

## **ALGORITMO EVOLUTIVO PARA LA PLANIFICACIÓN DINÁMICA DEL MANTENIMIENTO DE LOCACIONES PETROLERAS**

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

LabTEm - Unidad Académica Caleta Olivia  
Universidad Nacional de la Patagonia Austral  
Caleta Olivia (9011) – Santa Cruz - Argentina

{avillagra, cmontenegro, edesanpedro, mlasso, jrasjido, dpandolfi}@uaco.unpa.edu.ar

### **RESUMEN**

En este artículo se describe en forma breve una de las direcciones de investigación que en la actualidad se están desarrollando dentro de la línea de investigación “Metaheurísticas” del Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEm). El objetivo principal de esta línea es la continuación y profundización del estudio de las MHs en general y las técnicas evolutivas en particular, tema sobre el cual el grupo de investigación ha adquirido en los últimos años una importante experiencia. Actualmente se está trabajando sobre una aplicación denominada PAE encargada de realizar la planificación y replanificación dinámica del mantenimiento preventivo de locaciones petroleras, incorporando restricciones en las visitas de mantenimiento, múltiples equipos de mantenimiento y aprendizaje de contingencias en el mantenimiento.

### **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 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. Existen una gran variedad de AEs, dentro de ellos se incluyen los Algoritmos Genéticos (Goldberg, 1989 y Holland, 1995) que son los utilizados en este problema. Tendencias actuales en AEs hacen uso de enfoques con multirecombinación (Eiben y Bäck, 1997; Eiben et al., 1994 y Eiben et al., 1995) y múltiples padres (Esquivel et al., 1997; Esquivel et al., 1998 y Esquivel et al., 1999). 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*)(Pandolfi et al., 2002).

En este contexto, este trabajo describe en la sección 2 el problema objetivo de la aplicación PAE, en la sección 3 la formulación del problema de planificación, en la sección 4 el algoritmo propuesto y finalmente en la sección 5 se presentan los trabajos futuros.

## 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 éste 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. 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 equipo 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, lo cual afecta a la programación total, el encargado del equipo de mantenimiento redefine el nuevo itinerario que es realizado por un criterio basado en su experiencia.

## 3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE PLANIFICACIÓN

El problema se puede definir como (Pinedo, 1995):

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

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).

#### 4. ALGORITMO PROPUESTO

Para resolver el problema de planificación del recorrido de las locaciones petroleras se utilizó un algoritmo genético, donde el cromosoma representa el orden en que serán visitadas las locaciones en la planificación. Se implementó un proceso de múltiple recombinación y múltiples padres donde los nuevos individuos se generan a partir de 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 (Pandolfi et al., 2002). Este método fue aplicado en diferentes problemas de planificación de máquina única para casos estáticos y casos dinámicos y los resultados obtenidos fueron satisfactorios.

El proceso de MCMP-SRI, es el siguiente: de la población de individuos denominados sementales, se selecciona un individuo (*stud*), a través de selección proporcional. Se genera un pool de apareamiento con  $n_2$  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 generan  $2 \cdot n_2$  descendientes. El mejor de los  $2 \cdot n_2$  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*): (Goldberg y Lingle, 1987) 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 el Algoritmo 1 se puede observar la estructura del algoritmo evolutivo utilizado para este problema de planificación de visitas de mantenimiento a las locaciones petroleras.

Algoritmo 1 - Algoritmo Evolutivo **MCMP-SRI**

```
EA-MCMP-SRI  
t=0; {Generación Inicial}  
inicializar (Stud(t));  
evaluar (Stud(t));  
while (not max_evaluaciones) do  
    pool_apareamiento = Inmigrantes_generados_aleatoriamente  $\cup$  Select (Stud(t));  
    while (not max_padres) do  
        while (not max_recombinaciones) do  
            evaluar (pool_apareamiento);  
        end while  
    end while  
    evaluar (mating_pool);  
    Stud(t+1) = seleccionar la nueva población del pool de apareamiento.  
    t = t+1;  
end while
```

Este algoritmo evolutivo al ser estocástico (no determinístico) produce múltiples soluciones en diferentes corridas independientes con lo cual, en caso de no poder realizar una planificación por cuestiones operativas, se puede seleccionar una solución alternativa (plan de mantenimiento) que si bien puede no ser tan buena como la anterior es factible de ejecutarse.

En cuanto a la replanificación se analizaron tres acciones para replanificar las locaciones restantes a partir de una interrupción en la planificación original:

- 1- Las locaciones no visitadas en el turno interrumpido, se replanifican al final de la planificación original.
- 2- Se replanifican los turnos en el orden de la secuencia restante.
- 3- A partir de la locación interrumpida, se utiliza el algoritmo de planificación para generar una nueva planificación con las locaciones restantes.

De las acciones aplicadas para la replanificación, la última acción (la número 3) es con la cual se obtuvieron mejores resultados.

## 5. DISCUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

Actualmente se han finalizado las etapas de: generación del plan de mantenimiento en locaciones petroleras y el proceso de replanificación frente a la ocurrencia de contingencias en la planificación original (Villagra et al., 2007(a), Villagra et al., 2007(b), Villagra et al., 2006). Se esta comenzando a trabajar en la incorporación de las siguientes características:

- Restricciones en las visitas: existen locaciones que deben visitarse más de una vez por período con el fin de asegurar su correcto mantenimiento. Este tipo de restricción se puede aplicar tanto a la fase de planificación como así también a la fase de replanificación. Por esta razón PAE debe incorporar estas restricciones.
- Múltiples equipos: es posible que de la base petrolera pueda salir mas 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 maquinas idénticas en paralelo (Pinedo,1995) donde existen  $m$  máquinas idénticas en paralelo y  $n$  jobs. Cada job  $j$  requiere una única operación y puede procesarse en cualquier 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.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos 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

- Eiben A.E. y Bäck Th. “An Empirical Investigation of Multi-Parent Recombination Operators in Evolution Strategies”, *Evolutionary Computation*, 5(3):347-365, (1997).
- 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).
- 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).

- 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).
- 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).
- Esquivel S., Leiva H., Gallard R. "Multiple Crossovers between Multiple Parents to Improve Search in Evolutionary Algorithms". Proc. Congress on Evolutionary Computation (IEEE), pp 1589-1594, Washington DC, (1999).
- 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).
- Holland. J.H. "Adaptation in natural and artificial system". University of Michigan Press, 1975. New York, (1995).
- 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, (U.K.), pp 391-400, (2002).
- Pinedo M., "Scheduling: Theory, Algorithms and System", First edition Prentice Hall, (1995).
- 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 Julio 2007 (a), (Paper aceptado).
- 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, Centro de Información Tecnológica (CIT) Asunción, Paraguay. Julio 2007(b), (Paper aceptado).
- 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; Octubre 2006.