

PAE: una herramienta para la planificación del mantenimiento en locaciones petroleras

A. Avillagra C. Montenegro J. Rasgado E. de San Pedro M. Lasso J. Pandolfi*

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

Abstract

This work shows up an application for the dynamic scheduling of preventive maintenance of oil location. For the cases of scheduling of maintenance of few oil locations, an enumerative algorithm is enough, however for a scheduling of 200 or more locations PAE is a tool able to provide in opportune form the scheduling of the journey. The benefit should be observed from two aspects. First, a scheduling is better than other if for the same number of locations to visit, the journey cost and intervention scheduled is small. Second, if for the same period of intervention it is possible to carry out the maintenance to more locations, this benefit reduces the probability of fall when increasing the quantity of visited locations. This tool has been designed to operate so much at a low development cost from the point of view of the hardware technology like the software technology that it supports it. It was developed by Laboratorio de Tecnologías Emergentes of the Universidad Nacional de la Patagonia Austral Unidad Académica Caleta Olivia. It uses an evolutionary algorithm that is the generator of multiple solutions to this problem.

Keywords: Oil location, Scheduling, Evolutionary Algorithm

Resumen

En este trabajo se presenta una aplicación para la planificación y replanificación dinámica del mantenimiento preventivo de locaciones petroleras. Para los casos de planificación de mantenimiento de unas pocas locaciones petroleras, un algoritmo enumerativo es suficiente, sin embargo para una planificación de 200 o más 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 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 al incrementar la cantidad de locaciones recorridas. Esta herramienta ha sido diseñada para operar a un bajo costo de desarrollo tanto desde el punto de vista de la tecnología hardware como la tecnología de software que la soporta, desarrollada por el Laboratorio de Tecnologías Emergentes de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral Unidad Académica Caleta Olivia, utiliza un algoritmo evolutivo que es el generador de múltiples soluciones a este problema.

Palabras claves: Locaciones petroleras, Planificación, Algoritmo Evolutivo

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

1 INTRODUCCIÓN

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 (naufragos de buques petroleros, incendios en plataformas de explotación, derridas de hidrocarburos, etc.), o crónicas (operaciones de carga y descarga, deslastre, lavado de sentinas, mantenimiento defectuoso, etc.), que afectan directamente al ecosistema. Si bien menos espectacular que los accidentes, la contaminación crónica es nefasta porque su incidencia sobre organismos se produce por exposición permanente a pequeñas cantidades (dosis subletales). Esto genera cambios en la composición de poblaciones y comunidades; este efecto es mucho más difícil de evaluar que el de la contaminación aguda. Es importante para las empresas petroleras a nivel económico y para el entorno que las rodea, por lo anteriormente expuesto, un correcto mantenimiento de las locaciones petroleras.

Los AEs son metaheurísticas que emplean modelos computacionales del proceso evolutivo. Existen una gran variedad de AEs, los principales incluyen: Algoritmos Genéticos [12], [14], Programación Evolutiva [10], [11], Estrategias Evolutivas [22], [23] y Programación Genética [15]. 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 [4], [5] y [6] y múltiples padres [7], [8] y [9]. 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*) [18].

El trabajo esta organizado de la siguiente manera, en la sección 2 se presenta la descripción del problema, la preparación de los datos y la definición formal del problema. En la sección 3 se describe el algoritmo utilizado para la obtención de una planificación, en la sección 4 se muestra la arquitectura utilizada y se detallan algunos aspectos operacionales de la aplicación. En la sección 5, se muestran los detalles de implementación y los resultados obtenidos. Finalmente, en la sección 6 se describen las conclusiones.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las empresas petroleras realizan visitas de mantenimiento y/o prevención a cada una de sus locaciones petroleras (pozos productores, inyectores, baterías y colectores). Un yacimiento esta formado por bloques y a su vez este por baterías. Cada batería esta 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, 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, no visitando algunas locaciones. Cuando un plan de un turno no se cumple, afecta a la programación total y cada responsable redefine el nuevo itinerario que es realizado por un criterio basado en 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.

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

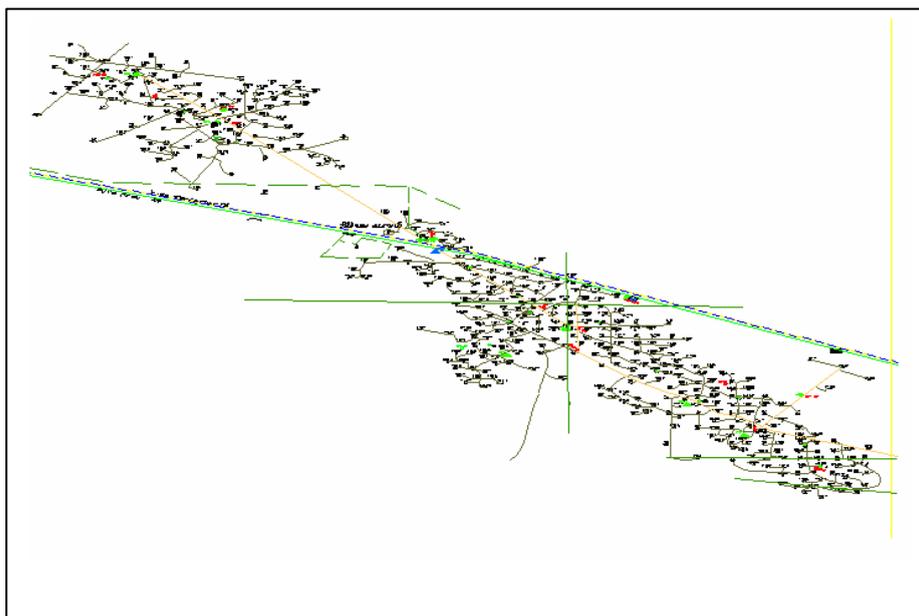


Figura 1: Plano de caminos y distribuciones

El sistema desarrollado 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 periodo 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.

En una versión prototipo, el sistema ha sido programado en Pascal, y posteriormente para implantar una versión final se implementó en Java, a continuación se describe el proceso de clarificación y obtención de los datos del problema y la definición del mismo.

2.1 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, esta 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.

2.2 Definición del Problema de Planificación

El problema se puede definir como [21]:

$$|s_k| C_{\max}$$

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 GENÉTICO PARA PAE

Para resolver el problema de planificación de recorrido de las locaciones petroleras se utilizó un algoritmo genético. El cromosoma representa el orden en que serán visitadas las locaciones (gen del cromosoma) dentro de la planificación (Figura 2).

Para el AE se implementó un proceso de múltiple recombinación y múltiples padres [4], [5], [6], [7], [8] y [9] donde se genera un *pool* de múltiples padres, conformado por un individuo semental y por individuos generados aleatoriamente (inmigrantes aleatorios), este proceso es llamado MCMP-SRI y es una variante de multirecombinación [18]. Este método fue aplicado en diferentes problemas de planificación de máquina única para casos estáticos y casos dinámicos y los resultados obtenidos fueron satisfactorios. En los problemas estáticos, MCMP-SRI se aplicó para resolver problemas de *Earliness* y *Tardiness* [19], *Weighted Tardiness*[1], *Average Tardiness*[20] y *Weighted Number of Tardy jobs*[2]. En los problemas dinámicos MCMP-SRI fue aplicado para resolver problemas de adaptabilidad para *Earliness* y *Tardiness* [17], en problemas de dinámica parcial y total para *Weighted Tardiness*[16] y *Average Tardiness*[3].

El proceso para crear descendientes, en MCMP-SRI, es el siguiente: de la vieja población de individuos, se selecciona un individuo, el semental, a través de selección proporcional. Se genera un pool de apareamiento con n_2 padres generados aleatoriamente. El semental se aparea con cada padre del pool de apareamiento y las parejas se someten a operaciones de recombinación, y generan $2 n_2$ descendientes. El mejor de los $2 n_2$ descendientes, se almacena en un pool de hijos temporal. Esta operación de recombinación se repite n_1 veces, para diferentes puntos de corte cada vez, hasta que el pool de hijos se complete. Finalmente, el mejor descendiente creado de n_2 padres y n_1 operaciones de recombinación, se inserta en la nueva población.

El método de recombinación utilizado fue PMX (*Partial Mapped Crossover*): [13] que puede verse como una extensión del cruzamiento de dos puntos para representaciones basadas en permutaciones. La selección de individuos fue a través de selección proporcional.

En la figura 2 se muestra un esquema del proceso utilizado para la resolución del problema de planificación. Se sistematizaron los datos de entrada para poder utilizar la información en el algoritmo. Se procesa la información, y se produce la planificación a través del algoritmo genético anteriormente comentado. En caso de existir algún evento externo que afecta al cumplimiento de la planificación se provee la posibilidad de realizar una replanificación con las locaciones restantes.

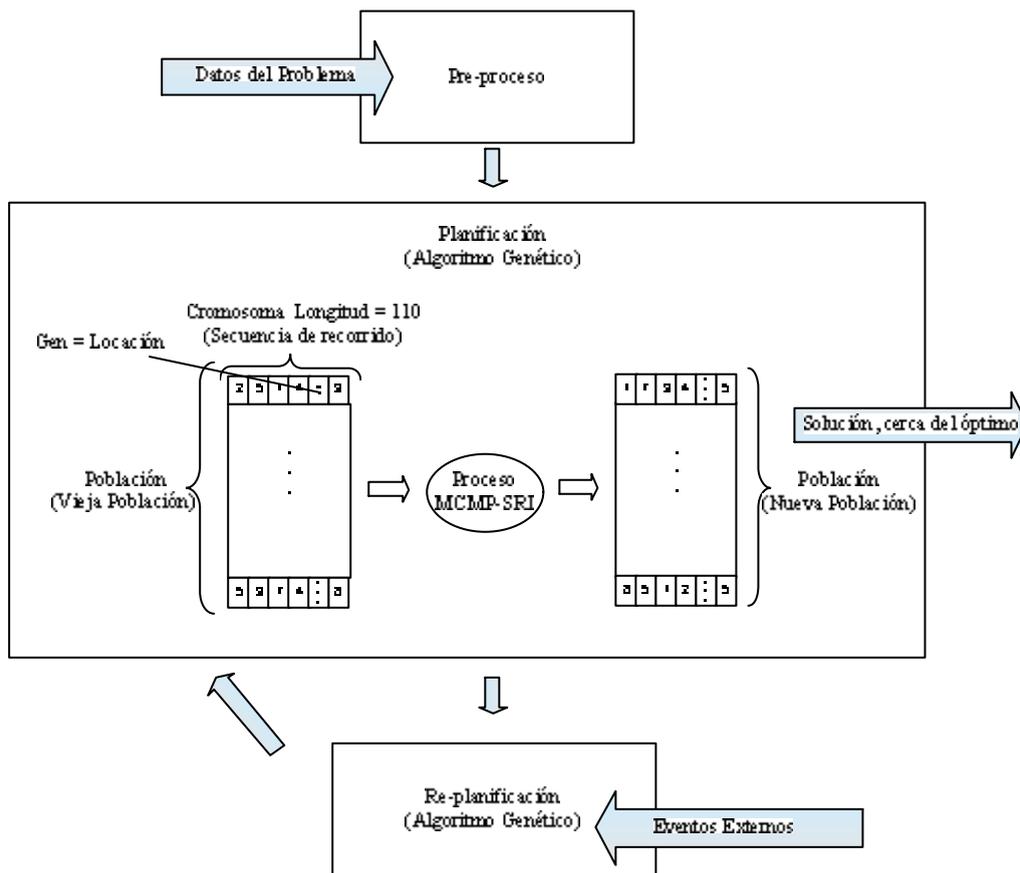


Figura 2: Proceso de PAE.

4 ETALLES E ISE O F CIO AMIE TO EPAE

4.1 Modelo

La arquitectura lógica de la aplicación sigue el modelo de tres capas [24]. Esto permite separar los aspectos de la interface, de los aspectos de control y manejo de datos. En la figura 3 se presenta un diagrama de paquetes. El paquete **Interfaz de usuario**, contiene todas las clases necesarias para realizar la interacción con el usuario. Permite realizar el ingreso de información y la salida de los resultados. El paquete **Genético**, contiene las clases que se utilizan para implementar el algoritmo genético utilizado para este problema. El paquete **Persistencia**, es el que contiene las clases mapeadoras que se utilizan para manipular la base de datos. Finalmente, en el paquete **Utilidades** se encuentran todas las clases que sirven de herramientas a las restantes clases de la aplicación.

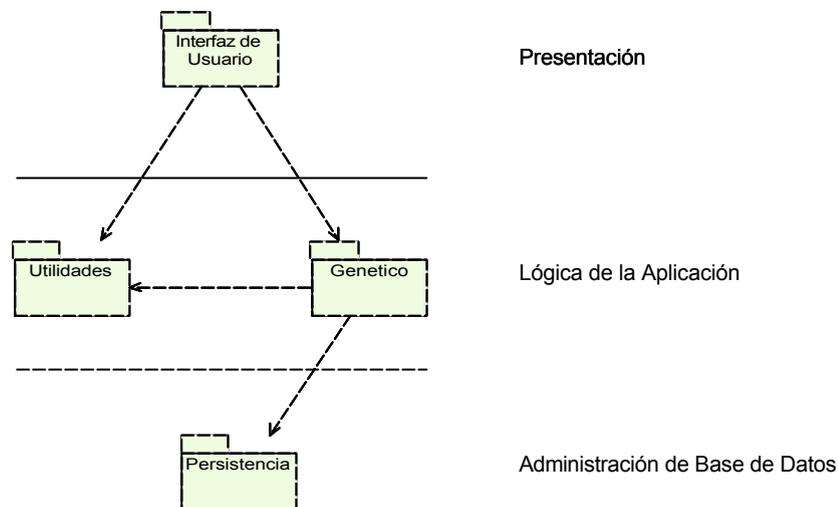


Figura 3: Diagrama de Paquetes.

4.2 Funcionamiento de la aplicación

La aplicación cuenta con un menú principal formado por tres opciones:

- **Archivo**: brinda la posibilidad de administrar información relativa a las locaciones petroleras, e información sobre los caminos entre las locaciones.
- **Planificación**: permite realizar la administración de planificaciones y replanificaciones de los turnos.
- **Ayuda**: Información en línea de uso del sistema.

Al acceder al menú **Archivo** se presenta el submenú que permite realizar el alta, baja y modificación de una locación petrolera, el alta, baja y modificación de los caminos entre las locaciones petroleras y además brinda la posibilidad de buscar información (ver Figura 4).

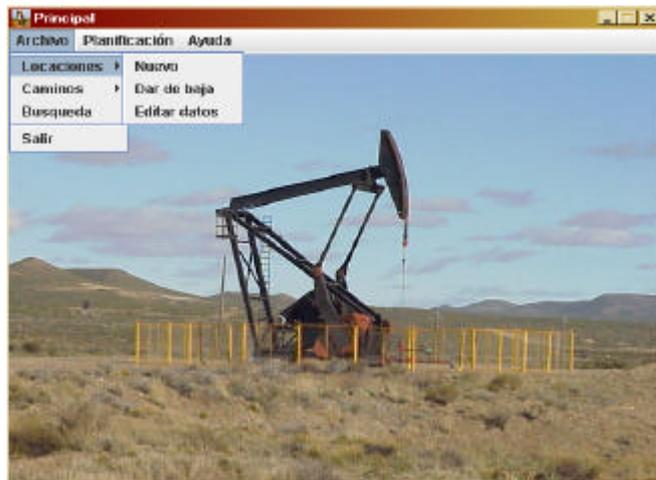


Figura 4: Submenú Archivo.

Al acceder a la opción de **Planificación** se presenta un submenú con dos opciones **Turnos** y **Configuración**. Al ingresar en **Turnos** se muestran diferentes opciones relacionadas a la planificación (Figura 5). **Nueva planificación** realizará una planificación de turnos teniendo en cuenta la información de las locaciones, de los caminos y datos del algoritmo almacenada en la base de datos. Realiza la ejecución del algoritmo genético para encontrar una solución, es decir una secuencia de recorrido de las locaciones. La opción de **Cargar planificación** utiliza una planificación ya generada para organizar los turnos. **Replanificar** es similar a **Nueva planificación** con la diferencia que cuando se ingresa a esta opción significa que ocurrió una interrupción en la secuencia de locaciones a visitar y es por ello que se necesita volver a planificar el recorrido sin visitar nuevamente las locaciones ya visitadas. Por lo tanto se reduce la cantidad de locaciones y se recalcula la planificación para esta nueva situación. Finalmente se permite exportar la planificación obtenida o imprimirla. La opción **Ver** permite la visualización de los turnos, es decir la secuencia de las locaciones a visitar en cada turno, además de información general, resumen de la planificación obtenida.

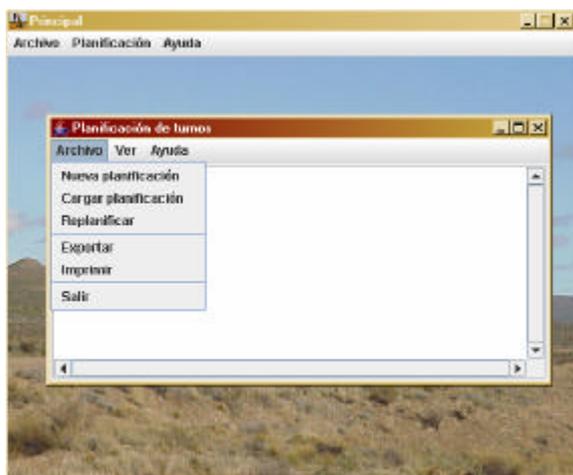


Figura 5: Menú de planificación de Turnos.

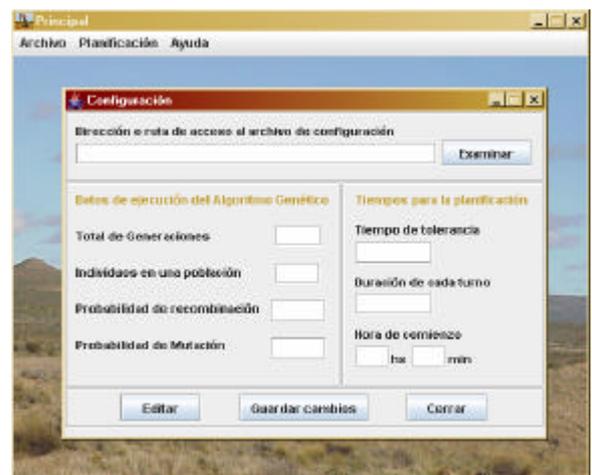


Figura 6: Ventana de Configuración.

En la opción de **Configuración** (Figura 6) se establecen datos para la ejecución del algoritmo genético y se definen los tiempos para la realización de la planificación.

5 E PERIME TOS RES LTA OS

Para realizar los experimentos se establecieron las siguientes suposiciones y restricciones al problema. Para la evaluación de la aplicación se trabajo 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 pozo en el proceso de mantenimiento preventivo.

Para el algoritmo gen tico se utilizó un tamaño de población de 15 individuos, el número máximo de generaciones se fijó en 500. Se estableció la probabilidad de mutación en 0,05 y la probabilidad de recombinación en 0,65. En número n_1 (número de operaciones de recombinación) y n_2 (número de padres) se estableció en 16 y 18 respectivamente. Se realizaron 20 corridas independientes para cada bloque.

Los resultados obtenidos se compararon con información histórica facilitada por la empresa petrolera para una planificación tipo.

Tabla 2 - Detalle de resultados obtenidos por PAE

Corrida	Total Turnos	m. Recorridos	Minutos	Tiempo Total
1	5	104,041	753	12:33:44
2	4	91,676	728	12:08:22
3	5	99,344	743	12:23:33
4	5	102,011	748	12:28:32
5	5	97,393	737	12:17:22
6	5	97,607	740	12:20:13
7	5	95,699	735	12:15:13
8	5	94,515	734	12:14:01
9	5	99,695	743	12:23:24
10	5	100,98	746	12:26:55
11	5	93,293	729	12:09:54
12	5	98,636	742	12:22:04
13	5	99,162	743	12:23:02
14	5	103,313	750	12:30:21
15	4	92,4	729	12:09:47
16	5	97,564	740	12:20:15
17	5	101,354	747	12:27:22
18	4	86,458	717	11:57:28
19	5	97,803	740	12:20:32
20	4	89,289	721	12:01:49
M nimo		86 458	717	
M ximo		1 4 41	753	

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos por PAE en 20 corridas independientes. Teniendo en cuenta las restricciones de tiempo de cada turno (tres horas por turno, no mas de dos turnos por día) y la cantidad de locaciones contempladas (en este caso 110). Se puede observar que en cada corrida la cantidad de turnos planificados es de 4 o 5. El tiempo total planificado en cada una de las corridas para realizar las visitas a las 110 locaciones se encuentra entre 12 horas y 12:30

horas. El mínimo tiempo para una planificación se encontró en la corrida 18 donde se visitan las 110 en 717 minutos (11 horas, 57 minutos y 28 segundos) y se recorren 86,458 Km. El máximo tiempo planificado se encontró en la primera corrida donde se visitan las 110 locaciones en 753 minutos (12 horas, 33 minutos y 44 segundos) y se recorren 104,041 Km.

Tabla 3 – Comparación Empresa Petrolera y PAE

Planificación Empresa Petrolera				Planificación con PAE			
a	Turno	Pozos	Tiempo	a	Turno	Pozos	Tiempo
1	1	18	181,50	1	1	27	180,48
	2	16	176,23		2	2	27
2	3	18	184,20	2	3	29	184,52
	4	20	182,20		4	27	170,70
3	5	19	181,90			11	717 11
	6	19	198,60				11:57:28
		11	11 4 63				
			18:24:38				

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 obtiene una planificación de los turnos que supera en un 50% o más a los turnos planificados por la empresa, es decir que mientras la planificación de la empresa visita 17 pozos PAE planifica la visita de 25. Por lo tanto, se utilizan menos turnos para visitar la misma cantidad de locaciones. También se puede ver que mientras la empresa planifica 3 días para visitar las 110 locaciones (6 turnos), PAE planifica las mismas locaciones en 2 días (4/5 turnos).

En general, mientras que la planificación original demanda un tiempo total de 18 horas 24 minutos, la mejor planificación provista por PAE demanda 11 horas 57 minutos, logrando un ahorro de 6 horas 27 minutos, algo más de 2 turnos sobre un total de 6.

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 11 minutos.

6 CONCLUSIONES

PAE es una aplicación construida en JAVA con el objetivo de proveer una herramienta eficaz que facilite la planificación y replanificación 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 hasta una tercera parte del tiempo total, 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 puede por lo tanto realizar más cantidades de visitas mensuales en las locaciones. 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 otra 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, en la ejecución de un plan de mantenimiento suelen ocurrir ciertas contingencias que impiden la ejecución planificada, como por ejemplo encontrarse con problemas en la intervención de un pozo. En estos casos, u otras situaciones similares el plan no puede seguir ejecutándose, por ello es necesario la replanificación del proceso de mantenimiento, es decir una nueva planificación. PAE puede re-planificar el resto de las locaciones como si fuera un problema distinto en lugar de continuar con la planificación original, que suele ser ineficiente bajo estas nuevas condiciones.

Trabajos futuros incluirán procesos más precisos de la verificación de datos, manejo de restricciones, y planificaciones basadas en múltiples equipos de mantenimiento.

REFERENCIAS

- [1] De San Pedro M.E., Pandolfi D., Villagra A., Vilanova G., Gallard R.; Stud and immigrants in multirecombined evolutionary algorithm to face weighted tardiness scheduling problems; *CACIC'01 VII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, El Calafate, Argentina, octubre, 2001, pp. 1251-1258.
- [2] De San Pedro M.E., Villagra A., Lasso M., Pandolfi D., Diaz Vivar M., Gallard R.; Solutions for the Weighted Number of Tardy Jobs in Single Machine Environments via Evolutionary Algorithms, *CSITeA 3 International Conference on Computer Science, Software Engineering Information Technology, E-Business and Applications*, Rio de Janeiro, June 2003, Brazil, pp. 438-443.
- [3] De San Pedro M.E., Lasso M., Villagra A., Pandolfi D., Gallard R.; Solutions to the Dynamic Average Tardiness Problem in the Single machine Environments; *CACIC 3 I Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, La Plata, Argentina, octubre, 2003, pp. 1251-1258.
- [4] Eiben A.E. y Bäck Th. An Empirical Investigation of Multi-Parent Recombination Operators in Evolution Strategies. *Evolutionary Computation*, 5(3):347-365, 1997.
- [5] Eiben A.E., Rau P.E. y Ruttkay Z., Genetic algorithms with multi-parent recombination. *Proc. 3rd Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, Springer-Verlag, 1994, number 866 in LNCS, pp. 78-87.

- [6] 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, 1995, number 929 in LNAI, pages 934-945.
- [7] Esquivel S., Leiva A., Gallard R. Multiple Crossover per Couple in Genetic Algorithms. *Proc. Fourth IEEE Conference on Evolutionary Computation (ICEC'97)*, Indianapolis, USA, April 1997, pp 103-106.
- [8] 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)*, La Laguna, Tenerife, Spain, February 1998, pp 235-241.
- [9] Esquivel S., Leiva H., Gallard R. Multiple Crossovers between Multiple Parents to Improve Search in Evolutionary Algorithms. *Proc. Congress on Evolutionary Computation (IEEE)*. Washington DC, 1999, pp 1589-1594.
- [10] Fogel D. *Evolutionary Computation: Towards a New Philosophy of Machine Intelligence*. IEEE Press, Piscataway, NJ, 1996.
- [11] Fogel L.J., Owens A.J., y Walsh M.J. *Artificial intelligence through simulated evolution*. Wiley, 1966.
- [12] Goldberg. D. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison Wesley, Reading, MA, 1989.
- [13] 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.
- [14] Holland. J.H. *Adaptation in natural and artificial system*. University of Michigan Press, 1975. New York, 1995.
- [15] Koza J.R. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. MIT Press, 1992.
- [16] Lasso M., Pandolfi D., De San Pedro M.E., Villagra A., Gallard R.; Heuristics to Solve Dynamic W-T problems in Single Machine Environments; *CSITeA 3 International Conference on Computer Science, Software Engineering Information Technology, E-Business and Applications*, Rio de Janeiro, June 2003, Brazil, pp. 432-437
- [17] Pandolfi D., Vilanova G., De San Pedro M.E, Villagra A.; Gallard R.; Adaptability of multirecombined evolutionary algorithms in the single-machine common due date problem; *Proceedings of the World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, Vol. III Emergent Computing and Virtual Engineering, pp. 401-404, Orlando, Florida July 2001.
- [18] 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 ournal*, (U.K.), pp 391-400, June 2002.
- [19] Pandolfi D., Vilanova G., De San Pedro M.E, Villagra A.; Gallard R.; Solving the single-machine common due date problem via studs and immigrants in evolutionary algorithms; *Proceedings of the World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, Vol. III

Emergent Computing and Virtual Engineering, pp. 409-413, Orlando, Florida July 2001.

- [20] Pandolfi D., Lasso M., De San Pedro M.E., Villagra A., Gallard R.; Evolutionary Algorithms to solve average tardiness problems in the single machine environments; *CSITeA 3 International Conference on Computer Science, Software Engineering Information Technology, E-Business and Applications*, Rio de Janeiro, June 2003, Brazil, pp. 444-449.
- [21] Pinedo M., *Scheduling: Theory, Algorithms and System*, First edition Prentice Hall, 1995.
- [22] 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.
- [23] Schwefel H.P. *Evolution and Optimum Seeking*. Wiley, New York, 1995.
- [24] Shaw M.y Garlan D. *Software Architecture: Perspectives on an emerging discipline*. Upper Saddle River, Prentice Hall, 1996.