

CAPÍTULO 5

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se habla de la implementación del programa computacional para probar el modelo desarrollado. En la sección 5.1 se muestran todos los parámetros usados en la ejecución del programa, así como las instrucciones necesarias para correr el algoritmo. Después se exponen y se analizan los resultados obtenidos en la sección 5.2 para terminar con una evaluación completa del funcionamiento del algoritmo y una comparación con los resultados obtenidos por el Algoritmo de Crama en la sección 5.3.

5.1 Solución del Problema de Optimización

Teniendo la función objetivo completa del modelo, se definieron los valores de los coeficientes de las restricciones. Dichos coeficientes se tomaron del modelo de Crama et al. para poder hacer las comparaciones necesarias más tarde (Crama & Schyns, 2003). Para los límites se tomaron los valores de $\underline{x}_i = 0$ y $\bar{x}_i = 1$, la compra mínima fue de $\underline{B}_i = 0.05$, la venta mínima de $\underline{S}_i = 0.05$ y el número máximo de activos fue de $N = 20$.

Los valores de los parámetros necesarios para el correr el algoritmo de optimización se tomaron inicialmente de los resultados encontrados en el trabajo de Maringer y Kellerer. Los 25,000 experimentos que realizaron con valores aleatorios para los parámetros usados en su algoritmo, encontraron mayor eficiencia con una población de

100 soluciones, donde los $\pi = 12$ mejores portafolios representan los pródigos y donde el número de elitistas es $\varepsilon = 100$. En cada iteración cada uno de los 100 individuos genera 4 carteras modificadas. Para la etapa de modificación, la amplitud de movimiento de los cambios en cada iteración empieza con $U_0 = 0.3$ y se modifica en función de $\gamma_U = 0.985$. La probabilidad de que un activo i con peso modificado $x_i' = 0$ sea reemplazado por un nuevo activo es $p_r = 0.4$. En la fase de reemplazo, las $\omega = 10$ peores soluciones son reemplazadas por un clon con probabilidad $p_c = 0.3$. Para el proceso de templado simulado, la temperatura en cada iteración inicia con $T_0 = 750^\circ$ y se modifica en función de $\gamma_T = 0.9$ (Maringer & Kellerer, 2003). Todos estos valores fueron introducidos en las ventanas de detalles de los parámetros del algoritmo y aunque aparecen por default al abrir el programa de Excel, pueden ser cambiados cuando el usuario así lo desee.

El algoritmo fue probado con la misma muestra de datos financieros que utilizaron Crama et al. en sus experimentos. La muestra fue extraída de la base de datos DataStream. Los precios semanales de 151 acciones de Estados Unidos de distintos sectores tradicionales fueron tomados por 484 semanas de Enero 6 de 1988 a Abril 9 de 1997, con los cuales fueron calculados el rendimiento semanal de cada acción y la matriz de covarianzas (Crama & Schyns, 2003). El programa computacional fue ejecutado en una PC Pentium 4 con Windows XP. Inicialmente se dejó variar el rendimiento esperado anual de cada cartera de -0.1088% a 0.4712% con incrementos de 0.02%, es decir se construyeron 30 portafolios diferentes.

5.2 Presentación y Análisis de la Solución Obtenida

Una vez que se especificaron todos los valores mencionados anteriormente, el rendimiento esperado y el número de iteraciones deseadas se procedió a correr el algoritmo. Al oprimir el botón de “Ok” en la ventana de Ejecución del Algoritmo o el botón de “Ejecutar” de la ventana de Detalles de los Parámetros se despliega una ventana con una barra en la que se puede observar el progreso del algoritmo (Figura 5.1).



Figura 5.1 Barra de Progreso

Fuente: Elaboración Propia

Al terminar las iteraciones se muestra al usuario la ventana de “Resultados” (Figura 5.2) con las características de la mejor solución encontrada, es decir, el portafolio resultado. En esta ventana se especifican tanto el rendimiento, el riesgo y el valor de la penalidad total, como el número de activos y las proporciones de cada activo incluido en la cartera. Además desde allí se puede grabar la información del portafolio en la “Lista de Resultados Obtenidos”.

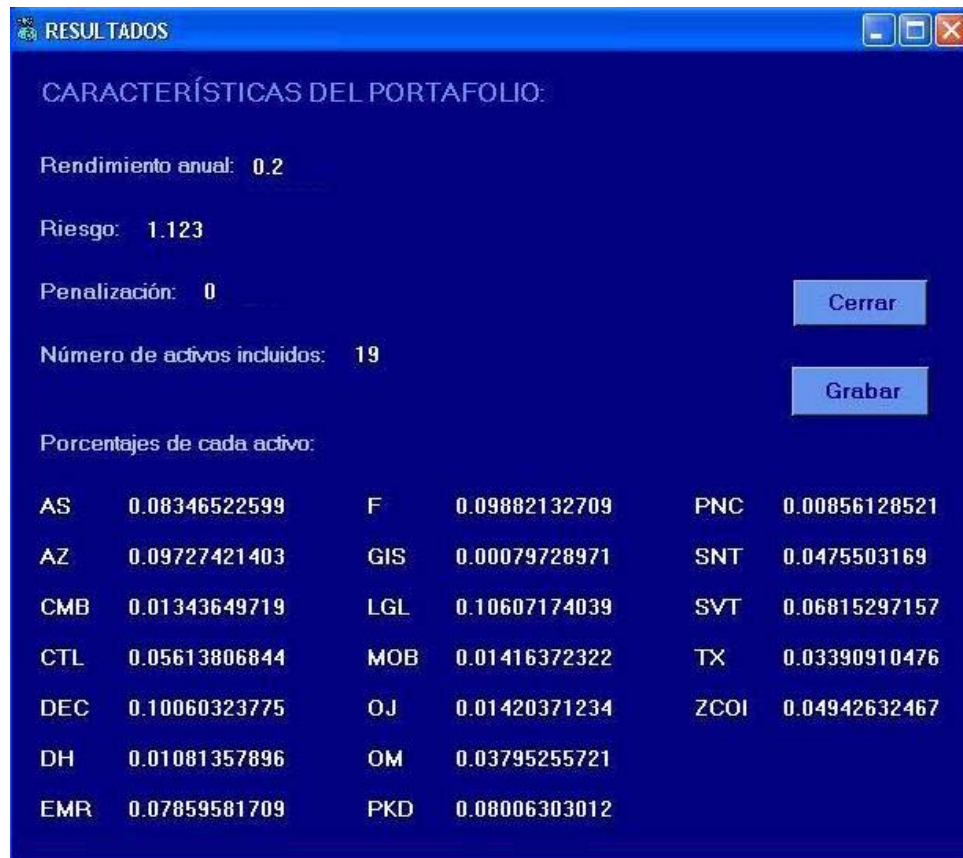


Figura 5.2 Ventana de Resultados

Fuente: Elaboración Propia

Para obtener resultados parciales del problema, se hicieron 100 iteraciones del algoritmo con cada uno de los rendimientos esperados. El resumen de los resultados encontrados se muestra en la Tabla 5.1. Debido al gran número de operaciones realizadas por iteración y a la falta de memoria disponible, Excel no permite correr el algoritmo por más de 100 iteraciones. Por lo tanto, se intentó mejorar la calidad de los resultados aumentando el número de modificaciones hechas a la estructura de cada cartera de la población. Con $m = 8$ modificaciones se puede observar por medio de las gráficas de la

frontera de las carteras encontradas para cada rendimiento (Figura 5.3), que en general si se logra disminuir el riesgo de las carteras.

Tabla 5.1 Resultados con 100 iteraciones

Número	%Rendimiento	%Riesgo	%Calidad
1	-0.1088	5.6871	5.6967074
2	-0.0888	4.8961	4.8992619
3	-0.0688	4.3561	4.356182
4	-0.0488	3.9472	3.95134
5	-0.0288	3.5788	3.58197
6	-0.0088	3.8954	3.90934
7	0.0112	3.2104	3.228351558
8	0.0312	4.066070	4.08476659
9	0.0512	3.17356	3.17902
10	0.0712	3.35844	3.37665877
11	0.0912	3.423110	3.441068125
12	0.1112	3.085	3.101698242
13	0.1312	3.4478	3.448955074
14	0.1512	3.2598	3.270527324
15	0.1712	2.791345	2.80554
16	0.1912	2.9004	2.917432
17	0.2112	2.671	2.67238458
18	0.2312	2.7309	2.74392439
19	0.2512	2.9684	2.9684
20	0.2712	2.4062	2.4062
21	0.2912	3.2104	3.22526943
22	0.3112	3.221590	3.22811432
23	0.3312	3.371270	3.37511113
24	0.3512	3.3946	3.3946
25	0.3712	3.754630	3.7593764
26	0.3912	3.5788	3.594048866
27	0.4112	4.249990	4.2499999
28	0.4312	4.3005	4.319222618
29	0.4512	3.9842	3.9988
30	0.4712	4.9472	4.953120742

Fuente: Elaboración Propia

FRONTERA DE MEDIA-VARIANZA

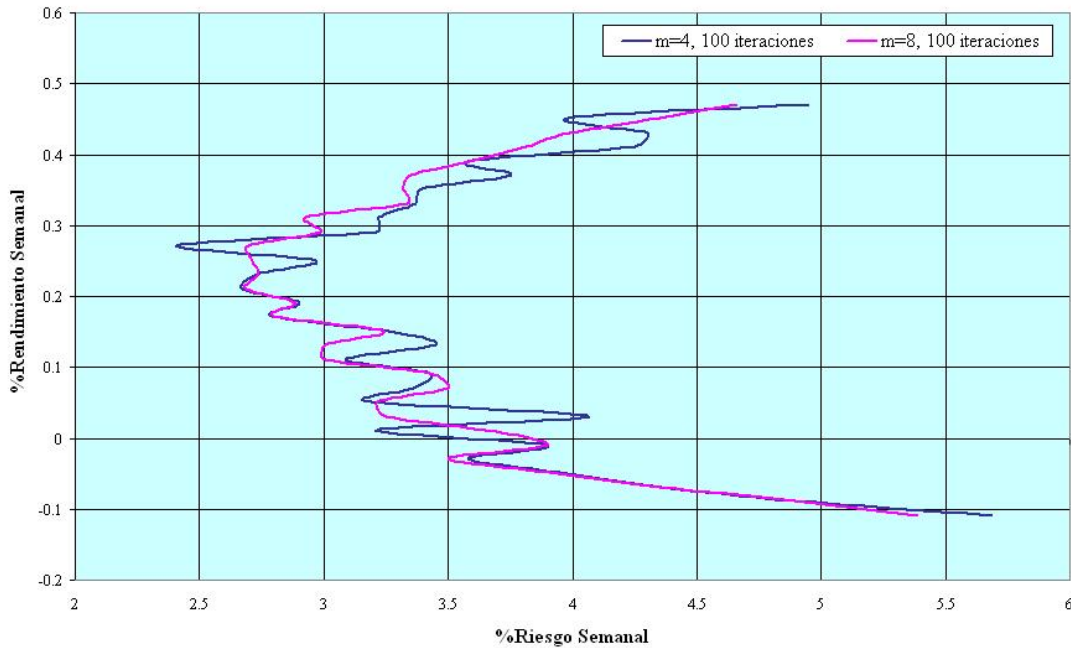


Figura 5.3 Frontera de Media-Varianza con 100 iteraciones

Fuente: Elaboración Propia

Para solucionar el problema de memoria disponible, se decidió cambiar el programa al ambiente de Visual Basic .Net, ya que además de que el lenguaje utilizado es el mismo de VBA, Visual Basic .Net es una herramienta más productiva que permite la creación de aplicaciones que se ejecutan en el Sistema Operativo Microsoft Windows sin la necesidad de contar con el paquete de Excel instalado.

La nueva versión del programa no sólo permite cambiar cualquier valor de los parámetros, sino que también permite introducir al usuario sus propios activos disponibles según su preferencia, con lo que se logró mejorar la flexibilidad del programa.

Se realizaron nuevos experimentos dejando variar el rendimiento esperado de la cartera de -0.05 a 0.5% con incrementos de 0.01%, intervalo que también fue utilizado por

Crama y Schyns y que fue elegido en este trabajo para poder hacer las comparaciones adecuadas. La primera prueba se hizo con 200 iteraciones, la segunda con 250 iteraciones. Tratando nuevamente de disminuir el riesgo de los portafolios, se realizaron experimentos aumentando el tamaño de la población de soluciones utilizadas. Con una población inicial de 150 soluciones se corrieron 250 iteraciones con los mismos datos y parámetros usados en las pruebas anteriores.

Los resultados de las tres pruebas se encuentran en la Tabla 5.2. Como era de esperarse, el riesgo de cada cartera disminuye considerablemente a comparación con los resultados obtenidos con 8 modificaciones y 100 iteraciones.

Tabla 5.2 Resultados de la nueva versión del programa

Núm.	%	% Riesgo		
		Rendimiento	200 iteraciones	250 iteraciones
1	-0.05	1.7064	1.68554	1.67255
2	-0.04	1.68444	1.61485	1.62471
3	-0.03	1.586121	1.549212	1.549212
4	-0.02	1.5264	1.48921	1.46236
5	-0.01	1.453541	1.4166	1.389522
6	0	1.397554	1.36544	1.32548
7	0.01	1.3245	1.28455	1.24589
8	0.02	1.2368	1.20562	1.20655
9	0.03	1.205671	1.1852	1.179996
10	0.04	1.19545	1.1512	1.1512
11	0.05	1.1792125	1.13995	1.13256
12	0.06	1.18052	1.1258	1.11651
13	0.07	1.17244	1.130255	1.1162
14	0.08	1.16536	1.12892	1.0981
15	0.09	1.15928	1.1165	1.0865
16	0.1	1.13885	1.09412	1.07963
17	0.11	1.15012	1.0856	1.06547
18	0.12	1.135855	1.08214	1.06355
19	0.13	1.14496	1.0735	1.0566
20	0.14	1.14388	1.079525	1.0526
21	0.15	1.12985	1.059845	1.04157
22	0.16	1.140611	1.07145	1.0456

Tabla (continuación)

Núm.	% Rendimiento	% Riesgo		
		200 iteraciones	250 iteraciones	250 i, G = 150
23	0.17	1.1422	1.08453	1.072252
24	0.18	1.1597431	1.098445	1.08133
25	0.19	1.1482	1.10644	1.0842
26	0.2	1.1722	1.11254	1.0945
27	0.21	1.1823	1.11942	1.11624
28	0.22	1.1803	1.11921	1.11754
29	0.23	1.1934	1.12452	1.12255
30	0.24	1.20005	1.1472	1.1485
31	0.25	1.2154	1.1575	1.1575
32	0.26	1.21358	1.18952	1.19266
33	0.27	1.23985	1.19875	1.20455
34	0.28	1.24855	1.208587	1.208587
35	0.29	1.25148	1.22254	1.2254
36	0.3	1.2734	1.265985	1.246
37	0.31	1.28883	1.28774	1.2631
38	0.32	1.299432	1.26884	1.2655
39	0.33	1.3247	1.2759	1.2862
40	0.34	1.33228	1.2952	1.3156
41	0.35	1.3522	1.3155	1.3364
42	0.36	1.38775	1.36844	1.37312
43	0.37	1.3945	1.3845	1.3845
44	0.38	1.41796	1.3974	1.3974
45	0.39	1.468844	1.4067	1.4006
46	0.4	1.4668	1.432	1.4268
47	0.41	1.49272	1.4583	1.4502
48	0.42	1.51964	1.4856	1.4856
49	0.43	1.54756	1.525544	1.51975
50	0.44	1.58945	1.5432	1.5402
51	0.45	1.6487	1.5735	1.56944
52	0.46	1.63732	1.6048	1.5943
53	0.47	1.66924	1.64885	1.64102
54	0.48	1.6845	1.6704	1.66585
55	0.49	1.73608	1.7047	1.6942
56	0.5	1.771	1.7398	1.7245

Fuente: Elaboración Propia

Con 200 iteraciones el decremento es de un 2.25% de riesgo en promedio, mientras que con 250 iteraciones es de un 2.3% de riesgo. Con respecto al experimento con una

población de 150 soluciones, se observa que los resultados también son mejorados. Además, se puede observar en las Figuras 5.4 y 5.5 que las fronteras obtenidas con un mayor número de iteraciones y mayor población se ajustan mejor a la línea de la frontera descrita en la Sección 2.1.2 (Figura 2.2).

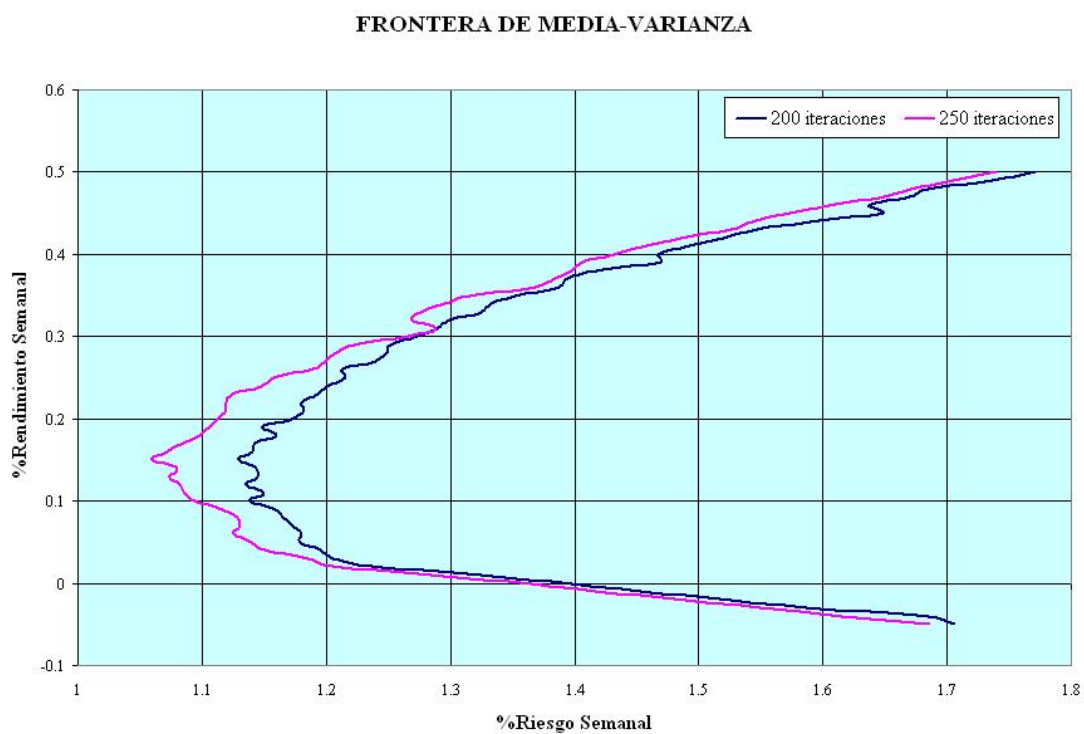


Figura 5.4 Frontera de Media-Varianza con 200 y 250 iteraciones

Fuente: Elaboración Propia

FRONTERA DE MEDIA-VARIANZA

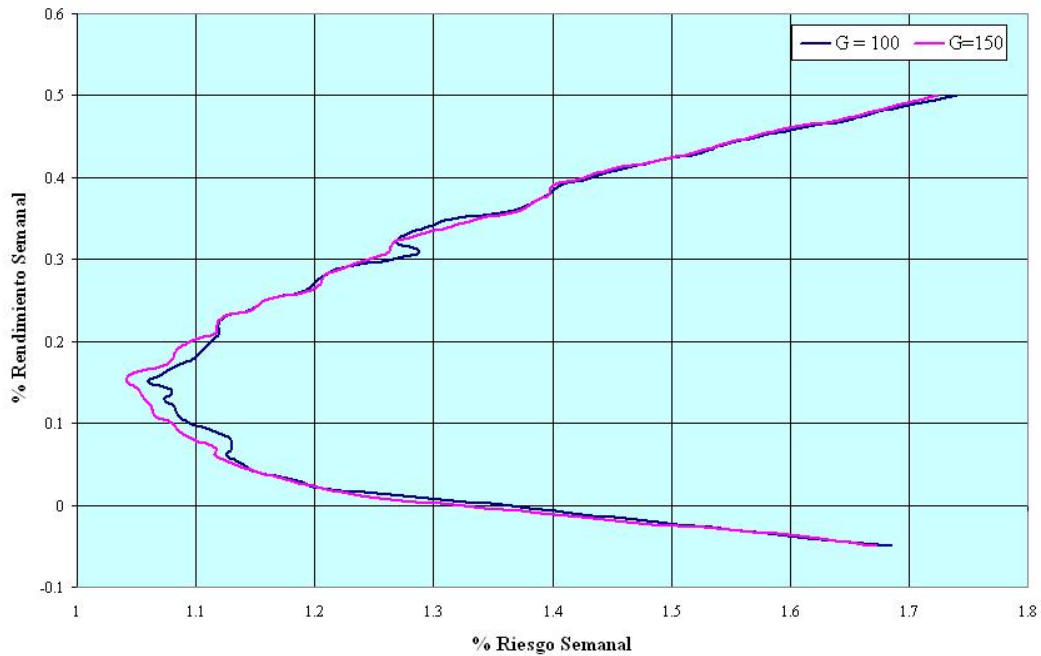


Figura 5.5 Frontera de Media-Varianza con G =100 y G =150

Fuente: Elaboración Propia

Como siguiente paso, se decidió realizar pruebas con diferentes parámetros en el proceso del algoritmo genético. Debe recordarse que la probabilidad de crear un clon en el algoritmo fue fijada en 0.3, es decir de cada 10 individuos seleccionados para ser modificados, tres pasaban a la siguiente generación con exactamente las mismas características. Dado lo anterior, se decidieron hacer experimentos variando la probabilidad de clonación de manera que al transcurrir las iteraciones del algoritmo se pudiera disminuir la existencia de las soluciones ya consideradas como “pobres”. El algoritmo se dejó correr nuevamente por 250 iteraciones con una población inicial de 150 soluciones y se fue

variando la probabilidad de clonación de 0.4 a 0.1. Los resultados obtenidos permitieron hacer una comparación que probabilidad era la más adecuada para nuestro problema.

Tabla 5.3 Resultados obtenidos variando la probabilidad de clonación

Núm.	% Rendimiento	% Riesgo		
		$p_c = 0.4$	$p_c = 0.2$	$p_c = 0.1$
1	-0.05	1.68524	1.671025	1.67952
2	-0.04	1.63482	1.61578	1.61578
3	-0.03	1.5948	1.54821	1.5795
4	-0.02	1.46236	1.461302	1.461302
5	-0.01	1.39745	1.389522	1.3902
6	0	1.3495	1.3159	1.32152
7	0.01	1.28466	1.2441	1.2548
8	0.02	1.2568	1.20047	1.2246
9	0.03	1.18566	1.16851	1.16851
10	0.04	1.16558	1.14689	1.14689
11	0.05	1.137955	1.13058	1.13256
12	0.06	1.12044	1.11203	1.11651
13	0.07	1.13654	1.10455	1.10455
14	0.08	1.10421	1.08964	1.09822
15	0.09	1.09985	1.07652	1.07652
16	0.1	1.0843	1.05641	1.06851
17	0.11	1.0832	1.0462	1.06155
18	0.12	1.09222	1.04265	1.0521
19	0.13	1.0752	1.04356	1.05654
20	0.14	1.07614	1.04125	1.051222
21	0.15	1.0685	1.035965	1.035965
22	0.16	1.06125	1.03941	1.059
23	0.17	1.098141	1.0464	1.0722
24	0.18	1.09132	1.05422	1.0648
25	0.19	1.08688	1.06722	1.07941
26	0.2	1.0998	1.08123	1.0983
27	0.21	1.1365	1.11624	1.11624
28	0.22	1.1254	1.11521	1.11754
29	0.23	1.13871	1.12255	1.12255
30	0.24	1.156598	1.1485	1.1489
31	0.25	1.1598	1.1575	1.1575
32	0.26	1.19266	1.19266	1.19266
33	0.27	1.2162	1.20455	1.2156
34	0.28	1.21368	1.208587	1.20942
35	0.29	1.2298	1.2254	1.2254
36	0.3	1.25103	1.246	1.251

Tabla (continuación)

Núm.	% Rendimiento	% Riesgo		
		$p_c = 0.4$	$p_c = 0.2$	$p_c = 0.1$
37	0.31	1.279	1.2631	1.2684
38	0.32	1.26978	1.2655	1.2685
39	0.33	1.29642	1.2862	1.2871
40	0.34	1.32552	1.3156	1.3254
41	0.35	1.34168	1.3364	1.3452
42	0.36	1.395	1.3514	1.36458
43	0.37	1.39422	1.3645	1.3792
44	0.38	1.4058	1.3785	1.3974
45	0.39	1.41668	1.4006	1.41215
46	0.4	1.4385	1.4268	1.4268
47	0.41	1.4598	1.4462	1.4502
48	0.42	1.48975	1.4682	1.4761
49	0.43	1.5246	1.4822	1.5045
50	0.44	1.55048	1.5103	1.5324
51	0.45	1.57145	1.5325	1.55169
52	0.46	1.5943	1.5614	1.5842
53	0.47	1.6552	1.5942	1.60485
54	0.48	1.67951	1.60452	1.6348
55	0.49	1.70645	1.64225	1.6712
56	0.5	1.73102	1.6842	1.69891

A pesar de que los resultados con las distintas probabilidades son muy cercanos para los rendimientos extremos de la frontera, se puede observar en la Figura 5.6 que para los rendimientos medios la probabilidad de clonación que menores niveles de riesgo obtuvo fue la de 0.2.

FRONTERA DE MEDIA-VARIANZA

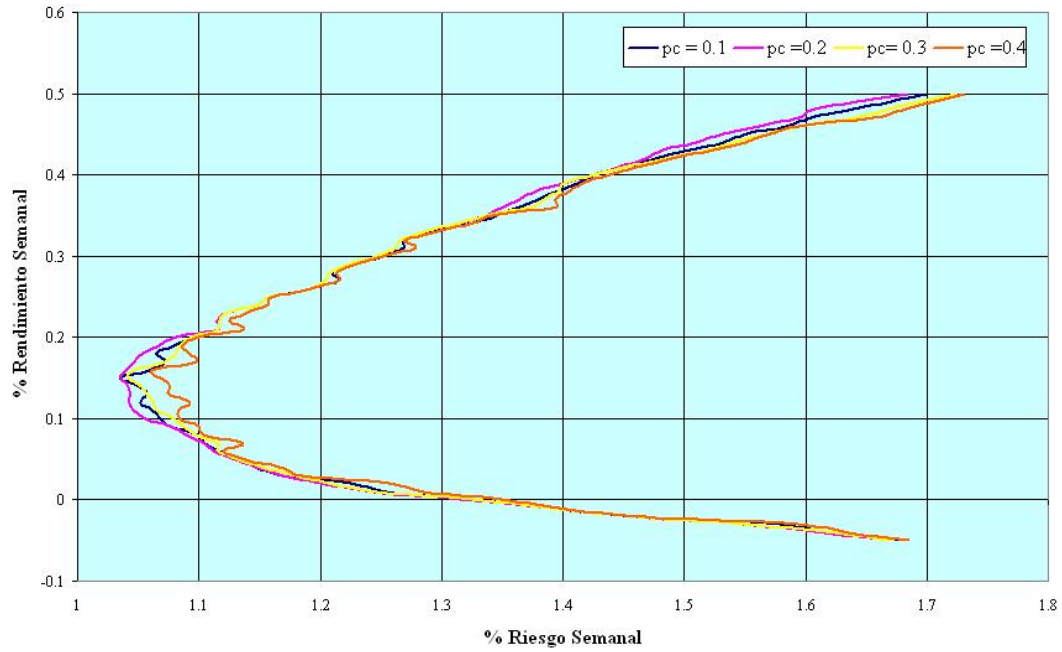


Figura 5.6 Frontera de Media-Varianza con distintas probabilidades de clonación

Fuente: Elaboración Propia

1.3 Comparación con el Algoritmo de Crama

Como se mencionó en el Capítulo 2, Crama y Schyns desarrollaron un algoritmo para resolver el modelo planteado anteriormente, basado en la técnica del Templado Simulado. Los resultados encontrados por su algoritmo se resumen en la Figura 5.7., en la que se muestra la frontera de media-varianza del modelo sin restricciones y dos de las obtenidas por su algoritmo dependiendo de la longitud L , longitud de la fase homogénea con temperatura constante del proceso de templado simulado (ver sección 2.3 de esta tesis). En la figura se pueden observar también los valores de los parámetros de las restricciones

usados en el modelo, que son los mismos utilizados en los experimentos de esta tesis, así como el tiempo real requerido por su algoritmo para optimizar cada cartera de inversión.

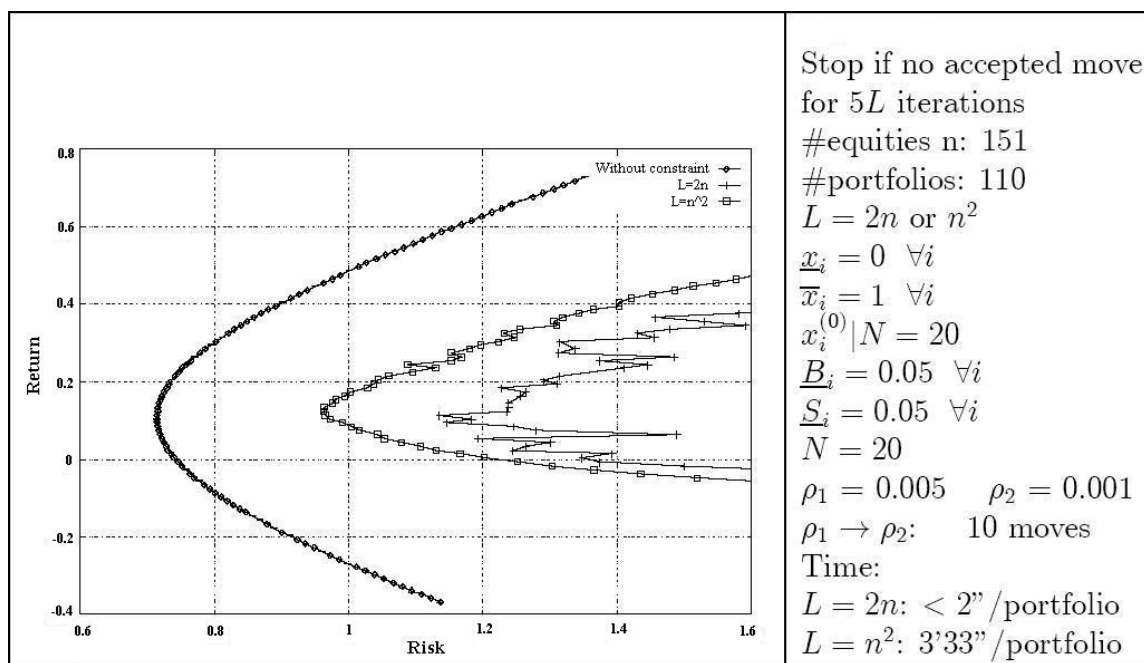


Figura 5.7 Resultados de Crama y Schyns

Fuente: Crama (2003)

La frontera de Media-Varianza encontrada con 250 iteraciones, una población de 150 soluciones y una probabilidad de clonación de 0.2 fue comparada con la frontera de Media-Varianza de Crama y Schyns con $L = n^2$ (Figura 5.8). Como puede observarse, la distancia entre las dos líneas es muy pequeña. La diferencia promedio entre las dos fronteras es de 0.039% de riesgo, lo cual quiere decir que el nuevo algoritmo obtuvo resultados bastante confiables a comparación con los de Crama y Schyns.

COMPARATIVO DE FRONTERAS

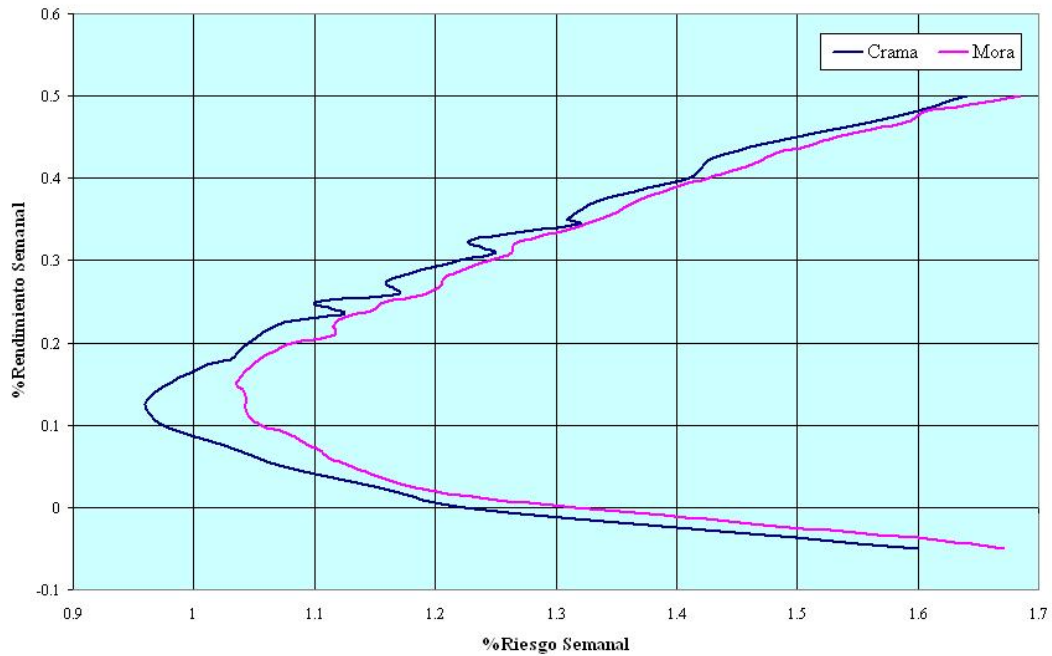


Figura 5.8 Comparación de Fronteras de Media-Varianza

Fuente: Elaboración Propia

Además, en la gráfica podemos notar que la línea de la frontera de Templado Simulado con Evolutivos es más suave que la de sólo Templado Simulado, es decir, la variabilidad de los resultados del nuevo algoritmo es menor. Para poder medir esta variabilidad, se sacó la frontera de Media-Varianza para el modelo de Markowitz (sin restricciones adicionales).

En la Tabla 5.4 se pueden observar los distintos rendimientos encontrados por el Algoritmo de Crama y Schyns, el algoritmo propuesto y con el modelo sin restricciones adicionales, dado un cierto nivel de riesgo. Con estos datos, se tiene que el rendimiento promedio encontrado por el algoritmo de Templado Simulado fue mayor en un 0.017% semanal que el rendimiento promedio de los resultados del nuevo algoritmo. A pesar de

esta diferencia, se observa que se logró reducir la varianza de las diferencias con respecto al modelo sin restricciones aproximadamente en un 49% (tomando como 100% la varianza de la diferencia de los resultados de Crama y Schyns con respecto al modelo sin restricciones).

Tabla 5.4 Comparación al Modelo sin Restricciones Adicionales

% Riesgo	% Rendimiento Semanal			Diferencias de % de Rendimiento Semanal	
	Crama	Mora	Markowitz	Crama	Mora
1.05	0.20346912	0.16364283	0.51814895	-0.3146798	-0.3545061
1.075	0.21926299	0.19231458	0.53625503	-0.316992	-0.3439404
1.1	0.23460548	0.21380741	0.55395499	-0.3193495	-0.3401476
1.125	0.24889502	0.23108607	0.57157269	-0.3226777	-0.3404866
1.15	0.26300049	0.2471978	0.58904304	-0.3260425	-0.3418452
1.175	0.2767064	0.26280965	0.606	-0.3292936	-0.3431904
1.2	0.29041517	0.27736538	0.62446626	-0.3340511	-0.3471009
1.225	0.30412816	0.29152888	0.64142242	-0.3372943	-0.3498935
1.25	0.31817068	0.30543816	0.65909658	-0.3409259	-0.3536584
1.275	0.33157373	0.31924415	0.6767	-0.3451263	-0.3574558
1.3	0.34565741	0.33307359	0.6951678	-0.3495104	-0.3620942
1.325	0.35949728	0.34714751	0.71378324	-0.354286	-0.3666357
1.35	0.37392996	0.36095177	0.73289007	-0.3589601	-0.3719383

	Crama	Mora		Crama	Mora
% Rendimiento Promedio	0.28994707	0.27273906	Varianza	0.000212	0.00010824

Fuente: Elaboración Propia

En lo que se refiere al tiempo de ejecución, los resultados de Crama y Schyns reportan un tiempo de 3 minutos 33 segundos por cada cartera de inversión construida. El mayor tiempo requerido por el nuevo algoritmo fue de 3 minutos con 9 segundos (tiempo

real). La Tabla 5.5 muestra los tiempos de ejecución de todos los experimentos realizados con esta versión.

Tabla 5.5 Tiempos de Ejecución

Tamaño de Generación	Num. Iteraciones	Tiempos		
		segundos	minutos	por iteración (seg)
100	200	94	1' 34"	0.47
100	250	145	2' 25"	0.58
150	250	189	3' 09"	0.756

Fuente: Elaboración Propia

El resumen de los resultados comparados se encuentra en la Tabla 5.6, en la cual están incluidos los cambios promedio en el rendimiento, en el riesgo, en la variabilidad y en el tiempo de ejecución. Los cambios con signo negativo son los que representan las mejoras logradas por el algoritmo propuesto.

Tabla 5.6 Resultados

	Crama y Schyns	Algoritmo Propuesto	Cambio
%Riesgo	1.2223	1.2658	0.0394
%Rendimiento	0.2899	0.2727	0.0172
Variabilidad	0.000212	0.000108	-48.95%
Tiempo de Ejecución	3' 33"	3' 09"	-7.20%

Fuente: Elaboración Propia