

SISTEMA DE AYUDA A LA DECISIÓN (SAD) PARA LA PLANIFICACIÓN DE RUTAS EN LA CAMPAÑA DE MAÍZ FORRAJERO

Noelia Cascudo

Carlos Amiama

Javier Bueno

Universidad de Santiago de Compostela

Abstract

The harvest season of silage corn is characterized by the need to harvest a large number of fields in a short period of time. So it's necessary to optimize the available resources to get the best performance.

A route optimization of the self-propelled harvesters not only reduce costs associated with the performed distance, also increases the availability of the machine for harvest other fields. But the harvest planning involves planning the route and search the optimal trucks number. All this in order to minimize system costs, according a range of constraints (related to harvest time, available working time, ..).

In this paper we analyze the results obtained by using metaheuristics algorithms, for optimizing the harvest process, by comparison of the results obtained with the actual situation and evaluating, economic and time savings obtained.

Keywords: Routes management; Self-propelled harvester; logistics

Resumen

La campaña de recogida de maíz forrajero se caracteriza por la necesidad de cosechar un gran número de fincas en un corto periodo de tiempo, lo que hace necesario optimizar los recursos disponibles para obtener el mayor rendimiento.

Una optimización de la ruta a seguir por las cosechadoras supondrá, no solo reducir costes asociados a desplazamientos, sino incrementar la disponibilidad de la máquina para la cosecha de otras fincas. Pero la planificación de la cosecha no pasa solo por optimizar la ruta a seguir por las cosechadoras, sino que ha de conjugarse con un dimensionamiento adecuado de la flota de vehículos de transporte. Todo ello con el objetivo de minimizar los costes globales del sistema, cumpliendo una serie de restricciones (relativas a momento de cosecha, jornada laboral,...).

En este trabajo se analizarán los resultados obtenidos mediante la utilización de algoritmos metaheurísticos, en la optimización del proceso de cosechado, comparando los resultados obtenidos con la situación real y evaluando, en términos económicos y de tiempo los ahorros obtenidos.

Palabras clave: Gestión rutas; cosechadoras forraje; logística

1. Introducción

En la actualidad la reducción de los márgenes de beneficio, unido al creciente peso de las consideraciones medioambientales, hace que la planificación estratégica de los sistemas de producción adquiera mayor importancia (Rotz, 2004).

La cooperativa Irmandiños S.C.G, situada en Ribadeo (Lugo-España), cuenta con una flota de 5 cosechadoras autopropulsadas de forraje. Cosechan más de 5000 hectáreas de superficie, repartidas en más de 3000 parcelas por las provincias de Lugo, A Coruña y algunos municipios de la zona occidental del Principado de Asturias. Estudios previos (Escariz y Bueno, 2007) han determinado que, aproximadamente, un 24 % de la actividad de las cosechadoras se invierte en desplazamientos entre fincas de socios y en mantenimiento de máquinas (incluidas reparaciones). La planificación de la cosecha la realizan los técnicos de la cooperativa sin asistencia de ninguna herramienta de ayuda a la decisión. La utilización de herramientas de ayuda a la decisión (SAD) para la planificación de las operaciones de recolección de maíz (Foulds and Zhao, 2007) ha demostrado mejoras en la gestión de los parques de maquinaria.

En los últimos años hubo grandes avances en el desarrollo de procedimientos heurísticos para resolver problemas combinatorios. En el ámbito agrario han sido numerosos los autores que han estudiado los problemas logísticos de recogida de leche (Caramia and Guerriero, 2010; Dooley et al., 2005), recogida de ganado para sacrificio (Oppen and Lokketangen, 2008); transporte de algodón (Ravula et al., 2008), etc.

El auge de las técnicas heurísticas se debe, sin duda, a la necesidad de disponer de herramientas útiles, que permitan ofrecer soluciones rápidas a problemas reales. Es importante destacar que los algoritmos heurísticos por si solos no garantizan el buen comportamiento de la solución obtenida, pero si tratan de hallar una solución próxima a la óptima en un tiempo razonable.

En este trabajo se ha evaluado una aplicación basada en algoritmos heurísticos genéticos para la gestión de rutas de cosechadoras de forraje. Se persigue minimizar los tiempos invertidos por las cosechadoras en los desplazamientos, optimizando la ruta recorrida entre las distintas parcelas. El impacto sobre los resultados del número de parcelas consideradas ha sido analizado.

2. Objetivos

Proporcionar una aplicación para la planificación de rutas de las cosechadoras de forraje, que minimice tiempos de desplazamiento de las cosechadoras, optimizando la ruta recorrida entre las distintas parcelas

3. Metodología

3.1 Datos utilizados y área geográfica de estudio

Para este trabajo se han utilizado los datos capturados durante tres semanas, en los meses de septiembre y octubre de 2009, por un sistema telemétrico (Amiama *et al.*, 2008) instalado en una cosechadora autopropulsada de forraje. En la tabla 1 se muestra la distribución semanal de parcelas cosechadas.

Tabla 1. Número de granjeros y parcelas cosechadas por semana

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Total
Granjeros	5	7	9	21
Parcelas	38	45	45	128

Ha sido necesaria la construcción de una base cartográfica digital, con la información sobre la red viaria, la posición de las parcelas de los socios y su superficie.

Paralelamente se ha recopilado la siguiente información en la cooperativa, necesario para el funcionamiento de la aplicación de ayuda a la decisión:

- Fecha solicitada por cada socio para cosechar sus fincas.
- Matriz de propiedad de fincas.
- Tiempo invertido por la cosechadora en cultivar cada una de las fincas
- Número de tolvas recogidas por parcelas

3.2 Descripción de la aplicación

En trabajos previos (Amiama et al., 2010) se ha observado como la utilización de algoritmos tabú, basados en métodos de trayectoria, daba peores resultados que los obtenidos con algoritmos genéticos, basados en poblaciones.

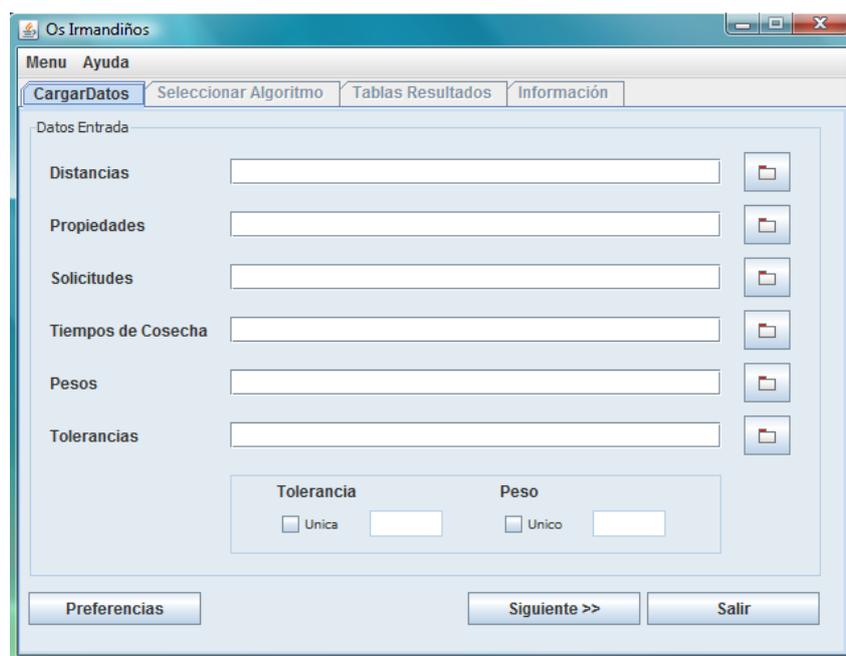
Si bien, en los primeros ensayos con algoritmos genéticos se observaba que los resultados empeoraban a medida que aumentaba el número de datos.

Consecuentemente y fruto de la colaboración entre el Departamento de Ingeniería Agroforestal y el grupo de investigación operativa y teoría de juegos del Departamento de Estadística e Investigación Operativa, ambos pertenecientes a la Universidad de Santiago, se ha decidido desarrollar una herramienta basada en algoritmos genéticos (Holland, 1992) y a partir de la versión inicial del algoritmo (NT) se realizaron una serie de modificaciones que derivaron en dos nuevas versiones:

PG.- Algoritmo con población inicial mejorada. La población inicial se genera aleatoriamente, teniendo en cuenta las peticiones de los clientes, recolocando las parcelas de cada granjero atendiendo a criterios de mínima distancia. Una vez recolocadas las de un socio recoloca las parcelas del siguiente atendiendo al mismo criterio.

CG.- Algoritmo con cruzamientos guiados. Una vez realizado el cruzamiento, a partir del punto de cruce, se reordenan las parcelas siguiendo el criterio de mínima distancia.

Figura 1. Interface de la aplicación de Gestión de Rutas



Las tres versiones presentan la misma interface. Como operación previa se deben establecer los horarios de trabajo de la máquina, así como los intervalos y las unidades de tiempo.

Por último se definen el número de iteraciones, el tamaño de la población inicial y el parámetro de mutación.

La población inicial representa el conjunto de posibles soluciones del problema, se suele estimar como múltiplo de 4 tomando valores por encima de 30 y el parámetro mutación incrementa la variabilidad de las soluciones iniciales permitiendo explorar nuevas zonas del espacio de soluciones.

Una vez hecho el cálculo el programa proporciona una salida, como la de la figura 2, en la que se puede observar la secuencia de parcelas supuestamente más óptima, día y hora de inicio de cada parcela, así como la distancia necesaria para realizar la ruta.

Figura 2. Pantalla “Tabla de resultados”

The screenshot shows a software window titled "Os Irmandiños" with a menu bar and tabs. The "Tablas Resultados" tab is active, displaying a table of parcel data and a calendar for September 2009. Below the table are input fields for route parameters and a "Ver" button. At the bottom are buttons for "Nueva Consulta", "Anterior", "Guardar", and "Salir".

IdParcela	IdSocio	Fecha Ini...	Hora Inicio	Fecha Sol...	Tolerancia
4263	1	18/9/2009	09:00:00	18/9/2009	<input checked="" type="checkbox"/>
4264	1	18/9/2009	10:32:00	18/9/2009	<input checked="" type="checkbox"/>
4267	1	18/9/2009	11:28:00	18/9/2009	<input checked="" type="checkbox"/>
4266	1	18/9/2009	13:36:00	18/9/2009	<input checked="" type="checkbox"/>
4123	2	18/9/2009	20:20:00	19/9/2009	<input checked="" type="checkbox"/>
4122	2	18/9/2009	20:53:00	19/9/2009	<input checked="" type="checkbox"/>
4121	2	19/9/2009	09:41:00	19/9/2009	<input checked="" type="checkbox"/>
4120	2	19/9/2009	11:02:00	19/9/2009	<input checked="" type="checkbox"/>
4116	2	19/9/2009	11:28:00	19/9/2009	<input checked="" type="checkbox"/>

Calendar: Septiembre 2009. The 18th is highlighted in blue.

Valor Ruta: 2972.0 Tiempo Alg: 750878 ms
Ud. tiempo: 115.0 Dist. (km): 38.333
Fecha Inicio: 18/9/2009
Fecha Fin: 22/9/2009
Tolerancia: 0.0 Ver

Buttons: Nueva Consulta, Anterior, Guardar, Salir

3.3 Procedimiento para evaluación de la aplicación

En primer lugar se determinarán los valores óptimos de los parámetros necesarios para el funcionamiento de la aplicación: iteraciones, población inicial y mutación. Se buscarán combinaciones que proporcionen buenas soluciones en periodos de tiempo razonables.

Para estudiar el valor óptimo se utilizan los datos de cosecha de una semana escogida al azar y se confeccionan unas rutas ficticias, formadas por secuencias lineales de parcelas en las que se pueda apreciar a simple vista la ruta más corta, y así poder detectar cualquier fallo en el algoritmo, como ir a una finca del final sin antes hacer las fincas previas, etc.

Una vez configurada la aplicación se evaluarán cada una de las soluciones comparando los resultados con la ruta real de la cosechadora. Para analizar el impacto del número de parcelas en la calidad de las soluciones se han considerado los datos en su conjunto y segmentados en semanas y quincenas.

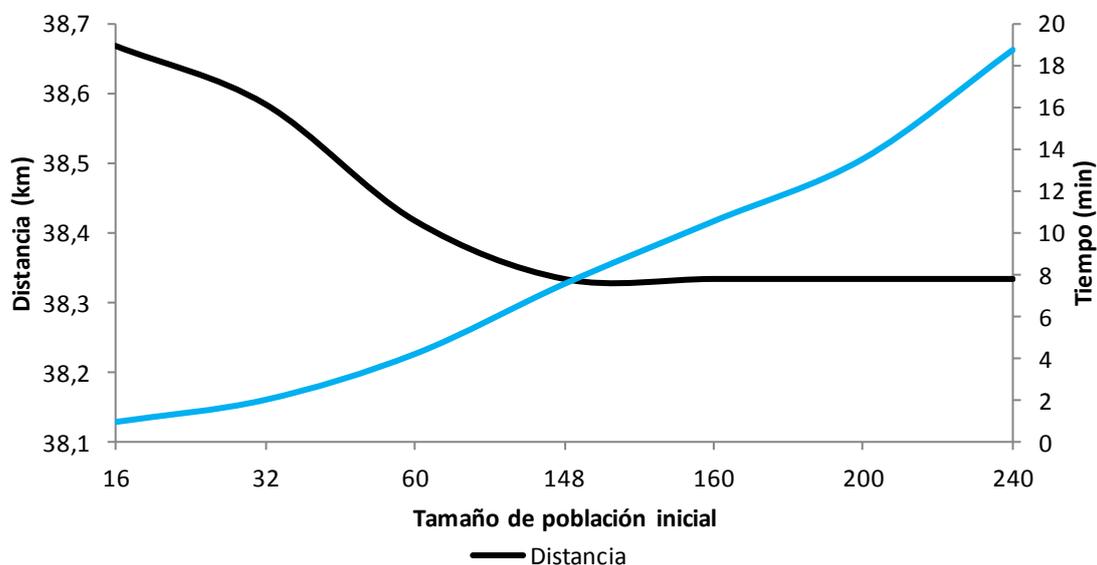
4. Resultados

4.1 Determinación de los valores óptimos de iteraciones, población inicial y % de mutación

Para la determinación de los valores a utilizar de los parámetros iteraciones, mutación y población inicial se han realizado varias simulaciones modificando los valores en rangos lógicos.

Prins (2004) propuso una configuración de estos parámetros que proporcionaban valores razonables cuando se aplicaba el algoritmo a los problemas de gestión de rutas. En este trabajo se han afinado los criterios de búsqueda. Para ello se ha analizado, para un semana de actividad, que configuración proporcionaba mejores resultados en relación al tiempo necesario para obtener la solución. En la figura 3 se muestra un ejemplo del análisis realizado.

Figura 3. Influencia del tamaño de la población inicial en la longitud de la ruta y en el tiempo requerido para obtener una solución.



Los valores que han proporcionado mejores resultados en nuestros ensayos han sido 10,000 iteraciones, un tamaño de población inicial de 148 soluciones y un % de mutación del 10 %.

4.2 Evaluación de la aplicación

Como se ha expuesto anteriormente, y con el objetivo de analizar el impacto que tiene el número de datos en el comportamiento de los algoritmos utilizados, se estudiaron los resultados obtenidos con las 3 versiones del genético para cada una de las semanas consideradas, dos semanas fusionadas y con las tres semanas fusionadas, obteniéndose resultados como los mostrados a continuación:

Figura 4. Resultados semana 1

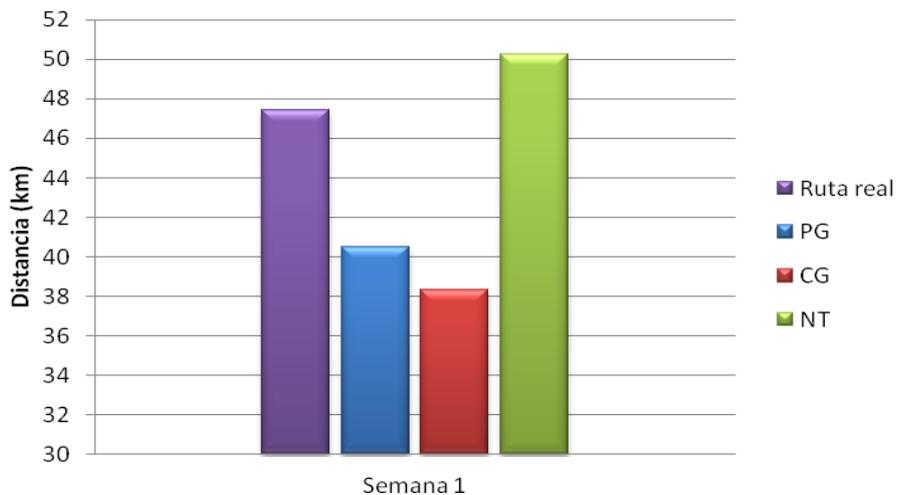


Figura 5. Resultados semana 2

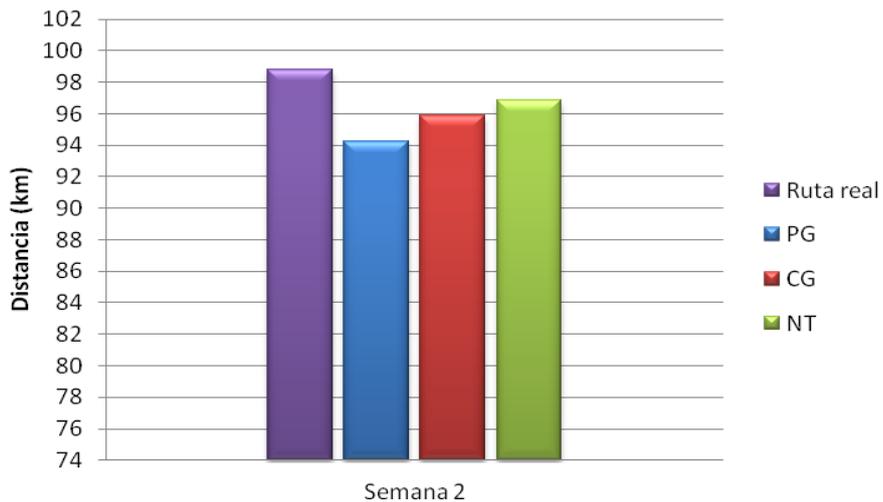
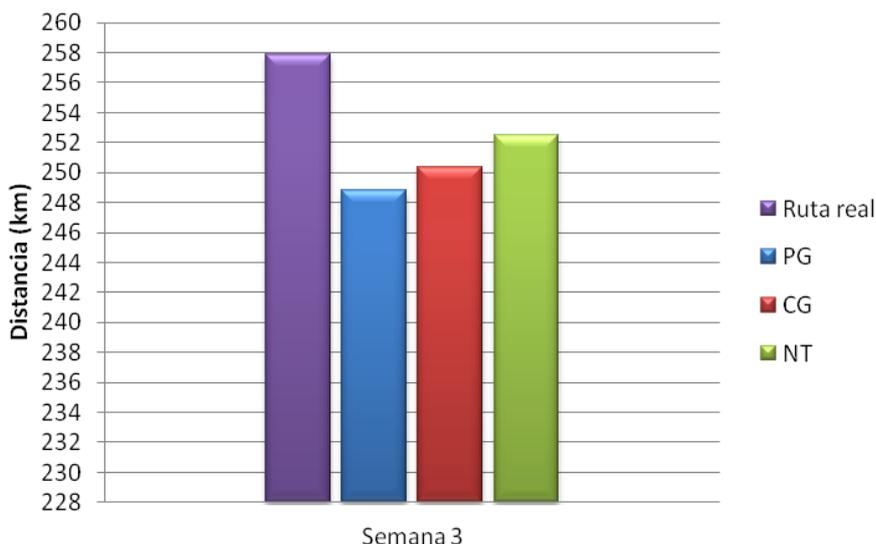


Figura 6. Resultados agrupación semana 1 y semana 2



A la vista de los resultados reflejados en las figuras 4, 5 y 6 se puede concluir que la versión NT es la que proporciona peores resultados, llegando a superar la distancia obtenida con este algoritmo a la distancia real recorrida por la cosechadora.

Viendo el comportamiento de la versión PG en la figura 4 se observa que este algoritmo con población inicial mejorada proporciona una distancia superior a la versión CG. Sin embargo esta diferencia ya no es tan nítida para el caso de la semana 2 (figura 5) y semana 3. Hay que tener en cuenta que las semanas 2 y 3 constan de 45 parcelas, repartidas entre 7 socios, para el caso de la semana 2 y entre 9 socios para el caso de la semana 3. Este número de fincas sobrepasa en 10 las de la semana 1, que tiene 35, y que estaban más próximas entre sí. Esto parece indicar que la versión PG, sin que sea la mejor, si mejora resultados, o por lo menos se aproxima a las mejores versiones cuando hay un número de datos elevado y las fincas están más distantes en el espacio.

Pasando a analizar los resultados de grupos de semanas se observa en la figura 6 que es la versión PG la que se comporta de manera más satisfactoria, afirmación que se corrobora en la agrupación de tres semanas.

Para analizar en más detalle este comportamiento, y evaluar el impacto que tiene sobre los resultados el número de parcelas a cosechar, en la tabla 2 se muestran los valores obtenidos con cada uno de los algoritmos considerados (los signos negativos significan ahorros).

Tabla 2. Distancias y ahorros obtenidos con los distintos algoritmos

	Ruta real		PG		CG		NT	
	Distancia	Distancia	% reducción	Distancia	% reducción	Distancia	% reducción	
S1	47,42	40,33	-14,94	38,33	-19,16	47,58	0,35	
S2	98,76	95,00	-3,81	95,67	-3,13	96,83	-1,95	
S3	257,85	250,00	-3,04	250,33	-2,92	252,50	-2,07	
S1_S2	147,58	135,33	-8,30	151,67	2,77	144,08	-2,37	
S2_S3	369,66	367,08	-0,70	372,33	0,72	366,75	-0,79	
S1_S2_S3	418,47	411,00	-1,79	423,00	1,08	417,83	-0,15	

En la tabla 2 se aprecia con mayor nitidez los valores reflejados en las figuras 4, 5 y 6 confirmando que, en el análisis semana a semana, el algoritmo NT proporciona peores resultados que el resto. En relación los algoritmos PG y CG los resultados son similares, proporcionando PG mejores valores las semanas 2 y 3 y siendo mejores los resultados obtenidos con CG la semana 1.

A medida que se incrementa el número de parcelas a cosechar, por la fusión de varias semanas, se observa un cambio de comportamiento, de forma que el algoritmo CG proporciona peores resultados que la solución real, en todos los casos considerados, por lo que se deduce que está muy condicionado por el número de parcelas a procesar.

Consecuentemente los algoritmos que proporcionan mejores resultados son el PG y el CG, si bien este último empeora en mayor medida su comportamiento al incrementarse el número de parcelas.

Hay que destacar que en la planificación de semanas agrupadas, el genético ofrece mayor distancia que cuando se suma la distancia de las semanas que la conforman por separado. Obviamente hay que tener en cuenta que en los grupos de semanas también se cuenta la distancia de unión entre la última parcela y la primera de la semana siguiente. En algunos casos alguna versión ofrece resultados incluso superiores a los de la ruta real, lo que parece indicar que el genético tiene problemas cuando el número de datos es importante.

Destacar como en la unión de las semanas 2 y 3 los ahorros proporcionados por los heurísticos son muy reducidos. Esa tendencia ya se había observado en el análisis semanal, y es derivado de una eficiente planificación de las rutas por los técnicos de la cooperativa.

4.4 Evaluación económica de los ahorros conseguidos

Para el análisis económico de los ahorros conseguidos con la utilización de los algoritmos heurísticos, se considerarán las planificaciones realizadas semana a semana, por ser las que han reportado un mayor ahorro en km recorridos.

Para trasladar los ahorros en tiempos de desplazamiento a unidades monetarias es necesario conocer el coste horario de funcionamiento de la máquina que, para los socios de la cooperativa, es de 250 €/hora⁻¹. Además se ha utilizado para la conversión de distancia a tiempo, una velocidad media de desplazamiento de 20 km.h⁻¹. Para evaluar el ahorro global por campaña se ha supuesto que esta tendencia de las tres semanas analizadas se amplía al total de la campaña (con una duración aproximada de 6 semanas) y que el ahorro obtenido sería similar para las 4 cosechadoras que posee la cooperativa. En la tabla 3 se observan los resultados obtenidos para las tres versiones del genético estudiadas.

Tabla 3. Ahorros obtenidos con cada algoritmo (€)

	PG	CG	NT
Período de estudio	611,88	649,39	182,69
Total campaña	4895,04	5195,12	1461,52

Como puede observarse en la tabla 3 los ahorros obtenidos con los algoritmos PG y CG son similares, pero muy superiores a los obtenidos con el algoritmo NT.

A estos ahorros, habría que sumarles las horas de trabajo de los técnicos para planificar el trabajo de las cosechadoras manualmente. Consecuentemente los algoritmos genéticos son herramientas válidas para la gestión de rutas en parques de cosechadoras autopropulsadas.

5. Conclusiones

- La dispersión en las parcelas a cosechar no parece tener incidencia sobre el comportamiento de los heurísticos analizados.
- En nuestros ensayos, los valores de configuración de los parámetros de entrada que han proporcionado mejores resultados han sido 10,000 iteraciones, un tamaño de población inicial de 148 soluciones y un % de mutación del 10 %.
- Los algoritmos PG y CG han sido los que han ofrecido mejores resultados, en el análisis individual de las semanas. Estos algoritmos consiguen mejorar la solución real en todos los casos considerados.
- Cuando se incrementan el número de parcelas (agrupación de semanas) todos los algoritmos empeoran su comportamiento, si bien este empeoramiento se hace más acusado en el algoritmo CG.
- La utilización de algoritmos genéticos en la planificación de las rutas de las cosechadoras autopropulsadas de forraje se traduce en ahorros significativos de tiempo y dinero para la cooperativa.

6. Agradecimientos

Los autores desean agradecer la colaboración prestada para el desarrollo de este trabajo por el Departamento de Estadística e Investigación Operativa de la Universidad de Santiago de Compostela, así como a la cooperativa agraria "Os Irmandiños" por su colaboración en el proceso de obtención de los datos necesarios.

7. Referencias

- Amiama, C., Bueno, J., Álvarez, C.J., Pereira J.M. (2008). Design and field test of an automatic data acquisition system in a self-propelled forage harvester. *Comput. Electron. Agr.* 61(2):192-200.
- Caramia, M., Guerriero, F. (2010). A milk collection problem with incompatibility constraints. *Interfaces.* 40(2): 130-143.
- Dooley, A.E., Parker, W.J., Blair, H.T. (2005). Modelling of transport costs and logistics for on-farm milk segregation in New Zealand dairying. *Comput. Electron. Agr.* 48(0): 75-91.
- Escariz, A., Bueno, J. (2007). Análisis de la actividad de las cosechadoras autopropulsadas de forraje en la recolección de maíz forrajero. Trabajo fin de máster. Universidad de Santiago de Compostela. Lugo, España.
- Foulds, L.R., Zhao, Z.D. (2007). A decision support system for sustainable maize harvesting operations scheduling. *International Journal of Business Information System.* 4(0): 372-391.
- Holland, J.H., (1992). Genetic Algorithms. *Scientific American.* 267:66-72.
- Oppen, J., Lokketangen, A. (2008). A tabu search approach for the livestock collection problem. *Comput. Oper. Res.* 35: 3213-3229.
- Prins, C., (2004). A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Comput. Oper. Res.* 31: 1985-2002.
- Ravula, P.P., Grisso, R.D., Cundiff, J.S. (2008). Cotton logistics as a model for a biomass transportation system. *Biomass Bioenerg.* 32: 314-325.

Rotz, C.A., (2004). The integrated farm system model: A tool for developing more economically and environmentally sustainable farming systems for the northeast. Presented at the 2004 Northeast Agricultural and Biological Engineering Conference. University Park, Pennsylvania, June 27-30.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Carlos Amiama Ares.
Departamento de Ingeniería Agroforestal
Escuela Politécnica Superior
Universidad de Santiago de Compostela
Campus universitario s/n 27002 Lugo
Phone: +34 982 252 231 Ext. 23627
E-mail : carlos.amiaama@usc.es