

Optimización mediante Cúmulos de Partículas del problema de secuenciación CONWIP

**Carlos Andrés Romano¹, José Manuel Framiñán Torres²,
Rafael Pastor Moreno³**

¹candres@omp.upv.es, Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de
Producción, Universidad Politécnica de Valencia

²jose@esi.us.es, Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas,
Universidad de Sevilla

³rafael.pastor@upc.es, Institut d'Organització i Control Industrial, Universidad
Politécnica de Barcelona

WWW.CEIP.ORG

Índice

- Planteamiento
- La optimización mediante cúmulos de partículas (PSO)
- El problema CONWIP
- Planteamiento del algoritmo PSO desarrollado
- Experiencias computacionales
- Conclusiones y Futuros trabajos

WWW.CEIP.ORG

Introducción

- Desarrollar un algoritmo de optimización basado en cúmulos de partículas (PSO) y aplicarlo a la resolución de un problema combinatorio con restricciones como es el problema CONWIP, el cual, en principio, es bastante malo para este tipo de técnicas de optimización heurística.
- Los resultados aportados muestran que el algoritmo PSO funciona relativamente bien en estos tipos de problemas que tradicionalmente han sido resueltos mediante heurísticas sencillas.

WWW.CCIP.ORG

Los algoritmos PSO

Los algoritmos PSO (Particle Swarm Optimization Algorithms) fueron desarrollados por Kennedy y Eberhart a mediados de los 90* y se pueden entender a partir de la analogía biológica basada en los movimientos de bandadas de aves o bancos de peces.



En este tipo de asociaciones existe un líder que condiciona el desplazamiento de la bandada, además cada individuo se guía basándose en su propia experiencia previa.

*Kennedy, J. y Eberhart, R.C., (1995) Particle Swarm Optimization, IEEE International Conference on Neural Networks, Australia.

WWW.CCIP.ORG

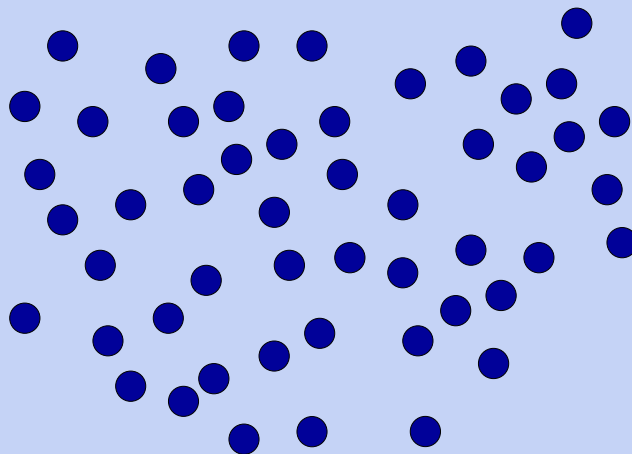
Los algoritmos PSO

- Los principios básicos que gobiernan un algoritmo PSO se basan en un conjunto de agentes (denominados partículas) con las siguientes características:
 - Cada agente o partícula tiene una posición (solución) y una velocidad (patrón de cambio de esa solución).
 - Conoce su posición y el valor de la función objetivo para esa posición.
 - Recuerda su mejor posición previa y su correspondiente valor en términos de la función objetivo.
 - Puede generar un vecindario de cada posición.
 - Conoce la mejor posición previa de sus vecinas.

WWW.CCIP.ORG

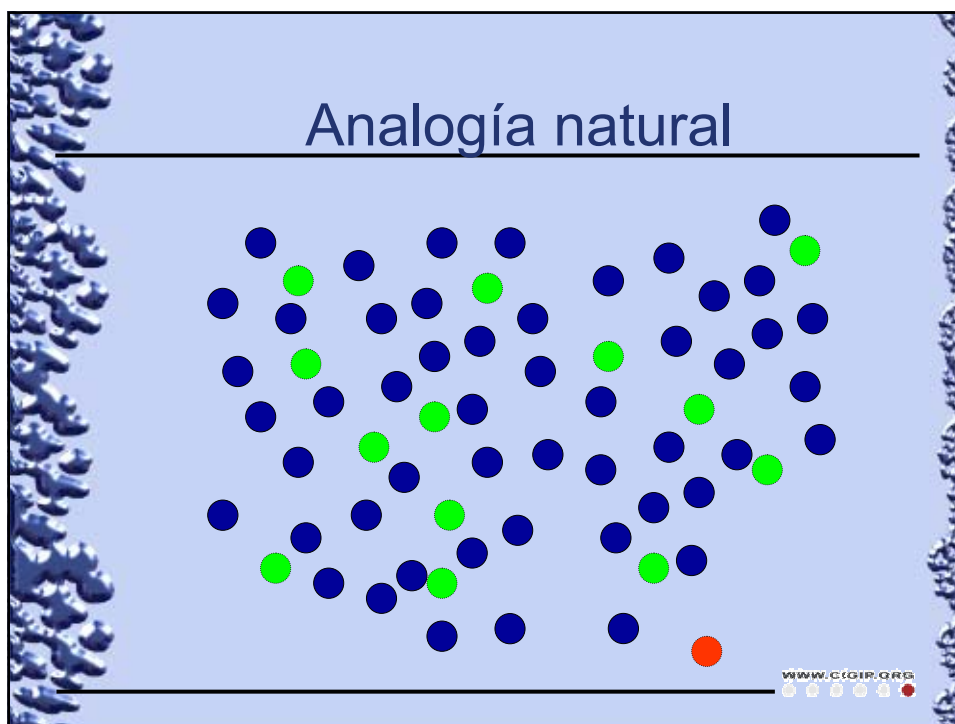
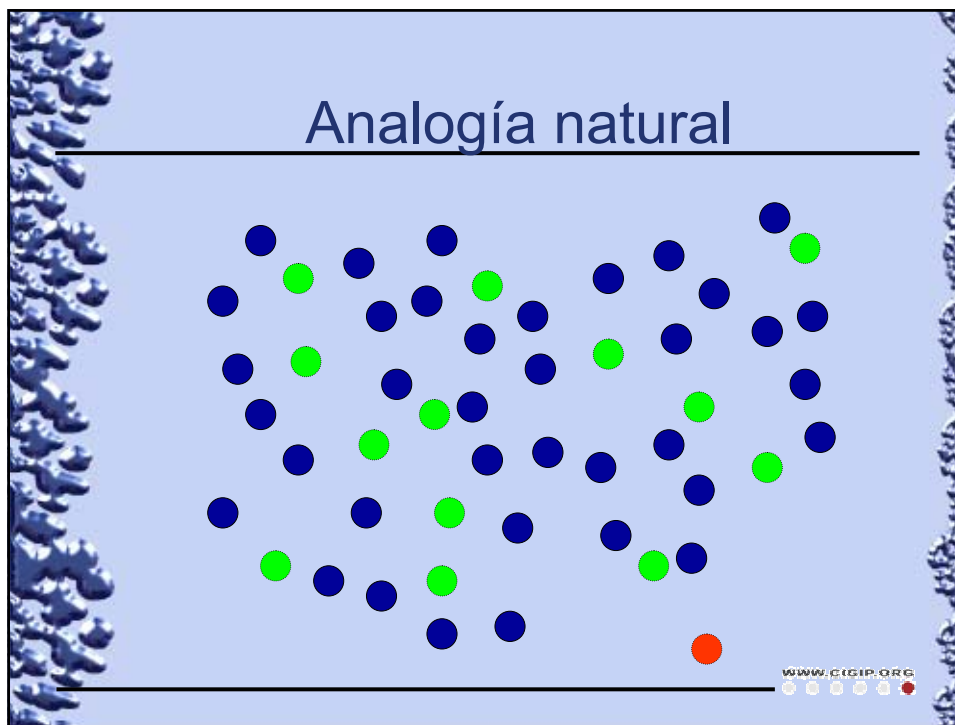


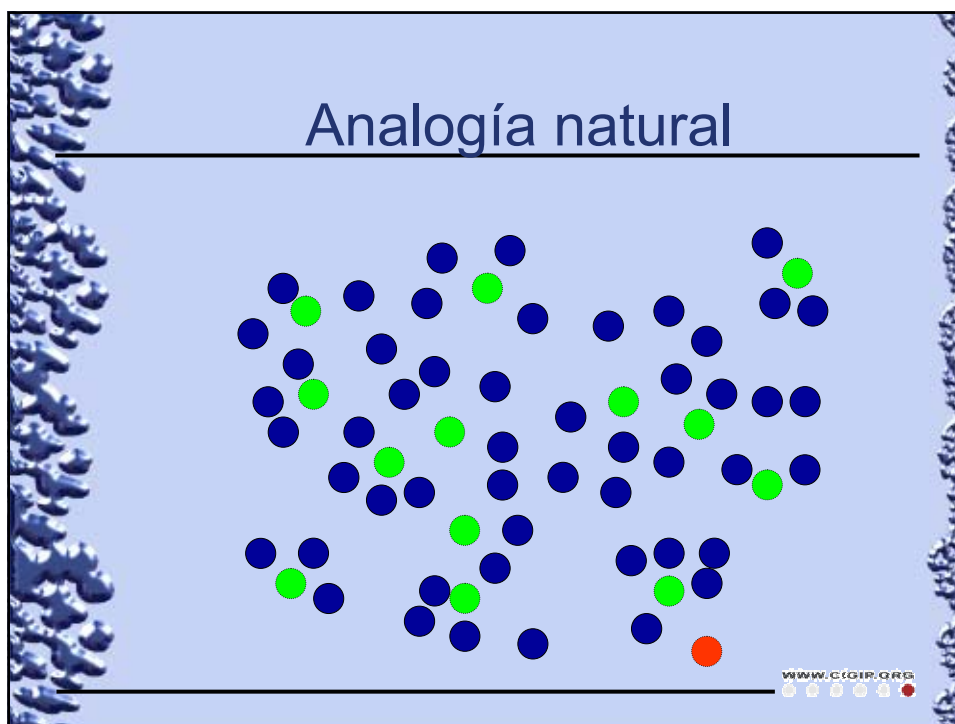
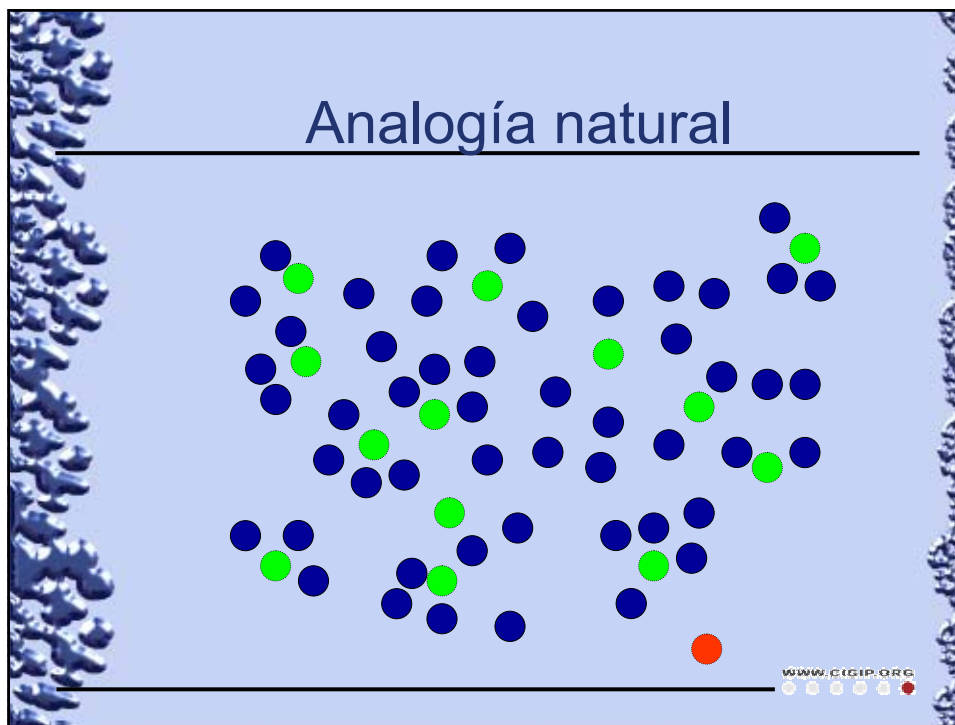
Analogía natural

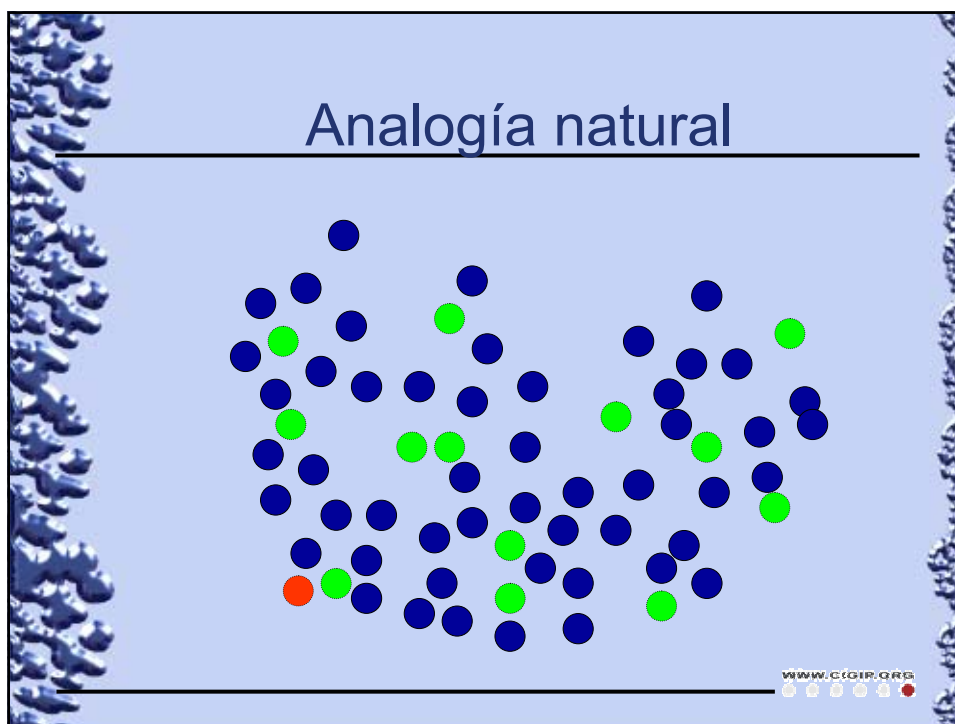
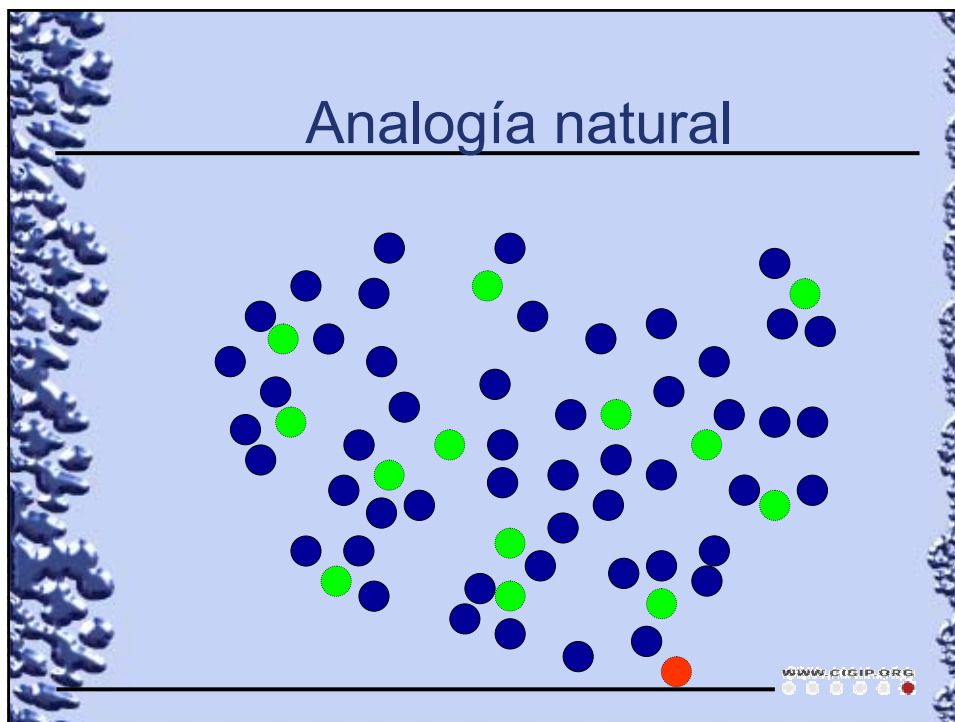


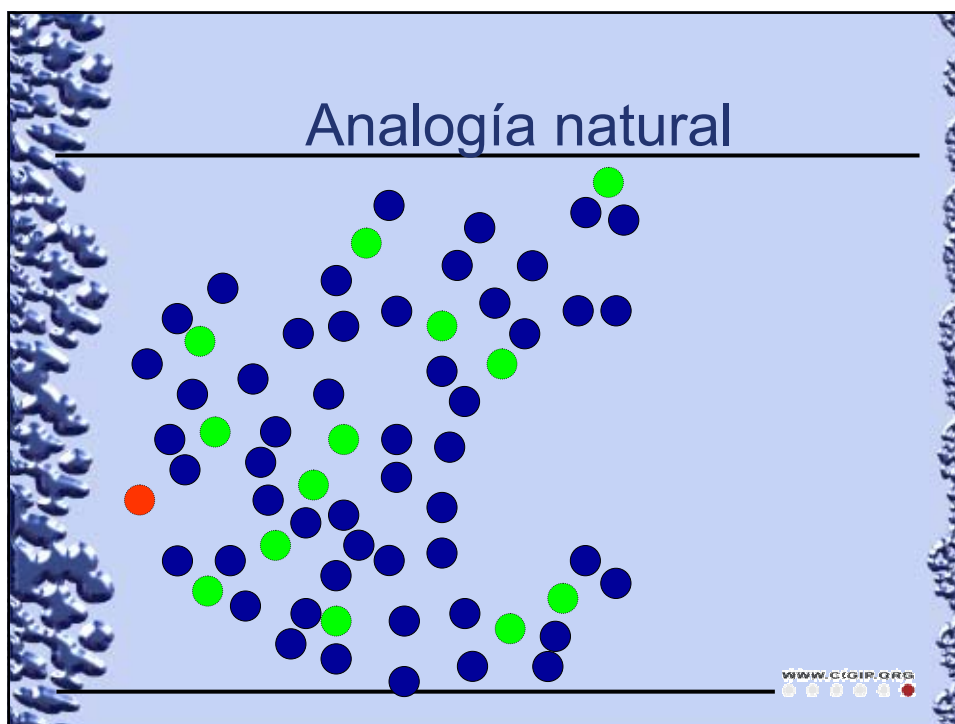
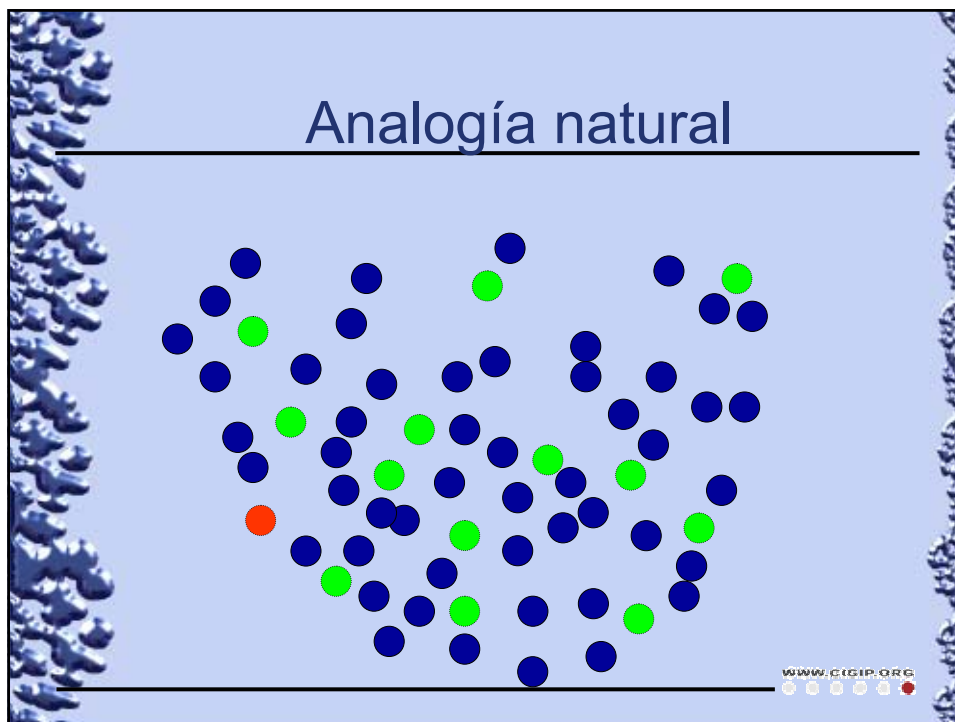
WWW.CCIP.ORG











Los algoritmos PSO

- En cada iteración del algoritmo el comportamiento de una partícula es un compromiso entre tres posibles alternativas:
 - Seguir su propio patrón de exploración.
 - Dirigirse hacia su mejor posición previa.
 - Dirigirse hacia el mejor valor histórico de todas las partículas.

WWW.CCIP.ORG

Los algoritmos PSO

$$X_{t+1} = X_t + v_t$$

$$v_{t+1} = c_1 \cdot v_t \oplus c_2 \cdot (P_{ig,t} - X_t) \oplus c_3 (P_{\forall g,t} - X_t)$$

v_t es la velocidad en la iteración t

X_t es la posición en la iteración t.

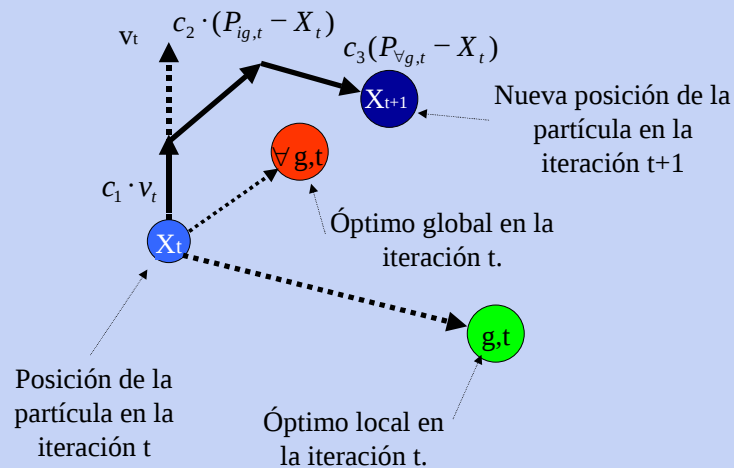
$P_{bg,t}$ es la mejor posición de la partícula g hasta la iteración t.

$P_{\forall g,t}$ es la mejor posición de todo el cúmulo de partículas hasta la iteración t.

c_1, c_2, c_3 son coeficientes de peso de los tres tipos de decisiones.

WWW.CCIP.ORG

Los algoritmos PSO



WWW.CCIP.ORG

El problema CONWIP

- El sistema CONWIP (Constant Work In Process – Inventario en Proceso Constante) es un sistema pull de control de la producción que limita el inventario en proceso*. Así, el número máximo de trabajos en proceso es constante y viene determinado por el número de tarjetas del sistema. Desde el punto de vista de la secuenciación de los trabajos, se trata de ordenar los trabajos teniendo en cuenta la restricción de capacidad, lo que, en general, conduce a soluciones distintas que en entornos sin limitaciones de capacidad.

*Framiñán, J.M., Leisten, R. y Ruiz-Usano, R. (2001). Sequencing CONWIP flowshops: analysis and heuristics. International Journal of Production Research, 39, 18, 4589-4598.

WWW.CCIP.ORG

El problema CONWIP

M1

M2

Prmt-flowshop

$$C_{i,j} = \max\{C_{i-1,j}; C_{i,j-1}\} + p_{[i],j} \quad 1 \leq i \leq n$$

$$C_{0,j} = 0; C_{i,0} = 0 \quad \forall i, j$$

M1

M2

CONWIP-flowshop (NT=2)

$$C_{i,j} = \max\{C_{i-1,j}; C_{i,j-1}\} + p_{[i],j} \quad 1 \leq i \leq NT$$

$$C_{0,j} = 0; C_{i,0} = 0 \quad \forall i, j$$

$$C_{i,1} = \max\{C_{i-1,1}; C_{i-NT,m}\} + p_{[i],1} \quad NT < i \leq n$$

$$C_{i,j} = \max\{C_{i-1,j}; C_{i,j-1}\} + p_{[i],j} \quad \forall j > 1$$

WWW.CCIP.ORG

Planteamiento del algoritmo PSO desarrollado

- Posición de una partícula
- Velocidad de una partícula
- Velocidad originada mediante la sustracción de dos posiciones
- Multiplicación externa de un coeficiente por una velocidad
- Suma de velocidades
- Suma de una velocidad a una posición.

WWW.CCIP.ORG

Posición de una partícula

- La posición de una partícula vendrá definida por la permutación de los trabajos a secuenciar (pmf flowshop)

Velocidad de una partícula

- La velocidad de una partícula debe entenderse en el contexto de los problemas combinatorios, como el conjunto de transformaciones de una partícula que hace que pase de una posición determinada a otra. Esto es, la velocidad es una sucesión de movimientos que generan el entorno de una posición.

WWW.CCIP.ORG

Velocidad de una partícula

- En esta aplicación se ha optado por los movimientos de inserción-intercambio de trabajos en una posición.
- Un movimiento es una pareja de valores donde el primero especifica el trabajo a insertar, mientras el segundo muestra la posición donde se inserta dicho trabajo.
- Sin embargo, a diferencia de los movimientos propuestos en otros trabajos, en este caso, al insertar un trabajo i desde una posición k_2 a una posición k_1 , se produce un intercambio con el trabajo j que ocupaba esa posición k_2 , el cual pasa a ocupar la posición k_2 .

$(1,2,4,3,7,6,8,5) \xrightarrow{(4,6)} (1,2,6,3,7,4,8,5)$

WWW.CCIP.ORG

Velocidad originada mediante la sustracción de dos posiciones

- Se corresponde con la evaluación de los movimientos de inserción necesarios para pasar de la posición X_t a cualquier otra posición.

$$(1,2,4,3,7,6,8,5)-(1,2,6,3,7,4,8,5)=(4,6) \text{ o } (6,2)$$

Multiplicación externa de un coeficiente por una velocidad

Se corresponde con la probabilidad de elegir alguno de los términos que definen una velocidad.

$$v_t=((1,3), (2,2), (4,1), (6,3)) \quad c_1=0.7$$

$$c_1 v_t = ((1,3), (2,2), (6,3))$$

WWW.CCIP.ORG

Suma de velocidades

Corresponde a la aplicación sucesiva de diferentes movimientos de inserción.

Suma de una velocidad a una posición.

La suma de una velocidad a una posición, que aparece en la segunda ecuación del PSO, se corresponde a la aplicación sucesiva de los movimientos de inserción sobre la posición X_t .

Término aleatorio

En la ecuación de velocidad se ha establecido un cuarto término de movimientos aleatorios ponderado por un factor c_4

WWW.CCIP.ORG

Estructura del algoritmo planteado

1. Inicializar las posiciones de forma aleatoria (X_0) y las velocidades igualarlas a 0 ($v_0=0$).
2. Repetir N veces
 1. Evaluar las posiciones y los valores $P_{bg,t}$ y $P_{vg,t}$
 2. Calcular los términos de la ecuación V_t .
 3. Calcular las nuevas posiciones X_t de cada partícula

WWW.CCIP.ORG

Experiencias computacionales

Pentium 2.4 Ghz con 256 Mb de memoria RAM.

Se han elegido las reglas heurísticas de Palmer (1965)*, regla Central de Framiñán et al(2001)** y aleatoria sobre los problemas ta041 a ta050*** (50 trabajos y 10 máquinas).

Se han considerado NT=5,10,20 y 30 tarjetas

Se ha fijado el tiempo de ejecución del algoritmo PSO en 5"

Número de partículas 50

Valores de C1=40, C2=20, C3=20 y C4=20

*Palmer DS. Sequencing jobs through a multi-stage process in the minimum total time--a quick method of obtaining a near optimum. Operational Research Quarterly 1965, 16, 1,101-107.

**Framiñán, J.M., Leisten, R. y Ruiz-Usano, R. (2001). Sequencing CONWIP flowshops: analysis and heuristics. International Journal of Production Research, 39, 18, 4589-4598.

***Taillard É. D., "Benchmarks for basic scheduling problems", European Journal of Operational Research 64, 1993, 278 - 285.

WWW.CCIP.ORG

Experiencias computacionales

Ta041

	5	10	20	30
Central	4019	4004	3710	3710
Palmer	4754	4084	3478	3478
Random	5068	4046	4047	3743
PSO	3715	3621	3418	3476

Ta042

	5	10	20	30
Central	4016	3846	3562	3562
Palmer	4554	4063	3313	3313
Random	5009	4070	3458	3655
PSO	3615	3505	3261	3305

Ta043

	5	10	20	30
Central	4016	3831	3671	3671
Palmer	4381	3932	3321	3321
Random	4904	3933	3706	3669
PSO	3655	3488	3314	3329

WWW.CCIR.ORG

Experiencias computacionales

Ta044

	5	10	20	30
Central	9,8%	7,5%	11,5%	10,0%
Palmer	25,0%	13,2%	2,2%	0,9%
Random	36,4%	17,3%	13,0%	10,1%
PSO	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Ta045

	5	10	20	30
Central	10,8%	6,6%	10,2%	10,7%
Palmer	27,7%	12,7%	0,0%	0,4%
Random	35,7%	18,5%	8,8%	11,3%
PSO	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%

Ta046

	5	10	20	30
Central	8,2%	6,2%	12,8%	12,8%
Palmer	19,7%	9,2%	0,0%	0,0%
Random	31,3%	12,3%	17,7%	16,5%
PSO	0,0%	0,0%	3,9%	2,0%

WWW.CCIR.ORG

Experiencias computacionales

- En el 77,5% de las veces el algoritmo PSO obtuvo la mejor solución, frente al 22,5% obtenido por la regla de Palmer
- El 50 % de las veces la regla Central fue la 2ª mejor regla, el 27,5% de las veces fue la regla de Palmer y el 22,5% fue el algoritmo PSO
- Normalmente la regla Central ha funcionado mejor que Palmer en situaciones con NT pequeño, en este caso PSO siempre las ha superado y Palmer incluso ha funcionado peor que la regla aleatoria.

WWW.CCIP.ORG

Conclusiones

- Se ha planteado un algoritmo basado en cúmulos de partículas para la resolución de un problema combinatorio con restricciones.
- Los resultados obtenidos de las experiencias computacionales muestran que el algoritmo propuesto genera soluciones de calidad aceptable y mejora el funcionamiento de las heurísticas conocidas.
- Es deseable seguir explorando este tipo de aplicaciones que presentan como principal ventaja, su sencillez de aplicación y ampliar el campo de problemas resueltos mediante este tipo de técnicas, así como mejorar algunos aspectos computacionales específicos de la aplicación concreta que se hace en el presente trabajo.

WWW.CCIP.ORG

Futuros trabajos

- Otras definiciones del concepto velocidad y posición
- Coeficientes dinámicos
- Aplicación a optimización multiobjetivo
- Otras aplicaciones de los algoritmos PSO a otros problemas combinatorios:
 - Equilibrado de líneas.
 - Flowshop con setup, flowshop híbrido
 - Diseño de células de máquinas