

Restricciones en la replanificación del mantenimiento de locaciones petroleras

A. Villagra, C. Montenegro, E. de San Pedro, M. Lasso, D. Pandolfi*

LabTEm - Unidad Académica Caleta Olivia
Universidad Nacional de la Patagonia Austral
Caleta Olivia (9011) – Santa Cruz - Argentina
{avillagra, cmontenegro, edesanpedro, mlasso, dpandolfi}@uaco.unpa.edu.ar

Abstract

This work deals with an application (PAE) that uses an evolutionary algorithm, generator of multiple solutions for the rescheduling of preventive maintenance of oil fields. The exploitation and the transport of oil are very important activities for the economic development of the industrial modern society. However, these activities are generating risks that are translated in contaminations. It is important that oil companies carry out a correct maintenance of their oil fields. PAE provides a maintenance visit schedule at the right moment and this benefit should be observed from two aspects. First, a schedule is better than other if for the same number of oil wells to be visited, the round cost and the time scheduled is small. Second, if for the same period of time it is possible to carry out the maintenance to more oil wells, this benefit reduces the probability of falling when the number of visited oil wells is increased. PAE is in the fourth phase of its development, in which we have incorporated restrictions to the moment of rescheduling. The obtained results have been satisfactory since they minimize the total time of a scheduling and they maximize the quantity of visited oil wells, satisfying the constraints.

Keywords: **Oil Fields, constraints, multirecombination, evolutionary algorithm.**

Resumen

En este trabajo se presenta una herramienta (PAE) que utiliza un algoritmo evolutivo, generador de múltiples soluciones, para la replanificación 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. Es importante que las empresas petroleras realicen un correcto mantenimiento de sus locaciones. PAE brinda en forma oportuna la planificación del recorrido y su 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 planificado es menor. Segundo, si con un mismo tiempo de intervención es posible realizar el mantenimiento a más locaciones, este beneficio reduce la probabilidad de caída de la producción al incrementar la cantidad de locaciones recorridas. PAE está en la cuarta fase de su desarrollo, donde se han incorporado restricciones al momento de la replanificación. 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.

Palabras claves: **Locaciones petroleras, restricciones, multirecombinación, algoritmo evolutivo.**

* El Grupo de Investigación cuenta con el apoyo de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral

1 INTRODUCCIÓN

El petróleo, recurso natural de gran importancia para el desarrollo de la humanidad, y el empleo de tecnología, como instrumento de apropiación y de transformación de los recursos naturales, han generado en el mundo impactos ambientales negativos, significativos por las graves consecuencias provocadas en el medio. Este recurso se ha convertido en una preocupación ambiental seria, dado que su extracción y uso como fuente de energía por los seres humanos, ha conducido a su distribución amplia en la biosfera. En muchas de las regiones donde se ha explotado el petróleo, se han generado contingencias de diferentes magnitudes como consecuencia de las operaciones desarrolladas en: tanques de almacenamiento, oleoductos, equipos de perforación, buques petroleros, etc. Además de los impactos generados en el medio como consecuencia de la exploración y explotación del petróleo, existen también daños ocasionados a las personas que lo emplean o se encuentran en contacto con él dentro de su ámbito laboral.

En la última década, las Empresas dedicadas a la explotación, producción y transporte del recurso, han visto la necesidad de implementar medidas de prevención a fin de evitar y / o minimizar los daños ocasionados al medio ambiente, personas y bienes materiales.

La mejor manera de atacar el problema de contaminación por petróleo es prevenir el incidente. Normalmente estos se producen por fallas de equipos o del material y fallas humanas. Los primeros pueden ser subsanados mediante inspecciones periódicas y un mantenimiento adecuado; y los segundos, mediante la instrucción y el entrenamiento del personal en forma permanente. Por esta razón es importante, para las empresas petroleras y para el entorno que las rodea, un correcto mantenimiento de sus locaciones.

Los Algoritmos Evolutivos (AEs) son metaheurísticas que emplean modelos computacionales que simulan el proceso evolutivo. Existen una gran variedad de AEs, los principales incluyen: Algoritmos Genéticos [9] y [11], Programación Evolutiva [7] y [8], Estrategias Evolutivas [16] y [17], y Programación Genética [12]. Todos estos algoritmos comparten un concepto base común que es simular a la evolución de los individuos que forman la población usando un conjunto de operadores predefinidos. Comúnmente se usan dos tipos de operadores: de selección y de búsqueda. Los operadores de búsqueda más usados son la mutación y la recombinación. Tendencias actuales en AEs hacen uso de enfoques con multirecombinación [1], [2] y [3], y múltiples padres [4], [5] y [6]. Para la resolución de diversos tipos de problemas de planificación tales como *scheduling* o *routing* estos enfoques han resultado ser estrategias exitosas. Particularmente en problemas de *scheduling*, introduciendo al enfoque de multirecombinación una nueva variante conocida como MCMP-SRI (*Stud and Random Immigrates*) [14].

La herramienta presentada aquí utiliza un algoritmo evolutivo que es el generador de múltiples soluciones. Se encuentra en la cuarta fase de desarrollo del prototipo en la que se han incorporado restricciones al momento de la replanificación. Avances de fases anteriores han sido presentados en otros trabajos [18], [19] y [20].

El trabajo está organizado de la siguiente manera, en la sección 2 se presenta la descripción del problema y su definición formal. En la sección 3 se describe el algoritmo utilizado para la obtención de una replanificación, en la sección 4 se muestran los detalles de implementación y los resultados obtenidos. Finalmente, en la sección 5 se describen las conclusiones.

2 DOMINIO Y 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. En la Tabla 1 se muestran ejemplos de algunas tareas realizadas en una locación, en este caso, tareas en pozos productores y baterías. Actualmente, el recorrido que realizan los encargados 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 de un turno no se cumpla según lo planificado, produciendo la necesidad de replanificar las visitas. Además puede ocurrir que en el momento de replanificación, por determinados motivos, se debe incorporar la visita obligatoria a ciertas locaciones en el próximo turno, provocando esto un conjunto de restricciones en la replanificación. Cuando ocurre esto, cada responsable redefine el nuevo itinerario utilizando su experiencia. En la Figura 1 se muestra una distribución de locaciones petroleras del yacimiento explotado en la zona norte de la provincia de Santa Cruz, Argentina.

Tabla 1. Tareas en un pozo productor y baterías

descripción de la tarea	Cant. Equipos	Frecuencia/días	Tiempo/Min.
Verificación régimen de bombeo	78	7	2
Extracción muestra boca de pozo (por pozo)	105	15	5
Medición de gas de entrecaños	5	30	10
Puesta de ensayos en auxiliares y Estación	12	1	10
Medición y cierre de Tks en estaciones	6	1	10
Verificación de recirculado	3	1	5
Verificación de bombas de baterías y Stock	4	7	5
Verificación de inyección de química Bat y pozos	15	1	5
Estado de puente de producción	105	1	5
Programa semanal de Dinamometro y nivel	78	7	20

PAE tiene por objetivos planificar las visitas a un conjunto de locaciones que:

- 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.
- Maximice la cantidad de visitas en un período de tiempo. Teniendo en cuenta un período de mantenimiento, por ejemplo de un mes, que en ese período visite la mayor cantidad de veces las locaciones.
- Replanifique las visitas a partir de desviaciones en la planificación original. Frente a la ocurrencia de eventos que condicionan operativamente la ejecución de un plan de mantenimiento, proveer de planificaciones alternativas sin disminuir significativamente la calidad de las mismas. Cumplimente un conjunto de restricciones que se le incorporan al momento de la replanificación.

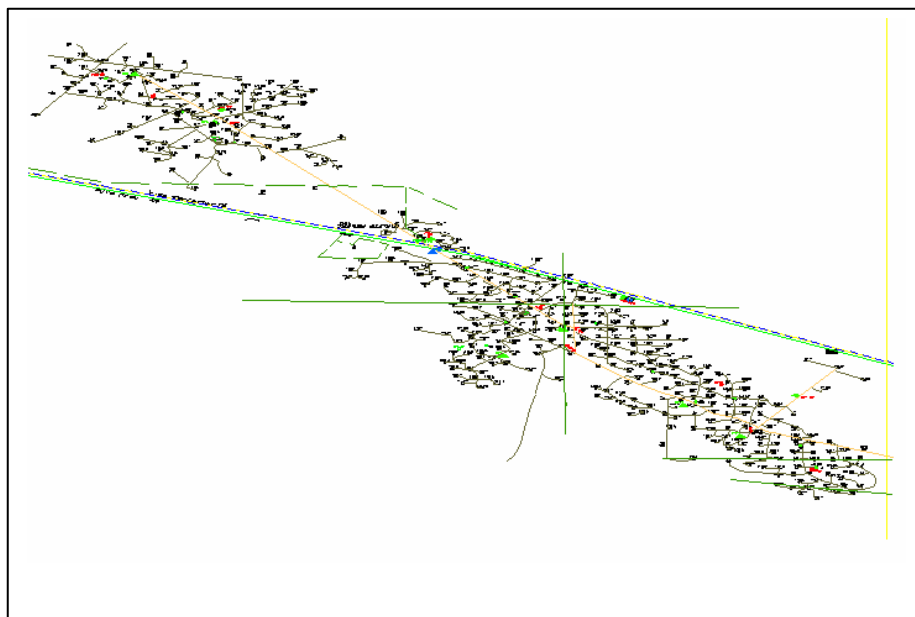


Figura 1. Plano de caminos y distribuciones

2.1 Formulación del Problema

El problema se puede definir como [15]: $1 | s_{jk} | C_{\max}$

Denota un problema de *scheduling* de máquina única con n tareas sujetas a tiempos de preparación dependientes de la secuencia. Donde las tareas a planificar son el servicio de mantenimiento (o intervención) en cada una de las locaciones petroleras. Además, 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 .

La función objetivo es minimizar el *makespan* (C_{\max}) sujeto a los tiempos de preparación dependientes de la secuencia. Este problema es equivalente al denominado *Traveling Salesman Problem* (TSP).

3 ALGORITMO EVOLUTIVO PARA PAE

Para resolver el problema de planificación de recorrido de las locaciones petroleras, se utilizó un algoritmo evolutivo. Para codificar adecuadamente las visitas a las locaciones petroleras que representan una posible solución, se utilizó una permutación. Donde cada permutación $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ 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. Además, se tiene en cuenta que existen locaciones que deben ser visitadas obligatoriamente en el próximo turno, interrumpiendo la secuencia de la planificación original. Esto implica incorporar restricciones al problema. Para ello, se definió un tipo de restricción llamada restricción dura, donde 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, la restricción establece que en el momento de la replanificación y en el próximo turno se visiten obligatoriamente ciertas locaciones.

En la Figura 2 se puede observar la estructura del algoritmo evolutivo utilizado para este problema de planificación. El algoritmo crea una población inicial $Stud(0)$ de sementales generados aleatoriamente que representan μ soluciones al problema. Luego estas soluciones se evalúan donde se analiza si la planificación obtenida cumple con la restricción. En caso de no cumplir la restricción, la solución se repara de la siguiente manera: se desplazan las locaciones que no están correctamente planificadas, y se ubican en el turno correspondiente las locaciones que deben visitarse obligatoriamente en ese turno (ver Figura 3). Finalmente se evalúa la solución. Seguidamente, de la población de individuos denominados sementales, se selecciona un individuo a través de selección proporcional. Se genera un *pool* de apareamiento con $n2$ padres generados aleatoriamente (inmigrantes). El semental se aparea con cada padre inmigrante del *pool* de apareamiento y las parejas se someten a operaciones de recombinación, y se generan $2*n2$ descendientes. El mejor de los $2*n2$ descendientes, se almacena en un *pool* de hijos temporal. Esta operación de recombinación se repite $n1$ veces, para diferentes puntos de corte cada vez, hasta que el *pool* de hijos se complete. Finalmente, el mejor descendiente creado de $n2$ padres y $n1$ operaciones de recombinación, se inserta en la nueva población.

```

EA-MCMP-SRI
t=0; {generación actual}
iniciliza (Stud(t));
evalua (Stud(t));
while (not max_evaluations)do
  pool_apareamiento = Genera_Inmigrantes_Aleatorios
    ∪ Selecciona (Stud(t));
  while (not n2) do
    while (not n1) do
      evoluciona (pool_apareamiento);
      {recombinación y mutación}
    end while
  end while
  evalua (pool_apareamiento);
  Stud(t+1)= Selec. nueva población del pool_apareamiento;
  t = t+1;
end while

```

Figura 2. Algoritmo Evolutivo para PAE

Este proceso es llamado MCMP-SRI y es una variante de multirecombinación [14]. Fue aplicado en diferentes problemas de planificación de máquina única para casos estáticos y casos dinámicos y los resultados obtenidos fueron satisfactorios.

El método de recombinación utilizado fue PMX (*Partial Mapped Crossover*). Este operador fue propuesto por [10] y puede verse como una extensión del cruzamiento de dos puntos para representaciones basadas en permutaciones.

La operación de mutación usada es llamada *Swapping Mutation* (SM), la cual selecciona dos posiciones aleatorias e intercambia los alelos. La selección de individuos fue a través del operador de selección proporcional.

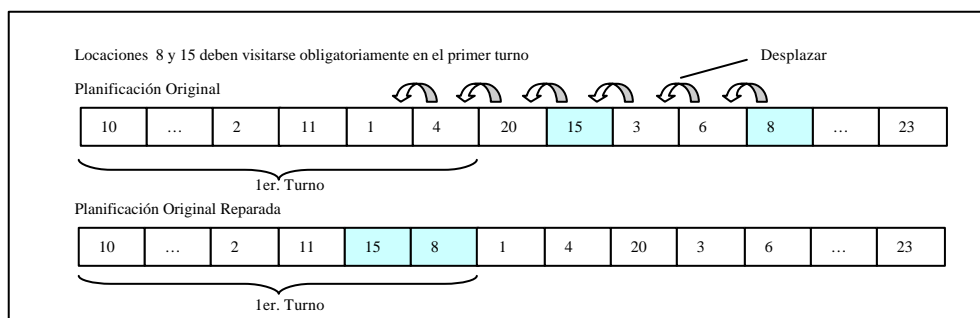


Figura 3. Reparación de la solución

4 EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

4.1 Preparación de Datos

Para resolver el problema fue necesario preparar los datos de entrada ya que originalmente las distancias entre las locaciones petroleras no estaban procesadas. Se realizó el cálculo de las distancias entre las locaciones petroleras basados en el plano de caminos y distribución del yacimiento. Matemáticamente, es sabido que la distancia entre dos puntos que se encuentran en cualquier lugar del sistema de coordenadas, está determinada por la relación denominada distancia euclídea. No obstante, en este problema solo se puede calcular la distancia entre dos puntos, teniendo en cuenta el camino que existe para llegar a ellos. Por esta razón se utilizó el plano de las ubicaciones de las locaciones y se escalaron las distancias entre las mismas.

4.2 Diseño Experimental y Resultados

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 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 [13]. La Tabla 2 resume los parámetros utilizados en todas las corridas.

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.

Tabla 3. PAE sin restricciones

N°	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. Parámetros del algoritmo evolutivo

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
N° de recombinación (n1)	16
N° de padres (n2)	18

En todos los experimentos se realizaron 20 corridas independientes. En el primer experimento se usaron los valores de los parámetros resumidos en la Tabla 2, en los experimentos restantes se modificó únicamente el tamaño de las locaciones a visitar, y los valores restantes se mantuvieron. 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 3 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 en 816 minutos (13 horas, 36 minutos y 20 segundos) y se recorren 133,66 km.

En la Tabla 4 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.

Tabla 4. Comparación Empresa Petrolera y PAE

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	757,16
		110	1104,63				12:37:19
			18:24:38				

Tabla 5. Replanificación con restricciones

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

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos por PAE en cada uno de los experimentos descriptos 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.

5 CONCLUSIONES

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, éste beneficio puede también analizarse desde otra perspectiva, ya que reduciendo el tiempo total de intervención, se puede 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 muy a menudo 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.

Trabajos futuros incluirán el aprendizaje de contingencias en el mantenimiento.

AGRADECIMIENTOS

Se reconoce a la Universidad Nacional de la Patagonia Austral por su apoyo al grupo de investigación y la cooperación y las críticas constructivas proporcionadas por el mismo.

REFERENCIAS

- [1] Eiben A.E. y Bäck Th. “An Empirical Investigation of Multi-Parent Recombination Operators in Evolution Strategies”, *Evolutionary Computation*, 5(3):347-365, (1997).
- [2] Eiben A.E., Raué P.E. y Ruttkay Z., “Genetic algorithms with multi-parent recombination”. *Proc. 3rd Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, Springer-Verlag, number 866 in LNCS, pp. 78-87, (1994).
- [3] Eiben A.E., Van Kemenade C.H.M., y Kok J.N. “Orgy in the Computer: Multi-Parent Reproduction in Genetic Algorithms”. *Proc. 3rd European Conference on Artificial Life*, Springer-Verlag, number 929 in LNAI, pages 934-945, (1995).
- [4] Esquivel S., Leiva A., Gallard R. “Multiple Crossover per Couple in Genetic Algorithms”. *Proc. Fourth IEEE Conference on Evolutionary Computation (ICEC'97)*, pp 103-106, Indianapolis, USA April (1997).
- [5] Esquivel S., Leiva A., Gallard R. “Couple Fitness Based Selection with Multiple Crossover per Couple in Genetic Algorithms”. *Proc. International Symposium on Engineering of Intelligent Systems (EIS '98)*, pp 235-241, La Laguna, Tenerife, Spain, February (1998).
- [6] Esquivel S., Leiva H., Gallard R. “Multiple Crossovers between Multiple Parents to Improve Search in Evolutionary Algorithms”. *Proc. Congreso on Evolutionary Computation (IEEE)*, pp 1589-1594, Washington DC, (1999).
- [7] Fogel D. *Evolutionary Computation: Towards a New Philosophy of Machine Intelligence*. IEEE Press, Piscataway, NJ, 1996.
- [8] Fogel L.J., Owens A.J., y Walsh M.J. *Artificial intelligence through simulated evolution*. Wiley, 1966.

- [9] Goldberg. D. “*Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*”. Addison Wesley, Reading, MA, (1989).
- [10] Goldberg, D. y R. Lingle, “Alleles, loci and the traveling salesman problem”. *Proc. of the First International Conference on Genetic Algorithms*, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 154-159, Hillsdale, NJ, (1987).
- [11] Holland. J.H. “*Adaptation in natural and artificial system*”. University of Michigan Press, 1975. New York, (1995).
- [12] Koza J.R. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. MIT Press, 1992.
- [13] Lasso M., Pandolfi D, De San Pedro M.E., Villagra A., Gallard R.; “Solving Dynamic Tardiness Problems in Single Machine Environments”; *Congress on Evolutionary Computation - CEC '04*; Portland, U.S.A, Vol 1, 1143-1149, (2004).
- [14] Pandolfi D., De San Pedro M., Villagra A., Vilanova G., Gallard R. “Studs Mating Immigrants in Evolutionary Algorithm to Solve the Earliness-Tardiness Scheduling Problem”. *Cybernetics and Systems of Taylor and Francis Journal*, Volume 33 (U.K.), pp 391-400, (2002).
- [15] Pinedo M., *Scheduling: Theory, Algorithms and System*, First edition Prentice Hall, (1995).
- [16] Rechenberg I., Evolution strategy. In J.M. Zurada, R.J. Marks II, and C. Robinson, editors, *Computational Intelligence: Imitating Life*. IEEE Press, Piscataway, NJ, 1994.
- [17] Schwefel H.P. *Evolution and Optimum Seeking*. Wiley, New York, 1995.
- [18] Villagra A., de San Pedro M., Lasso M., Montenegro C., Pandolfi D. ,”Evolutionary Algorithm for the Oil Fields Preventive Maintenance Scheduling”, *The 11th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, Orlando, Florida, USA (2007).
- [19] Villagra A., Montenegro C., Rasjido J, de San Pedro M., Lasso M., Pandolfi D.; “PAE: una herramienta para la planificación del mantenimiento en locaciones petroleras”; *XII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación – CACIC 2006*; Universidad Nacional de San Luis, San Luis; (2006).
- [20] Villagra A., Montenegro C., de San Pedro M., Lasso M., Vidal P., Pandolfi D.; “Mantenimiento de locaciones petroleras mediante un Algoritmo Multirecombinativo”; *8° Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos (CAIP)*; Asunción-Paraguay, julio; (2007).