

Capítulo 5

Efectividad de las políticas de mapping respecto del óptimo

El análisis de la efectividad de las distintas políticas de mapping propuestas en la literatura se suele realizar comparando la solución que aporta cada una de ellas respecto a otras basadas en el mismo modelo de grafo de la aplicación. Así por ejemplo para los modelos clásicos se han desarrollado marcos de comparación de políticas basados en el grafo TPG [KA99] y para el TIG [SRCL98] [DDH⁺98].

Las políticas de mapping TASC y MATE desarrolladas en el presente trabajo se basan en la representación de la aplicación paralela mediante el nuevo modelo de grafo TTIG. En la situación más general en que las tareas exhiben distintos valores de grados de paralelismo, ninguna de las dos situaciones de comportamiento asumidas en los dos modelos clásicos se ajustan a las características del TTIG. En este caso, la opción más idónea para analizar la efectividad de las asignaciones basadas en el TTIG será comparando con la asignación óptima. En realidad, la comparación con la solución óptima es siempre el mejor criterio para investigar la calidad de una solución de mapping. Únicamente la desviación que sufre una política respecto del óptimo puede servir para determinar si existe espacio suficiente para la mejora del rendimiento, que justifique el establecimiento de mejoras en los modelos y la definición de nuevos algoritmos. No obstante, el cálculo de la asignación óptima es únicamente factible cuando se manejan grafos de tareas con un

número pequeño de nodos.

En el presente capítulo se realiza un análisis comparativo de la eficiencia que proporcionan las asignaciones basadas en el modelo TTIG respecto de la asignación óptima, para grafos que no sobrepasan las 10 tareas. Al calcular la asignación óptima variando el número de procesadores, se obtiene además un valor de cota de procesadores para el óptimo, que se compara con las cotas teóricas mínima y máxima obtenidas mediante el mecanismo descrito en los Apartados 3.2.1 y 3.2.2 respectivamente.

5.1 Generación de la asignación óptima

La deducción de la asignación óptima de un grafo de tareas para un número de procesadores concreto implica la generación de todas las posibles asignaciones, y la simulación de cada una de ellas para saber cuál da el mejor tiempo de ejecución final. Puesto que, tal como se ha comentado en el Capítulo 4, no se considera la topología de interconexión entre procesadores, una asignación será más o menos eficiente en función de qué tareas son las que asigna a un mismo procesador, siendo irrelevante el procesador concreto asignado en cada caso.

Bajo estas premisas, la solución matemática para la generación de todas las asignaciones de un grafo TTIG de n tareas a una arquitectura de k procesadores, se corresponde con el método de generación de las particiones de un conjunto de n elementos en k subconjuntos disjuntos no vacíos [CFS98]. El número de particiones existentes corresponde al número de Stirling de segundo orden $\left\{ \begin{matrix} n \\ k \end{matrix} \right\}$, y se calcula mediante la siguiente expresión.

$$\left\{ \begin{matrix} n \\ k \end{matrix} \right\} = \frac{1}{k!} \sum_{i=0}^k ((-1)^i \binom{k}{i}) (k-i)^n \quad (5.1)$$

El mecanismo de generación de las particiones se establece a partir de la siguiente relación de recurrencia.

$$\left\{ \begin{matrix} n \\ k \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} n-1 \\ k-1 \end{matrix} \right\} + k \left\{ \begin{matrix} n-1 \\ k \end{matrix} \right\} \quad 0 < k \leq n \quad (5.2)$$

de la que se conocen los siguientes valores:

$$\left\{ \begin{matrix} n \\ 1 \end{matrix} \right\} = 1 \quad \left\{ \begin{matrix} n \\ n \end{matrix} \right\} = 1$$

Considerando un elemento concreto x que forma parte del conjunto de n elementos, los términos de la fórmula de recurrencia 5.2 tienen el siguiente significado:

$\left\{ \begin{matrix} n-1 \\ k-1 \end{matrix} \right\}$ serán las particiones en las que x forma un subconjunto por sí solo.

$\left\{ \begin{matrix} n-1 \\ k \end{matrix} \right\}$ serán las particiones en las que x forma parte de un subconjunto junto con otros elementos.

A título de ejemplo se muestra en la Figura 5.1 el árbol de desarrollo de la fórmula de recurrencia 5.2 para el cálculo de las particiones del conjunto de cuatro elementos $\{0,1,2,3\}$ en dos subconjuntos. Se indican entre corchetes los pasos sucesivos, y en los recuadros finales se incluyen las particiones generadas en cada una de las ramas del árbol.

Haciendo el seguimiento de los primeros pasos, vemos que se empieza aislando el elemento 0, y se obtiene en el paso [2] la partición en la que el elemento 0 forma un subconjunto por si solo, y en el paso [4] los subconjuntos obtenidos con los elementos $\{1,2,3\}$ a los que habrá que añadir el 0 al final de cada partición. Siguiendo este mecanismo de forma recurrente, se llega a la obtención de las 7 posibles particiones mostradas en los pasos [3], [7] y [10] de la figura respectivamente.

A partir del método recurrente del número de Stirling de segundo orden se ha desarrollado la herramienta CASOS (Cálculo ASignación Óptima y Simulación), que permite la generación automática de todas las posibles asignaciones de un grafo, y calcula la óptima [All01]. En el Apéndice C se resumen las características principales de dicha herramienta.

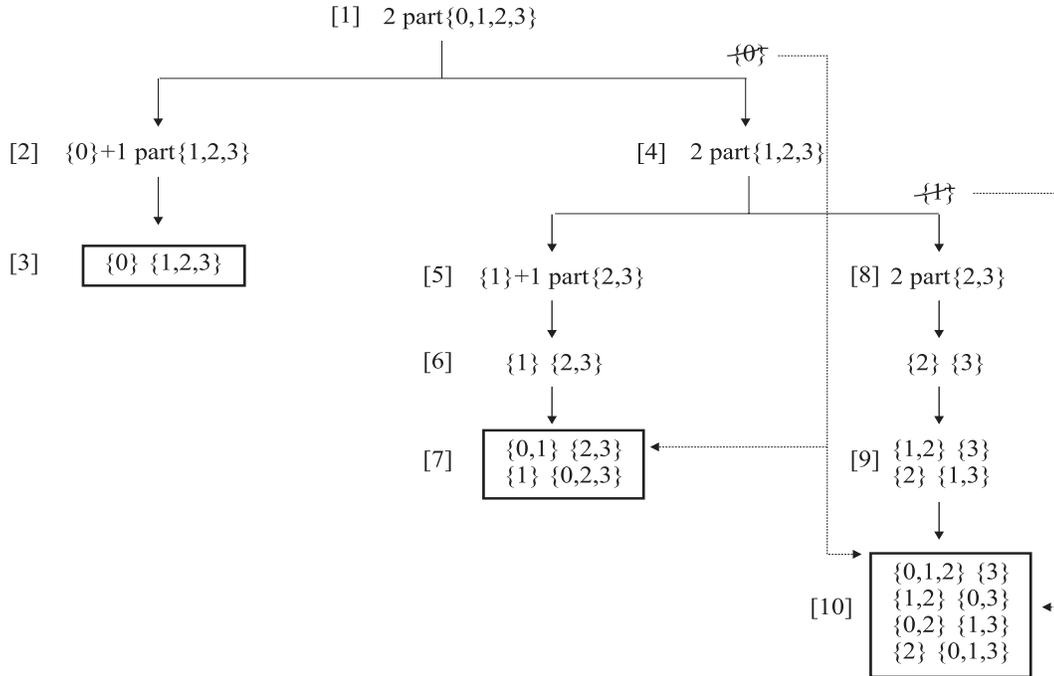


Figura 5.1: Proceso de obtención de las particiones de un conjunto de 4 elementos en 2 subconjuntos.

5.2 Marco para la experimentación

El análisis de la efectividad de las asignaciones basadas en las políticas TASC y MATE respecto de la asignación óptima se ha realizado para un conjunto de grafos TTIG con distintas características de topología, grados de paralelismo y granularidad entre tareas. Cada uno de los grafos TTIG se ha obtenido a partir del correspondiente Grafo de Flujo Temporal (TFG), que es el que se ha usado para simular la ejecución de las distintas asignaciones, y obtener su tiempo de ejecución. Los grafos TTIG con los que se ha experimentado pueden clasificarse según las siguientes características:

- (a) Topología de interacción entre las tareas:
- Irregular. La topología de interconexión es arbitraria.
 - Regular. Las interacciones entre las tareas del grafo se disponen según una topología regular, correspondiente a la de pipe, malla y árbol binomial.

- (b) Número de tareas. El número de tareas de los grafos utilizados oscila entre 4 y 10.
- (c) Grado de paralelismo. En función del grado de paralelismo entre tareas adyacentes, los grafos TTIG utilizados pueden clasificarse según las dos situaciones de comportamiento siguientes:
- Comportamiento arbitrario. Las tareas del grafo tienen grados de paralelismo distintos con sus adyacentes, cuyos valores pueden oscilar entre 0 y 1.
 - Comportamiento homogéneo. Las tareas del grafo tienen grados de paralelismo similares, lo que hace que los grafos con comportamiento homogéneo se puedan enmarcar dentro de uno de los siguientes subgrupos:
 1. Grado de paralelismo bajo. Todas las tareas adyacentes en el grafo tienen un grado de paralelismo que oscila entre 0 y 0.3.
 2. Grado de paralelismo medio. El grado de paralelismo entre las tareas adyacentes oscila entre 0.3 y 0.7.
 3. Grado de paralelismo alto. El grado de paralelismo entre las tareas está entre 0.7 y 1.
- (d) Relación cómputo comunicación media (r_{cc}). Determinado como la proporción que existe entre el promedio de tiempos de cómputo y el promedio de volúmenes de comunicación. En función de las comunicaciones consideradas en cada grafo se tienen los siguientes tipos:
- Grafos con comunicaciones (denotados con la extensión CC), con unos volúmenes de comunicación arbitrarios.
 - Grafos sin comunicaciones (denotados con la extensión SC), con un volumen de comunicación uniforme igual a 1 (es decir, con un volumen de comunicación despreciable).

En la Tabla 5.1 se muestran las características de los grafos con comportamiento arbitrario subdivididos según su topología. Para cada grafo se muestra el grado de paralelismo medio, que como puede verse en todos los casos

denota un comportamiento medio respecto a la capacidad de paralelismo de las tareas, aún cuando coexisten todo tipo de valores del grado de paralelismo desde 0 hasta 1.

Tabla 5.1: Características de los grafos con comportamiento arbitrario.

Topología	Grafo	n. tareas	gr. medio	<i>rcc_CC</i>	<i>rcc_SC</i>
Irregular	GR1	4	0.6	3.59	40
	GR2	4	0.6	1.85	32
	GR3	5	0.45	2.83	40
	GR4	5	0.5	3.7	40
	GR5	5	0.51	3.47	76
	GR6	7	0.5	2.58	40
	GR7	8	0.43	2.17	38.7
	GR8	9	0.4	2.18	41.1
Regular	pipe	9	0.44	5.2	222
	malla	9	0.53	5.8	244
	arbin	10	0.38	6.4	246

De cada grafo se ha generado la versión con comunicaciones (CC) y sin comunicaciones (SC), donde las columnas *rcc_CC* y *rcc_SC* muestran el valor del ratio entre cómputo y comunicación medio respectivamente. Esto hace que para cada situación de comportamiento y de topología podamos analizar la influencia que tienen las comunicaciones en la efectividad de las políticas TASC y MATE en sus asignaciones.

En la Tabla 5.2 se exponen las características de los grafos con comportamiento homogéneo. Básicamente, para este tipo de comportamiento se ha estudiado las topologías regulares, exceptuando el grafo GRI que es irregular.

Tabla 5.2: Características de los grafos con comportamiento homogéneo.

		Grado de paralelismo				
Grafo	n. tareas	bajo	medio	alto	<i>rcc_CC</i>	<i>rcc_SC</i>
GRI	6	0.08	0.5	0.9	1.92	40
pipe	9	0.1	0.5	0.9	20	200
malla	9	0.1	0.5	0.9	20	200
arbin	10	0.1	0.5	0.9	22	200

Para cada grafo de los que figuran en las tablas se han generado n asignaciones, variando el número de procesadores de 1 a n , donde n es el número

de tareas del grafo. Cada asignación se ha realizado con las tres estrategias siguientes, y se ha obtenido para cada una el tiempo de ejecución mediante simulación:

- (a) Asignación TASC, llevada a cabo mediante el algoritmo de mapping TASC presentado en el Capítulo 4. Llamamos $Ttasc$ al tiempo de ejecución que se obtiene con esta asignación.
- (b) Asignación MATE, obtenida mediante la heurística MATE desarrollada en el Capítulo 4. Llamamos $Tmate$ al tiempo de ejecución que se obtiene con esta asignación del algoritmo MATE.
- (c) Asignación óptima, deducida con la herramienta CASOS. Denominamos Top al tiempo de ejecución que corresponde a esta asignación.

Para cada una de las políticas de mapping se ha realizado por una parte un estudio de su desviación respecto al tiempo de ejecución óptimo. Por otro lado se ha realizado un análisis de la adecuación de las cotas teóricas de procesadores mínima y máxima en relación a la cota determinada por la asignación que da el tiempo de ejecución menor. Al mismo tiempo se ha evaluado el porcentaje de uso del sistema.

5.3 Desviación respecto a la asignación óptima

Para evaluar la bondad de una política respecto al óptimo, definimos como métrica de comparación el tanto por ciento de desviación, que denotamos como $\%Dop$, y se calcula en función del tiempo de ejecución asociado a cada asignación mediante la siguiente expresión:

$$\%Dop = \frac{Talg - Top}{Top} \times 100 \quad (5.3)$$

donde:

$Talg = Ttasc$ si se compara con el algoritmo TASC.

$Talg = Tmate$ si se compara con el algoritmo MATE.

En los siguientes apartados se realiza una valoración de los resultados de desviación obtenida para las políticas TASC y MATE en cada uno de los grupos de grafos TTIG estudiados.

Puesto que una característica relevante que diferencia los grafos estudiados, es su tipo de comportamiento en función del grado de paralelismo entre las tareas adyacentes, el estudio de la desviación respecto al óptimo se realiza en los siguientes apartados de forma específica, por un lado para los grafos con comportamiento arbitrario, y por otro para los grafos con comportamiento homogéneo.

5.3.1 Grafos con comportamiento arbitrario

De los grafos con comportamiento arbitrario detallados en la Tabla 5.1, estudiamos en primer lugar los de topología irregular {GR1,...,GR8}. En la Figura 5.2 se muestran los diagramas de barras que corresponden a los valores de porcentaje de desviación, $\%Dop$, para los grafos {GR1,...,GR4}, y en la Figura 5.3 pueden observarse los diagramas de barras para los grafos {GR5,...,GR8}. Para cada grafo se muestra el porcentaje de desviación para las políticas TASC y MATE, tanto para la versión con comunicaciones (CC) como el mismo grafo sin comunicaciones (SC).

A partir del análisis de los resultados obtenidos podemos apreciar en primer lugar el comportamiento claramente satisfactorio de ambas políticas. Así pues, exceptuando alguna asignación puntual en la que el valor de desviación está alrededor del 40% (es el caso de GR6_CC con dos procesadores para TASC y MATE, o bien el de GR7_CC con dos procesadores para TASC), en la mayoría de las asignaciones se obtiene una desviación que en general no sobrepasa el 20%.

Analizando con mayor nivel de detalle los resultados que muestran las dos figuras se pueden extraer las siguientes pautas de comportamiento en relación al comportamiento general respecto al óptimo.

- Por lo que respecta a los volúmenes de comunicación mostrados en el grafo, vemos que ambas políticas siguen un patrón similar, tanto para el grafo con comunicaciones como para la versión sin comunicaciones.

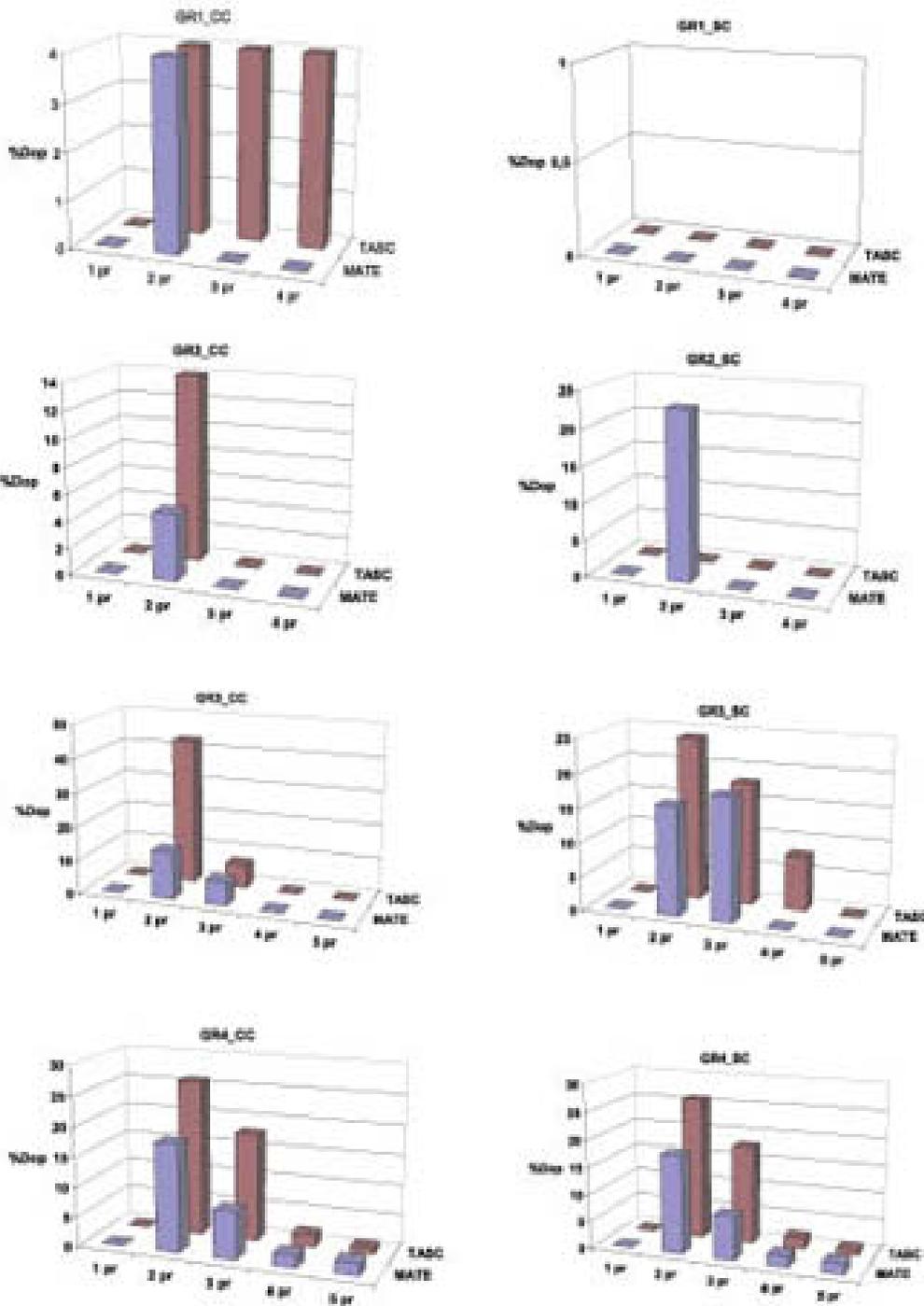


Figura 5.2: Porcentaje de desviación respecto al óptimo para los grafos GR1, GR2, GR3 y GR4.

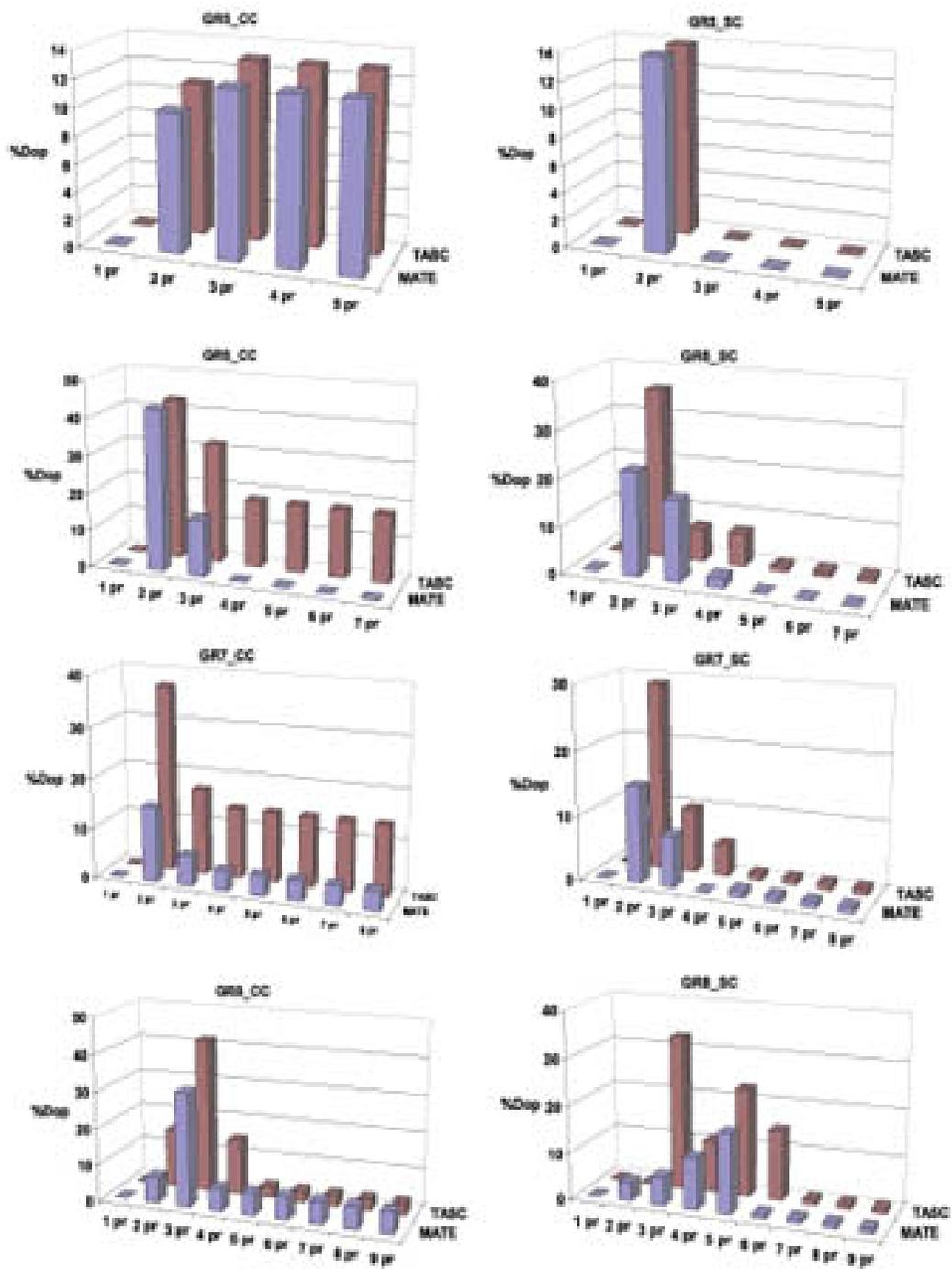


Figura 5.3: Porcentaje de desviación respecto al óptimo para los grafos GR5, GR6, GR7 y GR8.

La única diferencia es que en algunos grafos, para la versión con comunicaciones el valor $\%Dop$, a partir de un número de procesadores, se mantiene constante a un valor bajo, mientras que para la versión sin comunicaciones pasa a valer 0. De esto podemos concluir que la bondad de las políticas TASC y MATE no depende de las características de comunicación del grafo TTIG.

- Comparando los resultados de las dos estrategias TASC y MATE en cada grafo, podemos apreciar que la desviación respecto al óptimo aumenta o disminuye siguiendo la misma tendencia para ambas al ir variando el número de procesadores. Aunque dentro de la misma tendencia la desviación que proporciona la estrategia MATE es menor en la mayoría de asignaciones. Esto indica que la priorización de asignar juntas las tareas más dependientes al mismo procesador, que lleva a cabo el algoritmo MATE, provoca en general resultados más eficientes.

Para cada uno de los ocho grafos estudiados se ha calculado el porcentaje de desviación media, $\%DM$, que se obtiene con cada una de las políticas, y que calculamos mediante la siguiente expresión:

$$\%DM = \frac{\sum \%Dop}{num.simulaciones} \quad (5.4)$$

En la Figura 5.4 se muestra gráficamente el valor $\%DM$ de TASC y MATE para cada uno de los grafos. En general vemos que ambas políticas tienen un buen comportamiento global respecto al óptimo, aunque la línea de desviación media de MATE sigue una trayectoria más suavizada que la de la política TASC. Es decir, con MATE se obtiene un comportamiento más homogéneo en relación a sus diferencias con el óptimo. Por otra parte se puede constatar que exceptuando los grafos GR2 y GR5, en todos los demás la desviación media de TASC es superior a la de MATE.

De forma análoga se ha estudiado en segundo lugar el porcentaje de desviación obtenido para los grafos con comportamiento arbitrario y topología regular de la Tabla 5.1. En el caso de la topología pipe, tanto la política TASC como la MATE producen un porcentaje de desviación igual a 0, para todas

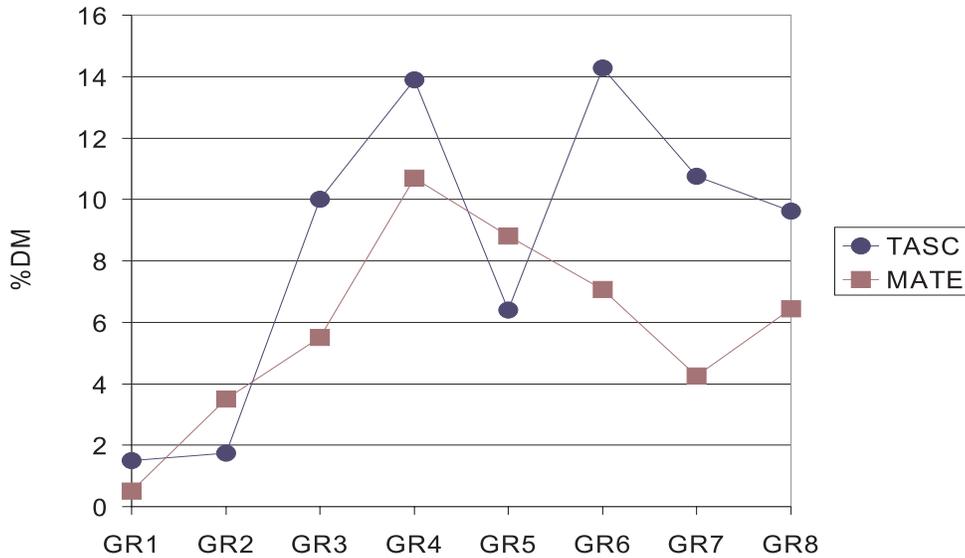


Figura 5.4: Porcentaje desviación media de TASC y MATE para grafos con comportamiento arbitrario y topología irregular.

las asignaciones probadas. Es decir, para esta topología particular se consigue siempre llegar a la solución óptima, puesto que al recorrer el grafo por niveles, en cada tarea sólo hay que analizar la conveniencia de juntar o separar con una adyacente, y esto hace que fácilmente se pueda determinar la decisión más favorable. En la Figura 5.5 se muestra el porcentaje de desviación obtenido para las dos estructuras regulares restantes de malla y árbol binomial. A la vista de los diagramas de barras se observa que no existe diferencia en los resultados obtenidos para las dos políticas. Al ir aumentando el número de procesadores, los valores de desviación se vuelven igual a 0 o bien se mantienen uniformes en valores pequeños.

El porcentaje medio de desviación obtenido para éstas topologías regulares es de $\%DM = 0$ para el pipe, $\%DM = 10.16$ para la malla y $\%DM = 3.75$ para el árbol binomial respectivamente para ambas políticas.

De los resultados expuestos en este apartado podemos concluir que para los grafos estudiados con grados de paralelismo arbitrarios, las dos políticas de mapping TASC y MATE muestran un buen comportamiento tanto para las topologías irregulares como para las regulares. Si bien en algunos casos

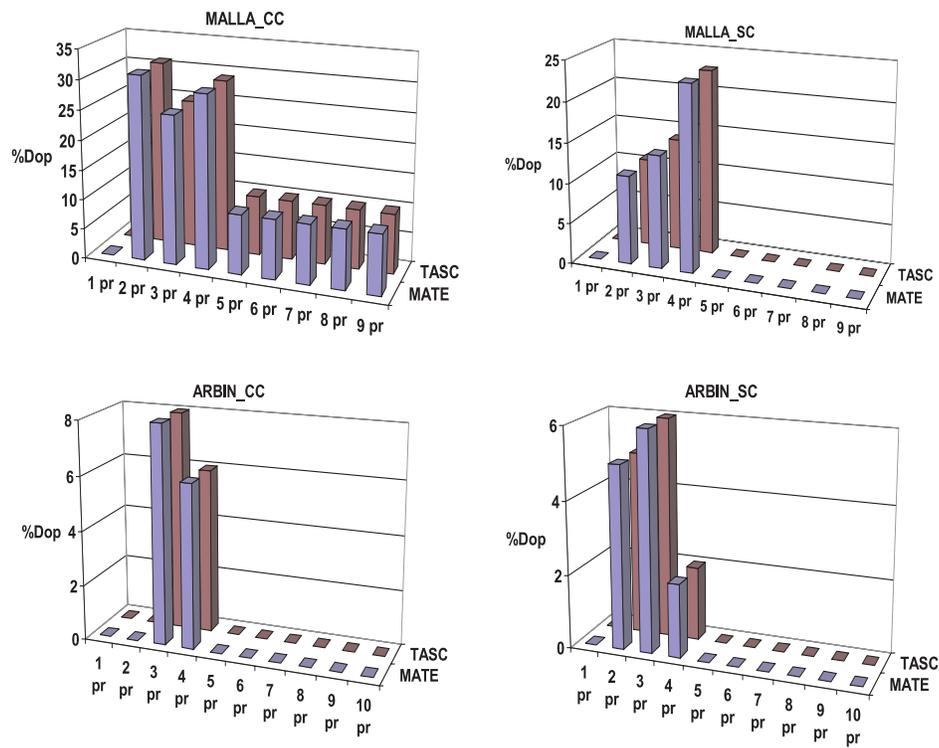


Figura 5.5: Porcentaje desviación de TASC y MATE para grafos con comportamiento arbitrario y topología regular.

puntuales la desviación respecto a la asignación óptima deja un espacio para buscar una opción de mejora, considerando todos los casos estudiados se da una desviación media máxima de un 14% para la política TASC y de un 10.5% para la política MATE, por lo tanto podemos considerar que globalmente son lo suficientemente eficientes.

5.3.2 Grafos con comportamiento homogéneo

En este apartado se realiza el estudio de desviación respecto al óptimo para los grafos con comportamiento homogéneo que se detallan en la Tabla 5.2. De cada grafo se han realizado las asignaciones con los distintos grados de paralelismo, y para cada uno se ha analizado la versión con comunicaciones y sin comunicaciones.

A partir de los resultados obtenidos, se ha visto que para estos grafos con comportamiento homogéneo las asignaciones son aún mucho más próximas a la asignación óptima, y la bondad de las políticas continua siendo independiente de las comunicaciones del grafo. Por este motivo, no se muestran los resultados detallados del porcentaje de desviación, y simplemente se muestra a modo de resumen en la Figura 5.6 el porcentaje de desviación media $\%DM$ obtenido al aplicar las estrategias TASC y MATE a los grafos con comunicaciones para las distintas topologías y los tres valores de grado de paralelismo.

Vemos que la tendencia en el comportamiento de las dos políticas es coincidente, al igual que lo hemos observado en el apartado anterior con los grafos con comportamiento arbitrario. Se continua dando también que el algoritmo MATE genera unos resultados más cercanos al óptimo que los de la estrategia TASC.

En lo referente a las distintas topologías, se observa en la figura que para el pipe y la malla se consigue llegar a la asignación óptima. Para el árbol binomial y la estructura irregular GRI se obtienen pequeñas desviaciones medias respecto al óptimo que van aumentando conforme el grado de paralelismo se va incrementando de bajo a alto, que en el caso más desfavorable la desviación media no llega a ser del 5%.

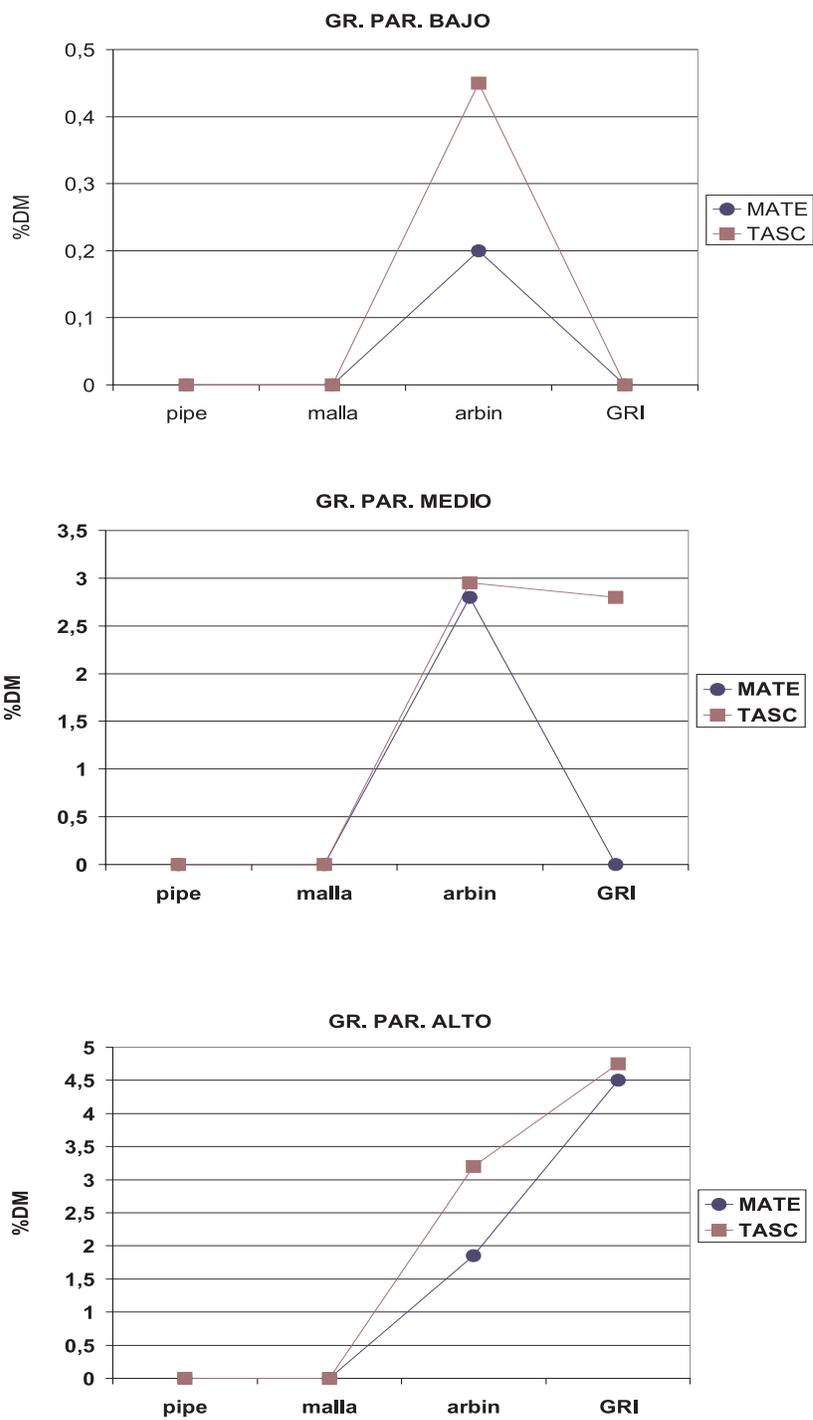


Figura 5.6: Porcentaje desviación media de TASC y MATE para grafos con comportamiento homogéneo.