozos no pueden ser visitados más de una vez al día y dependiendo del tipo de pozo existen ciertas tareas que se deben realizar. Cada tarea tiene asignado un determinado equipamiento necesario, una frecuencia de realización y un tiempo aproximado de su duración. Actualmente, el recorrido que realizan los encargados del mantenimiento de las locaciones, se planifica en base a la experiencia de los mismos. La jornada laboral comienza a la mañana y se visitan las locaciones en dos turnos de tres horas. Luego de finalizado cada turno, el responsable debe regresar a la base de operaciones, realizar determinadas actividades administrativas y luego comenzar con el siguiente turno. El tiempo demandado en cada locación dependerá del tipo de la misma. Existen contingencias aleatorias que hacen que el plan de mantenimiento no se cumpla según lo planificado, produciendo la necesidad de replanificar las visitas. Actualmente, cuando ocurre esto, cada responsable redefine el nuevo itinerario utilizando su experiencia.

PAE tiene por objetivos planificar las visitas a un conjunto de locaciones que: a) Minimice el tiempo total de visitas, es decir, encontrar la planificación que en menor tiempo recorra las locaciones incluyendo el tiempo de intervención en cada una de las mismas; b) Maximice la cantidad de visitas en un período de tiempo; por ejemplo, teniendo en cuenta un período de mantenimiento de un mes, que visite la mayor cantidad de veces las locaciones; c) Replanifique las visitas a partir de desviaciones en la planificación original. Frente a la ocurrencia de eventos externos que condicionan operativamente la ejecución de un plan de

mantenimiento, proveer de planificaciones alternativas sin disminuir significativamente la calidad de las mismas.

3. SOLUCIONES PROPUESTAS Y RESULTADOS

La minimización del tiempo entre cada período de inspección de las locaciones se obtiene con una mejora en la planificación del mantenimiento y esto puede ser abordado como un problema de *scheduling*. Se ha demostrado, que muchos problemas de *scheduling* pertenecen a la clase NP-hard (Brucker, 2004), lo que hace preferible la utilización de métodos heurísticos. Siguiendo la notación de (Pinedo, 1995) para problemas de *scheduling*, en nuestro caso el problema se representa como

$$1|S_{jk}|C_{\max}$$

lo que denota un problema de *scheduling* de máquina única con n tareas sujetas a tiempos de preparación dependientes de la secuencia. Las tareas a planificar son el servicio de mantenimiento (o intervención) en cada una de las locaciones petroleras. La función objetivo es minimizar el *makespan* sujeto a los tiempos de preparación dependientes de la secuencia. El *makespan* puede calcularse como:

$$\sum_{k=1}^n s_{jk} + t_k$$

donde existe un tiempo de traslado entre cada una de las locaciones al que se denomina s_{jk} , que representa el costo en tiempo de ir de la locación j a la locación k y t_k es el tiempo de mantenimiento en la locación k .

Para resolver el problema de planificación de recorrido de las locaciones petroleras, se utilizó un algoritmo evolutivo multirecombinativo (Pandolfi et al., 2004, 2002). Para codificar adecuadamente las visitas a las locaciones petroleras que representan una posible solución, se utilizó una permutación $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, donde cada una de ellas, es un cromosoma en el cual p_i representa la locación i que debe ser visitada y n representa la cantidad de locaciones a visitar. El cromosoma establece el orden de la secuencia a seguir para visitar cada locación. El algoritmo buscará la mejor permutación posible, a fin de obtener la planificación que satisfaga los objetivos.

Además de la obtención de la mejor planificación posible se analizaron distintas soluciones frente a replanificaciones con y sin restricciones:

Caso 1: Frente a la ocurrencia de una contingencia, que causa la interrupción de una planificación se llevó a cabo las siguientes formas de replanificar las locaciones remanentes (Villagra et al., 2007a):

- Las locaciones que no se pudieron visitar son replanificadas al final de la planificación original.
- Replanificar siguiendo el orden de la secuencia original restante.
- Replanificar las locaciones restantes usando el algoritmo propuesto.

Caso 2: Incorporar en la replanificación visitas obligatorias a ciertas locaciones en el próximo turno, las cuales no fueron visitadas aún, provocando esto un conjunto de restricciones (Villagra et al., 2007c).

Caso 3: Se tiene en cuenta que existen locaciones que deben ser visitadas más de una vez lo cual implica incorporar restricciones. Para ello se definieron dos tipos de restricciones (Villagra et al., 2007b):

- Restricción dura: toda solución obtenida que no cumpla con este tipo de restricción es considerada no factible y por lo tanto debe ser reparada o eliminada. Para este caso, las locaciones que deben ser visitadas más de una vez no pueden ser planificadas en el mismo turno.
- Restricción blanda: la solución es factible (es decir, cumple con la restricción dura) pero sin embargo no cumple con la diferencia de tiempo entre una visita y otra. Por ejemplo, la solución planifica las dos visitas a una locación en turnos diferentes, pero el tiempo transcurrido entre ambas visitas no es el establecido en la restricción (ocho horas).

Inicialmente, se describen detalles de la implementación del algoritmo para asegurar que este trabajo sea replicable. Para realizar los experimentos se establecieron las siguientes suposiciones y restricciones al problema. Para la evaluación de la aplicación se trabajó con 110 locaciones petroleras correspondientes a un bloque de la zona de explotación. La velocidad de recorrido se estableció en 12 segundos cada 100 metros y se fijó el mismo tiempo de intervención para cada locación en el proceso de mantenimiento preventivo.

Para el algoritmo EA-MCMP-SRI se utilizó un tamaño de población de 15 individuos. La población inicial se generó aleatoriamente. El número máximo de evaluaciones es 222. Se estableció la probabilidad de mutación en 0,05 y la probabilidad de recombinación en 0,65. El número n1 (número de operaciones de recombinación) y n2 (número de padres) se estableció en 16 y 18 respectivamente. Los parámetros (tamaño de la población, criterio de parada, probabilidades, etc.) se seleccionaron en base a la experimentación de los valores previamente usados exitosamente. La Tabla 1 resume los parámetros utilizados en todas las corridas.

Se realizaron 20 corridas para cada uno de los experimentos en los cuales se fue incrementando el número de restricciones en uno. Es decir, en un primer paso el algoritmo se ejecuta sin restricciones.

Tamaño población	15
Tamaño cromosoma (cantidad de locaciones)	110
Criterio parada (generación)	500
Recombinación	PMX
Mutación	SW
Probabilidad Recombinación	0,65
Probabilidad Mutación	0,05
Nº de recombinación (n1)	16
Nº de padres (n2)	18

Tabla 1: Parámetros para EA-MCMP-SRI.

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para una planificación sin restricciones por el algoritmo propuesto. La primera columna representa el número de corrida, la segunda columna indica la cantidad de turnos planificados. La tercera columna muestra los kilómetros recorridos en esa planificación, la cuarta columna muestra los minutos totales correspondientes a la planificación y finalmente la última columna detalla el tiempo total en horas. Las dos últimas filas muestran los valores mínimos y máximos obtenidos. Se puede

observar que en cada corrida la cantidad de turnos planificados es de 5. El tiempo total planificado en cada una de las corridas para realizar las visitas a las 110 locaciones varía entre 12:37 y 13:36 horas. El mínimo tiempo para una planificación se encontró en la corrida 10 donde se visitan las 110 locaciones en 757 minutos (12 horas, 37 minutos y 19 segundos) y se recorren 104,12 km. El máximo tiempo planificado se encontró en la corrida 19 donde se visitan las 100 locaciones 816 minutos (13 horas, 36 minutos y 20 segundos) y se recorren 133,66 km.

Nº	Tr.	Km	Min	Tpo.Total
1	5	112,50	774	12:54:02
2	5	114,83	778	12:58:37
3	5	115,84	780	13:00:42
4	5	125,16	799	13:19:22
5	5	119,87	788	13:08:44
6	5	110,87	770	12:50:41
7	5	133,28	815	13:35:33
8	5	104,80	758	12:38:30
9	5	120,99	791	13:10:59
10	5	104,12	757	12:37:19
11	5	111,96	772	12:52:57
12	5	124,86	798	13:18:37
13	5	118,38	785	13:05:45
14	5	107,96	764	12:44:55
15	5	119,78	788	13:08:34
16	5	126,68	802	13:22:21
17	5	122,24	792	13:12:59
18	5	119,16	787	13:07:18
19	5	133,66	816	13:36:20
20	5	119,79	788	13:08:37
Mínimo		104,12	757	
Máximo		133,66	816	

Tabla 2: Planificación sin restricciones.

Planificación Empresa Petrolera				Planificación con PAE			
Día	Turno	Pozos	Tiempo	Día	Turno	Pozos	Tiempo
1	1	18	181,50	1	1	24	178,67
	2	16	176,23		2	27	182,02
2	3	18	184,20	2	3	26	177,95
	4	20	182,20		4	27	178,97
3	5	19	181,90	3	5	6	39,72
	6	19	198,60				110
		110	1104,63				12:37:19
			18:24:38				

Tabla 3: Comparación Empresa Petrolera y PAE.

En la Tabla 3 se muestra una comparación de una planificación específica para el recorrido de 110 locaciones, realizada por la empresa petrolera y la planificación obtenida por PAE para la misma cantidad de locaciones. Se puede observar que PAE reduce en un 30 % el tiempo total de planificación y visita en todos los turnos más cantidad de locaciones que las visitadas por la empresa petrolera. En general mientras una planificación original demanda un tiempo total de 18 horas 24 minutos, la mejor planificación provista por PAE demanda 12 horas 37 minutos, logrando un ahorro de aproximadamente 6 horas.

El tiempo de procesamiento de una planificación típica (110 locaciones), en una PC Pentium 4 de 2.80 GHZ con 512 MB de RAM, es en promedio, de 6 minutos.

3.1. Caso 1: Replanificación por contingencias

El primer caso de ante una contingencia, se analizan distintos tipos de reparaciones. La Tabla 4 resume los resultados obtenidos por PAE.

Los aspectos más relevantes que se muestran en la comparación son los siguientes: el número de locaciones petroleras visitadas antes de que ocurra una contingencia/interrupción (columna NBC), el número de locaciones petroleras visitadas después de que ocurrió una contingencia/interrupción (columna NAC), tiempo total planificado en la planificación original (columna Planificación Original), tiempo total planificado cuando ocurrió una contingencia y el algoritmo ha tenido que replanificar aplicando la acción 1 (columna Acción 1), acción 2 (columna Acción 2) y por último siguiendo la acción 3 (columna Acción 3).

Los resultados muestran que cuando se aplica la acción 3 para la replanificación, en la mayoría de las corridas, el algoritmo mejora los resultados obtenidos. La razón de esta mejora se basa en la aplicación del algoritmo de planificación para realizar esta replanificación (EA-MCMP-SRI).

Nº Cor	NBC	NAC	Planificación	Acción1	Acción2	Acción3
1	91	19	12:33:04	12:38:35	12:27:17	12:07:22
2	21	89	12:08:22	12:11:18	12:15:54	12:04:41
3	36	74	12:23:33	12:20:56	12:20:56	12:14:51
4	33	77	12:28:32	12:31:33	12:26:03	12:09:37
5	25	85	12:17:22	12:19:25	12:14:20	11:58:37
6	70	40	12:20:13	12:19:02	12:14:40	12:04:53
7	56	54	12:15:13	12:14:39	12:13:34	12:04:57
8	34	76	12:14:01	12:16:20	12:06:54	12:01:46
9	99	11	12:23:24	12:20:06	12:20:11	12:15:17
10	44	66	12:26:55	12:25:03	12:19:28	12:12:50
11	55	55	12:09:54	12:07:58	12:15:30	11:54:00
12	58	52	12:22:04	12:18:51	12:25:48	12:02:40
13	76	34	12:23:02	12:22:15	12:14:40	12:07:49
14	51	59	12:30:21	12:27:03	12:26:54	12:21:24
15	32	78	12:09:47	12:11:13	12:16:25	12:08:40
16	55	55	12:20:15	12:19:34	12:11:55	12:11:28
17	79	31	12:27:22	12:26:06	12:28:00	12:24:51
18	51	59	11:57:28	11:53:13	12:06:48	12:00:44
19	39	71	12:20:32	12:22:15	12:23:12	12:05:16
20	35	75	12:01:49	12:03:41	12:06:50	11:58:48

Tabla 4. Resultados obtenidos por PAE en la replanificación.

3.2. Caso 2: Replanificación con visitas obligatorias.

En el segundo caso, primero se incorpora una restricción en la cual la locación i debe visitarse dos veces. Luego se incorpora una segunda restricción que debe visitarse dos veces y se mantiene la restricción anterior. Así sucesivamente se incorporan restricciones hasta llegar a un total de cinco. Las locaciones utilizadas como restricciones fueron elegidas uniformemente del conjunto total de locaciones a planificar.

En la Tabla 5 se muestra como PAE satisface las restricciones y minimiza el costo de penalidad (0 penalidad). La primera columna muestra la cantidad de restricciones, las restantes columnas representan los turnos a los cuales se asignaron las locaciones con restricciones. Se puede observar como el algoritmo distribuye las visitas de las locaciones a fin de satisfacer las restricciones. Por ejemplo, cuando trabaja con dos restricciones, la primera visita de la locación 104 es en el primer turno (columna T1) y la segunda visita es en el turno cuatro (columna T4), la primera visita de la locación 2 es en el segundo turno y la segunda visita es en el turno 5.

Nº Res	T1	T2	T3	T4	T5
1		2			2
2	104	2		10 4	2
3	104- 1342	2		2 - 13 42	104
4	2 104 1342 1275		104	13 42 12 75	2
5	2 104 1342 1275 1154			10 4 13 42	2 1275 1154

Tabla 5: Distribución de locaciones en los turnos.

Nº Res	Min Turno	Max Turno	Km Recorridos	Tiempo Total
0	5	5	118,325	13:05:39
1	5	5	120.255	13:14:30
2	5	5	124.468	13:27:55
3	5	5	125.628	13:35:15
4	5	5	124.495	13:37:59
5	5	5	125.752	13:45:29

Tabla 6: Resultados PAE con restricciones.

En la Tabla 6 se muestran los valores promedio obtenidos por PAE incrementando el número de restricciones. La primera columna representa la cantidad de restricciones agregadas a la planificación. La segunda y tercera columna corresponde a la cantidad mínima y a la cantidad máxima de turnos planificados en cada corrida. La cuarta columna corresponde al promedio de km. recorridos en cada planificación y la última columna representa el tiempo

promedio total requerido para visitar todas las 110 locaciones teniendo en cuenta las restricciones correspondientes. Podemos observar que independientemente de la cantidad de restricciones incorporadas, la cantidad de turnos mínimos y máximos es la misma e igual a 5. El tiempo promedio total que se tarda en realizar una planificación va incrementándose a medida que se incorporan restricciones, pero este incremento no es significativo comparado con el resultado promedio observado sin restricciones que es de 13 horas 5 minutos y con cinco restricciones es de 13 horas 45 minutos.

3.3. Caso 3: Planificación con más de una visita obligatoria.

Para el tercer caso, se establecieron las siguientes suposiciones y restricciones al problema. La evaluación de la aplicación se trabajó con 110 locaciones petroleras correspondientes a un bloque de la zona de explotación. La velocidad de recorrido se estableció en 12 segundos cada 100 metros y se fijó el mismo tiempo de intervención para cada locación en el proceso de mantenimiento preventivo.

Para el algoritmo evolutivo propuesto se utilizó un tamaño de población de 15 individuos. La población inicial se generó aleatoriamente. El número máximo de evaluaciones es 2^{22} . Se estableció la probabilidad de mutación en 0,05 y la probabilidad de recombinación en 0,65. El número $n1$ (número de operaciones de recombinación) y $n2$ (número de padres), se estableció en 16 y 18 respectivamente. Los parámetros (tamaño de la población, criterio de parada, probabilidades, etc.) se seleccionaron en base a la experimentación de los valores previamente usados con éxito.

Para analizar su eficiencia, se realizaron cuatro tipos de experimentos y en todos los casos la velocidad de recorrido se estableció en 12 segundos cada 100 metros y se fijó el mismo tiempo de intervención para cada locación en el proceso de mantenimiento preventivo. El primer experimento se realizó con el objetivo de analizar la eficiencia del algoritmo para la planificación del total de locaciones correspondientes al bloque norte de la zona de explotación (110 locaciones) y los restantes experimentos, con el objetivo de analizar la eficiencia del algoritmo en cuanto a la replanificación e incorporación de visitas obligatorias a ciertas locaciones en el próximo turno.

A continuación se describe cada uno de los experimentos con replanificación:

- Se tomaron 110 locaciones a visitar, con 2, 3, 4 y 5 visitas obligatorias en un turno.
- Se tomaron 80 locaciones a visitar, con 2, 3, 4 y 5 visitas obligatorias en un turno
- Se tomaron 55 locaciones a visitar, con 2, 3, 4 y 5 visitas obligatorias en un turno.

En la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos por PAE en cada uno de los experimentos descritos anteriormente donde se realiza replanificación y se incorporan restricciones. La primera columna corresponde a la cantidad de locaciones a visitar en el momento de la replanificación. La segunda columna corresponde a la cantidad de locaciones que obligatoriamente se deben visitar en el próximo turno. La tercera columna corresponde a los kilómetros recorridos en esa replanificación. La cuarta columna corresponde a la cantidad de turnos a realizar y finalmente la última columna corresponde al tiempo total de esa replanificación, en horas. Se puede observar que la incorporación de restricciones al momento de la replanificación, ya sean 2, 3, 4 ó 5 locaciones, no degrada la eficiencia de los resultados obtenidos pues en todos los casos el algoritmo continúa mejorando las planificaciones realizadas por la empresa petrolera.

Locaciones	Visitas Obligatorias	Km	Turnos	Tpo.Total
110	2	124,333	5	13 h 17 min 41s
	3	120,888	5	13 h 10 min 47s
	4	129,147	5	13 h 27 min 19 s
	5	126,681	5	13 h 22 min 23s
80	2	89,379	4	9 h 37 min 16 s
	3	83,511	4	9 h 24 min 28 s
	4	87,821	4	9 h 34 min 39 s
	5	82,802	4	9 h 23 min 07s
55	2	58,044	3	6 h 29 min 53 s
	3	54,360	3	6 h 22 min 10 s
	4	51,465	3	6 h 15 min 19 s
	5	53,560	3	6 h 10 min 07 s

Tabla 7. Replanificación con visitas obligatorias

4. DISCUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS

PAE es una aplicación que tiene como objetivo ser una herramienta eficaz que facilite la planificación dinámica del mantenimiento de locaciones petroleras. Del análisis y las comparaciones realizadas con los planes de mantenimiento ejecutados, PAE ofrece las siguientes ventajas comparativas:

En cuanto a la calidad de las soluciones, PAE presenta planificaciones que mejoran el plan de mantenimiento producido por expertos, reduciendo el tiempo total de una planificación tipo, con la correspondiente reducción de costos. Sin embargo, este beneficio puede también analizarse desde otra perspectiva, ya que reduciendo el tiempo total de intervención se pueden por lo tanto realizar más cantidades de visitas en las locaciones en un determinado período. Con ello se logra disminuir la probabilidad de caída de la producción y por lo tanto maximizar la producción total.

Los AEs son algoritmos estocásticos (no determinísticos) que producen múltiples soluciones en diferentes corridas independientes. A menudo una solución mejor (plan de mantenimiento) no puede ejecutarse por determinadas condiciones operativas, por lo tanto es necesario seleccionar otra que si bien puede no ser tan buena como la anterior es factible de ejecutarse.

Otro aspecto, que suele ser muy importante es la flexibilidad de producción de planes de mantenimiento, ya que frecuentemente se producen cambios, incorporando o eliminando locaciones en la producción del yacimiento. Para ello PAE facilita un ambiente flexible que permite incorporar cambios en la planificación sin que ello represente la intervención de expertos.

Por último, frente a la incorporación de restricciones en las visitas de mantenimiento, PAE no presenta degradación en la solución; generando planificaciones que satisfacen las restricciones y mantienen la calidad de los resultados restricciones (Villagra et al., 2007b,c).

Los trabajos futuros están orientados en la incorporación de:

- Múltiples equipos: es posible que de la base petrolera pueda salir más de un equipo de mantenimiento y por este motivo el algoritmo debe realizar las planificaciones correspondientes a cada equipo disponible. Este tipo de característica puede representarse como un problema de máquinas idénticas en paralelo (Pinedo, 1995)

donde existen m máquinas idénticas en paralelo y n tareas. Cada tarea requiere una única operación y puede procesarse en cualquiera de las m máquinas.

- Aprendizaje de contingencias en el mantenimiento: actualmente se cuenta con grandes volúmenes de datos en bases de datos que proveen información acerca de los resultados de mantenimientos realizados en las locaciones. Esta es una fuente de información para la optimización del proceso de mantenimiento y por lo tanto el descubrimiento de conocimiento implícito puede ser recuperado para aprender sobre contingencias del mantenimiento de las locaciones petroleras y luego ser incorporadas como mejoras al plan.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de la Patagonia Austral por su apoyo al grupo de investigación y la cooperación.

REFERENCIAS

- Brucker P. *Scheduling Algorithms*. New York. Springer-Verlag, 3rd Edition, 2004.
- Chang P., Hsieh J., y Wang Y. Genetic algorithm and case-based reasoning applied in production scheduling. *Knowledge Incorporation in Evolutionary Computation*, pages 215–236, 2005.
- Eiben A.E., van Kemenade C. H. M., y Kok J. N. Orgy in the computer: multi-parent reproduction in genetic algorithms. Technical Report: CS-R9548 Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), Amsterdam, The Netherlands, page 10- 31, 1995.
- Eiben A E., Raué P.-E., y Ruttkay Z. Genetic algorithms with multi-parent recombination. In Yuval Davidor, Hans-Paul Schwefel, and Reinhard Männer, editors, *Parallel Problem Solving from Nature – PPSN III*, pages 78–87, Springer, Berlin, 1994.
- Eiben A. E. y Bäck T. Empirical investigation of multiparent recombination operators in evolution strategies. *Evolutionary Computation*, 5(3):347–365, 1997.
- Esquivel S., Leiva A., y Gallard R. Couple fitness based selection with multiple crossover per couple in genetics algorithms. pages 78–87, Springer, Berlin, 1994.
- Esquivel S., Leiva A., y Gallard R. Multiple crossover per couple in genetic algorithms. In *Fourth IEEE Conference on Evolutionary Computation*, pages 103–106, Indianapolis, USA, Abril, 1997.
- Esquivel S., Leiva A., y Gallard R. Multiple crossovers between multiple parents to improve search in evolutionary algorithms. En *Congress on Evolutionary Computation*, pages 1589–1594, IEEE, Washington DC, 1999.
- Guo Y. y Lingle R. Solving the airline crew recovery problem by a genetic algorithm with local improvement. *Operational Research an International Journal*, 5(2), 2005.
- Holland J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Michigan Press, 1975.
- Jaskowski P. y Sobotka A. Multicriteria construction project scheduling method using evolutionary algorithm. *Operational Research an International Journal*, 6(3), 2006.
- Pandolfi D., de San Pedro, Vilanova G., Villagra A., y Gallard R. Studs mating immigrants in evolutionary algorithms to solve the earliness-tardiness scheduling problem. *Cybernetics and Systems of Taylor and Francis Journal*, 33(4):391–400, Junio, 2002.
- Pandolfi D, Lasso M., de San Pedro M., Villagra A., y Gallard R. Knowledge insertion: an efficient approach to reduce search effort in evolutionary scheduling. *Journal of Computer Science and Technology*, 4(2):109–114, 2004.
- Pinedo M. *Scheduling: Theory, Algorithms and System*. Prentice Hall, first edition, 1995.

- Villagra A., de San Pedro M.E., Lasso M., Montenegro C., y Pandolfi D. Evolutionary algorithm for the oil fields preventive maintenance scheduling. En *Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, Orlando, USA, Julio 2007a.
- Villagra A., Montenegro C., de San Pedro M., Lasso M., y Pandolfi D. Planificación con restricciones del mantenimiento de locaciones petroleras. En *XII RPIC - Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control*, 2007b.
- Villagra A., Montenegro C., de San Pedro M., Lasso M., y Pandolfi D. Restricciones en la replanificación del mantenimiento de locaciones petroleras. En *Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 2007c.