

5. Experimentación y análisis de resultados.

5.1. Diseño de experimentos.

La investigación y desarrollo de los SFR está en sus inicios. A nivel de componentes del sistema de fabricación, las máquinas reconfigurables están en fase de diseño y prueba. Este problema se acentúa en el caso de los SFRC, al ser una evolución de los SFR.

Por ese motivo, para experimentar se han tomado algunos problemas existentes en la literatura sobre SFC, tema que, como ya hemos mencionado, ha sido ampliamente tratado. Estos problemas se han modificado convenientemente para ser tomados como problemas de SFR, para posteriormente agrupar las familias en un número de células fijado, tal y como se ha explicado en el capítulo anterior.

En concreto, los datos que determinan los problemas de SFC son máquinas y piezas. Para ser considerados como problemas de SFR, las máquinas se han tomado como productos y las piezas como componentes de dichos productos (ver Tabla 4). Además, se ha escogido el mismo número de máquinas reconfigurables que de productos y el número de módulos de máquinas es el doble que de máquinas (Galán, 2006). El número de células estará comprendido entre 1 y 3 células.

Parámetros SFC	Parámetros SFR
máquinas	productos
piezas fabricadas con las máquinas	componentes de los productos

Tabla 4: Analogía entre problemas SFC y SFR.

Las siguientes tablas muestran el conjunto de los 48 problemas que se van a probar, detallando un código que los identificará, las referencias a los artículos de los que han sido extraídos y características que definen las dimensiones del problema.

- El código identificará cada problema de una forma unívoca y compacta. Está constituido por las tres primeras letras del primer autor del artículo en el que aparezca el problema, y el año del artículo. En caso de utilizarse varios problemas del mismo autor y año, se les añadirá una letra que crecerá en orden alfabético.

- Las características que imponen las dimensiones del problema serán el número de productos, el número de componentes de los que constan los productos, el número de máquinas y el número de módulos de de máquinas. Como ya hemos mencionado, el número de máquinas y el número de módulos del SFRC dependerán del número de productos y de componentes, por lo que consideraremos como parámetros básicos a estos dos últimos. A partir de estos parámetros básicos, podemos definir tres grupos distintos de problemas:
 - Grupo 1: Problemas cuyo producto entre estos parámetros básicos sea menor a 10x20. Ver Tabla 5.
 - Grupo 2: Problemas intermedios, con dimensiones comprendidas entre las del grupo 1 y las del Grupo 3. Ver Tabla 6.
 - Grupo 3: Problemas cuyo producto entre los parámetros básicos sea mayor a 20x40. Ver Tabla 7.

Grupo	Problema	Referencia	Nº de Productos	Nº de Componentes	Nº de máquinas	Nº de módulos
1	ak96-0	Akturk y Balkose (1996)	10	20	10	20
1	ak96-1	Akturk y Balkose (1996)	10	20	10	20
1	cha82-0	Chan y Milner (1982)	15	10	15	30
1	coa88-0	Co y Araar (1988)	10	15	10	20
1	mca72-0	McCormick <i>et al.</i> (1972)	12	10	12	24
1	sha95a0	Shargal <i>et al.</i> (1995)	15	10	15	30
1	sha95b0	Shargal <i>et al.</i> (1995)	8	20	8	16
1	sha95d0	Shargal <i>et al.</i> (1995)	9	7	9	18

Tabla 5. Características de problemas de Grupo 1.

Esta clasificación de los problemas en función de su tamaño nos permitirá tener mejor organizada la información y será muy útil a la hora de interpretar los resultados que obtengamos.

Grupo	Problema	Referencia	Nº de Productos	Nº de Componentes	Nº de máquinas	Nº de módulos
2	adi97-0	Adil <i>et al.</i> (1997)	26	37	26	52
2	ask87-0	Askin y Subramanian (1987)	14	24	14	28
2	ask91-0	Askin <i>et al.</i> (1991)	19	12	19	38
2	boc91a0	Boctor (1991)	16	30	16	32

2	boc91b0	Boctor (1991)	16	30	16	32
2	boc91c0	Boctor (1991)	16	30	16	32
2	boc91d0	Boctor (1991)	16	30	16	32
2	boc91e0	Boctor (1991)	16	30	16	32
2	boc91f0	Boctor (1991)	16	30	16	32
2	boc91g0	Boctor (1991)	16	30	16	32
2	boc91h0	Boctor (1991)	16	30	16	32
2	boc91i0	Boctor (1991)	16	30	16	32
2	boc91j0	Boctor (1991)	16	30	16	32
2	che95-0	Chen y Cheng (1995)	15	15	15	30
2	che96a0	Cheng <i>et al.</i> (1996)	10	25	10	20
2	che96b0	Cheng <i>et al.</i> (1996)	20	25	20	40
2	che96c0	Cheng <i>et al.</i> (1996)	20	25	20	40
2	cra96-0	Crama y Oosten (1996)	13	25	13	26
2	kin82a0	King y Nakornchai (1982)	16	43	16	32
2	kum86-0	Kumar <i>et al.</i> (1996)	23	20	23	46
2	mcc72a0	McCormick <i>et al.</i> (1972)	27	27	27	54
2	ng96-0	Ng (1996)	20	35	20	40
2	sei89-0	Seifodini (1989)	11	22	11	22
2	sha95c0	Shargal <i>et al.</i> (1995)	10	38	10	20
2	sri90-0	Srinivasan <i>et al.</i> (1990)	16	30	16	32
2	vak90-0	Vakharia y Wemmerlov (1990)	12	19	12	24
2	ven90a0	Ventura <i>et al.</i> (1990)	22	11	22	44
2	ven90b0	Ventura <i>et al.</i> (1990)	20	23	20	40

Tabla 6: Características de problemas de Grupo 2.

Grupo	Problema	Referencia	Nº de Productos	Nº de Componentes	Nº de máquinas	Nº de módulos
3	cha89a0	Chandrasekharan y Rajagopalan (1989)	24	40	24	48
3	cha89b0	Chandrasekharan y Rajagopalan (1989)	24	40	24	48
3	cha89c0	Chandrasekharan y Rajagopalan (1989)	24	40	24	48
3	cha89d0	Chandrasekharan y Rajagopalan (1989)	24	40	24	48

3	cha89e0	Chandrasekharan y Rajagopalan (1989)	24	40	24	48
3	cha89f0	Chandrasekharan y Rajagopalan (1989)	24	40	24	48
3	cha89g0	Chandrasekharan y Rajagopalan (1989)	24	40	24	48
3	kin82b0	King y Nakornchai (1982)	30	90	30	60
3	lin96-0	Lin <i>et al.</i> (1996)	22	62	22	44
3	mcc72b0	McCormick <i>et al.</i> (1972)	37	53	37	74
3	nai96-0	Nair and Narendran (1996)	46	100	46	92
3	wei89-0	Wei y Kern (1989)	30	41	30	60

Tabla 7: Características de los problemas del Grupo 3.

Es importante tener en cuenta que, al constituir este proyecto un primer acercamiento al problema del modelado de SFRC, las simulaciones no han tenido por objeto un análisis exhaustivo de los tiempos de nuestro algoritmo, por lo que han sido realizadas en distintos ordenadores. Ello justifica el hecho de que no se describan las características de la CPU de éstos.

Las simulaciones del modelo de programación lineal bajo la formulación de flujos en redes han sido realizadas mediante el paquete de programación ILOG CPLEX 10.2 for Windows x86. En cambio, la implementación del método de resolución heurístico mediante Búsqueda Tabú ha sido implementada mediante Borland C++ Builder.

Nuestro algoritmo parte de un número de células impuesto por nosotros (y que será de 1, 2 ó 3 células), y es aplicado a la batería de problemas que seleccionemos:

- En primer lugar, genera una solución inicial mediante la heurística del camino más cercano, con la que comenzará el algoritmo de Búsqueda Tabú a trabajar.
- En cada iteración del algoritmo iremos generando la vecindad de la solución actual mediante las operaciones que deseemos. A continuación, expondremos las operaciones que podemos usar, según el número de células que hayamos fijado:
 - o En el caso de trabajar con una única célula, sólo serán posibles las operaciones intracelulares, “SWAP” e “INSERT”. En este caso, el

algoritmo será prácticamente equivalente al desarrollado en (Galán, 2006) para un SFR.

- En el caso de elegir varias células (que es lo más coherente, puesto que constituye nuestro tema de estudio), será posible utilizar operaciones intracelulares y operaciones intercelulares. Dado que los vecindarios que conllevan los movimientos intracelulares son mucho menores que las de los movimientos intercelulares, plantearemos experimentos que combinen ambos tipos de operaciones, para así poder abarcar el mayor espacio de soluciones posible. Los vecindarios que emplearemos para 2 y 3 células quedan ilustrados en la Tabla 8.

(1) SWAP + INTER_INSERT
(2) SWAP + INTER_INSERT_ULTIMA
(3) INSERT + INTER_INSERT
(4) INSERT + INTER_INSERT_ULTIMA
(5) SWAP + INTER_INSERT + INTER_SWAP_MISMA
(6) SWAP + INTER_INSERT_ULTIMA + INTER_SWAP_MISMA
(7) INSERT + INTER_INSERT + INTER_SWAP_MISMA
(8) INSERT + INTER_INSERT_ULTIMA + INTER_SWAP_MISMA
(9) INTER_INSERT

Tabla 8: Vecindades usadas para 2 y 3 células.

- Aunque lo más coherente con nuestro estudio es emplear la Lista Tabú, podemos elegir si usarla o no. Si la usamos, la siguiente decisión a tomar será el tamaño que poseerá ésta, que determinará la memoria a corto plazo de nuestro algoritmo. Para nuestros experimentos, hemos optado por una Lista Tabú de tamaño del número de familias de productos existente en el nivel analizado, F , basándonos en los buenos resultados que dio para los SRF en (Galán, 2006).
- Compaginaremos los dos criterios de finalización que expusimos en el capítulo anterior. Consideraremos un número máximo de iteraciones que podrá realizar el algoritmo, finalizando antes de que se cumplan si el algoritmo lleva un determinado tiempo sin mejorar la mejor solución que haya encontrado. Dado que el espacio de soluciones posibles depende del número de familias de productos, F , se considerará que el número máximo de iteraciones que realizara el algoritmo también dependerá de él, $(F^3 - F^2)$. El número de iteraciones sin mejorar lo consideraremos como el 30% del número máximo de iteraciones.

5.2. Resultados comparativos con el modelo.

En este apartado, mostraremos los resultados obtenidos tras aplicar nuestro algoritmo a la batería de problemas mostrada anteriormente para distintos tamaños de células (1,2 y 3 células). Además, adjuntaremos los resultados del modelo, para comprobar la desviación que presenta nuestro método heurístico respecto a los resultados óptimos que devuelve el modelo de programación lineal. Gracias al análisis de estos resultados, podremos averiguar cuáles serán los mejores movimientos a realizar.

5.2.1. Resultados para 1 célula.

Los resultados de las simulaciones serán presentadas a continuación en la Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11.

Grupo	Problema	Productos	modelo	SWAP	Variación	INSERT	Variación
1	ak96-0	10	103	111	7,77	105	1,94
1	ak96-1	10	148	148	0,00	148	0,00
1	cha85-0	15	75	77	2,67	75	0,00
1	coa88-0	10	69	69	0,00	69	0,00
1	mca72-0	12	51	51	0,00	51	0,00
1	sha95a0	15	61	61	0,00	61	0,00
1	sha95b0	8	57	58	1,75	58	1,75
1	sha95d0	9	64	64	0,00	64	0,00

Tabla 9: Resultados del grupo 1 para 1 célula.

Grupo	Problema	Productos	modelo	SWAP	Variacion	INSERT	Variacion
2	adi97-0	26	440	459	4,32	459	4,32
2	ask87-0	14	122	125	2,46	125	2,46
2	ask91-0	19	103	109	5,83	105	1,94
2	boc91a0	16	300	300	0,00	300	0,00
2	boc91b0	16	205	217	5,85	211	2,93
2	boc91c0	16	177	181	2,26	179	1,13
2	boc91d0	16	272	281	3,31	273	0,37
2	boc91e0	16	198	198	0,00	198	0,00
2	boc91f0	16	201	217	7,96	207	2,99
2	boc91g0	16	236	239	1,27	239	1,27
2	boc91h0	16	259	269	3,86	268	3,47
2	boc91i0	16	203	203	0,00	205	0,99
2	boc91j0	16	191	211	10,47	207	8,38
2	che95-0	15	102	112	9,80	106	3,92
2	che96a0	10	111	112	0,90	111	0,00
2	che96b0	20	300	305	1,67	312	4,00
2	che96c0	20	248	263	6,05	248	0,00
2	cra96-0	13	117	129	10,26	129	10,26
2	kin82a0	16	309	320	3,56	314	1,62
2	kum86-0	23	324	350	8,02	337	4,01
2	mcc72a0	27	501	512	2,20	518	3,39
2	ng96-0	20	204	236	15,69	236	15,69

2	sei89-0	11	112	116	3,57	112	0,00
2	sha95c0	10	126	126	0,00	126	0,00
2	sri90-0	16	208	213	2,40	213	2,40
2	vak90-0	12	134	137	2,24	134	0,00
2	ven90a0	22	105	107	1,90	107	1,90
2	ven90b0	20	276	280	1,45	280	1,45

Tabla 10: Resultados del grupo 2 para 1 célula.

Grupo	Problema	Productos	modelo	SWAP	Variacion	INSERT	Variacion
3	cha89a0	24	200	201	0,50	201	0,50
3	cha89b0	24	283	297	4,95	295	4,24
3	cha89c0	24	336	346	2,98	343	2,08
3	cha89d0	24	401	432	7,73	426	6,23
3	cha89e0	24	477	524	9,85	488	2,31
3	cha89f0	24	540	569	5,37	557	3,15
3	cha89g0	24	591	599	1,35	596	0,85
3	kin82b0	30	985	1068	8,43	1031	4,67
3	lin96-0	22	267	297	11,24	278	4,12
3	mcc72b0	37	659	709	7,59	684	3,79
3	nai96-0	46		761		764	
3	wei89-0	30	433	457	5,54	447	3,23

Tabla 11: Resultados del grupo 3 para 1 célula.

De los resultados anteriores se observa un mejor comportamiento del movimiento intracelular “INSERT” frente al “SWAP”, pues los valores promedios de desviación respecto a la solución óptima de los experimentos son de un 2.52% y 4.07% respectivamente. Ello es coherente con el hecho de que este movimiento abarca una mayor porción del espacio de soluciones vecinas, tal y como razonamos en el apartado 4.3.3.

También hacer notar que en el problema *nai96-0*, que dispone de más de 40 productos, no ha sido posible encontrar una solución exacta mediante el modelo de programación lineal, con lo que nuestro algoritmo es de especial interés en dicho caso.

5.2.2. Resultados para 2 y 3 células.

A partir de la Tabla 12 se puede extraer una clara conclusión, los vecindarios (1), (3), (5) y (7) tienen mejores comportamientos respecto a la calidad de las soluciones que el resto. Estos vecindarios se corresponden con el uso del movimiento intercelular “INTER-INSERT” combinado con cualquier otro movimiento.

Si se usa de forma aislada el movimiento “INTER-INSERT”, la calidad de las soluciones es similar a usar el movimiento “INTER-INSERT-ULTIMA” en combinación con otros. La causa se puede deber a no realizar una búsqueda local profunda pues, o bien no se ayuda de los movimientos dentro de la célula, o bien el tamaño de la vecindad es demasiado pequeño.

Los resultados concretos de las simulaciones son presentados en la Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18.

Como podemos apreciar al observar estas tablas, al igual que en el caso de utilizar una única célula, el modelo de programación lineal no será capaz de llegar a una solución en el caso del *nai96-0*, con lo nuestro algoritmo será muy útil para llegar a una solución aproximada para problemas de gran tamaño, dentro de un margen de error bastante aceptable.

Vecindad	% DESV 2 Células	% DESV 3 Células
(1)	4,91	4,71
(2)	6,83	6,81
(3)	4,96	4,87
(4)	5,97	6,58
(5)	4,85	4,72
(6)	6,78	6,80
(7)	4,95	4,76
(8)	5,26	6,14
(9)	5,66	6,56

Tabla 12: Promedio en desviaciones en % respecto al óptimo para 2 y 3 células.

Prb.	Prd.	modelo	1	Var.	2	Var.	3	Var.	4	Var.	5	Var.	6	Var.	7	Var.	8	Var.	9	Var.
ak96-0	10	84	92	9,52	92	9,52	92	9,52	92	9,52	92	9,52	92	9,52	92	9,52	92	9,52	87	3,57
ak96-1	10	126	126	0,00	126	0,00	126	0,00	126	0,00	126	0,00	126	0,00	126	0,00	126	0,00	126	0,00
cha85-0	15	62	63	1,61	62	0,00	63	1,61	63	1,61	63	1,61	62	0,00	63	1,61	63	1,61	63	1,61
coa88-0	10	54	56	3,70	56	3,70	56	3,70	56	3,70	56	3,70	56	3,70	56	3,70	56	3,70	59	9,26
mca72-0	12	29	36	24,14	29	0,00	36	24,14	36	24,14	36	24,14	29	0,00	36	24,14	29	0,00	29	0,00
sha95a0	15	44	45	2,27	44	0,00	45	2,27	45	2,27	45	2,27	44	0,00	45	2,27	45	2,27	45	2,27
sha95b0	8	38	38	0,00	38	0,00	39	2,63	39	2,63	38	0,00	38	0,00	39	2,63	39	2,63	38	0,00
sha95d0	9	52	52	0,00	53	1,92	52	0,00	52	0,00	52	0,00	53	1,92	52	0,00	53	1,92	52	0,00

Tabla 13: Resultados del grupo 1 para 2 células.

Prb.	Prd.	modelo	1	Var.	2	Var.	3	Var.	4	Var.	5	Var.	6	Var.	7	Var.	8	Var.	9	Var.
adi97-0	26	389	417	7,20	417	7,20	417	7,20	412	5,91	417	7,20	417	7,20	417	7,20	412	5,91	416	6,94
ask87-0	14	89	101	13,48	105	17,98	99	11,24	105	17,98	101	13,48	105	17,98	99	11,24	105	17,98	100	12,36
ask91-0	19	91	94	3,30	101	10,99	95	4,40	97	6,59	94	3,30	101	10,99	95	4,40	97	6,59	95	4,40
boc91a0	16	265	265	0,00	278	4,91	266	0,38	266	0,38	265	0,00	272	2,64	266	0,38	266	0,38	270	1,89
boc91b0	16	179	188	5,03	192	7,26	182	1,68	182	1,68	188	5,03	183	2,23	182	1,68	182	1,68	185	3,35
boc91c0	16	151	157	3,97	156	3,31	155	2,65	155	2,65	159	5,30	156	3,31	155	2,65	155	2,65	156	3,31
boc91d0	16	240	247	2,92	258	7,50	252	5,00	254	5,83	247	2,92	258	7,50	252	5,00	251	4,58	254	5,83
boc91e0	16	157	158	0,64	169	7,64	158	0,64	169	7,64	158	0,64	169	7,64	158	0,64	169	7,64	168	7,01
boc91f0	16	159	176	10,69	180	13,21	176	10,69	181	13,84	176	10,69	180	13,21	176	10,69	181	13,84	180	13,21
boc91g0	16	198	200	1,01	205	3,54	200	1,01	207	4,55	200	1,01	205	3,54	200	1,01	207	4,55	200	1,01
boc91h0	16	221	233	5,43	231	4,52	233	5,43	227	2,71	233	5,43	231	4,52	233	5,43	227	2,71	241	9,05
boc91i0	16	169	169	0,00	176	4,14	185	9,47	176	4,14	169	0,00	176	4,14	185	9,47	176	4,14	185	9,47
boc91j0	16	164	174	6,10	182	10,98	172	4,88	167	1,83	174	6,10	182	10,98	172	4,88	167	1,83	180	9,76
che95-0	15	75	84	12,00	86	14,67	84	12,00	84	12,00	84	12,00	86	14,67	84	12,00	84	12,00	85	13,33
che96a0	10	93	98	5,38	94	1,08	98	5,38	98	5,38	98	5,38	98	5,38	98	5,38	98	5,38	94	1,08
che96b0	20	266	275	3,38	291	9,40	289	8,65	281	5,64	275	3,38	291	9,40	289	8,65	281	5,64	287	7,89
che96c0	20	223	233	4,48	245	9,87	226	1,35	238	6,73	230	3,14	246	10,31	226	1,35	227	1,79	231	3,59
cra96-0	13	96	102	6,25	113	17,71	103	7,29	102	6,25	102	6,25	113	17,71	103	7,29	106	10,42	103	7,29
kin82a0	16	268	281	4,85	293	9,33	281	4,85	289	7,84	281	4,85	293	9,33	281	4,85	289	7,84	285	6,34
kum86-0	23	299	325	8,70	325	8,70	318	6,35	309	3,34	317	6,02	325	8,70	316	5,69	309	3,34	317	6,02
mcc72a0	27	468	481	2,78	495	5,77	476	1,71	487	4,06	481	2,78	495	5,77	476	1,71	487	4,06	485	3,63
ng96-0	20	164	178	8,54	178	8,54	187	14,02	187	14,02	178	8,54	178	8,54	187	14,02	184	12,20	192	17,07
sei89-0	11	86	86	0,00	91	5,81	86	0,00	91	5,81	86	0,00	91	5,81	86	0,00	91	5,81	86	0,00
sha95c0	10	106	106	0,00	106	0,00	107	0,94	107	0,94	106	0,00	106	0,00	107	0,94	107	0,94	107	0,94
sri90-0	16	179	187	4,47	190	6,15	187	4,47	190	6,15	187	4,47	190	6,15	187	4,47	190	6,15	192	7,26
vak90-0	12	105	110	4,76	112	6,67	105	0,00	109	3,81	110	4,76	112	6,67	105	0,00	109	3,81	105	0,00
ven90a0	22	90	90	0,00	92	2,22	90	0,00	90	0,00	90	0,00	92	2,22	90	0,00	90	0,00	90	0,00
ven90b0	20	249	260	4,42	260	4,42	255	2,41	260	4,42	260	4,42	260	4,42	255	2,41	260	4,42	261	4,82

Tabla 14: Resultados del grupo 2 para 2 células.

Prb.	Prd.	modelo	1	Var.	2	Var.	3	Var.	4	Var.	5	Var.	6	Var.	7	Var.	8	Var.	9	Var.
cha89a0	24	158	158	0,00	161	1,90	161	1,90	161	1,90	158	0,00	161	1,90	161	1,90	161	1,90	161	1,90
cha89b0	24	246	259	5,28	264	7,32	259	5,28	259	5,28	259	5,28	264	7,32	259	5,28	259	5,28	266	8,13
cha89c0	24	308	317	2,92	323	4,87	316	2,60	317	2,92	317	2,92	323	4,87	316	2,60	317	2,92	324	5,19
cha89d0	24	366	402	9,84	414	13,11	409	11,75	409	11,75	402	9,84	414	13,11	409	11,75	409	11,75	429	17,21
cha89e0	24	434	464	6,91	492	13,36	464	6,91	470	8,29	464	6,91	492	13,36	464	6,91	464	6,91	464	6,91
cha89f0	24	506	542	7,11	542	7,11	542	7,11	550	8,70	542	7,11	552	9,09	542	7,11	540	6,72	542	7,11
cha89g0	24	554	566	2,17	575	3,79	566	2,17	559	0,90	566	2,17	575	3,79	566	2,17	559	0,90	566	2,17
kin82b0	30	914	968	5,91	974	6,56	945	3,39	957	4,70	968	5,91	974	6,56	945	3,39	951	4,05	1030	12,69
lin96-0	22	214	228	6,54	256	19,63	228	6,54	259	21,03	228	6,54	253	18,22	228	6,54	251	17,29	228	6,54
mcc72b0	37	587	638	8,69	638	8,69	619	5,45	619	5,45	638	8,69	638	8,69	619	5,45	619	5,45	625	6,47
nai96-0	46		704		704		704		704		704		704		704		704		707	
wei89-0	30	403	420	4,22	428	6,20	412	2,23	417	3,47	420	4,22	425	5,46	412	2,23	420	4,22	436	8,19

Tabla 15: Resultados del grupo 3 para 2 células.

Prb.	Prd.	modelo	1	Var.	2	Var.	3	Var.	4	Var.	5	Var.	6	Var.	7	Var.	8	Var.	9	Var.
ak96-0	10	68	70	2,94	70	2,94	74	8,82	73	7,35	70	2,94	70	2,94	74	8,82	73	7,35	74	8,82
ak96-1	10	104	104	0,00	109	4,81	104	0,00	109	4,81	104	0,00	105	0,96	104	0,00	105	0,96	104	0,00
cha85-0	15	49	49	0,00	49	0,00	49	0,00	49	0,00	49	0,00	49	0,00	49	0,00	49	0,00	50	2,04
coa88-0	10	43	48	11,63	46	6,98	45	4,65	46	6,98	48	11,63	46	6,98	45	4,65	46	6,98	44	2,33
mca72-0	12	17	17	0,00	17	0,00	17	0,00	17	0,00	17	0,00	17	0,00	17	0,00	17	0,00	17	0,00
sha95a0	15	34	34	0,00	35	2,94	36	5,88	36	5,88	34	0,00	35	2,94	36	5,88	36	5,88	34	0,00
sha95b0	8	19	26	36,84	26	36,84	26	36,84	26	36,84	26	36,84	26	36,84	26	36,84	26	36,84	26	36,84
sha95d0	9	41	41	0,00	41	0,00	41	0,00	41	0,00	41	0,00	41	0,00	41	0,00	41	0,00	41	0,00

Tabla 16: Resultados del grupo 1 para 3 células.

Prb.	Prd.	modelo	1	Var.	2	Var.	3	Var.	4	Var.	5	Var.	6	Var.	7	Var.	8	Var.	9	Var.
adi97-0	26	346	378	9,25	376	8,67	362	4,62	355	2,60	378	9,25	376	8,67	362	4,62	355	2,60	394	13,87
ask87-0	14	71	72	1,41	72	1,41	71	0,00	73	2,82	72	1,41	72	1,41	71	0,00	73	2,82	77	8,45
ask91-0	19	79	82	3,80	90	13,92	82	3,80	88	11,39	82	3,80	90	13,92	82	3,80	85	7,59	82	3,80
boc91a0	16	234	234	0,00	242	3,42	234	0,00	235	0,43	234	0,00	242	3,42	234	0,00	234	0,00	246	5,13
boc91b0	16	160	163	1,88	163	1,88	163	1,88	163	1,88	163	1,88	163	1,88	163	1,88	163	1,88	162	1,25
boc91c0	16	129	132	2,33	139	7,75	135	4,65	139	7,75	132	2,33	139	7,75	135	4,65	139	7,75	139	7,75
boc91d0	16	217	221	1,84	226	4,15	221	1,84	223	2,76	221	1,84	226	4,15	217	0,00	217	0,00	231	6,45
boc91e0	16	137	139	1,46	141	2,92	139	1,46	141	2,92	139	1,46	141	2,92	139	1,46	141	2,92	139	1,46
boc91f0	16	128	130	1,56	140	9,38	130	1,56	140	9,38	130	1,56	140	9,38	130	1,56	140	9,38	130	1,56
boc91g0	16	167	168	0,60	168	0,60	168	0,60	168	0,60	168	0,60	168	0,60	168	0,60	168	0,60	168	0,60
boc91h0	16	194	205	5,67	203	4,64	200	3,09	203	4,64	205	5,67	203	4,64	200	3,09	203	4,64	207	6,70
boc91i0	16	140	140	0,00	140	0,00	142	1,43	142	1,43	140	0,00	140	0,00	142	1,43	142	1,43	148	5,71
boc91j0	16	138	146	5,80	162	17,39	154	11,59	162	17,39	146	5,80	162	17,39	154	11,59	162	17,39	159	15,22
che95-0	15	58	66	13,79	66	13,79	66	13,79	67	15,52	66	13,79	66	13,79	66	13,79	66	13,79	66	13,79
che96a0	10	75	81	8,00	80	6,67	81	8,00	80	6,67	81	8,00	80	6,67	79	5,33	80	6,67	81	8,00
che96b0	20	237	250	5,49	239	0,84	250	5,49	237	0,00	250	5,49	237	0,00	250	5,49	237	0,00	267	12,66
che96c0	20	199	202	1,51	218	9,55	204	2,51	208	4,52	202	1,51	218	9,55	204	2,51	208	4,52	204	2,51
cra96-0	13	80	92	15,00	91	13,75	91	13,75	92	15,00	92	15,00	92	15,00	91	13,75	91	13,75	92	15,00
kin82a0	16	234	243	3,85	256	9,40	244	4,27	251	7,26	243	3,85	256	9,40	244	4,27	250	6,84	260	11,11
kum86-0	23	276	286	3,62	295	6,88	283	2,54	293	6,16	283	2,54	295	6,88	280	1,45	293	6,16	286	3,62
mcc72a0	27	437	453	3,66	473	8,24	443	1,37	451	3,20	453	3,66	473	8,24	443	1,37	451	3,20	455	4,12
ng96-0	20	137	155	13,14	150	9,49	161	17,52	161	17,52	155	13,14	150	9,49	161	17,52	161	17,52	166	21,17
sei89-0	11	61	61	0,00	61	0,00	61	0,00	61	0,00	61	0,00	61	0,00	61	0,00	61	0,00	61	0,00
sha95c0	10	87	88	1,15	88	1,15	88	1,15	88	1,15	88	1,15	90	3,45	88	1,15	88	1,15	88	1,15
sri90-0	16	153	162	5,88	166	8,50	162	5,88	168	9,80	162	5,88	166	8,50	162	5,88	166	8,50	163	6,54
vak90-0	12	85	85	0,00	93	9,41	85	0,00	92	8,24	85	0,00	93	9,41	85	0,00	92	8,24	85	0,00
ven90a0	22	78	78	0,00	82	5,13	78	0,00	82	5,13	78	0,00	82	5,13	78	0,00	82	5,13	78	0,00
ven90b0	20	224	239	6,70	234	4,46	239	6,70	243	8,48	239	6,70	234	4,46	239	6,70	243	8,48	230	2,68

Tabla 17: Resultados del grupo 2 para 3 células.

Prb.	Prd.	modelo	1	Var.	2	Var.	3	Var.	4	Var.	5	Var.	6	Var.	7	Var.	8	Var.	9	Var.
cha89c0	24	281	290	3,20	288	2,49	290	3,20	288	2,49	290	3,20	288	2,49	290	3,20	288	2,49	304	8,19
cha89d0	24	336	358	6,55	359	6,85	348	3,57	349	3,87	358	6,55	359	6,85	348	3,57	349	3,87	361	7,44
cha89e0	24	401	414	3,24	436	8,73	427	6,48	467	16,46	414	3,24	436	8,73	427	6,48	467	16,46	440	9,73
cha89f0	24	473	492	4,02	513	8,46	492	4,02	515	8,88	492	4,02	518	9,51	492	4,02	497	5,07	492	4,02
cha89g0	24	519	532	2,50	535	3,08	532	2,50	532	2,50	532	2,50	535	3,08	532	2,50	532	2,50	527	1,54
kin82b0	30	850	887	4,35	960	12,94	911	7,18	934	9,88	899	5,76	941	10,71	914	7,53	933	9,76	926	8,94
lin96-0	22	177	195	10,17	215	21,47	195	10,17	197	11,30	195	10,17	215	21,47	195	10,17	197	11,30	194	9,60
mcc72b0	37	547	597	9,14	585	6,95	582	6,40	588	7,50	597	9,14	585	6,95	582	6,40	588	7,50	617	12,80
nai96-0	46		655		646		655		646		655		646		655		646		652	
wei89-0	30	373	386	3,49	397	6,43	387	3,75	392	5,09	386	3,49	397	6,43	387	3,75	380	1,88	395	5,90

Tabla 18: Resultados del grupo 3 para 3 células.