

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio de calibración para la optimización de los procesos logísticos portuarios de los accesos de buques y trenes con mercancía contenerizada

Autor: Cristina Sánchez Molero

Tutor: Pablo Cortés Achedad

Depto. Organización Industrial y Gestión de
Empresas II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



Estudio de calibración para la optimización de los procesos logísticos portuarios de los accesos de buques y trenes con mercancía contenerizada

Autor:

Cristina Sánchez Molero

Tutor:

Pablo Cortés Achedad

Depto. Organización Industrial y Gestión de Empresas II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016

Trabajo Fin de Grado: Estudio de calibración para la optimización de los procesos logísticos portuarios de los accesos de buques y trenes con mercancía contenerizada

Autor: Cristina Sánchez Molero
Tutor: Pablo Cortés Achedad

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A mi tutor, Pablo Cortés, por su tiempo y dedicación.

A mi familia, por su apoyo incondicional.

Índice

Índice.....	1
Índice de Tablas	5
Índice de Figuras	7
1. Objeto del Trabajo de Fin de grado.....	13
2. Historia e información sobre las terminales de contenedores portuarias.....	15
2.1. Contexto y antecedentes de las terminales portuarias.....	15
2.1.1. Evolución del transporte marítimo.....	16
2.1.2. Clasificación de la mercancía manejada en los puertos.....	17
2.1.2.1. Mercancía contenerizada	18
2.1.2.2. Mercancía no contenerizada.....	18
2.2. Conceptos básicos de las terminales de contenedores	20
2.2.1. El contenedor y sus principales tipos.....	23
2.2.2. Buques portacontenedores.....	25
2.2.3. Equipos de manipulación de una terminal de contenedores portuaria ...	26
3. Definición del problema	33
4. Algoritmo de resolución del problema: Algoritmo Genético	37
4.1. Procedimiento de optimización de los Algoritmos Genéticos	37
4.2. Algoritmo Genético Simple	38

4.3.	Identificación y descripción de los escenarios estudiados.....	41
4.3.1.	Creación de escenarios aleatorios con las anteriores características	42
4.4.	Ajuste parámetros de entrada del Algoritmo Genético para los distintos escenarios.....	46
4.4.1.	Algoritmo utilizado para la exploración de los posibles parámetros	46
4.4.2.	Parámetros finalmente escogidos para cada escenario	47
4.4.3.	Curva de aprendizaje de cada escenario.....	48
4.4.4.	Tiempos de ejecución del Algoritmo Genético para cada escenario	53
4.4.5.	Variación del fitness con respecto a los parámetros fijados	55
4.5.	Datos de salida del Algoritmo Genético	92
5.	Modelo de simulación en Arena.....	95
5.1.	Introducción software Arena	95
5.1.1.	Menús.....	95
5.1.2.	Barras de herramientas	96
5.1.3.	Módulos de Arena	97
5.2.	Datos de entrada del modelo.....	103
5.3.	Descripción del modelo	104
5.3.1.	Lectura datos de entrada.....	104
5.3.2.	Entidades utilizadas.....	105
5.3.3.	Colas con condición.....	106

5.3.4.	Carga/ Descarga de contenedores	107
5.4.	Datos de salida del modelo.....	109
5.5.	Simulación del modelo con los escenarios de estudio	111
5.5.1.	Datos de entrada de Arena.....	111
5.5.2.	Resultados simulación en Arena de los Escenarios 1, 2, 3 y 4	115
5.5.3.	Análisis informes salida de Arena	120
6.	Conclusiones	127
	Bibliografía.....	129
	Anexo 1: Valor <i>fitness</i> para cada escenario para las distintas combinaciones de parámetros variables	131

Índice de Tablas

TABLA 1: EVOLUCIÓN DEL VOLUMEN DE TONELADAS DEL TRANSPORTE MARÍTIMO.....	16
TABLA 2: ESCENARIOS DE ESTUDIO.....	41
TABLA 3: PARÁMETROS ESCOGIDOS PARA CADA ESCENARIO	47
TABLA 4: TIEMPOS DE EJECUCIÓN ESCENARIOS 1 - 6.....	53
TABLA 5: TIEMPOS DE EJECUCIÓN ESCENARIOS 7 – 12	53
TABLA 6: VALORES MÁXIMOS CARGA Y DESCARGA ESCENARIOS 1, 2, 3, 4 ..	126
TABLA 9: VALORES FITNESS ESCENARIO 1	131
TABLA 10: VALORES FITNESS ESCENARIO 2.....	137
TABLA 11: VALORES FITNESS ESCENARIO 3.....	143
TABLA 12: VALORES FITNESS ESCENARIO 4.....	148
TABLA 13: VALORES FITNESS ESCENARIO 5.....	154
TABLA 14: VALORES FITNESS ESCENARIO 6.....	160
TABLA 15: VALORES FITNESS ESCENARIO 7.....	166
TABLA 16: VALORES FITNESS ESCENARIO 8.....	171
TABLA 17: VALORES FITNESS ESCENARIO 9.....	177
TABLA 18: VALORES FITNESS ESCENARIO 10.....	183
TABLA 19: VALORES FITNESS ESCENARIO 11	189
TABLA 20: VALORES FITNESS ESCENARIO 12.....	194

Índice de Figuras

FIGURA 1: ESTRUCTURA DE LOS SUBSISTEMAS DE LA TERMINAL PORTUARIA	20
FIGURA 2: PROCESO DE DESCARGA DE UN BUQUE	21
FIGURA 3: ZONA DE ALMACENAMIENTO PORTUARIO	21
FIGURA 4: GRÚA DE CARGA DE CONTENEDORES.....	22
FIGURA 5: USO DE VEHÍCULOS PARA EL TRANSPORTE INTERNO	23
FIGURA 6: BUQUE PORTACONTENEDORES.....	26
FIGURA 7: GRÚA PÓRTICO.....	27
FIGURA 8: GRÚA POLIVALENTE.....	28
FIGURA 9: GRÚA PÓRTICO DE ALMACENAMIENTO.....	29
FIGURA 10: CARRETILLA PÓRTICO	30
FIGURA 11: GRÚA APILADORA.....	30
FIGURA 12: CAMIÓN CON PLATAFORMA	31
FIGURA 13: VEHÍCULO AUTO-GUIADO	32
FIGURA 14: REPRESENTACIÓN TERMINAL PORTUARIA.....	33
FIGURA 15: ESQUEMA DEL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN.....	34
FIGURA 16: PSEUDOCÓDIGO ALGORITMO GENÉTICO SIMPLE	38
FIGURA 17: EJEMPLO DE INDIVIDUO DEL AG.....	39
FIGURA 18: PROCESO DE EVOLUCIÓN POBLACIÓN AG	40
FIGURA 19: HOJA EXCEL CON DATOS DE ENTRADA DEL AG.....	42
FIGURA 20: HOJA EXCEL CON ASIGNACIÓN DE CONTENEDORES.....	43
FIGURA 21: DATOS ESCENARIOS 1, 2, 3 Y 4.....	44
FIGURA 22: DATOS ESCENARIOS 5, 6, 7 Y 8.....	44
FIGURA 23: DATOS ESCENARIOS 9, 10, 11 Y 12.....	45
FIGURA 24: ALGORITMO EXPLORACIÓN PARÁMETROS.....	46
FIGURA 25: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 1.....	49
FIGURA 26: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 2.....	49
FIGURA 27: CRUVA APRENDIZAJE ESCENARIO 3.....	49

FIGURA 28: CRUVA APRENDIZAJE ESCENARIO 4.....	50
FIGURA 29: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 5.....	50
FIGURA 30: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 6.....	50
FIGURA 31: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 7.....	51
FIGURA 32: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 8.....	51
FIGURA 33: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 9.....	51
FIGURA 34: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 10.....	52
FIGURA 35: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 11.....	52
FIGURA 36: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 12.....	52
FIGURA 37: TIEMPOS DE EJECUCIÓN AG.....	54
FIGURA 38: VARIACIÓN NÚMERO DE ITERACIONES.....	54
FIGURA 39: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN, ESCENARIO 1.....	56
FIGURA 40: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 1.....	57
FIGURA 41: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACION. ESCENARIO 1.....	58
FIGURA 42: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 2.....	59
FIGURA 43: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 2.....	60
FIGURA 44: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 2.....	61
FIGURA 45: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 3.....	62
FIGURA 46: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 3.....	63
FIGURA 47: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 3.....	64
FIGURA 48: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 4.....	65

FIGURA 49: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO A POBLACIÓN Y A MUTACIÓN. ESCENARIO 4.....	66
FIGURA 50: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO A ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 4.....	67
FIGURA 51: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 5.....	68
FIGURA 52: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 5.....	69
FIGURA 53: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 5.....	70
FIGURA 54: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 6.....	71
FIGURA 55: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 6.....	72
FIGURA 56: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 6.....	73
FIGURA 57: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 7.....	74
FIGURA 58: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 7.....	75
FIGURA 59: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 7.....	76
FIGURA 60: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 8.....	77
FIGURA 61: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 8.....	78
FIGURA 62: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 8.....	79
FIGURA 63: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 9.....	80

FIGURA 64: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 9.....	81
FIGURA 65: VARIACIÓN FITNESS CON RESDPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 9.....	82
FIGURA 66: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 10.....	83
FIGURA 67: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 10.....	84
FIGURA 68: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 10.....	85
FIGURA 69: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 11.....	86
FIGURA 70: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLAACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 11.....	87
FIGURA 71: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 11.....	88
FIGURA 72: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 12.....	89
FIGURA 73: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 12.....	90
FIGURA 74: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 12.....	91
FIGURA 75: EXCEL SALIDA ESCENARIO 2	92
FIGURA 76: VENTANA PRINCIPAL ARENA.....	96
FIGURA 77: PANEL DE PROCESOS BÁSICOS DE ARENA	97
FIGURA 78: PANEL DE PROCESOS AVANZADOS DE ARENA.....	100
FIGURA 79: PANEL DE TRASLADOS AVANZADOS DE ARENA.....	102
FIGURA 80: DATOS DE ENTRADA DEL MODELO DE ARENA	103
FIGURA 81: SUBPROCESO “LEER DATOS”	104
FIGURA 82: MÓDULO “LEER DATOS”	105
FIGURA 83: CAMINOS MODULARES DE LAS PRINCIPALES ENTIDADES	105

FIGURA 84: ZONA DE ALMACENAMIENTO	106
FIGURA 85: SUBMODELO “BUSCAR CONTENEDOR ZA”	107
FIGURA 86: SUBPROCESO DE DESCARGA.....	108
FIGURA 87: ÁREA DE ESCRITURA	109
FIGURA 88: SUBPROCESO “ESCRIBIR DATOS TRANSPORTE”	109
FIGURA 89: FICHERO DE SALIDA DE ARENA.....	110
FIGURA 90: MODELO DE SIMULACIÓN EN EJECUCIÓN.....	110
FIGURA 91: DATOS ESCENARIOS 1, 2, 3 Y 4.....	111
FIGURA 92: DATOS SALIDA AG ESCENARIO 1.....	112
FIGURA 93: DATOS SALIDA AG ESCENARIO 2.....	112
FIGURA 94: DATOS SALIDA AG ESCENARIO 3.....	113
FIGURA 95: DATOS SALIDA AG ESCENARIO 4.....	114
FIGURA 96: HOJA EXCEL SALIDA ARENA	115
FIGURA 97: DATOS ENTRADA ARENA ESCENARIO 1	115
FIGURA 98: RESULTADOS SIMULACIÓN ARENA ESCENARIO 1	116
FIGURA 99: DATOS ENTRADA ARENA ESCENARIO 2	117
FIGURA 100: RESULTADOS SIMULACIÓN ARENA ESCENARIO 2	117
FIGURA 101: DATOS ENTRADA ESCENARIO 3	118
FIGURA 102: RESULTADOS SIMULACIÓN ARENA ESCENARIO 3	118
FIGURA 103: DATOS ENTRADA ARENA ESCENARIO 4	119
FIGURA 104: RESULTADOS SIMULACIÓN ARENA ESCENARIO 4	119
FIGURA 105: INFORME COLAS ESCENARIO 1	120
FIGURA 106: ESPERAS CARGA Y DESCARGA ESCENARIO 1	121
FIGURA 107: INFORME COLAS ESCENARIO 2	122
FIGURA 108: ESPERAS CARGA Y DESCARGA ESCENARIO 2	123
FIGURA 109: INFORME COLAS ESCENARIO 3	123
FIGURA 110: ESPERAS CARGA Y DESCARGA ESCENARIO 3	124
FIGURA 111: INFORME COLAS ESCENARIO 4	125
FIGURA 112: ESPERAS CARGA Y DESCARGA ESCENARIO 4	126

1. Objeto del Trabajo de Fin de grado

El mercado internacional está sufriendo un gran aumento debido al nivel de globalización actual. Este aumento ha afectado mayoritariamente al comercio marítimo, dado que es el más eficiente y menos costoso para transportar grandes volúmenes de mercancía.

En este contexto, las terminales portuarias son un nodo básico, por su importancia en las redes de transporte intermodal de mercancías. Por ello, todas sus operaciones deben ser optimizadas con el fin de lograr la máxima productividad global en este nodo de la red.

El objetivo de este proyecto será realizar un estudio de calibración sobre un algoritmo de optimización sobre los procesos logísticos que tienen lugar en una terminal portuaria con la llegada de buques y trenes cargados con mercancía contenerizada.

El algoritmo de optimización será un Algoritmo Genético. Esta metaheurística tratará de minimizar el tiempo de residencia en una terminal de los transportes que llegan a ella con mercancía y que deben salir de ella con mercancía diferente de con la que entraron.

Se tomarán diferentes escenarios de estudio, que diferirán unos de otros en el número de barcos y trenes que interactúan con el puerto en un periodo de tiempo dado; la capacidad de estos; y el número de grúas disponibles en el puerto durante dicho periodo de tiempo. Estas grúas serán las que descargarán y cargarán los contenedores de mercancías en los transportes: buques y trenes.

En este documento se estudiarán los posibles valores de los parámetros variables de entrada del Algoritmo Genético, con el fin de fijar aquellos que nos permitan llegar a la solución más óptima posible y con el menor tiempo de ejecución del algoritmo.

Los apartados que componen el proyecto pueden resumirse en los siguientes:

- Definición de los escenarios que servirán como objetos de estudio
- Definición y ejecución del Algoritmo Genético cuyo objetivo será disminuir el tiempo de residencia de los distintos transportes en la terminal
- Fijación de los parámetros variables del Algoritmo Genético para cada uno de los escenarios, buscando siempre minimizar nuestra función objetivo de los tiempos de residencia
- Ejecución de un modelo de simulación de una terminal portuaria, introduciendo como datos los distintos escenarios con los valores fijados tras la ejecución del Algoritmo Genético

El modelo de simulación servirá para comprobar si la metaheurística utilizada da lugar a una solución factible. Además, ayudará a identificar las posibles ineficiencias que se den en el puerto durante el periodo de tiempo escogido para la simulación, así como las zonas o tareas que actuarán como cuellos de botella durante el proceso.

2. Historia e información sobre las terminales de contenedores portuarias

En este capítulo se hará una introducción sobre las terminales portuarias, empezando por definir qué son y explicando su evolución. También se explicarán las principales mercancías que circulan por ellas, así como sus conceptos básicos.

2.1. Contexto y antecedentes de las terminales portuarias

Para contextualizar este proyecto, se comenzará por hacer una introducción sobre las terminales portuarias, los elementos principales que las componen, así como su evolución a lo largo de los años.

En primer lugar, en la Real Academia Española de la lengua se define “*puerto*” como “lugar en la costa o en las orillas de un río que, por sus características, naturales o artificiales, sirve para que las embarcaciones realicen operaciones de carga y descarga, embarque y desembarco, etc.” En esta definición quedan agrupados todos los tipos de puertos, desde turismo hasta los de mercancías, por lo que se detallará y especificará más en los siguientes párrafos.

Hay definiciones más detalladas y quizás más acertadas para este proyecto, ya que se centran en los *puertos de mercancías*, como aquella que dice “se define puerto como el conjunto de elementos físicos (obras e instalaciones) y de actividades (servicios y organizaciones) que permiten al hombre aprovechar un lugar de la costa más o menos favorable para realizar operaciones de intercambio de mercancía entre el tráfico terrestre y marítimo”. Estos elementos físicos y actividades mencionadas en la definición anterior son indispensables para llevar a cabo el intercambio del modo de transporte.

Como consecuencia de la especialización de la producción y del transporte, ciertos puertos también se han especializado dando lugar a la *terminal portuaria* y ésta se define como “aquellas instalaciones portuarias que constituyen la interfaz entre los diferentes modos de transporte, permitiendo la transferencia de la carga entre el buque, el camión, ferrocarril, buque *feeder* o barcaza y viceversa”.

En este capítulo se continuará con la presentación de un breve recorrido por la historia de los puertos, al igual que se mostrarán los principales protagonistas de su evolución hasta los tiempos de hoy.

Debido a los objetivos de este proyecto, al hablar de puerto se estará haciendo referencia únicamente a los relacionados con el manejo de mercancías y no con otros fines como lo destinado a pasajeros, turismo, defensa, etc.

2.1.1. Evolución del transporte marítimo

Como ya se ha especificado, los puertos son el punto de cambio de modo de transporte marítimo a terrestre, dando lugar esto a su gran importancia en lo que conlleva el transporte de mercancías y convirtiéndose en la puerta que a lo largo de la historia ha permitido el intercambio comercial entre las naciones, al considerarse un medio más rápido y eficiente que el terrestre.

La construcción y desarrollo de ciudades ha estado muy condicionada a estos puntos de comercio. En octubre de 2008, un estudio realizado por la revista "Foreign Policy" publicó un ranking de las ciudades globales, entendiendo por ciudades globales las más grandes y mejor conectadas del mundo; aquellas que son los motores del crecimiento para sus países. Dicho estudio corrobora lo dicho, ya que 6 de las primeras 10 ciudades tienen una característica común: poseen uno de los puertos de mayor importancia del mundo.

Durante el siglo XX se sucedieron diferentes acontecimientos que aceleraron de manera drástica la evolución y desarrollo de los puertos. Entre los que pueden considerarse más relevantes se encuentran: la aparición del contenedor para el transporte marítimo y la especialización de la flota marítima. Esto último generó una nueva tendencia denominada "gigantismo", que promovió buques portacontenedores de mayor tamaño.

Una consecuencia de los acontecimientos anteriormente citados es la reducción considerable de los tiempos y costes de manipulación de la carga en las terminales portuarias, dando esto lugar a un incremento en el flujo de mercancías.

Aspectos como el crecimiento del comercio mundial, la globalización y la desregularización de los mercados han redefinido el papel de los puertos en el desarrollo económico mundial.

El tráfico marítimo mundial de mercancías ha logrado movilizar en el año 2013 9.548 millones de toneladas, frente a los 7.700 del 2006, los 5.498 de 2000, los 3.704 de 1980, los 2.605 de 1970 y los 525 millones de 1950 según la UNCTAD como se puede ver en la Tabla 1 (con datos expresados en millones de Tn). Lo que permite concluir que en poco más de 60 años el tráfico marítimo se ha multiplicado por 18.

TABLA 1: EVOLUCIÓN DEL VOLUMEN DE TONELADAS DEL TRANSPORTE MARÍTIMO

Year	Oil and gas	Main Bulks	Other dry cargo	Total (all cargoes)
1970	1 440	448	717	2 605
1980	1 871	608	1 225	3 704
1990	1 755	988	1 265	4 008
2000	2 163	1 295	2 526	5 984
2005	2 422	1 709	2 978	7 109

2006	2 698	1 814	3 188	7 700
2007	2 474	1 953	3 334	8 034
2008	2 742	2 065	3 422	8 229
2009	2 642	2 085	3 131	7 858
2010	2 772	2 335	3 302	8 409
2011	2 794	2 486	3 505	8 784
2012	2 841	2 742	3 614	9 197
2013	2 844	2 920	3 784	9 548

Con respecto a los tipos de mercancías transportadas, los incrementos en este periodo de tiempo no han ocurrido de forma similar, por lo que su representación frente al total ha tenido importantes cambios: la mercancía contenerizada ha pasado del 26% al 42%, las cargas secas a granel han pasado del 18% al 22% y las cargas líquidas han pasado del 56% al 36%.

El aumento de la eficiencia de los puertos debería ser un aspecto importante a considerar, ya que sus posibles errores y, por ende, los posibles aumentos de costes dentro de ellos, podría repercutir tanto al vendedor como al comprador. Esto ha generado un gran número de estudios enfocados en distintos temas.

El diseño de las rutas marítimas es uno de estos temas. Algunos autores proponen modelos para la programación de las flotas de buques portacontenedores de forma que se minimicen los costes cumpliendo con las demandas de cada puerto.

Otros autores enfocan sus investigaciones en encontrar la mejor localización de los puertos especializados en transbordo de contenedores, teniendo en cuenta distintos datos como los usuarios en la región, operadores, maquinaria, puertos cercanos, etc.

De igual forma otros trabajos que han realizado para estudiar la eficiencia de los puertos en regiones como Asia y el norte de Europa. Todos estos estudios son debidos a que estos costes son directamente a los productos, lo que puede generar una pérdida en el flujo de comercio si las redes de transporte no cuentan con puertos eficientes.

2.1.2. Clasificación de la mercancía manejada en los puertos

Son muchos los tipos de mercancías que entran y salen de un país por una terminal portuaria. Por ello, para facilitar el control y planificación es necesario realizar una clasificación de éstas.

Las mercancías que transitan por los puertos puede ser clasificada en:

- Mercancía contenerizada

- Mercancía no contenerizada: Graneles líquidos, graneles sólidos y mercancía general.

2.1.2.1. *Mercancía contenerizada*

Consiste en mercancía transportada por medio de contenedores. Los contenedores son cajas, de diversos materiales y con unas medidas estandarizadas, que permiten agilizar las operaciones de manipulación de las mercancías.

Las ventajas de los contenedores sobre otros métodos de manipulación y transporte de mercancías son su rapidez, seguridad y precio con respecto a esos métodos.

En el apartado 2.2.1 se entrará más en profundidad en la definición y tipos de contenedores.

2.1.2.2. *Mercancía no contenerizada*

Graneles líquidos

Siendo aproximadamente un 40% del total de la carga mundial, son unos de los principales motores del transporte marítimo con más de 2.844 millones de toneladas en el año. Entre estos destacan los hidrocarburos, que son principalmente de tres tipos: petróleo, con el 72%; los productos derivados de petróleo, con el 22%; y el gas con el 6%.

Graneles secos

Alcanza cerca del 60% de los intercambios marítimos internacionales con más de 3784 millones de toneladas al año en el 2013 y está compuesto por dos principales grupos. Uno es el de los gráneles mayores en donde están el hierro, el carbón, los cereales, el aluminio, la bauxita y el fosfato.

El otro grupo es el de los gráneles menores donde están las materias primas tipo acero y los productos semimanufacturados.

Se explica brevemente los principales.

- Mineral hierro: esta mercancía ha sido durante un siglo el principal granel seco transportado con casi 450 millones de toneladas anuales que corresponden al 13% de los gráneles secos solo sobrepasada en la actualidad por el carbón.
- Carbón: como ya se ha dicho, el carbón en los últimos años ha pasado a ser el principal producto transportado por mar del grupo de los gráneles secos con un 15% del total de este grupo que corresponde a más de 500 millones de toneladas anuales.

- Cereales: esta mercancía es más estable que las dos anteriores, está compuesta principalmente por trigo, maíz y soja. En total alcanzan más de 250 millones de toneladas al año correspondiendo al 8% de los gráneles secos.

Mercancía General

En este último grupo se encuentran reunidas dos tipos de mercancía teniendo en cuenta su tipo de ensamble.

En primer lugar, la mercancía general en bultos se denomina como otra carga seca; en segundo lugar, está la mercancía contenerizada. Las cantidades de carga movilizadas en esta categoría correspondieron a 2.920 millones de toneladas en el año 2013, de los cuales aproximadamente un 50% fue contenerizada.

En la actualidad se estima que el 90% de la carga general es transportada en contenedores.

2.2. Conceptos básicos de las terminales de contenedores

Una terminal de contenedores es una instalación donde los contenedores son transbordados entre los diferentes vehículos de transporte, para así poder proceder a su posterior distribución. El transbordo puede producirse entre barcos de contenedores y vehículos terrestres, como pudieran ser trenes o camiones, o viceversa, en cuyo caso la terminal se describiría como una **terminal portuaria de contenedores**. Alternativamente, dicho transbordo podría llevarse a cabo entre vehículos terrestres, como por ejemplo entre un tren y un camión, en cuyo caso la terminal se describiría como una **terminal de contenedores de puerto seco**.

La primera terminal de contenedores de puerto seco fue inaugurada en Enola (EEUU) en noviembre de 1932, siendo la primera terminal portuaria la del Puerto de Newark, en Nueva York (EEUU), que fue inaugurada el día 15 de agosto de 1962.

El objetivo esencial de la terminal de contenedores es proporcionar la organización y los medios que resulten necesarios para que se pueda producir el intercambio de contenedores entre los medios de transporte terrestre y marítimo, en las mejores condiciones de rapidez, eficiencia, seguridad, economía y respeto al medio ambiente.

En cuanto a la terminal de contenedores portuaria, ésta puede ser considerada un sistema que viene integrado por varios subsistemas, con conexión física y de información con las redes de transporte terrestres y marítimas, como puede observarse en la Figura 1.



FIGURA 1: ESTRUCTURA DE LOS SUBSISTEMAS DE LA TERMINAL PORTUARIA

FUENTE: BLOG TERMINAL PORTUARIO

Como puede comprobarse en la figura anterior, dichos subsistemas que componen la terminal son los siguientes:

Subsistema de la carga y descarga de los contenedores

Debe atender a la demanda de carga y descarga de la mercancía de buque con rapidez y seguridad de una forma integral, tanto en atención directa al barco como en lo que respecta a la relación de los medios de distribución de cargas con el resto de la terminal. En la Figura 2 se puede observar el proceso de descarga de un buque.



FIGURA 2: PROCESO DE DESCARGA DE UN BUQUE

FUENTE: WEB MÁS QUE INGENIERÍA

Subsistema del almacenamiento de los contenedores

Es el lugar de almacenamiento temporal de la mercancía durante su estancia en la terminal como puede observarse en la Figura 3. Ocupa la mayor parte de la superficie de dicha terminal, cuya disposición y extensión están estrechamente relacionadas, no solamente al tráfico que los otros subsistemas reclaman, sino a la elección de los medios de manipulación que en este subsistema vayan a trabajar.



FIGURA 3: ZONA DE ALMACENAMIENTO PORTUARIO

FUENTE: WEB CADENA DE SUMINISTRO

Subsistema de recepción y entrega terrestre

Este subsistema es el que sirve de enlace entre la zona de almacenamiento y los sistemas de transporte terrestre, como carreteras y líneas férreas. Comprende tres procesos: proceso de llegada del modo terrestre, proceso de recepción y control de la carga y proceso de carga y descarga de los vehículos y viceversa. En la Figura 4 podemos observar el proceso a través del cual una grúa carga contenedores en un medio de transporte ferroviario.



FIGURA 4: GRÚA DE CARGA DE CONTENEDORES

FUENTE: ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS (ADIF)

Subsistema de transporte interno

Es el que asegura el transporte horizontal de los contenedores entre los subsistemas anteriores. Este subsistema no está vinculado a un espacio físico concreto, pues en realidad se trata de la solución tecnológica adoptada en cada caso para los movimientos físicos y de información que se precisan.

Como puede observarse en la Figura 5, comprende el uso de vehículos o equipos para el traslado de la mercancía desde el muelle hacia la zona de almacenamiento, y viceversa, y algunas veces hasta la zona de entrega y recepción.



FIGURA 5: USO DE VEHÍCULOS PARA EL TRANSPORTE INTERNO

FUENTE: WEB GRUP TCB

2.2.1. El contenedor y sus principales tipos

Un contenedor es un recipiente de carga para el transporte marítimo o fluvial, transporte terrestre y transporte multimodal. Se trata de unidades estancas que protegen las mercancías de la climatología y que están fabricadas de acuerdo con la normativa ISO (*International Organization for Standardization*), en concreto, ISO-668; por ese motivo, también se conocen con el nombre de contenedores ISO.

Los contenedores pueden utilizarse para transportar objetos voluminosos o pesados: motores, maquinaria, pequeños vehículos, etc., o mercancía paletizada. Menos frecuentes son los que transportan carga a granel. Las dimensiones del contenedor se encuentran normalizadas para facilitar su manipulación. Normalmente miden entre 2 y 5 metros.

Los contenedores son fabricados principalmente de acero corten, pero también los hay de aluminio y algunos otros de madera contrachapada, reforzados con fibra de vidrio. En la mayor parte de los casos, el suelo es de madera, aunque ya hay algunos de bambú. Interiormente llevan un recubrimiento especial anti-humedad, para evitar las humedades durante el viaje.

El primer transporte de mercancías con contenedores fue el 26 de abril de 1956. Corrió a cargo de Malcom MacLean, que hizo el trayecto desde Nueva York a Houston.

Existen diferentes medidas de contenedores, dependiendo del largo y el alto:

- El ancho se fija en 7,9 pies (2,35 m).
- El alto varía entre 8 pies y 6 pulgadas (2,62 m) y 9 pies y 6 pulgadas (2,92 m).
- El largo varía entre 8 pies (2,44 m), 10 pies (3,05 m), 20 pies (6,10 m), 40 pies (12,19 m), 45 pies (13,72 m), 48 pies (14,63 m) y 53 pies (16,15 m).

Los más extendidos a nivel mundial son los equipos de 20 y 40 pies, con un volumen interno aproximado de 32,6 m³ y 66,7 m³ respectivamente. Las marcas de identificación de los contenedores están reguladas por la norma ISO 6346.

En Europa los más utilizados son los estándares de 20 y 40 pies.

En cuanto a los tipos de contenedores, pueden destacarse los siguientes:

- **Dry Van:** Son los contenedores estándar. Cerrados herméticamente y sin refrigeración o ventilación.
- **Metálicos:** Como los estándar, pero sin cerrar herméticamente y sin refrigeración. Empleados comúnmente para el transporte de residuos y basuras por carretera.
- **High Cube:** Contenedores estándar mayoritariamente de 40 pies; su característica principal es su sobrealtura (9.6 pies).
- **Reefer:** Contenedores refrigerados, ya sea de 40 o 20 pies, pero que cuentan con un sistema de conservación de frío o calor y termostato. Deben ir conectados en el buque y en la terminal, incluso en el camión si fuese posible o en un generador externo, funcionan bajo corriente trifásica. Algunas de las marcas que se dedican a fabricarlos: Carrier, Mitsubishi, Thermo King, Daikin.
- **Open Top:** de las mismas medidas que los anteriores, pero abiertos por la parte de arriba. Puede sobresalir la mercancía pero, en ese caso, se pagan suplementos en función de cuánta carga haya dejado de cargarse por este exceso.
- **Flat Rack:** carecen también de paredes laterales e incluso, según casos, de paredes delanteras y posteriores. Se emplean para cargas atípicas y pagan suplementos de la misma manera que los *Open Top*.
- **Open Side:** su mayor característica es que es abierto en uno de sus lados, sus medidas son de 20 o 40 pies. Se utiliza para cargas de mayores dimensiones en longitud que no se pueden cargar por la puerta del contenedor.
- **Tank o Contenedor cisterna:** para transportes de líquidos a granel. Se trata de una cisterna contenida dentro de una serie de vigas de acero que

delimitan un paralelepípedo cuyas dimensiones son equivalentes a las de un *Dry Van*. De esta forma, la cisterna disfruta de las ventajas inherentes a un contenedor: pueden apilarse y viajar en cualquiera de los medios de transporte típicos del transporte intermodal.

- ***Flexi-Tank***: para transportes de líquidos a granel. Suponen una alternativa al contenedor cisterna. Un *Flexi-Tank* consiste en un contenedor estándar (*Dry Van*), normalmente de 20 pies, en cuyo interior se fija un depósito flexible de polietileno de un solo uso denominado flexibag.

Se está estudiando el establecimiento de una serie de nuevas medidas como el eurocontenedor, adecuado para los palés europeos, o europalets (palés con 80 cm de ancho por 120 cm de largo), pero está muy lejos de ser un estándar, dado que los buques portacontenedores están preparados para los contenedores mencionados anteriormente.

2.2.2. Buques portacontenedores

Los buques portacontenedores son utilizados para poder transportar los contenedores de carácter estándar. Gracias a ellos pueden ser distribuidas las mercancías por todo el Mundo.

La tripulación, dependiendo del tamaño del buque, puede estar formada por un grupo de entre 20 y 40 personas, que se alojan en una zona conocida como “torre”, en la que también se ubica el puente de mando, todo ello habitualmente en la popa del buque.

El combustible utilizado para su propulsión es el gasoil, y es de destacar que los primeros portacontenedores fueron construidos modificando petroleros, que a su vez surgieron de la transformación de buques clase Liberty Surplus de la Segunda Guerra Mundial. Ya hoy constituyen una clase propia y forman parte de los barcos más grandes del mundo, aparte de los superpetroleros.

En cuanto a su potencia, ésta varía entre 1 y 2 CV por tonelada, siendo su velocidad de entre 20 y 25 nudos (30-40 km/h).

En la Figura 6 podemos ver un típico buque portacontenedor.



FIGURA 6: BUQUE PORTACONTENEDORES

FUENTE: ADMINISTRACIÓN PORTUARIA INTEGRAL DE MANZANILLO

En la actualidad, los mayores fabricantes del mundo de este tipo de barco son:

- Odense Steel Shipyard, Dinamarca
- Hyundai Heavy Industries, Corea del Sur
- Samsung Heavy Industries, Corea del Sur
- Daewoo Heavy Industries, Corea del Sur
- IHI-Kure Shipyard, Japón
- Mitsubishi Heavy Industries, Japón
- Kawasaki Shipbuilding Corporation, Japón
- Fincantieri, Italia
- Stocznia Północna (Astillero del Norte), Polonia

2.2.3. Equipos de manipulación de una terminal de contenedores portuaria

Para el correcto funcionamiento de la terminal portuaria deben existir equipos técnicos que posibiliten los servicios de carga y descarga, entre los que cabe destacar los siguientes:

- Grúa pórtico: es un tipo especial de grúa que eleva la carga mediante un montacargas instalado sobre una viga, que a su vez es rígidamente sostenida mediante dos o más patas. Estas patas generalmente pueden

desplazarse sobre unos rieles horizontales al nivel del suelo. Tienen un sistema de montacargas similar que puede recorrer la viga completamente, y un pórtico apoyado sobre rieles que recorre todo el largo del área de trabajo. Tienen capacidad para elevar cargas muy pesadas y permiten el transporte y la colocación de secciones completas de un barco moderno. El actual récord de carga más pesada sostenida por una grúa lo mantiene una grúa pórtico en Taisun, China que pudo levantar un peso de 20.000 Tn. La grúa pórtico para contenedores es una versión especial de las grúas pórtico, en la cual los raíles del pórtico horizontal y la viga de apoyo están en ménsula sobre el barco donde se recoge el contenedor. El montacargas recorre la viga horizontal desplazando las cargas desde el barco hasta el muelle o viceversa, además el desplazamiento horizontal a lo largo de la dársena permite acceder a cualquier punto del barco. Una grúa pórtico para contenedor puede elevar un contenedor de 70 a 175 metros por minuto y mover el carro horizontal a 240 metros por minutos. En la Figura 7 se pueden apreciar grúas pórtico estándar.



FIGURA 7: GRÚA PÓRTICO

FUENTE: WEB NOTICIAS LOGÍSTICA Y TRANSPORTE

- Grúas polivalentes: Son grúas que, como su nombre indica, sirven para funciones diversas, entre las que se encuentra también la carga y descarga de contenedores. Un ejemplo de este tipo de grúa podemos verlo en la Figura 8. Son cada vez menos frecuentes en los puertos de los países desarrollados, aunque siguen siendo muy comunes en los países en vías de desarrollo, dada la gran inversión que supone la modernización de estos medios de manipulación de mercancías.



FIGURA 8: GRÚA POLIVALENTE

FUENTE: WEB INTEREMPRESAS

- Grúa pórtico de almacenamiento: estas grúas, cuyo ejemplo podemos ver en la Figura 9, son las encargadas de desplazar los contenedores desde su lugar de almacenamiento hasta el medio de transporte y viceversa.



FIGURA 9: GRÚA PÓRTICO DE ALMACENAMIENTO

FUENTE: WEB CONECRANES

- Carretilla pórtico: Se utiliza para manipular los contenedores dentro de las terminales de contenedores de puertos, cargando, descargando y apilando los contenedores. El vehículo consiste en una estructura en forma de pórtico y un sistema de levantamiento, que se puede desplazar en dirección vertical con la ayuda de un cabestrante y sirve para izar el contenedor. Durante el desplazamiento de la carretilla pórtico, el contenedor va alojado en el hueco de la estructura. Puede levantar hasta 60 Tn, que equivale a dos contenedores a plena carga. Además, una carretilla pórtico puede apilar contenedores hasta cuatro alturas. La estructura está provista de un tren de conducción con ocho ruedas, gracias al cual puede desplazarse por la terminal de contenedores o la terminal de carga. Alcanzan como máximo 30 km/h de velocidad cuando trasladan contenedores cargados. Las carretillas pórtico no circulan por carretera. La cabina del conductor está situada en la parte superior de la estructura de forma que la visibilidad hacia delante y hacia atrás sea máxima. La carretilla pórtico se aproxima por la parte superior de un contenedor que se encuentra en el suelo o en un remolque, el *spreader* se acopla a las cuatro esquinas del contenedor gracias a un mecanismo hidráulico y es entonces cuando se eleva y transporta. Puede verse una carretilla pórtico en la Figura 10.



FIGURA 10: CARRETILLA PÓRTICO

FUENTE: WEB LIEBHERR

- Equipos de manipulación: son equipos no tan versátiles como la carretilla pórtico, pero son necesarios para la manipulación frontal de los contenedores. Entre otros equipos, se pueden destacar la grúa apiladora, mostrada en la Figura 11, y el cargador frontal.



FIGURA 11: GRÚA APILADORA

FUENTE: WEB CONSTRUCCION PAN-AMERICANA

- Camiones con plataforma: Son el medio más utilizado para el transporte de los contenedores dentro de la zona portuaria. Poseen una mayor velocidad de desplazamiento que los elementos anteriormente analizados, y pueden transportar entre uno y 2 contenedores, como se puede observar en la Figura 12.



FIGURA 12: CAMIÓN CON PLATAFORMA

FUENTE: WEB GRUPO CAMPAYO

- Vehículos auto-guiados: son vehículos que se mueven de manera automática, sin conductor. Están especialmente concebidos para la realización del transporte en tareas repetitivas y con alta cadencia. Este sistema garantiza el transporte en una ruta predeterminada, de manera ininterrumpida y sin la intervención directa del hombre. A fin de garantizar la seguridad de las personas y objetos, incorporan distintos sistemas de seguridad, tales como escáneres láser, sensores de proximidad, sensores de ultrasonidos, Etc... En la Figura 13 podemos ver un ejemplo de vehículo auto-guiado.



FIGURA 13: VEHÍCULO AUTO-GUIADO

FUENTE: WEB IFM

3. Definición del problema

Este proyecto se centra en el estudio de los procesos logísticos que tienen lugar en una terminal portuaria con la llegada de mercancía contenerizada mediante trenes y barcos y la salida de dicha mercancía a través de estos mismos transportes.

En el proceso logístico modelado, los contenedores que entren en el puerto vía mar, deberán salir de él vía tierra y viceversa. El número de contenedores que viajen por el conjunto de ambos tipos de transportes que interactúan con la terminal durante un período de tiempo dado debe ser el mismo, ya que tras la finalización de dicho periodo no puede quedar ningún contenedor en el puerto.

Una vez los contenedores entran en el puerto, una grúa de tipo barco será la encargada de descargarlos si es que han entrado por mar; en caso de que entren por tierra, una grúa tipo tren será la encargada de realizar esta tarea.

Tras ser descargados, los contenedores serán llevados a una zona de almacenamiento, donde esperarán a que el transporte encargado de su salida del puerto se encuentre en el mismo.

Al recibir la señal de que este transporte está presente en el puerto, los contenedores son llevados a la zona de trenes (en caso de que vinieran en barcos) o a la zona de barcos (en caso de que vinieran en trenes) y serán cargados en sus nuevos transportes por medio de grúas barco o grúas tren, según corresponda.

En la Figura 14 se puede ver una representación de una terminal portuaria, donde se identifican las distintas áreas que toman partido en el proceso logístico descrito.



FIGURA 14: REPRESENTACIÓN TERMINAL PORTUARIA

Por medio de una serie de pasos, mostrados de forma ilustrada en la Figura 15, se tratará de optimizar el proceso logístico definido, imponiendo como principal objetivo la reducción del intervalo de tiempo en el que los transportes se encuentran presentes en el puerto.



FIGURA 15: ESQUEMA DEL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN

A continuación, se detallarán los distintos pasos de este proceso de optimización.

En primer lugar, se describirán distintos escenarios de estudio que servirán como ejemplos de posibles situaciones del puerto. Dichos escenarios, que serán comentados con mayor detalle más adelante, diferirán unos de otros en el número de transportes de cada tipo, la capacidad de los mismos, el número de grúas de cada tipo y los tiempos de operación de éstas.

Una vez definidos los escenarios y escritos en un lenguaje compatible con el software Matlab, se utilizará un Algoritmo Genético (AG), detallado también en un apartado expresamente para ello. Su función objetivo será minimizar la suma de los tiempos de salida de los barcos y trenes del puerto, de manera que se garantice que todas las operaciones de intercambios de contenedores entre los distintos tipos de transportes se realicen con éxito y en el menor tiempo posible.

El AG será el encargado de organizar qué grúas se encargan de qué contenedores, influyendo esta distribución en la función objetivo de minimizar el instante de salida de los transportes del puerto.

Tras haberse realizado dicha organización, siguiendo el objetivo citado y contando con un número límite de iteraciones, el AG se dará por finalizado y se generará un documento de salida en formato de hoja de Excel que recogerá toda la información y

que servirá de entrada para el modelo de la terminal portuaria generado con el software Arena.

Este modelo de Arena será una representación de una terminal portuaria y gracias a él podremos detectar los posibles problemas que puedan surgir, qué secciones del puerto actúan como cuellos de botella y comprobar que las distribuciones de las grúas y de los contenedores es correcta y posible.

Todos estos procesos serán explicados a lo largo del proyecto de manera detenida, indicando más detalles acerca de ellos.

4. Algoritmo de resolución del problema: Algoritmo Genético

Este capítulo contiene el primer paso del proceso de optimización descrito en el capítulo anterior: definición de los escenarios de estudio, definición del Algoritmo Genético que será utilizado para la optimización, y el ajuste de los parámetros variables del AG con el fin de conseguir el objetivo lo más eficazmente posible.

4.1. Procedimiento de optimización de los Algoritmos Genéticos

Los Algoritmos Genéticos son métodos adaptativos que, imitando los procesos genéticos de los organismos vivos, resuelven problemas reales de búsqueda y de optimización. Aunque no se pueda garantizar que el AG encuentre la solución óptima del problema, existe la certeza empírica de que ofrecerá una solución de un nivel razonablemente buena, en un tiempo competitivo. Pese a que en ocasiones existen métodos concretos más rápidos y efectivos que el AG, una ventaja que éstos ofrecen es que permiten mejorar estas técnicas específicas hibridándolas con la metodología de los AG.

Como se ha indicado, los AG se basan en imitar el proceso genético de los seres vivos. Parten de una población inicial generada al azar de forma que cada uno de los individuos que la conforman presenta una posible solución al problema. A cada uno de ellos se le asigna un valor que representa su grado de aceptación, o dicho de otra manera, cómo de buena es esa solución para el problema.

De esta manera, al igual que en la naturaleza, los individuos que ofrezcan las mejores soluciones serán los que más probabilidades tendrán de ser seleccionados para reproducirse. De igual forma, a los individuos peor adaptados (los que ofrezcan peores soluciones) les será más difícil propagar su material genético a las nuevas generaciones. Así, cada nueva generación contará con una mayor proporción de buenas características de forma que, si el AG ha sido diseñado correctamente, la población convergerá hacia una solución óptima o al menos a una buena solución del problema.

4.2. Algoritmo Genético Simple

A continuación, se plantea una versión sencilla de estos algoritmos, que se ha denominado Algoritmo Genético Simple y cuyo pseudocódigo se muestra en la Figura 16:

```
BEGIN /* Algoritmo Genetico Simple*/
  Generar una poblacion inicial.
  Computar la funcion de evaluacion de cada individuo.
  WHILE NOT Terminado DO
    BEGIN /* Producir una nueva generacion*/
      FOR Tamaño poblacion/2 DO
        BEGIN /* Ciclo Reproductivo*/
          Seleccionar dos individuos de la anterior generacion,
          para el cruce (probabilidad de seleccion proporcional
          a la funcion de evaluacion del individuo).
          Cruzar con cierta probabilidad los dos individuos
          obteniendo dos descendientes.
          Mutar los dos descendientes con cierta probabilidad.
          Computar la funcion de evaluacion de los dos
          descendientes mutados.
          Insertar los dos descendientes mutados en la nueva
          generacion.
        END
      IF la poblacion ha convergido THEN
        Terminado := TRUE
      END
    END
  END
```

FIGURA 16: PSEUDOCÓDIGO ALGORITMO GENÉTICO SIMPLE

Al observar la figura anterior se puede ver que, como ya se había descrito anteriormente, se parte de una población inicial de individuos a los que se le asigna un valor mediante una función de adaptación (función de *fitness*) que representa cómo de buena es la solución que proponen.

En el caso de este problema, la función de *fitness*, es decir, la función objetivo a minimizar, es la suma de los instantes de salida de todos los transportes, valor el cuál se medirá en instantes de tiempo. De esta forma, al minimizar éste término se minimiza el tiempo de residencia de los transportes en la terminal.

Cada uno de los posibles individuos consiste en una posible organización de las grúas dentro del puerto: qué tiene que hacer cada grúa barco y cada grúa tren, es decir, qué contenedor tiene que descargar y cargar y en qué instante de tiempo. De esta organización dependerá directamente el valor de la función objetivo, ya que un esquema óptimo de ejecución de cada tarea supone que los barcos y trenes estén cargados con sus contenedores correspondientes lo antes posible y así salir de la terminal tan pronto como puedan.

La Figura 17 muestra un posible individuo. En ella se detallan las características que tendría este: la organización de las grúas y el valor de la función objetivo (*fitness*) debida a esta organización.

		Identificador	Instante min de entrada	Instante máx de entrada	Instante óptimo de entrada	Instante de salida	Tiempo de residencia			
Barcos	V001		10	40	10	58	48			
	V002		20	50	20	52	32			
Trenes	T001		5	35	5	34	29			
	T002		15	45	15	34	19			
	T003		25	55	30	52	22			
	T004		30	65	40	58	18			
							288	<i>Fitness</i>		
		Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	
Grúa barco 1	Tarea	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	
	Cotenedor	Ab	Cb	Eb	Ib	Hb	Kb	Nb	Mb	
	Instante tarea	10	16	22	28	34	40	46	52	
Grúa barco 2	Tarea	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	
	Cotenedor	Bb	Db	Fb	Gb	Jb	Lb	Pb	Ob	
	Instante tarea	10	16	22	28	34	40	46	52	
Grúa tren 1	Tarea	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	
	Cotenedor	Pb	Ab	Jb	Fb	Lb	Cb	Gb	Db	
	Instante tarea	5	16	22	28	34	40	46	52	
Grúa tren 2	Tarea	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	
	Cotenedor	Ob	Ib	Bb	Eb	Kb	Nb	Mb	Hb	
	Instante tarea	5	16	22	28	34	40	46	52	

FIGURA 17: EJEMPLO DE INDIVIDUO DEL AG

El cuerpo del algoritmo es un bucle que realiza las mismas tareas mientras que no se cumpla la condición de convergencia impuesta. En primer lugar, selecciona los algoritmos progenitores. A continuación, se procede a cruzar estos individuos de forma que intercambien parte de sus genes para así obtener la nueva generación de descendientes.

Posteriormente introduce un determinado grado de mutación sobre estos nuevos individuos en caso de que el problema lo requiera, y finalmente inserta y reajusta el tamaño o número de individuos que conforman la población para que ésta no crezca de forma desmesurada. La mutación suele servir para evitar quedar atrapados en mínimos locales de la función objetivo que se pretende minimizar.

En la Figura 18 se puede ver de forma ilustrada el proceso de evolución de la población en el AG.

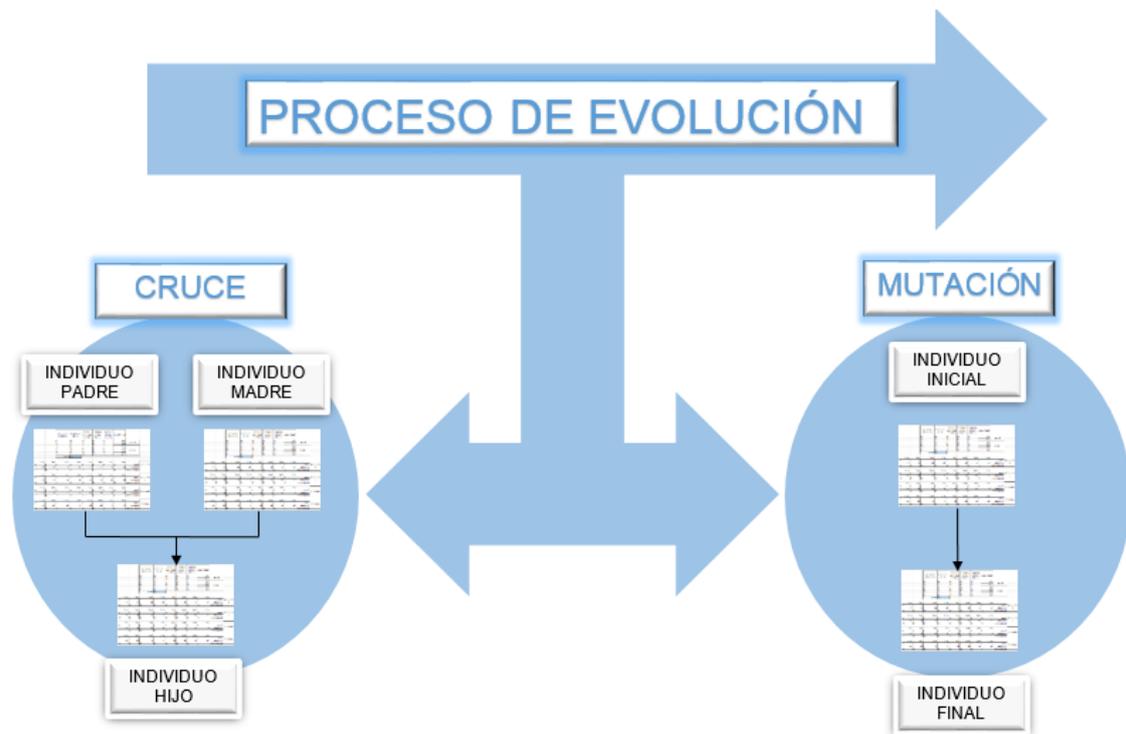


FIGURA 18: PROCESO DE EVOLUCIÓN POBLACIÓN AG

En el caso del algoritmo utilizado para el problema en cuestión, se ha utilizado un método de protección de la natalidad de manera que los nuevos individuos de la población quedan excluidos de la función de mutación durante un número determinado de iteraciones, permitiéndoseles así cruzarse antes de ser sustituidos por muy “malos” que sean. Esto conlleva a la conservación de la diversidad genética y a que el algoritmo no converja antes de lo necesario. Este proceso se repetirá mientras no se llegue al número máximo de iteraciones impuestas.

El tamaño de la población, el número máximo de iteraciones y la probabilidad de mutación (complementaria a la probabilidad de cruce) serán parámetros configurables. En un apartado posterior se procederá a la selección de los valores más recomendables de éstos para cada uno de los escenarios estudiados.

Una vez que se ha elegido la “mejor” solución, es decir, aquella que minimiza la función objetivo formada por el sumatorio de los instantes de salida de los transportes de la terminal, se crea un documento Excel que será explicado en el apartado 4.5 y en el que aparece la tarea a realizar por cada grúa y en qué instante de tiempo debe realizarse dicha tarea.

4.3. Identificación y descripción de los escenarios estudiados

Se pueden construir infinidad de posibles escenarios dependiendo de:

- El número de trenes y de barcos que entran en el puerto y de la capacidad de éstos (significando esto la variación del número de contenedores que circulan por el puerto)
- El número de grúas de barcos y de trenes y el tiempo de operación de éstas.

Siempre hay que tener en cuenta que el número de contenedores que entran en el puerto vía mar (en barcos) debe ser igual al número de contenedores que salen del puerto vía tierra (en trenes). Esto se debe a que, durante un periodo dado de tiempo, tras haber partido todos los barcos y trenes no puede quedar ningún contenedor en el puerto.

Los escenarios de estudio seleccionados han sido los siguientes:

- La capacidad de cada barco será siempre igual a 4 contenedores
- La capacidad de cada tren será siempre igual a 2 contenedores
- El tiempo de operación tanto de grúas barco como de grúas tren será siempre igual a 6 unidades de tiempo
- El número de barcos y de trenes variarán de la siguiente manera:
 - o 2 barcos y 4 trenes
 - o 5 barcos y 10 trenes
 - o 10 barcos y 20 trenes
- El número de grúas barco y grúas tren será siempre el mismo, pero variando de la siguiente manera:
 - o 1 grúa barco y 1 grúa tren
 - o 2 grúas barco y 2 grúas tren
 - o 3 grúas barco y 3 grúas tren
 - o 4 grúas barco y 4 grúas tren

Así, en total se tienen 12 escenarios. La tabla 2 muestra un resumen de dichos escenarios descritos anteriormente:

TABLA 2: ESCENARIOS DE ESTUDIO

Escenario	Nº de barcos	Capacidad de cada barco	Nº de trenes	Capacidad de cada tren	Nº de grúas barco y grúas tren	Tiempo de operación de cada grúa	Nº total de contenedores
1	2	4	4	2	1	6	16
2	2	4	4	2	2	6	16
3	2	4	4	2	3	6	16
4	2	4	4	2	4	6	16
5	5	4	10	2	1	6	40

6	5	4	10	2	2	6	40
7	5	4	10	2	3	6	40
8	5	4	10	2	4	6	40
9	10	4	20	2	1	6	80
10	10	4	20	2	2	6	80
11	10	4	20	2	3	6	80
12	10	4	20	2	4	6	80

4.3.1. Creación de escenarios aleatorios con las anteriores características

Tras decidir los datos de los escenarios de estudio, se pasará a crear distintos escenarios de ejemplo con estos datos, ya que la organización de los contenedores (en qué vehículo entran y en qué vehículo salen) y las ventanas temporales de entrada de los transportes se eligen de manera aleatoria, dando posibilidad a la existencia de tantos ejemplos para cada escenario como se desee.

Para ello, se ha creado una hoja de Excel, como la mostrada en la Figura 19, correspondiente a un ejemplo posible del escenario de estudio número 4:

A	B	C	D	E	F	G	H
TRANSPORTES	Número	Capacidad		GRUAS	Número	Tiempo carga /u (mn)	Tiempo descarga/u (mn)
Buques	2	4		Para buques	4	5	5
Trenes	4	2		Para trenes	4	5	5
DEFINIR PROBLEMA (0 o 1)	0						
OPTIMIZACION (0 o 1)	1		Preparación (1)				
PARAMETROS SIM.							
Velocidad ((10*-5,100))		100					
Observar simul. (s/n)	s		Simulación (2)				
HORARIOS RESTRICCIONES							
Cont. llegando con buques	Cont. llegando con trenes	Cont. saliendo con buques	Cont. saliendo con trenes		T_min		T_max
2	15	14	3	V1	140		155
6	13	13	6	V2	105		125
5	9	16	1	T1	165		190
4	14	15	4	T2	190		215
3	11	11	2	T3	55		75
1	10	10	7	T4	85		100
7	12	12	8				
8	16	9	5				

FIGURA 19: HOJA EXCEL CON DATOS DE ENTRADA DEL AG

A partir de esta hoja, indicando en ella:

- El número de buques y de trenes (Columna B, filas 2 y 3)
- La capacidad de éstos (Columna C, filas 2 y 3)
- El número de grúas barco y grúas tren (Columna F, filas 2 y 3)
- Los tiempos de carga y descarga de éstas (Columnas G y H, filas 2 y 3)

Se designarán de manera aleatoria el número de contenedores existentes (correspondientes al número de transportes y a la capacidad de éstos como ya se ha explicado con anterioridad) a los distintos transportes y también sus ventanas temporales de entrada. Todo esto ocurrirá tras haber indicado los anteriores datos y tras pulsar el botón Preparación, y estas asignaciones aparecerán escritas en la mitad inferior de la hoja, como puede verse en la Figura 19.

Dado que el AG se ejecuta en el software Matlab, una hoja Excel será creada simultáneamente con los mismos datos que los mostrados en la Figura 19 pero escritos en un lenguaje que Matlab pueda interpretar: los contenedores dejarán de ser nombrados con números y pasarán a ser nombrados con siglas. Un ejemplo de esta hoja puede verse en la Figura 20.

En dicha figura se pueden ver las distribuciones de los contenedores (Columnas B y C, filas 1-6), donde cada una de las siglas Ac, Ag, Af, Ae... corresponde a un contenedor, y las siglas V1-V2 a los cuatro barcos que interactúan con el puerto en este caso, y las siglas T1-T4 a los cuatro trenes que también entran y salen del puerto en el caso de este escenario ejemplo. Las columnas D, E, filas 1-6, muestran las ventanas temporales del instante de entrada de los transportes. Las columnas B, C, D, filas 7-14, contienen información relativa a las grúas: cuántas grúas barcos hay (V), cuántas grúas tren hay (T), y los tiempos de operación de éstas, que como ya se ha indicado será siempre igual a 5 unidades de tiempo.

	A	B	C	D	E	F	G
1	V1	Ac,Ag,Af,Ae	Be,Bd,Bg,Bf	140	155	0	0
2	V2	Ad,Ab,Ah,Ai	Bb,Ba,Bc,Aj	105	125	0	0
3	T1	Bf,Bd	Ad,Ag	165	190	0	0
4	T2	Aj,Be	Ab,Ae	190	215	0	0
5	T3	Bb,Ba	Ac,Ah	55	75	0	0
6	T4	Bc,Bg	Ai,Af	85	100	0	0
7	C1	V		5	5		
8	C2	V		5	5		
9	C3	V		5	5		
10	C4	V		5	5		
11	C5	T		5	5		
12	C6	T		5	5		
13	C7	T		5	5		
14	C8	T		5	5		
15							

FIGURA 20: HOJA EXCEL CON ASIGNACIÓN DE CONTENEDORES

Esta hoja servirá de entrada al Algoritmo Genético, el cual, basándose en esos datos, elegirá la mejor distribución de las grúas dentro de la terminal teniendo en cuenta que es un algoritmo heurístico por lo que no necesariamente tiene que encontrar la solución óptima.

Los escenarios han sido escogidos de manera que del 1 al 4 tienen el mismo número de barcos y trenes, del 5 al 8 ocurre lo mismo y del 9 al 12 también. Por ello, se ha decidido con el fin de ver más fácilmente cómo varía el *fitness*, para cada uno de esos tres grupos se asignarán las mismas ventanas temporales de entrada, así como la misma organización de contenedores. Lo único que variará será el número de grúas y, por tanto, la tarea que realiza cada una de ellas.

Así, estos parámetros que quedaban por fijar han quedado ya seleccionados. En las Figuras 21 - 23 pueden verse los datos que se han escogido para cada uno de estos tres grupos de 4 escenarios cada uno:

	Localizador	Organización de contenedores		Ventanas temporales fecha entrada puerto	
		a la entrada al puerto	a la salida del puerto	Instante mínimo de entrada	Instante máximo de entrada
Barcos	V001	Ab,Bb,Cb,Db	Ib,Kb,Mb,Ob	10	40
	V002	Eb,Fb,Gb,Hb	Jb,Lb,Nb,Pb	20	50
Trenes	T001	Ob,Pb	Ab,Eb	5	35
	T002	Ib,Jb	Bb,Fb	15	45
	T003	Kb,Lb	Cb,Gb	25	55
	T004	Mb,Nb	Db,Hb	30	65

FIGURA 21: DATOS ESCENARIOS 1, 2, 3 Y 4

	Localizador	Organización de contenedores		Ventanas temporales fecha entrada puerto	
		a la entrada al puerto	a la salida del puerto	Instante mínimo de entrada	Instante máximo de entrada
Barcos	V001	Ab,Bb,Cb,Db	ab,fb,kb,pb	10	40
	V002	Eb,Fb,Gb,Hb	bb,gb,lb,qb	20	50
	V003	Ib,Jb,Kb,Lb	cb,hb,mb,rb	15	35
	V004	Mb,Nb,Ob,P	db,ib,nb,sb	30	70
	V005	Qb,Rb,Sb,Tb	eb,jb,ob,tb	50	90
Trenes	T001	ab,bb	Ab,Kb	5	35
	T002	cb,db	Bb,Lb	15	45
	T003	eb,fb	Cb,Mb	25	55
	T004	gb,hb	Db,Nb	30	65
	T005	ib,jb	Eb,Ob	10	35
	T006	kb,lb	Fb,Pb	15	60
	T007	mb,nb	Gb,Qb	5	20
	T008	ob,pb	Hb,Rb	15	45
	T009	qb,rb	Ib,Sb	25	55
	T0010	sb,tb	Jb,Tb	30	65

FIGURA 22: DATOS ESCENARIOS 5, 6, 7 Y 8

	Localizador	Organización de contenedores		Ventanas temporales fecha entrada puerto	
		a la entrada al puerto	a la salida del puerto	Instante mínimo de entrada	Instante máximo de entrada
Barcos	V001	Aa,Ba,Ca,Da	aa,ba,ca,da	10	40
	V002	Ea,Fa,Ga,Ha	ea,fa,ga,ha	20	75
	V003	Ia,Ja,Ka,La	ia,ja,ka,la	25	45
	V004	Ma,Na,Oa,Pa	ma,na,oa,pa	20	50
	V005	Qa,Ra,Sa,Ta	qa,ra,sa,ta	50	85
	V006	Ua,Va,Wa,Xa	ua,va,wa,xa	40	90
	V007	Ya,Za,Ab,Bb	ya,za,ab,bb	45	100
	V008	Cb,Db,Eb,Fb	cb,db,eb,fb	35	95
	V009	Gb,Hb,Ib,Jb	gb,hb,ib,jb	30	60
	V010	Kb,Lb,Mb,Nb	kb,lb,mb,nb	30	55
Trenes	T001	aa,ba	Aa,Ua	5	35
	T002	ca,da	Ba,Va	15	45
	T003	ea,fa	Ca,Wa	25	55
	T004	ga,ha	Da,Xa	35	65
	T005	ia,ja	Ea,Ya	30	80
	T006	ka,la	Fa,Za	25	45
	T007	ma,na	Ga,Ab	20	55
	T008	oa,pa	Ha,Bb	35	70
	T009	qa,ra	Ia,Cb	60	110
	T010	sa,ta	Ja,Db	55	90
	T011	ua,va	Ka,Eb	45	75
	T012	wa,xa	La,Fb	20	55
	T013	ya,za	Ma,Gb	35	60
	T014	ab,bb	Na,Hb	10	45
	T015	cb,db	Oa,Ib	55	80
	T016	eb,fb	Pa,Jb	45	95
	T017	gb,hb	Qa,Kb	65	105
	T018	ib,jb	Ra,Lb	70	115
	T019	kb,lb	Sa,Mb	25	80
	T020	mb,nb	Ta,Nb	50	100

FIGURA 23: DATOS ESCENARIOS 9, 10, 11 Y 12

En el siguiente apartado se procederá a la elección de los parámetros de entrada variables del AG para cada uno de los escenarios posibles de estudio. Dichos parámetros configurables son: la probabilidad de mutación de la población (complementario a la probabilidad de cruce), el tamaño de ésta y el número máximo de iteraciones que realizará el algoritmo.

4.4. Ajuste parámetros de entrada del Algoritmo Genético para los distintos escenarios

En esta sección se justificará la elección de los parámetros configurables de entrada del AG para cada uno de los escenarios anteriormente descrito.

4.4.1. Algoritmo utilizado para la exploración de los posibles parámetros

Con el fin de realizar un estudio exhaustivo de todas las posibilidades existentes de combinación de los tres parámetros configurables (Probabilidad de mutación, Tamaño de la población y Número de iteraciones), se ha construido el algoritmo mostrado en la Figura 24, que permite analizar exhaustivamente la combinación de los parámetros principales del algoritmo:

```
K = Número de escenario en estudio
ProbDeMutacion = 0.1;
NumeroDeIteraciones = 100;
TamañoDePoblacion = 100;
WHILE ProbDeMutacion <= 0.5
    WHILE NumeroDeIteraciones <= 800
        WHILE TamañoDePoblacion <= 400
            Ejecución del escenario K
            TamañoDePoblacion = TamañoDePoblacion + 50;
        END
        TamañoPoblacion = 100;
        NumeroDeIteraciones = NumeroDeIteraciones + 100;
    END
    NumeroDeIteraciones = 100;
    ProbDeMutacion = ProbDeMutacion + 0.1;
END
```

FIGURA 24: ALGORITMO EXPLORACIÓN PARÁMETROS

El algoritmo está compuesto por tres bucles 'WHILE', de manera que se exploran todas las combinaciones posibles de los valores de los parámetros:

- Probabilidad de mutación: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5.
- Número máximo de iteraciones: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800.
- Tamaño de la población: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400.

En total se hacen 280 simulaciones de cada uno de los escenarios. Como ya se ha comentado, el AG no es un método de resolución exacto, pero tras la realización de este número de simulaciones y debido a no tratarse de un problema de extrema complejidad, podemos considerar los resultados de *fitness* obtenidos como buenos representantes del algoritmo en cuestión.

4.4.2. Parámetros finalmente escogidos para cada escenario

Tras la realización de las distintas simulaciones arriba comentadas, la elección de los parámetros para cada uno de los escenarios es la descrita en la Tabla 3, así como el mejor valor del *fitness* alcanzado:

TABLA 3: PARÁMETROS ESCOGIDOS PARA CADA ESCENARIO

Escenario	Número de Iteraciones	Tamaño población	Probabilidad de mutación	Probabilidad de cruce	Mejor <i>fitness</i> alcanzado
1	400	200	0.4	0.6	482
2	300	150	0.3	0.7	288
3	200	100	0.4	0.6	252
4	300	100	0.2	0.8	242
5	400	250	0.1	0.9	2768
6	500	100	0.1	0.9	1419
7	600	250	0.2	0.8	1021
8	700	200	0.3	0.7	853
9	500	300	0.1	0.9	10634
10	600	100	0.1	0.9	5373
11	700	200	0.2	0.8	3654
12	800	100	0.3	0.7	2841

El valor del *fitness* para el resto de combinaciones de parámetros para cada escenario puede verse en el Anexo 1.

Para el conjunto de escenarios 1 – 4:

Se puede observar como el número de iteraciones es relativamente pequeño (no supera en ningún caso las 400 iteraciones), al igual que el tamaño de la población. Esto se debe a que los escenarios planteados no contienen un gran número de transportes interactuando con el puerto (2 barcos y 4 trenes), por lo que no se considera un problema complejo.

El valor del *fitness*, como era de esperar, ha ido disminuyendo a medida que el número de grúas disponibles en el puerto ha ido aumentando. Así, se consigue disminuir el

sumatorio de los instantes de salida (el *fitness*) desde 400 unidades de tiempo para el caso de 2 grúas disponibles de cada tipo a 242 unidades de tiempo cuando se cuenta con 4 grúas disponibles de cada tipo.

Para el conjunto 5 – 8:

En estos escenarios se considera que el número de barcos que entran en el puerto cargados de contenedores es 5; el número de trenes es 10. La complejidad del problema ha aumentado.

Ahora el número de iteraciones no baja de 400, y se puede observar cómo éste va aumentando a medida que aumenta el número de grúas disponibles en la terminal, ya que el problema continúa complicándose y se necesitan más iteraciones para llegar a un valor considerablemente bueno.

La mejora del *fitness* es ahora mucho más notable, bajando de 2768 unidades de tiempo a 853 unidades de tiempo.

Para el conjunto 9 – 12:

Para este conjunto de escenarios, el número de barcos que entran en el puerto es igual a 10, y el número de trenes es igual a 20. El problema se complica considerablemente.

De nuevo se observa como el número de iteraciones va aumentando a medida que aumenta el número de grúas.

El *fitness* se consigue reducir de 10634 unidades de tiempo para el caso de 1 grúa tren y 1 grúa barco disponibles en el puerto hasta 2841 unidades de tiempo para el caso de 4 grúas tren y 4 grúas barco.

La diferencia más notoria se realiza entre el escenario 9 y el escenario 10, donde se reduce el *fitness* a la mitad al aumentar a 2 el número de grúas disponibles para cada tipo de transporte.

En general, para todos los escenarios se puede observar que la probabilidad de cruce es siempre mayor que la probabilidad de mutación, y en concreto es, en la mayoría de los casos, elevada. Para siete de los doce escenarios, la probabilidad de cruce es mayor o igual al 80%.

De aquí se puede deducir que, para la mayoría de los casos, es más fácil y rápido alcanzar el menor *fitness* cuando los individuos se cruzan y no cuando mutan.

4.4.3. Curva de aprendizaje de cada escenario

A continuación, las figuras 25 - 36 muestran las curvas de aprendizaje de cada uno de los escenarios y para los ejemplos elegidos de cada uno de estos. Estas curvas muestran la **variación del *fitness*** a medida que se va avanzando en **el número de iteraciones** realizadas.

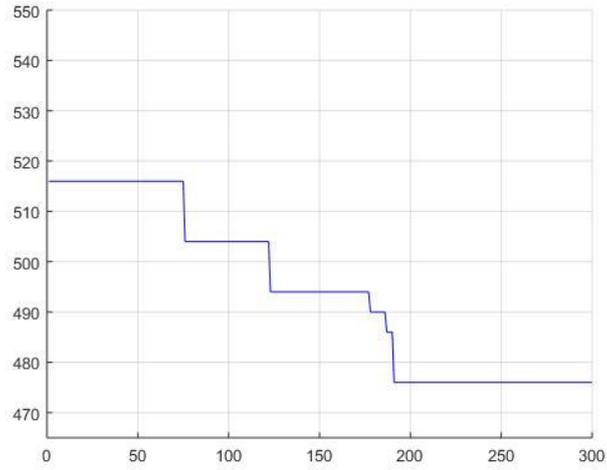


FIGURA 25: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 1

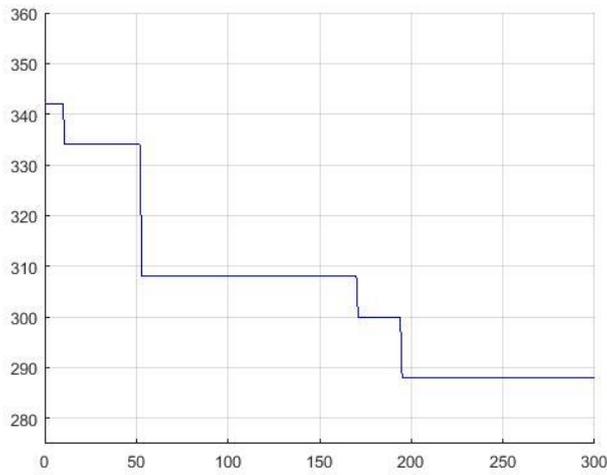


FIGURA 26: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 2

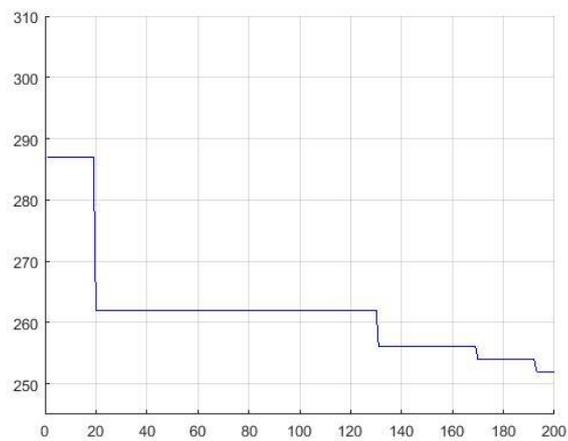


FIGURA 27: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 3

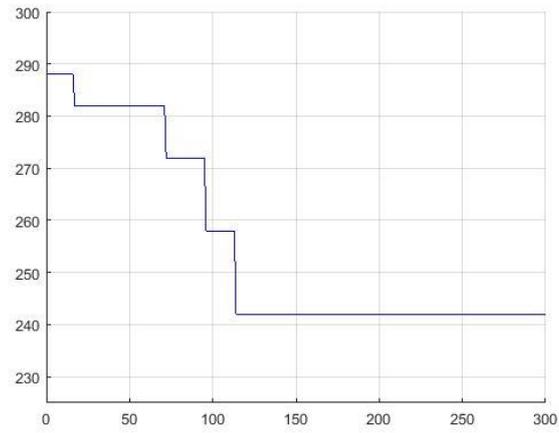


FIGURA 28: CRUVA APRENDIZAJE ESCENARIO 4

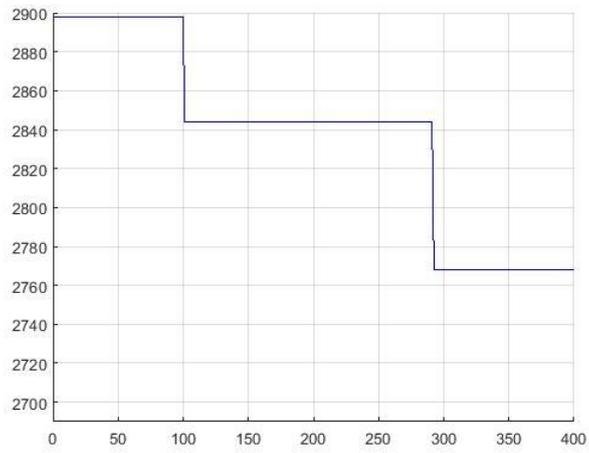


FIGURA 29: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 5

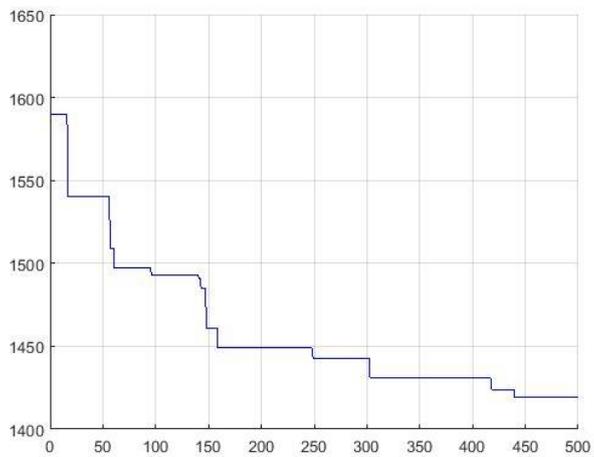


FIGURA 30: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 6

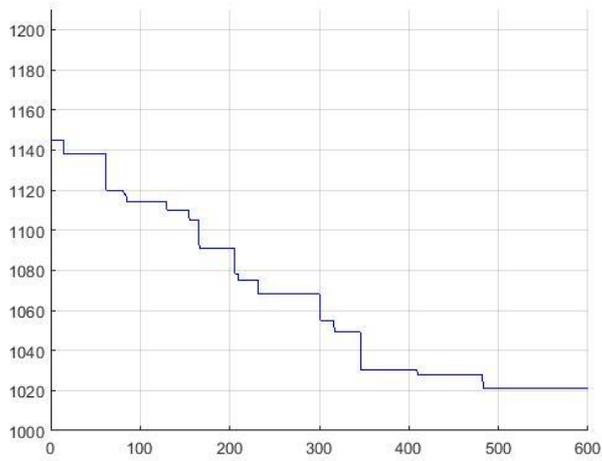


FIGURA 31: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 7

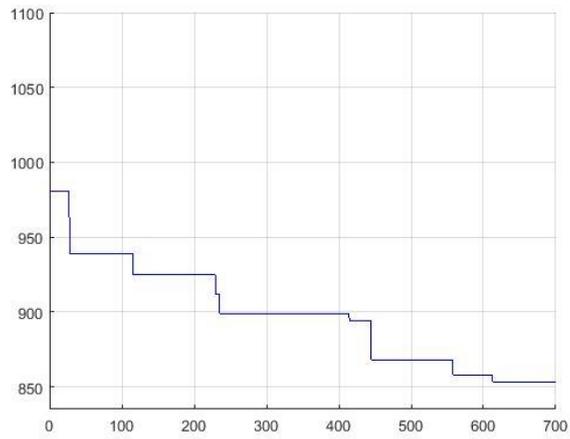


FIGURA 32: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 8

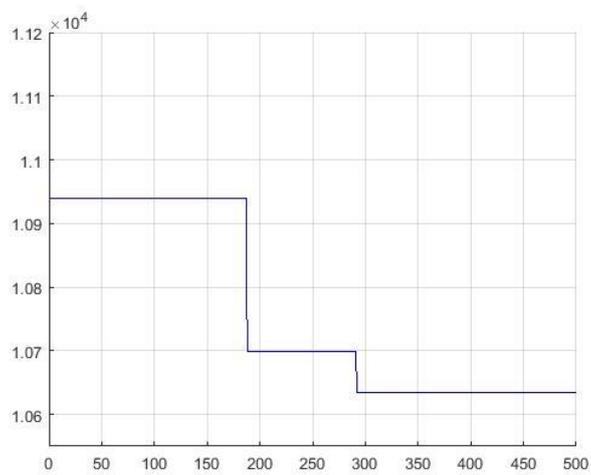


FIGURA 33: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 9

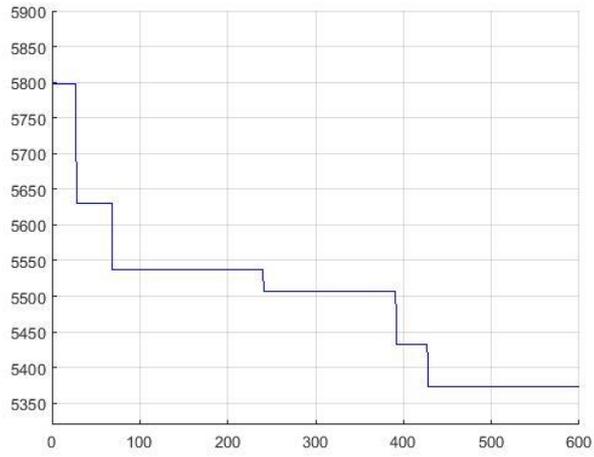


FIGURA 34: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 10

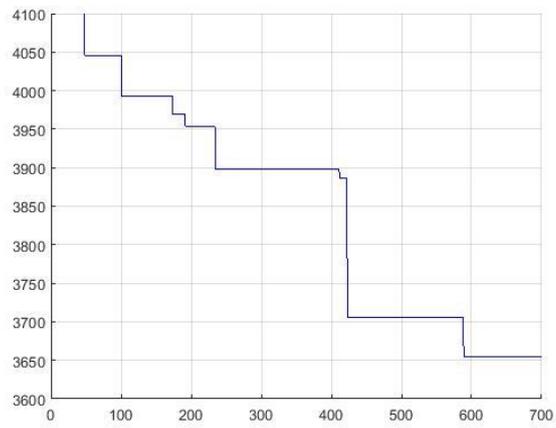


FIGURA 35: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 11

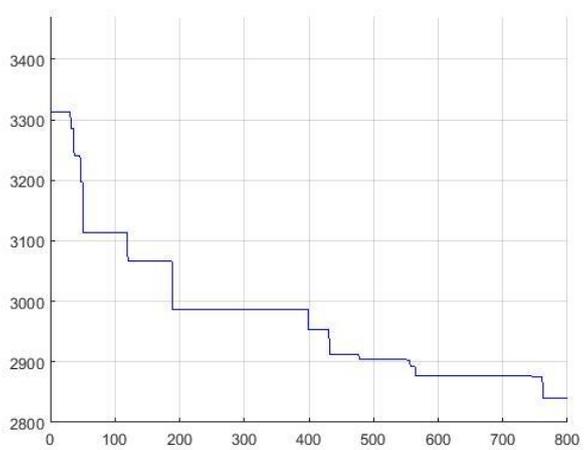


FIGURA 36: CURVA APRENDIZAJE ESCENARIO 12

4.4.4. Tiempos de ejecución del Algoritmo Genético para cada escenario

Dependiendo del escenario que se encuentre ejecutándose, el AG emplea más o menos tiempo en ejecutarse.

Al aumentar la complejidad del escenario, este tiempo de ejecución aumenta de forma exponencial.

En las Tablas 4 y 5 puede verse la media de los tiempos empleados en la ejecución del algoritmo para cada uno de los 12 escenarios, dejando fijados los parámetros escogidos y resumidos en el apartado 4.4.2.:

TABLA 4: TIEMPOS DE EJECUCIÓN ESCENARIOS 1 - 6

Escenarios	1	2	3	4	5	6
Tiempos de ejecución (segundos)	14	15	15	20	49	51

TABLA 5: TIEMPOS DE EJECUCIÓN ESCENARIOS 7 – 12

Escenarios	7	8	9	10	11	12
Tiempos de ejecución (segundos)	79	92	218	251	261	340

Estos datos corresponden al ejecutar el AG en el Servidor de Escritorio Remoto de la Universidad de Sevilla con nombre de usuario Arena.

El modelo de software utilizado es Matlab, versión R2015b, 64-bit.

La Figura 37 muestra esta variación del tiempo de ejecución con los escenarios:

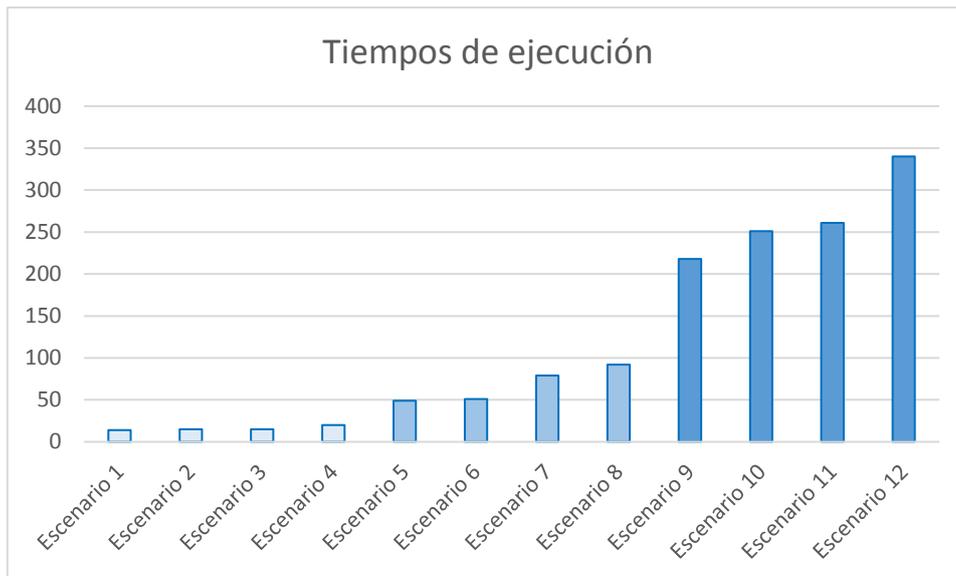


FIGURA 37: TIEMPOS DE EJECUCIÓN AG

Se puede comprobar, como ya se había dicho, que este tiempo de ejecución va aumentando a medida que aumenta la complejidad del escenario.

Para el primer grupo de escenarios no es un aumento muy marcado: el crecimiento del tiempo de ejecución ocurre de manera exponencial. Sin embargo, este tiempo de ejecución no supera nunca los 6 minutos, por lo que en ningún caso se considera demasiado alto.

Este aumento del tiempo es debido a la mayor complejidad de los escenarios a medida que se avanza, pero también se debe al aumento del número de iteraciones necesarias en cada escenario para alcanzar una solución razonadamente buena.

En la Figura 38 vemos esta variación en el número de iteraciones.

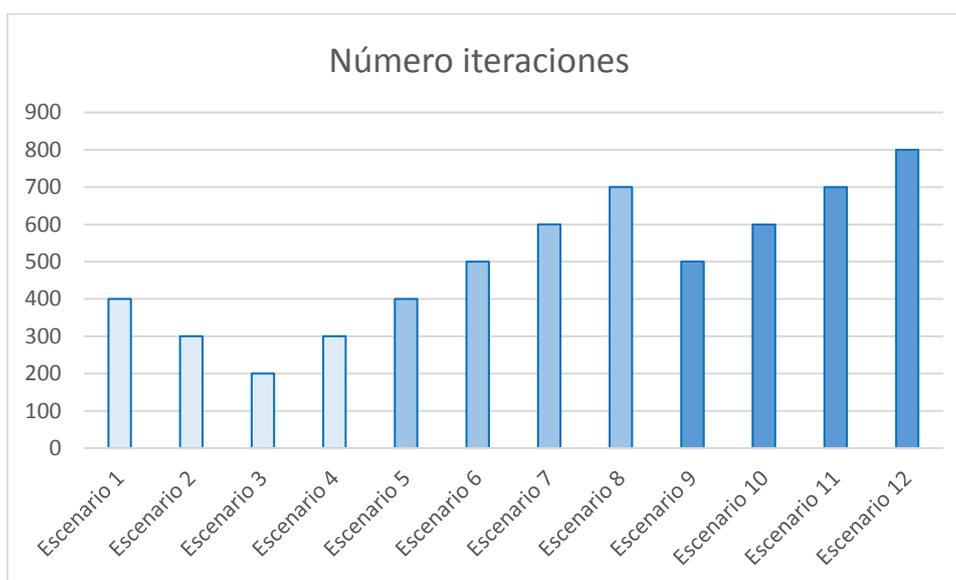


FIGURA 38: VARIACIÓN NÚMERO DE ITERACIONES

Dentro del primer grupo de escenarios (escenarios 1 – 4) no hay un aumento marcado del número de iteraciones. Estas simplemente se mantienen bajas en todo el grupo.

Para el grupo de escenarios 5 – 8 sí se ve un aumento en este número. El número máximo de iteraciones necesarias en este grupo para alcanzar el mejor *fitness* es de 700.

En cuanto al grupo 9 – 12, las iteraciones comienzan ya siendo altas (500 para el escenario 9) y van aumentando hasta alcanzar el valor de 800 iteraciones.

4.4.5. Variación del *fitness* con respecto a los parámetros fijados

A continuación, se van a representar la variación del *fitness* con respecto a los parámetros escogidos. Como los parámetros que se han variado han sido tres, se va a ir fijando cada vez uno de esos parámetros para representar el *fitness* con respecto a los otros dos. Esto se hará para cada uno de los doce ejemplos de los escenarios de estudio.

Estas variaciones se representarán en figuras planas en las que se observan los distintos *fitness* alcanzados como si fueran puntos que conforman una superficie.

En estas zonas se pueden diferenciar varios colores, los cuales son indicados en la leyenda de cada una de las figuras.

Los parámetros que han sido escogidos deberán significar un valor del *fitness* correspondiente con un mínimo en la superficie.

Escenario 1:

Parámetros fijados:

Número iteraciones	Tamaño Población	Porcentaje mutación
300	150	0.2

La Figura 39 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de porcentaje de mutación en 0.2.

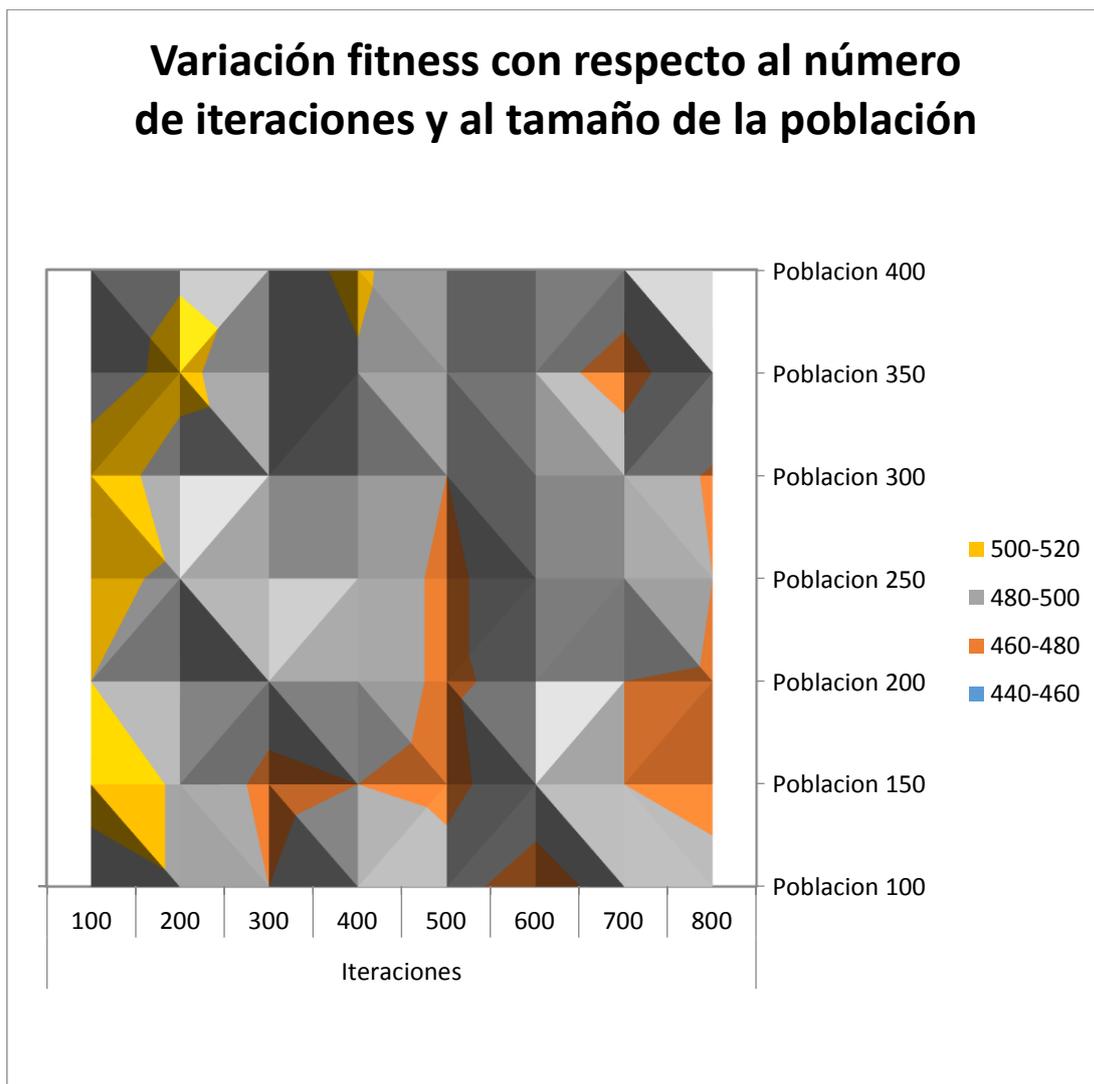


FIGURA 39: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN, ESCENARIO 1

Se puede observar que para los parámetros fijados se produce un mínimo en el *fitness*. Debido a tratarse de un escenario de poca complejidad, el número de iteraciones necesario para llegar a una solución buena no es alto: 300 iteraciones.

La Figura 40 muestra la variación del *fitness* con al porcentaje de mutación y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de número de iteraciones en 300.

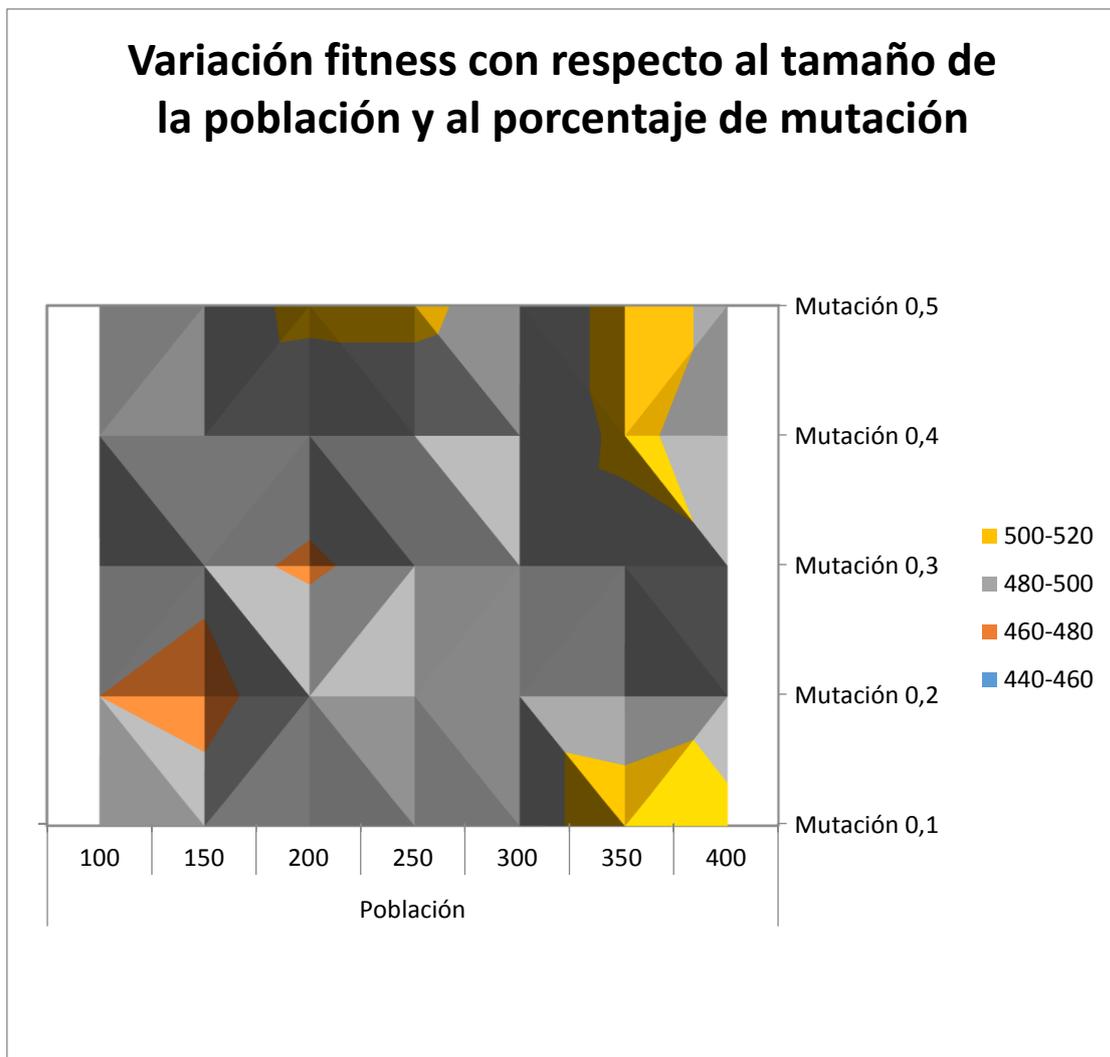


FIGURA 40: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 1

De igual manera se observa que para los parámetros fijados se produce un mínimo. Hay otro mínimo: Para Población = 200 y Mutación = 0.3, pero se prefiere el mínimo escogido ya que, al aumentar el tamaño de población, se necesita un mayor tiempo de convergencia y esto supone un aumento del tiempo de ejecución del algoritmo.

La Figura 41 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y el porcentaje de mutación, dejando fijado el tamaño de la población en 150.

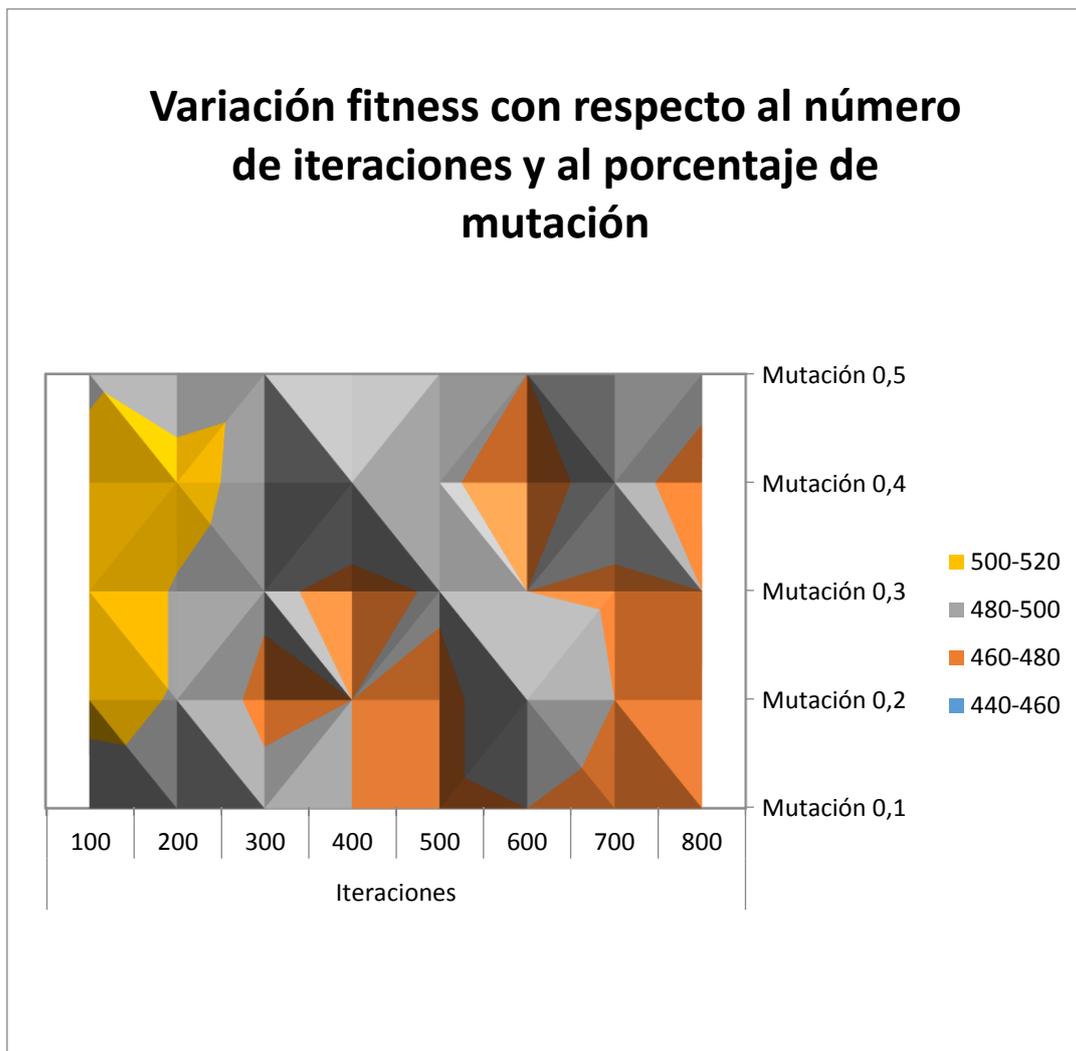


FIGURA 41: VARIACIÓN *FITNESS* CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACION. ESCENARIO 1

De nuevo, se observa que para los parámetros fijados se produce un mínimo en el *fitness*. Hay más mínimos en la función objetivo, tan buenos como el elegido, pero suponen un mayor número de iteraciones y, por tanto, un aumento del tiempo de ejecución del algoritmo.

De igual manera se han construido las superficies del resto de escenarios. A continuación, serán mostradas estas figuras y comentadas algunas de ellas.

Escenario 2:

Parámetros fijados:

Número iteraciones	Tamaño Población	Porcentaje mutación
300	150	0.3

La Figura 42 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de porcentaje de mutación en 0.3.

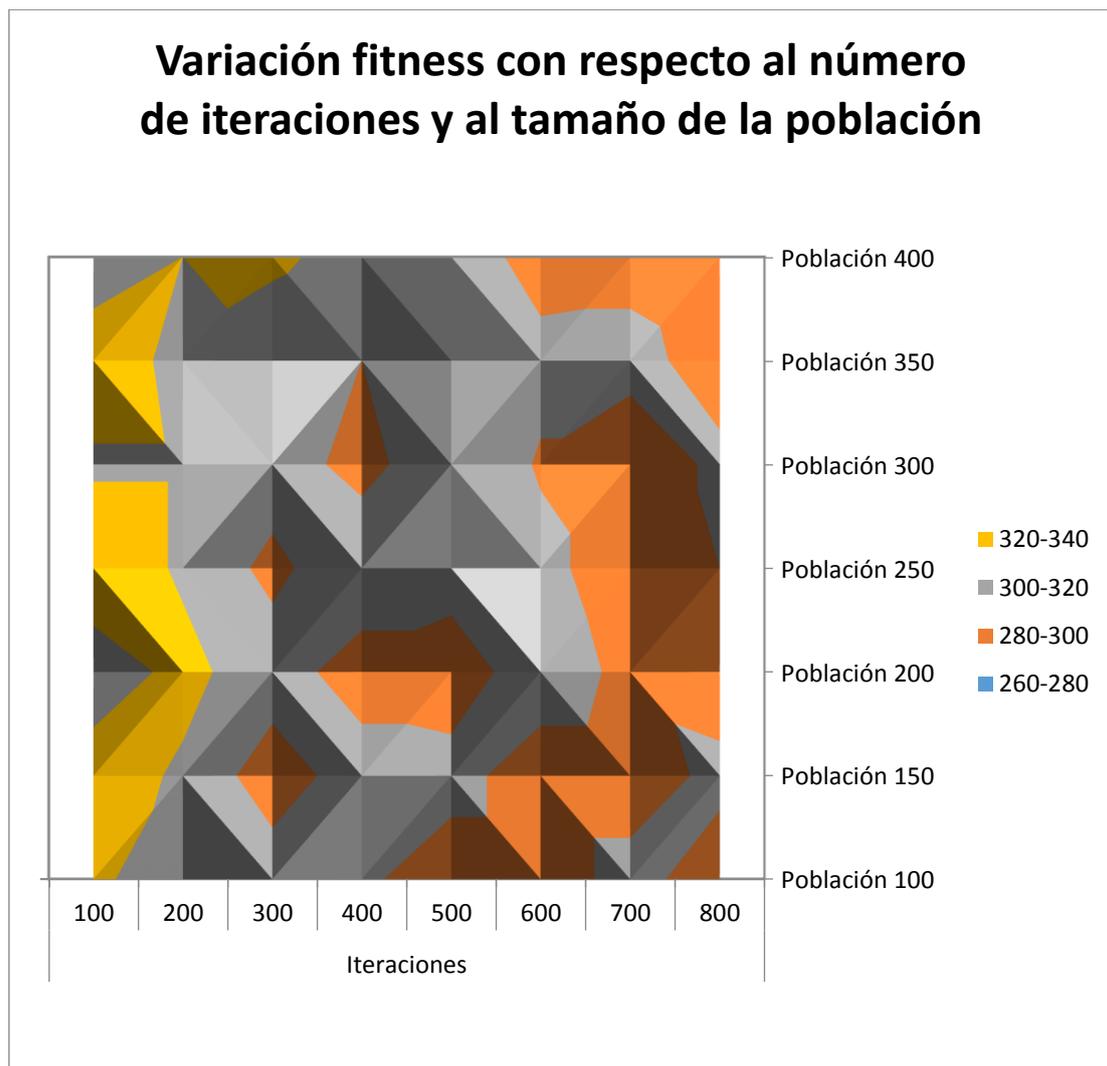


FIGURA 42: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 2

El mínimo más recomendable se encuentra para los parámetros elegidos, ya que es donde se alcanza con el menor número posible de iteraciones y con el menor tamaño de población, haciendo así que el AG tarde menos en ejecutarse.

La Figura 43 muestra la variación del *fitness* con al porcentaje de mutación y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de número de iteraciones en 300.

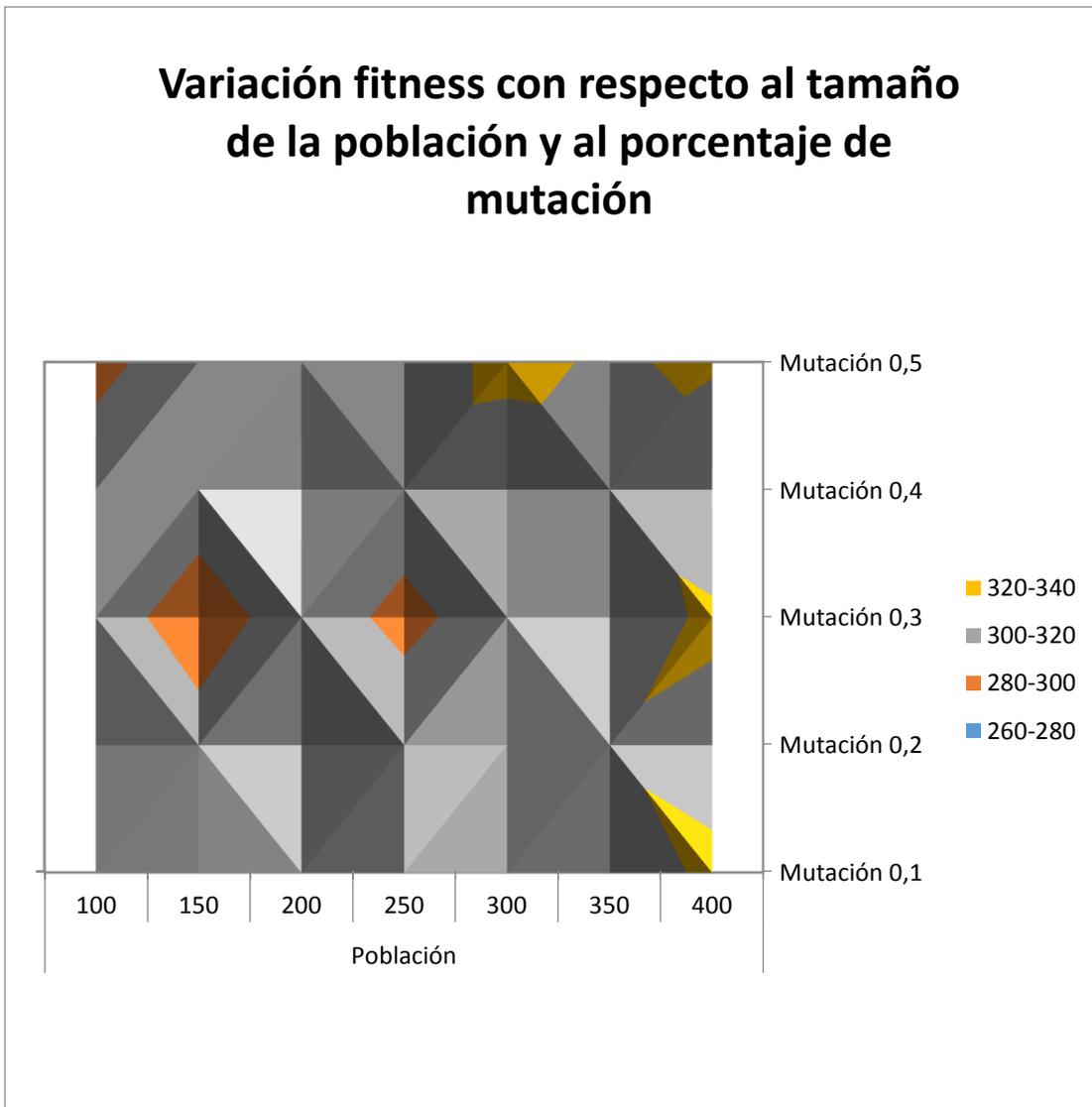


FIGURA 43: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 2

Para este número de iteraciones sólo se alcanza el mínimo en dos ocasiones. Los parámetros en este caso son los elegidos ya que hacen que el algoritmo llegue a dicho mínimo en el menor tiempo posible.

La Figura 44 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y el porcentaje de mutación, dejando fijado el tamaño de la población en 150.

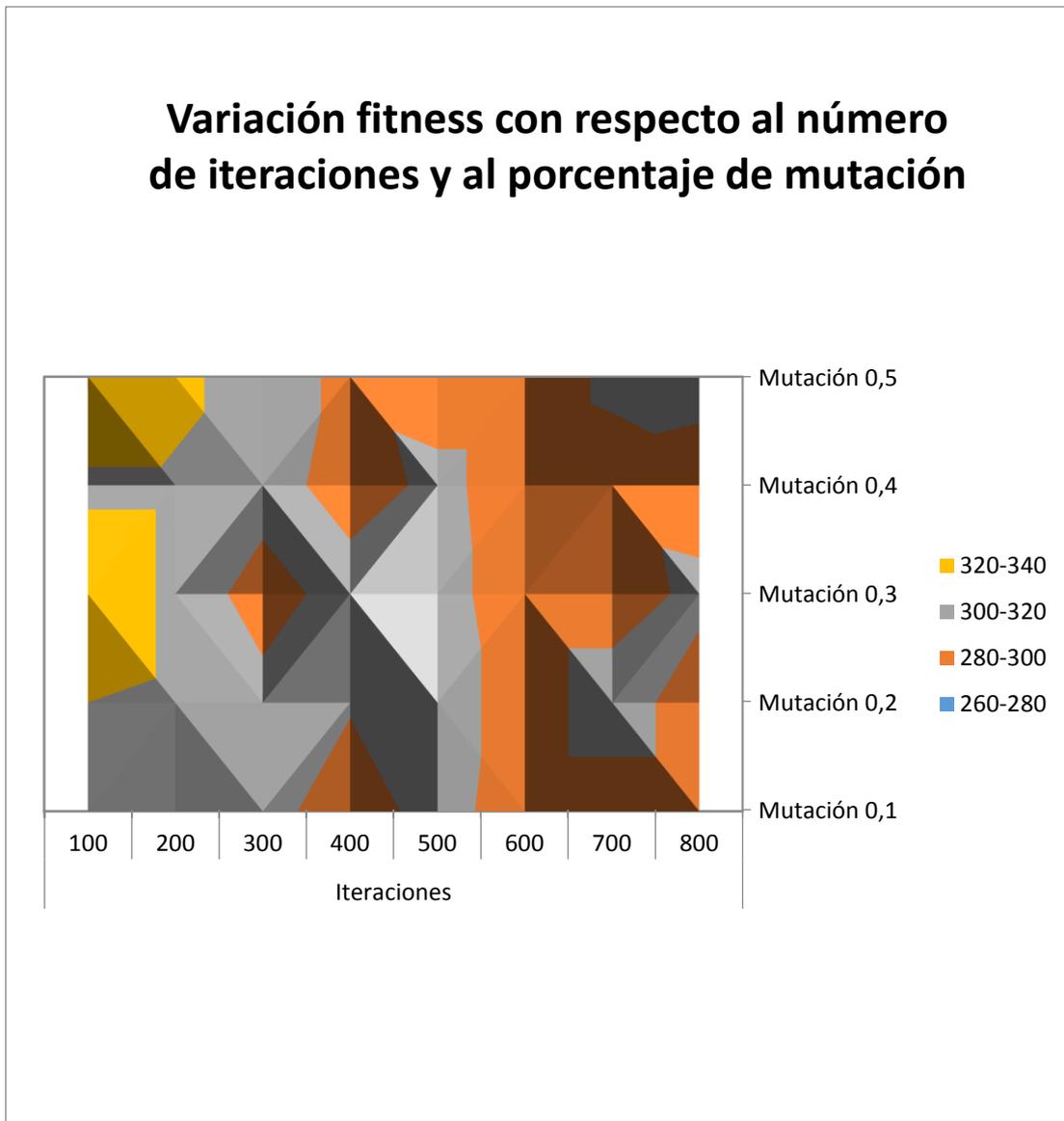


FIGURA 44: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 2

Para este valor del tamaño de la población se alcanza el mínimo en numerosas ocasiones, pero para el valor de 300 iteraciones se alcanza en el menor número de iteraciones posibles.

Escenario 3:

Parámetros fijados:

Número iteraciones	Tamaño Población	Porcentaje mutación
200	100	0.4

La Figura 45 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de porcentaje de mutación en 0.4.

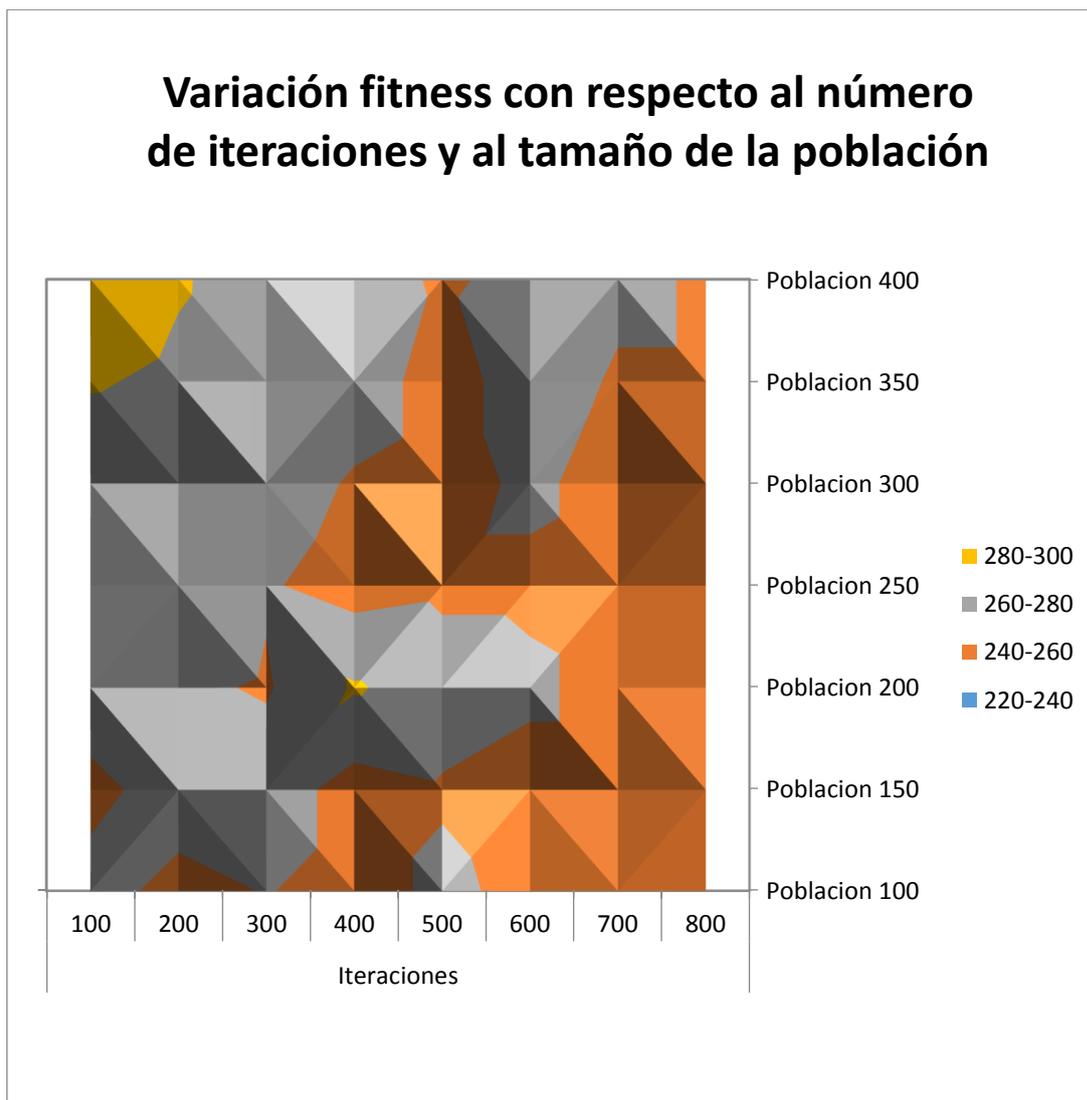


FIGURA 45: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 3

La Figura 46 muestra la variación del *fitness* con al porcentaje de mutación y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de número de iteraciones en 200.

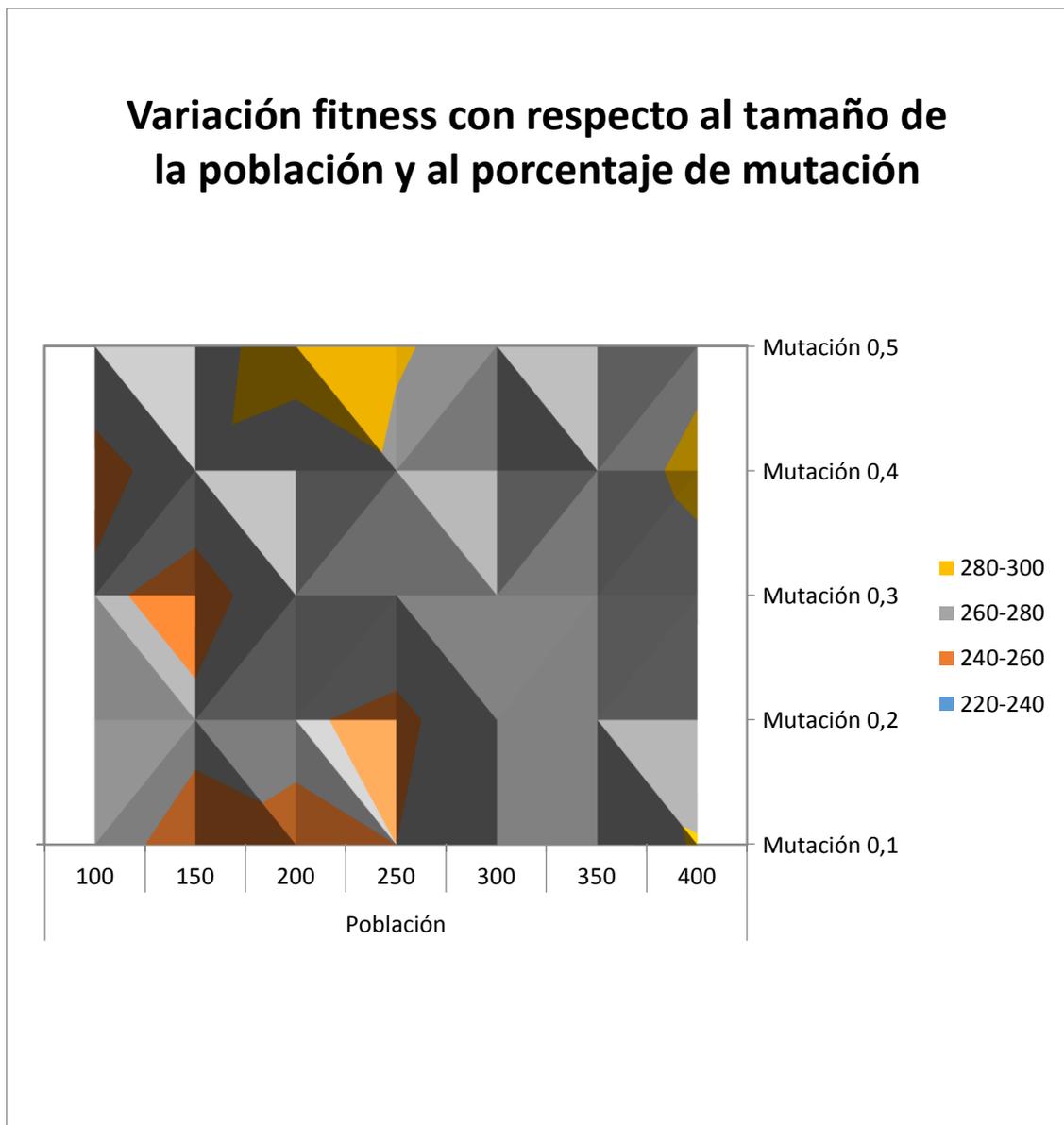


FIGURA 46: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 3

La Figura 47 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y el porcentaje de mutación, dejando fijado el tamaño de la población en 100.

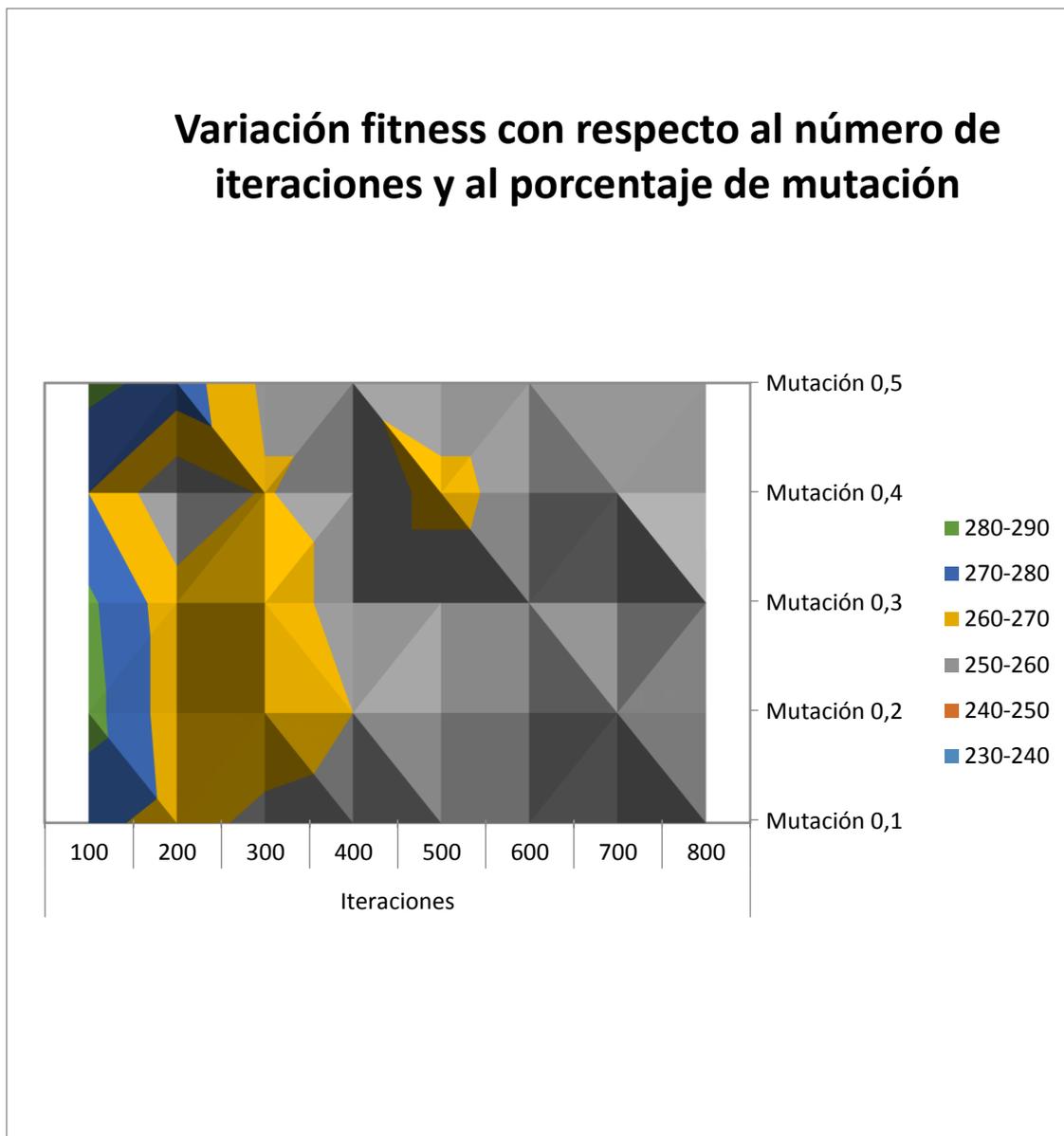


FIGURA 47: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 3

Escenario 4:

Parámetros fijados:

Número iteraciones	Tamaño Población	Porcentaje mutación
300	100	0.2

La Figura 48 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de porcentaje de mutación en 0.2.

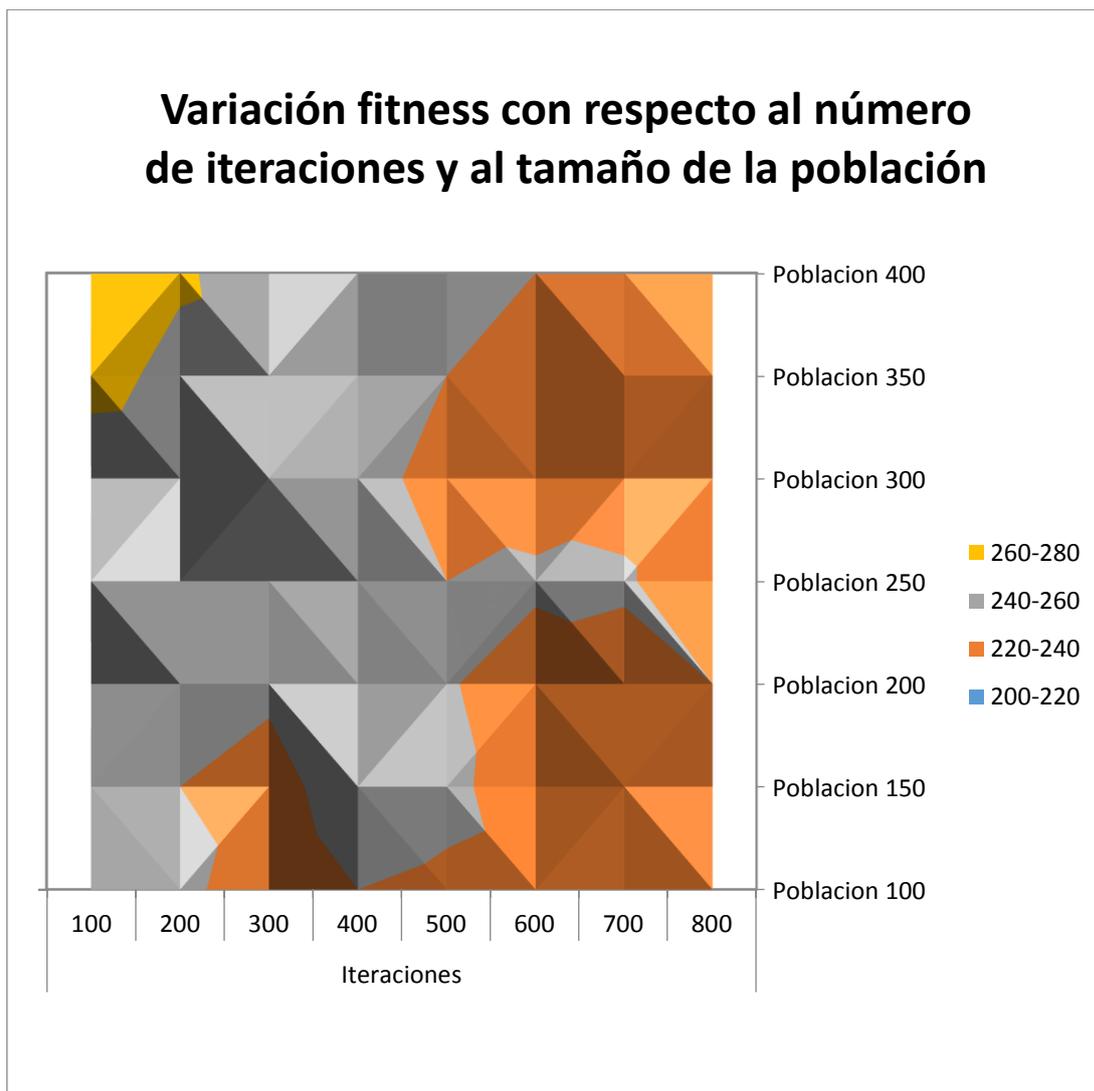


FIGURA 48: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 4

La Figura 49 muestra la variación del *fitness* con al porcentaje de mutación y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de número de iteraciones en 300.

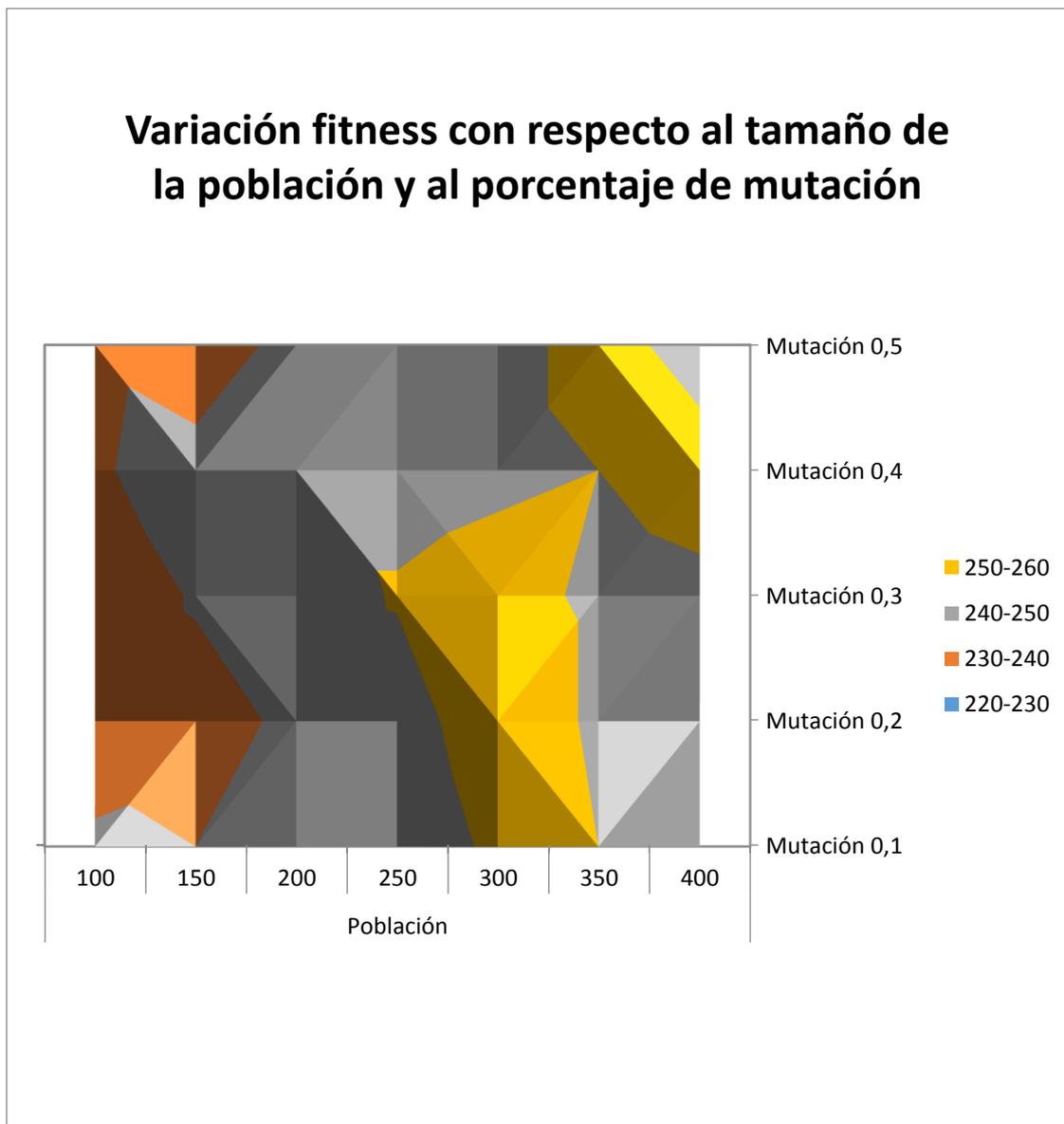


FIGURA 49: VARIACIÓN *FITNESS* CON RESPECTO A POBLACIÓN Y A MUTACIÓN. ESCENARIO 4

La Figura 50 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y el porcentaje de mutación, dejando fijado el tamaño de la población en 100.

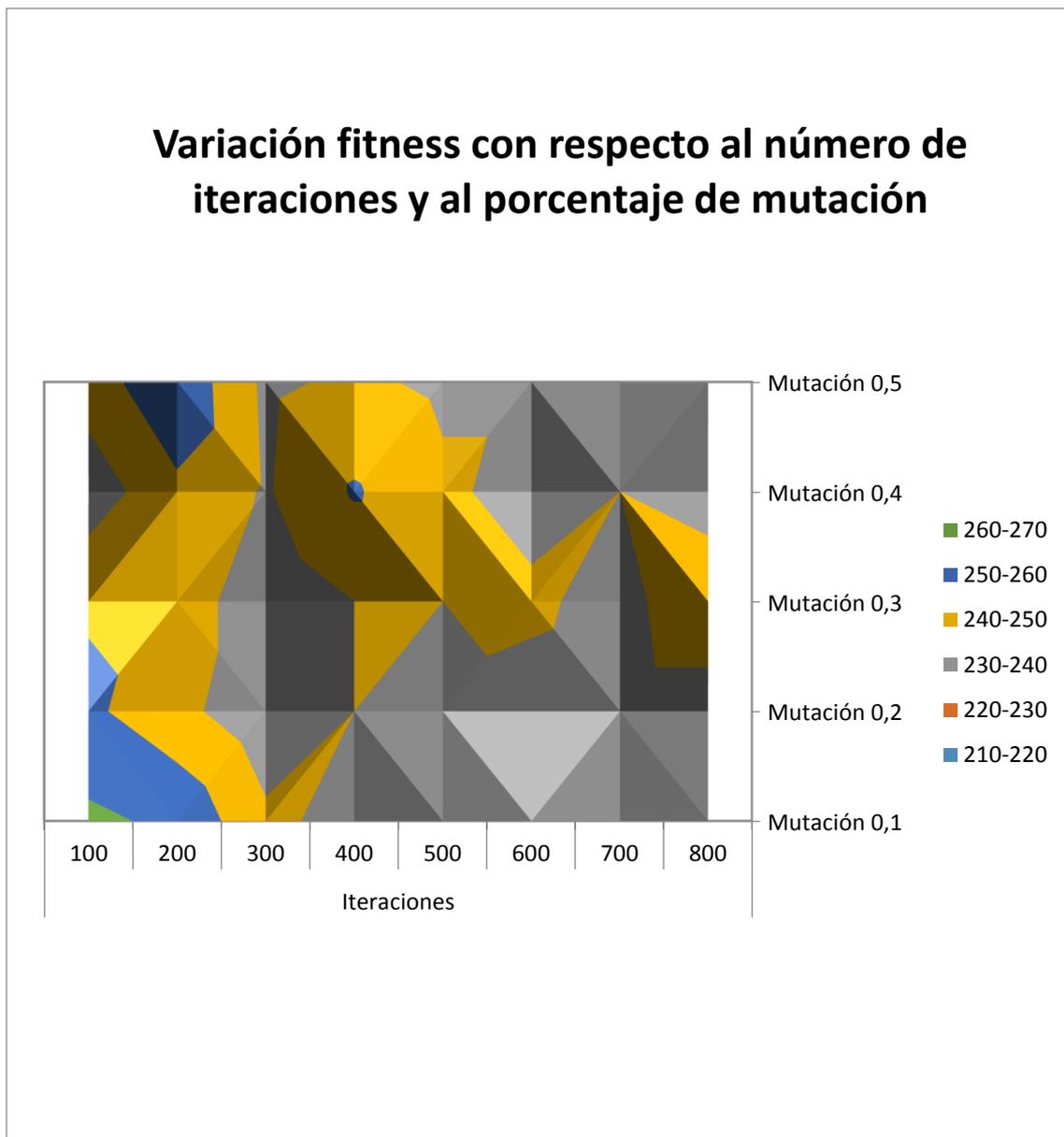


FIGURA 50: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO A ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 4

Escenario 5:

Parámetros fijados:

Número iteraciones	Tamaño Población	Porcentaje mutación
400	250	0.1

La Figura 51 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de porcentaje de mutación en 0.1.

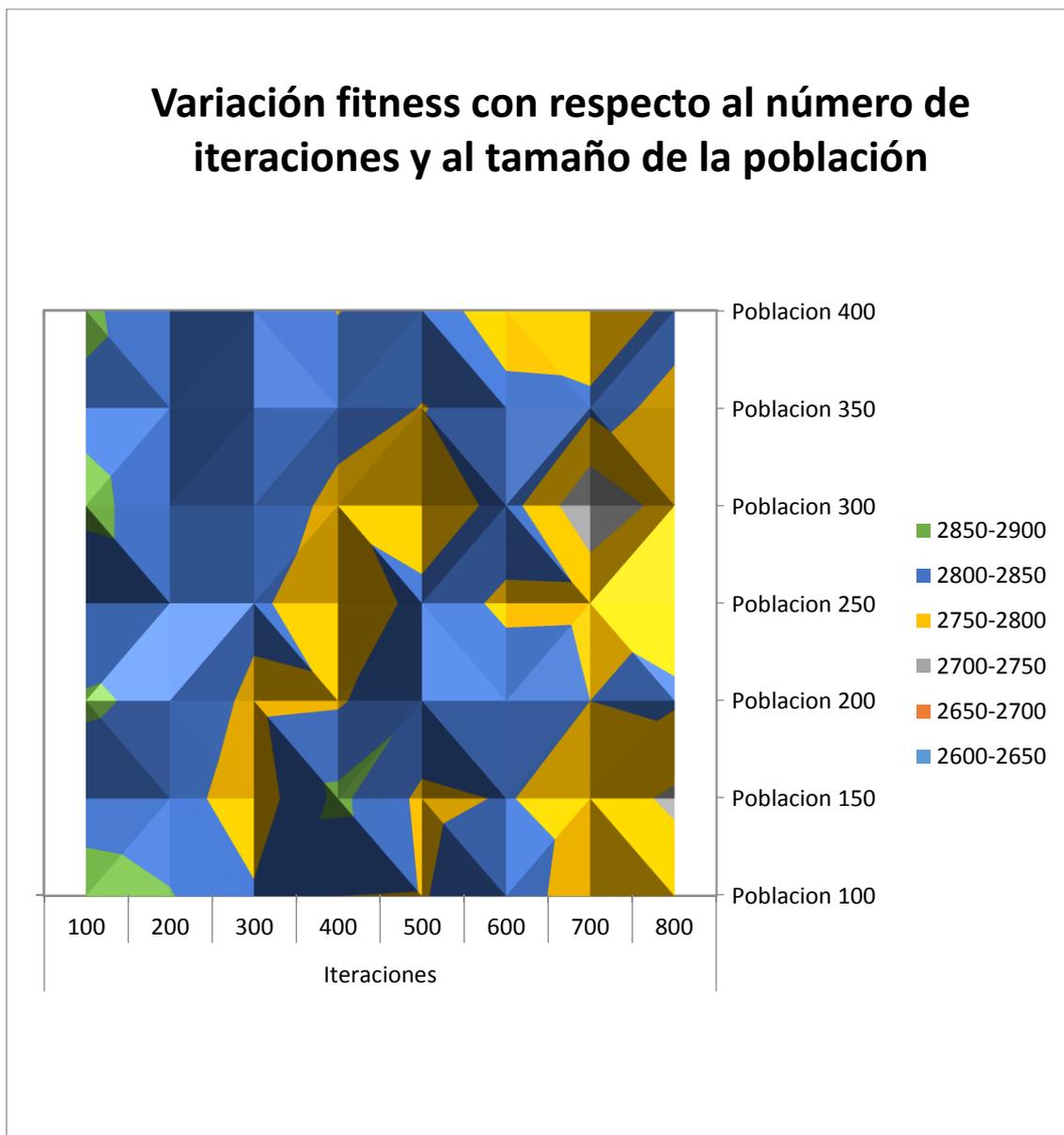


FIGURA 51: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 5

La Figura 52 muestra la variación del *fitness* con el porcentaje de mutación y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de número de iteraciones en 400.

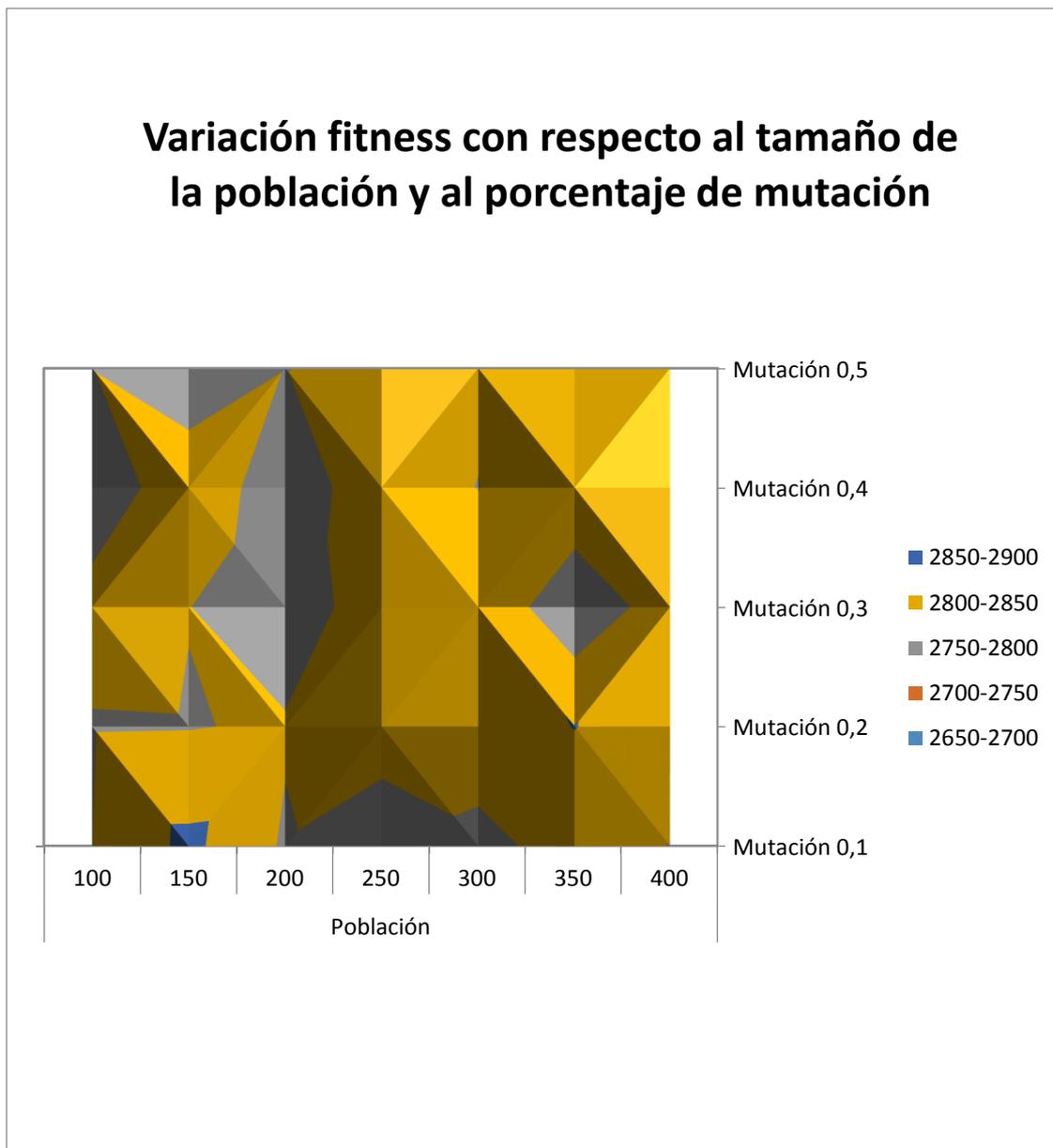


FIGURA 52: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 5

La Figura 53 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y el porcentaje de mutación, dejando fijado el tamaño de la población en 250.

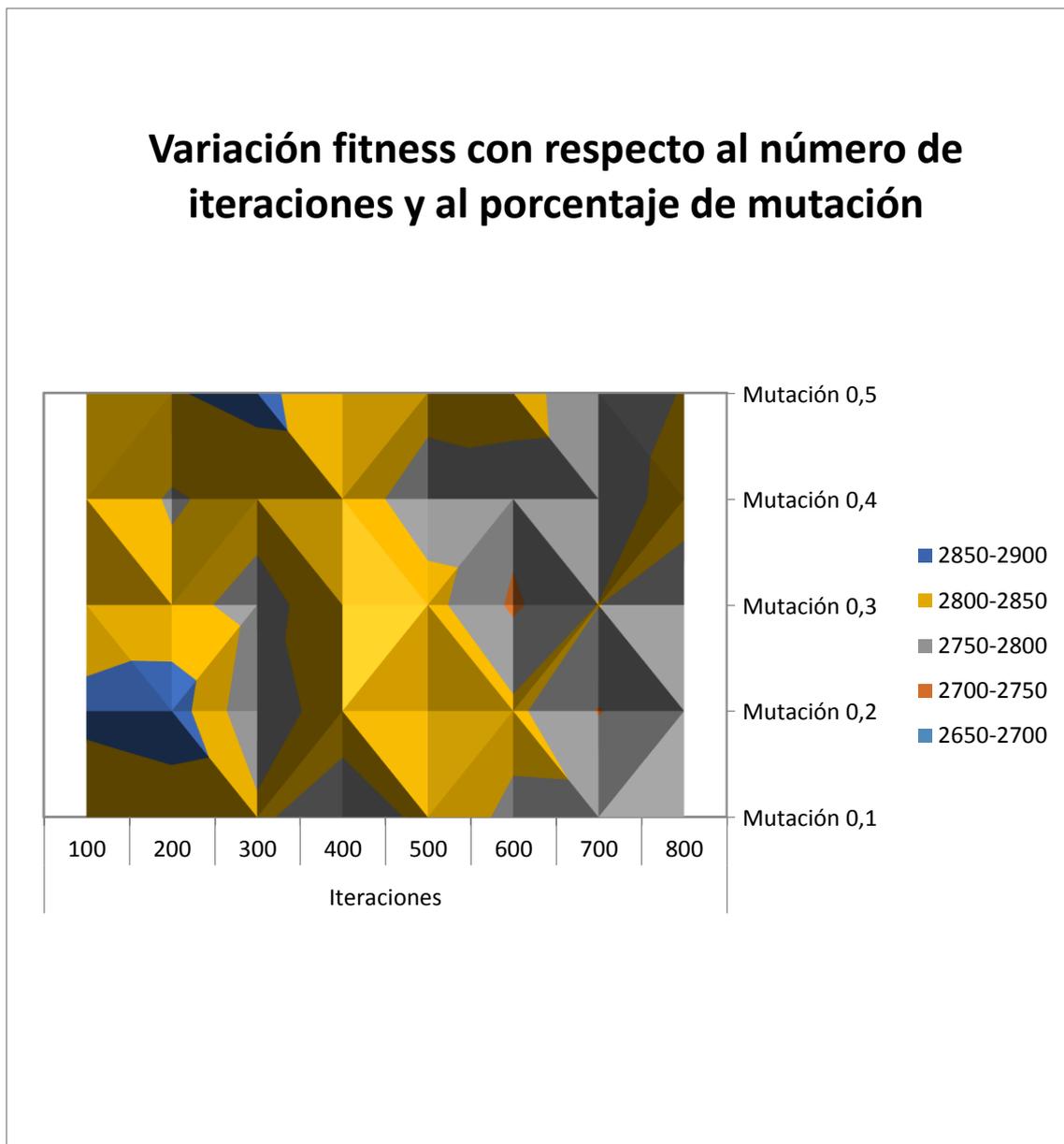


FIGURA 53: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 5

Escenario 6:

Parámetros fijados:

Número iteraciones	Tamaño Población	Porcentaje mutación
500	100	0.1

La Figura 54 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de porcentaje de mutación en 0.1.

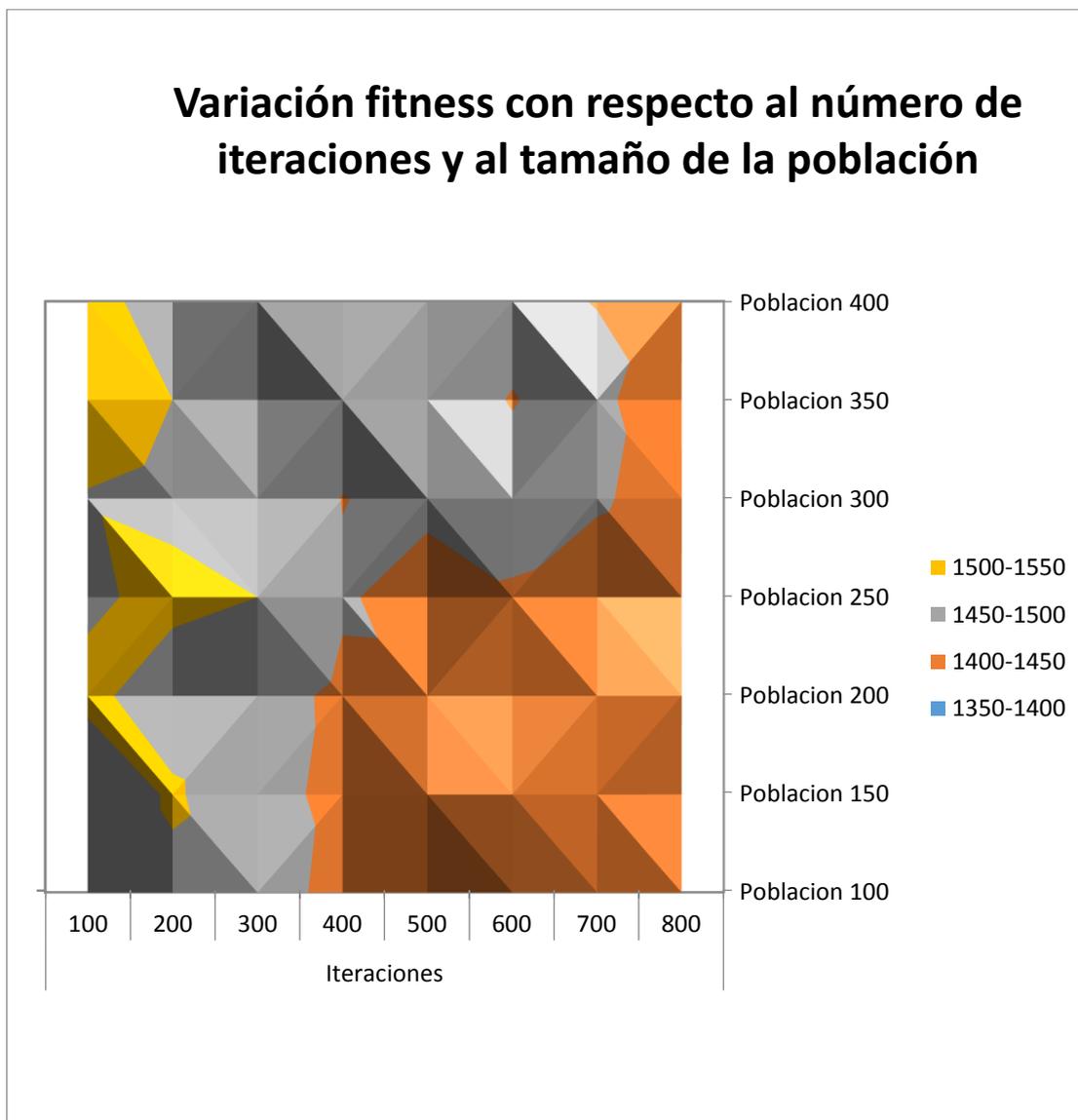


FIGURA 54: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 6

La Figura 55 muestra la variación del *fitness* con al porcentaje de mutación y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de número de iteraciones en 500.

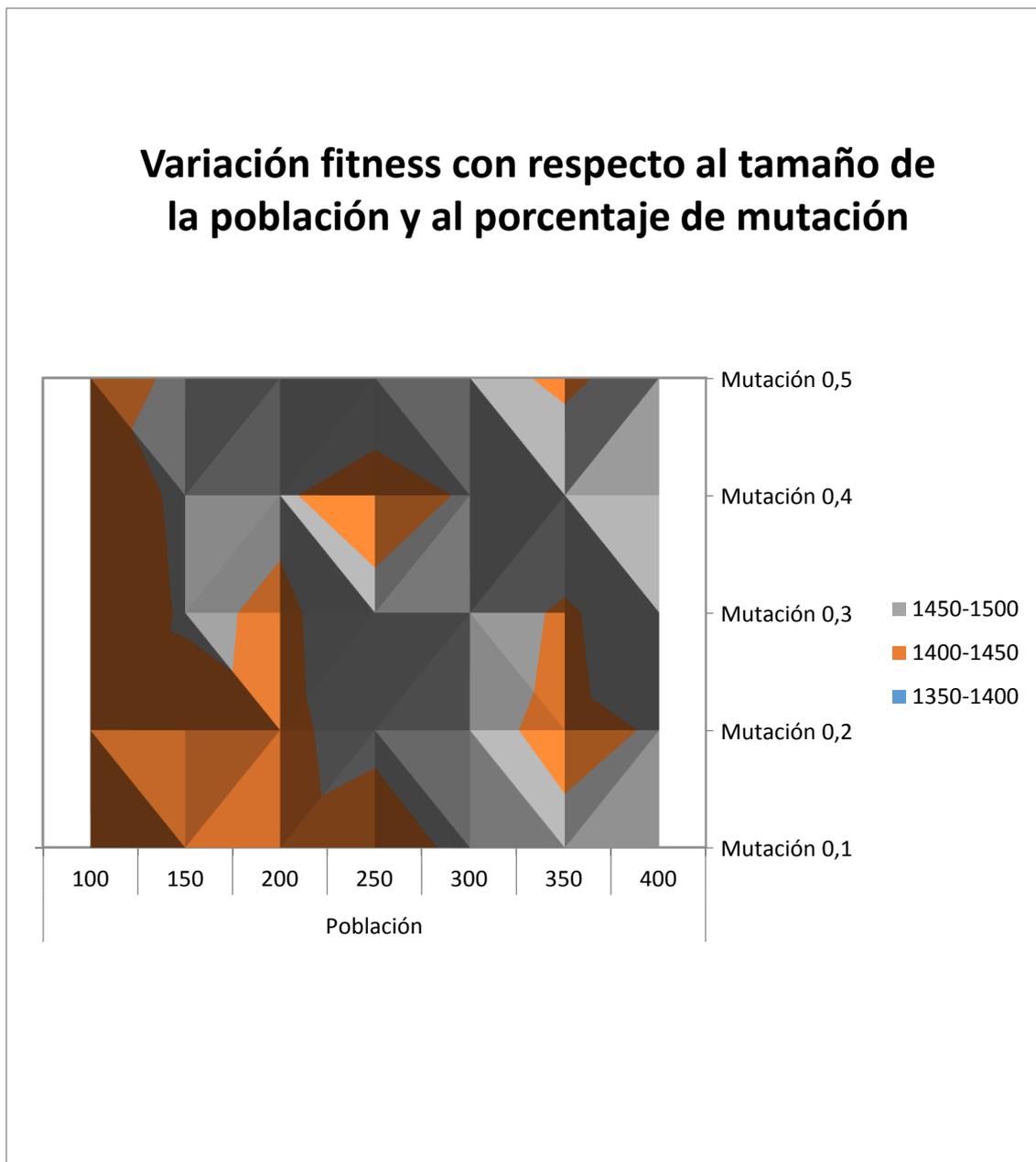


FIGURA 55: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 6

La Figura 56 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y el porcentaje de mutación, dejando fijado el tamaño de la población en 100.

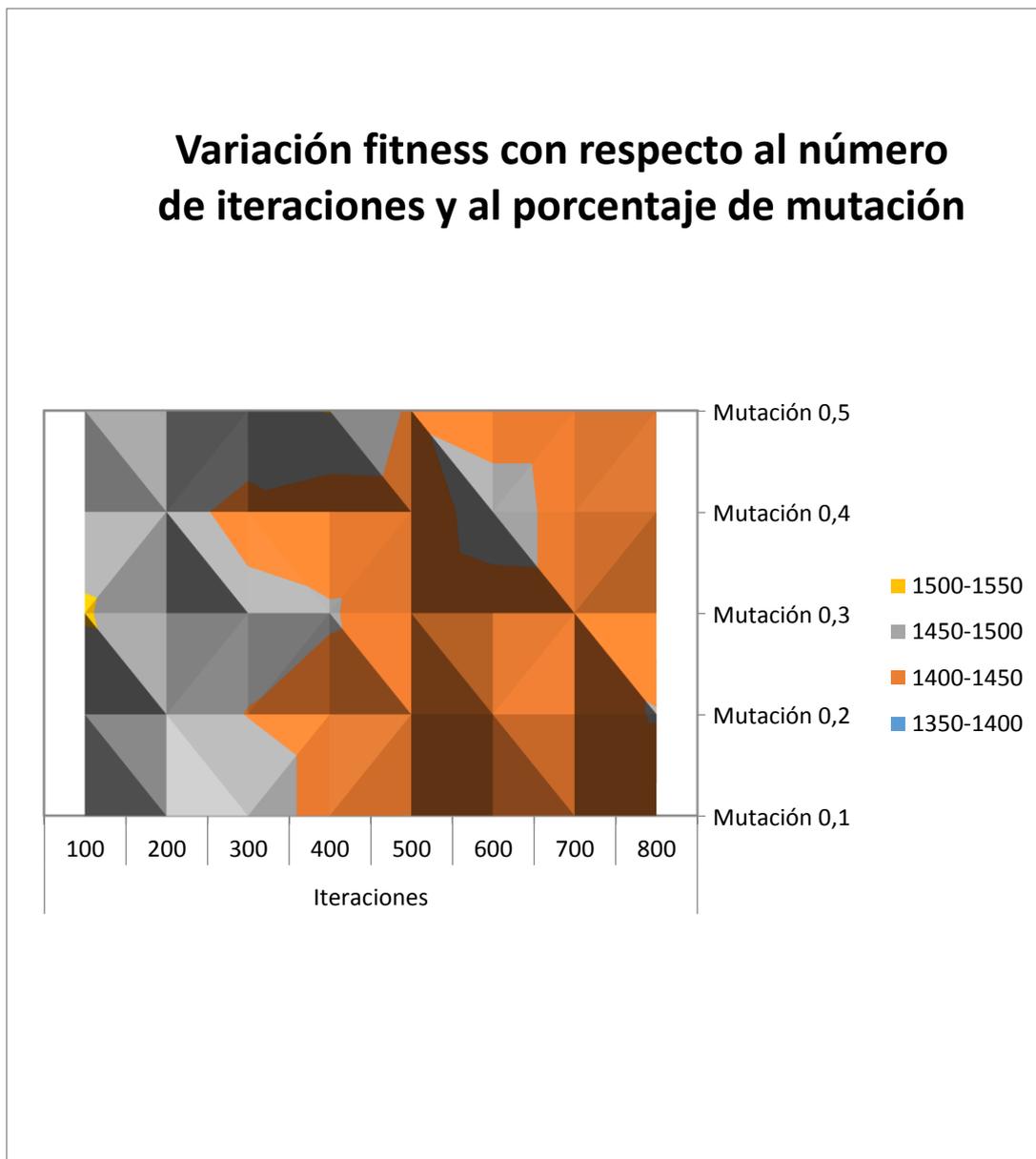


FIGURA 56: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 6

Escenario 7:

Parámetros fijados:

Número iteraciones	Tamaño Población	Porcentaje mutación
600	250	0.2

La Figura 57 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de porcentaje de mutación en 0.2.

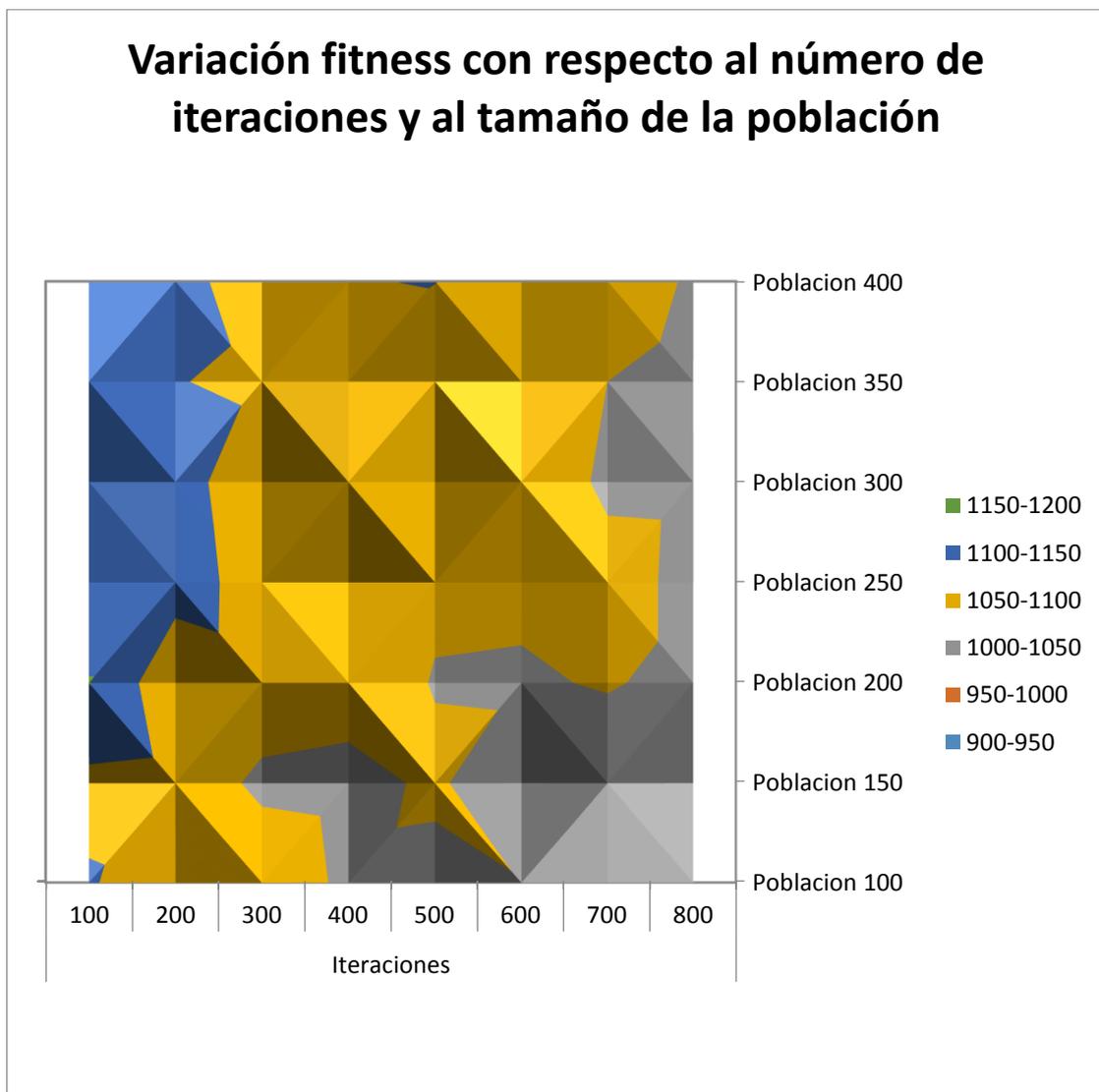


FIGURA 57: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 7

La Figura 58 muestra la variación del *fitness* con al porcentaje de mutación y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de número de iteraciones en 600.

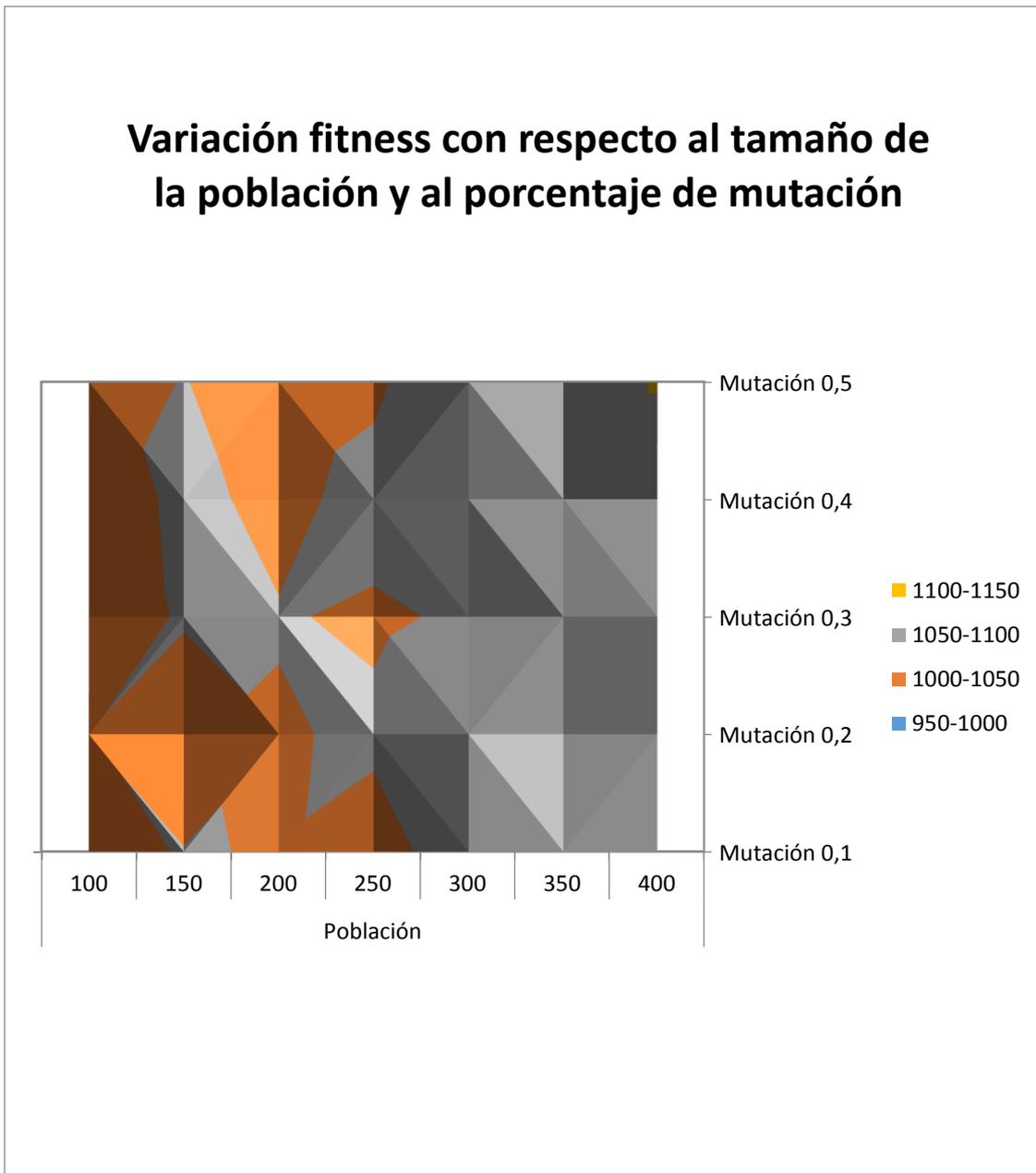


FIGURA 58: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 7

La Figura 59 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y el porcentaje de mutación, dejando fijado el tamaño de la población en 250.

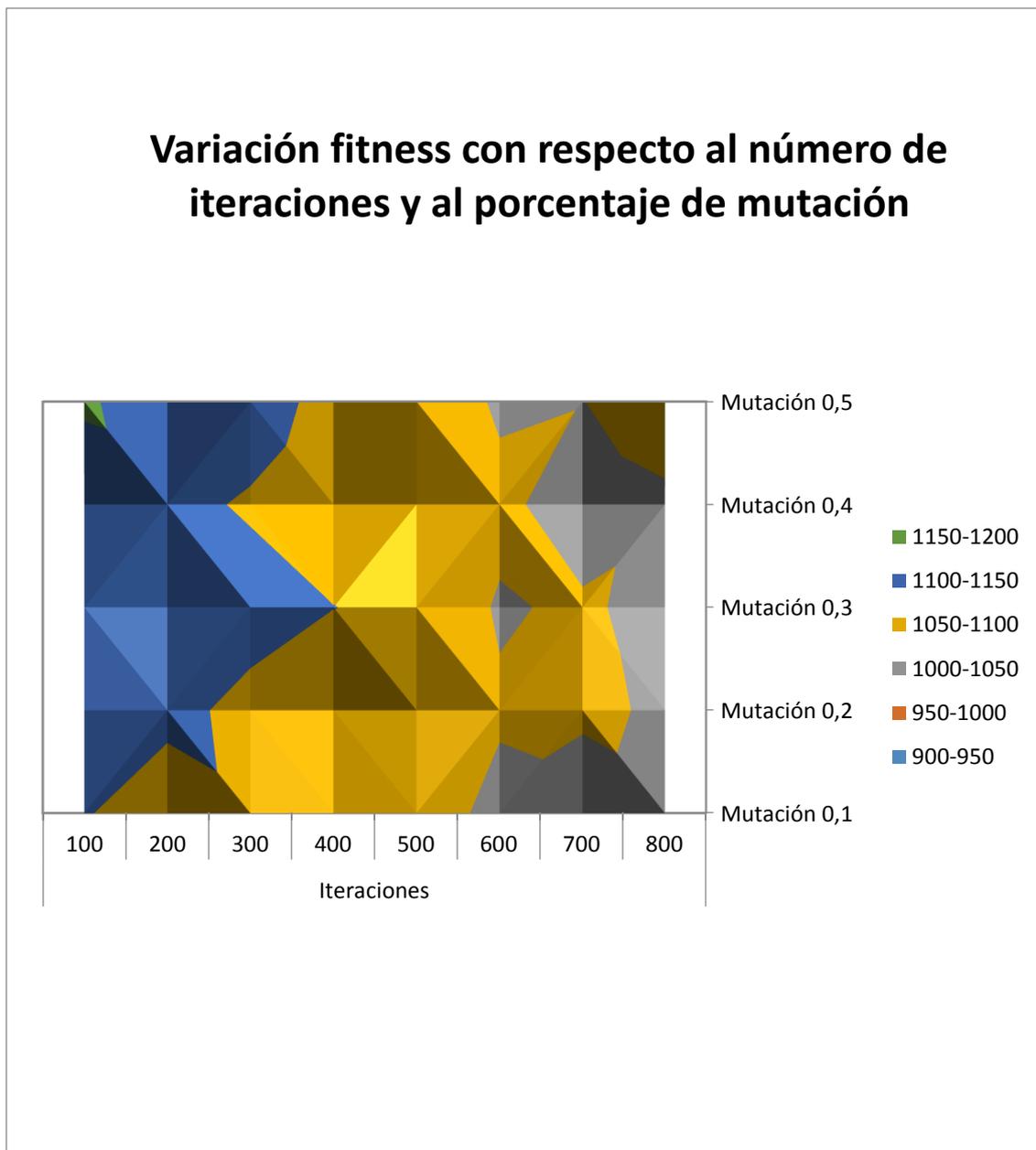


FIGURA 59: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 7

Escenario 8:

Parámetros fijados:

Número iteraciones	Tamaño Población	Porcentaje mutación
700	200	0.3

La Figura 60 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de porcentaje de mutación en 0.3.

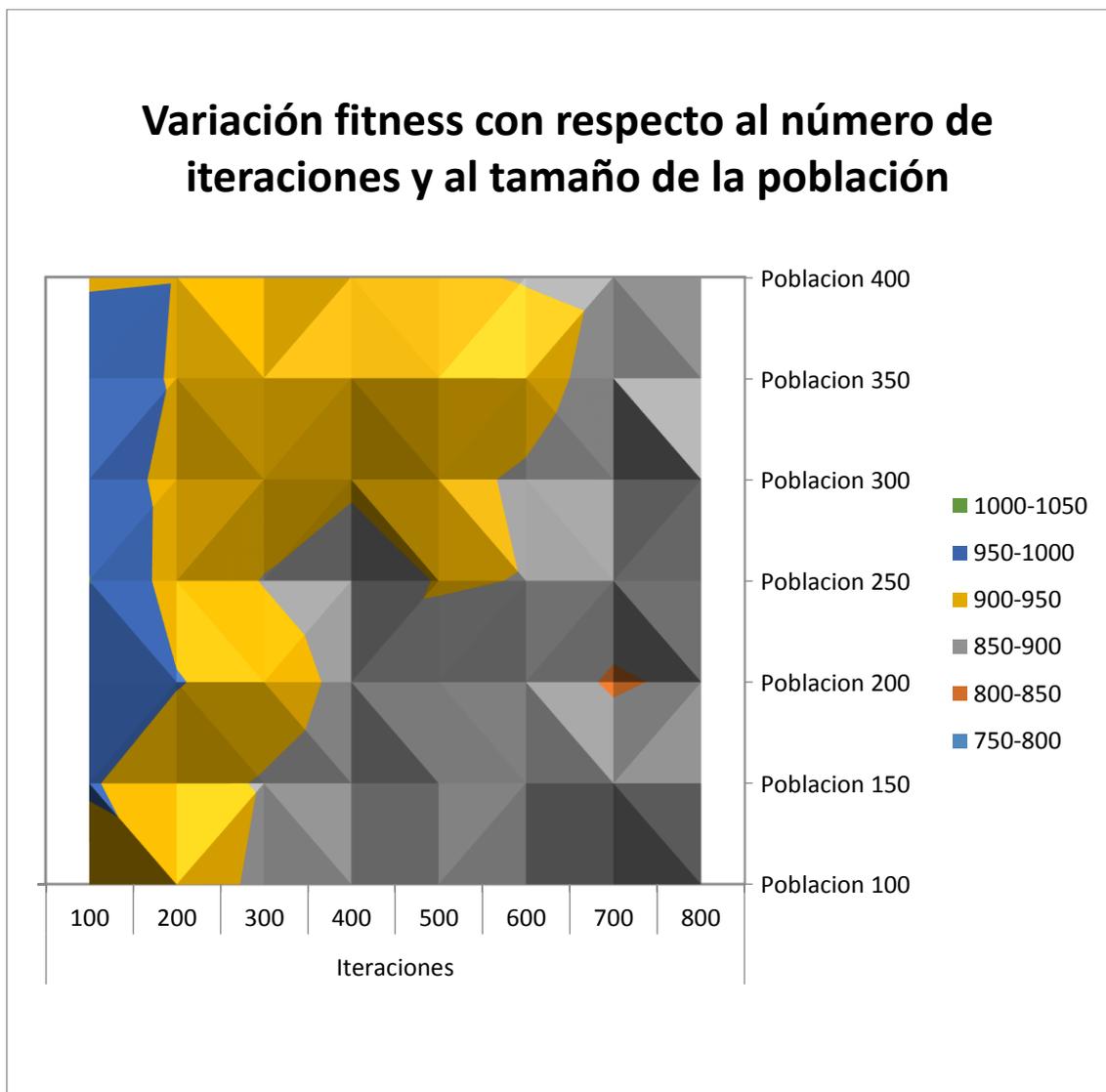


FIGURA 60: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 8

La Figura 61 muestra la variación del *fitness* con al porcentaje de mutación y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de número de iteraciones en 700.



FIGURA 61: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 8

La Figura 62 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y el porcentaje de mutación, dejando fijo el tamaño de la población en 200.

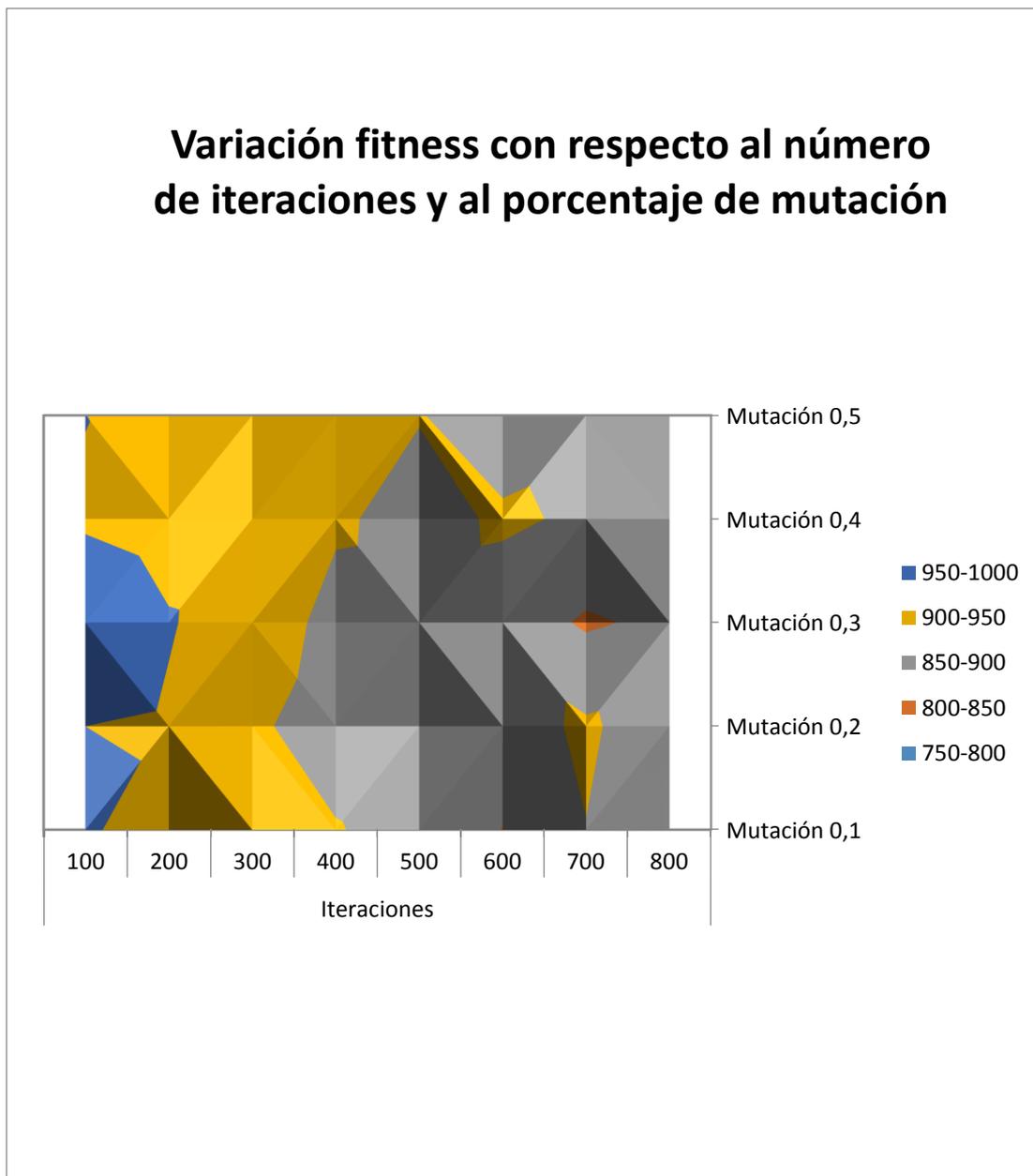


FIGURA 62: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 8

Escenario 9:

Parámetros fijados:

Número iteraciones	Tamaño Población	Porcentaje mutación
500	300	0.1

La Figura 63 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de porcentaje de mutación en 0.1.

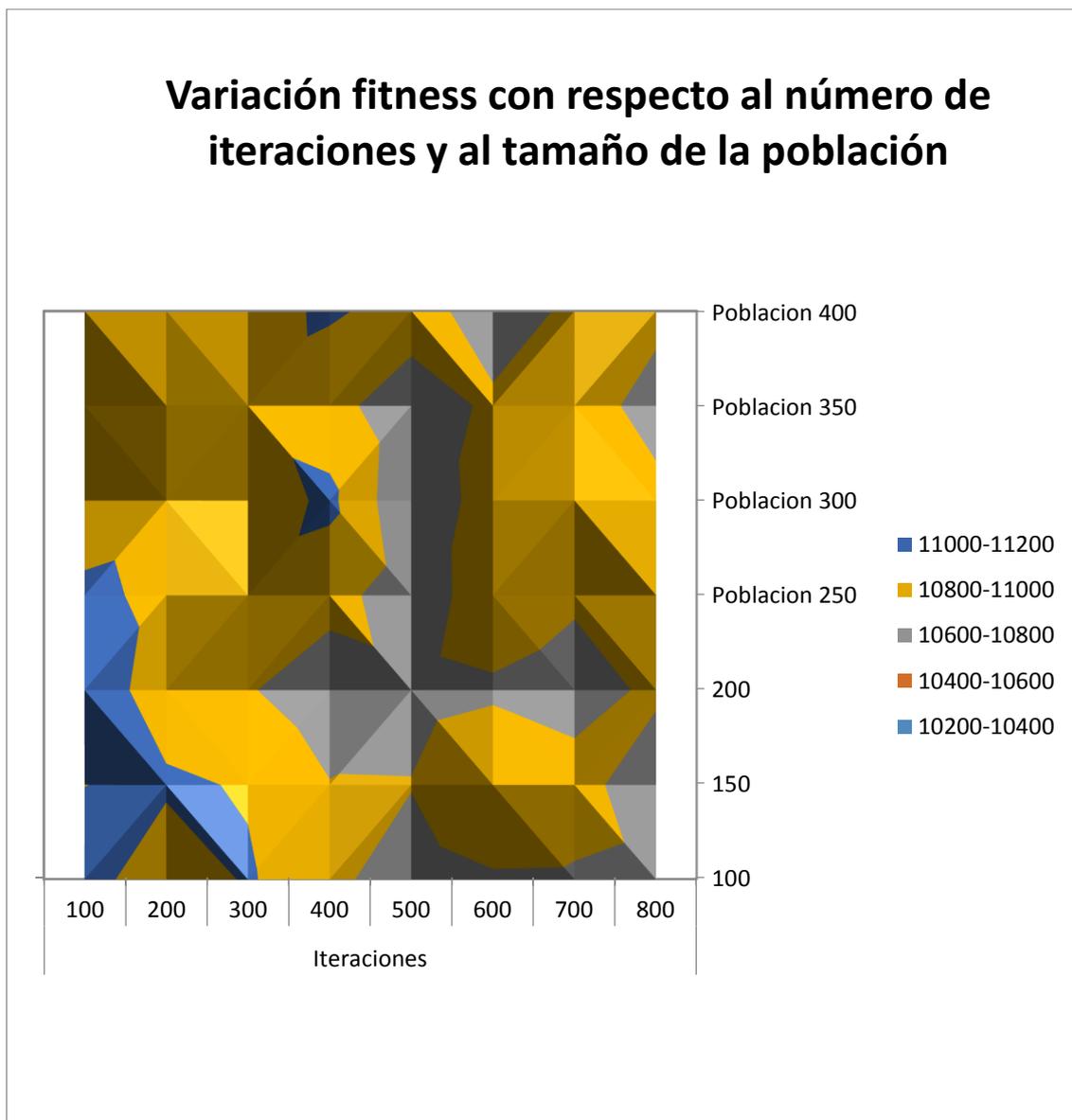


FIGURA 63: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 9

La Figura 64 muestra la variación del *fitness* con al porcentaje de mutación y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de número de iteraciones en 500.

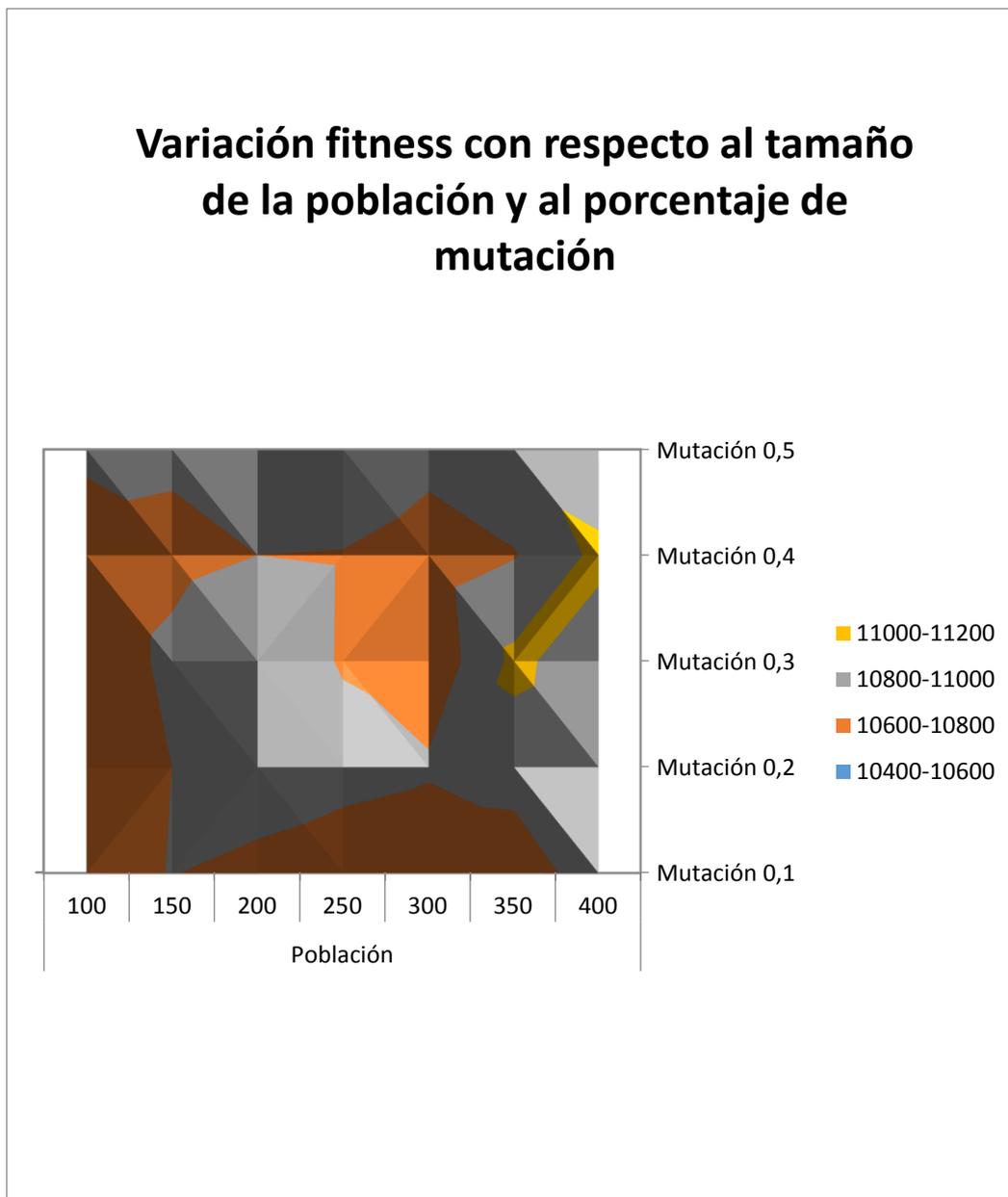


FIGURA 64: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 9

La Figura 65 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y el porcentaje de mutación, dejando fijado el tamaño de la población en 300.

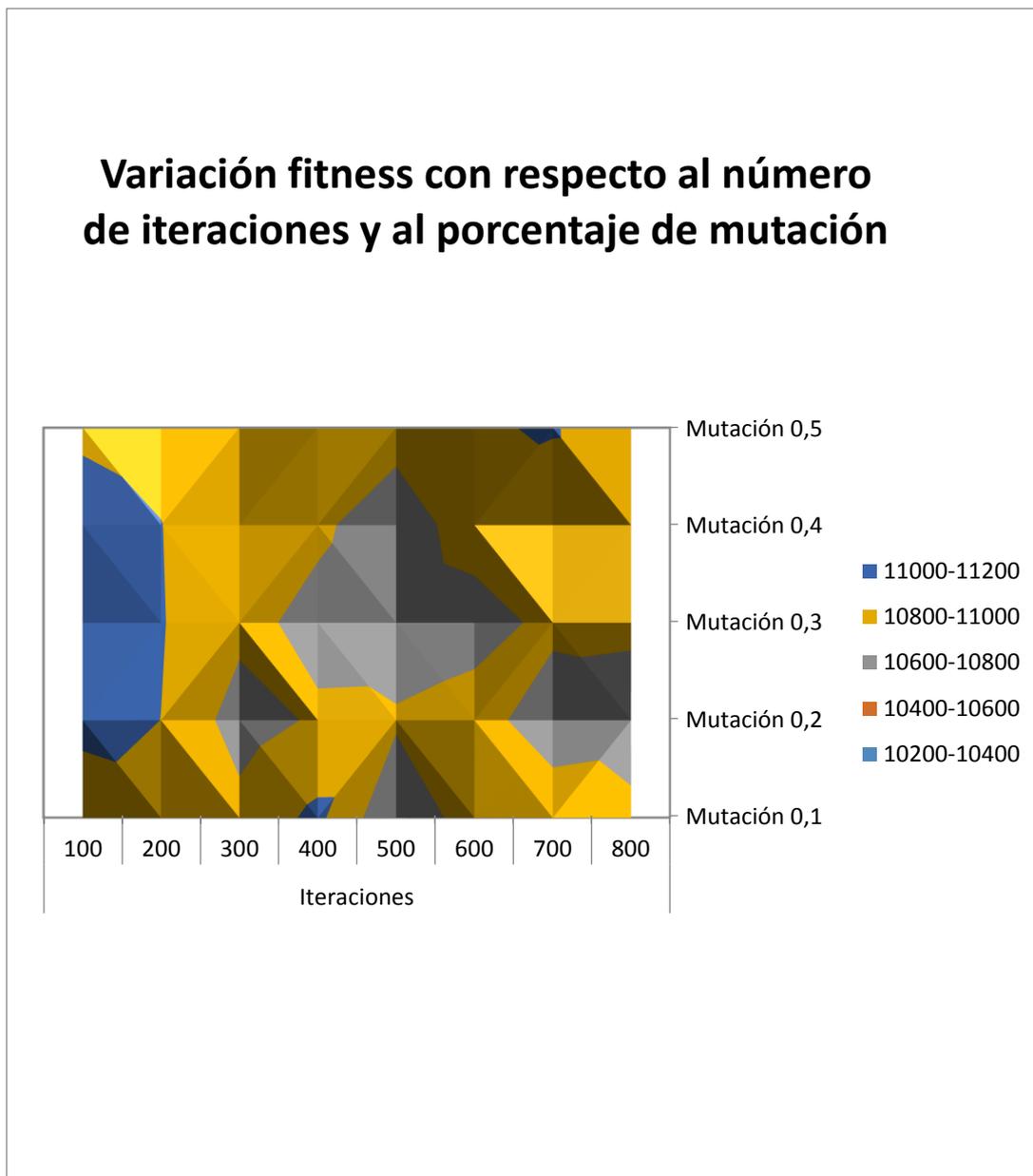


FIGURA 65: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 9

Escenario 10:

Parámetros fijados:

Número iteraciones	Tamaño Población	Porcentaje mutación
600	100	0.1

La Figura 66 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de porcentaje de mutación en 0.1.

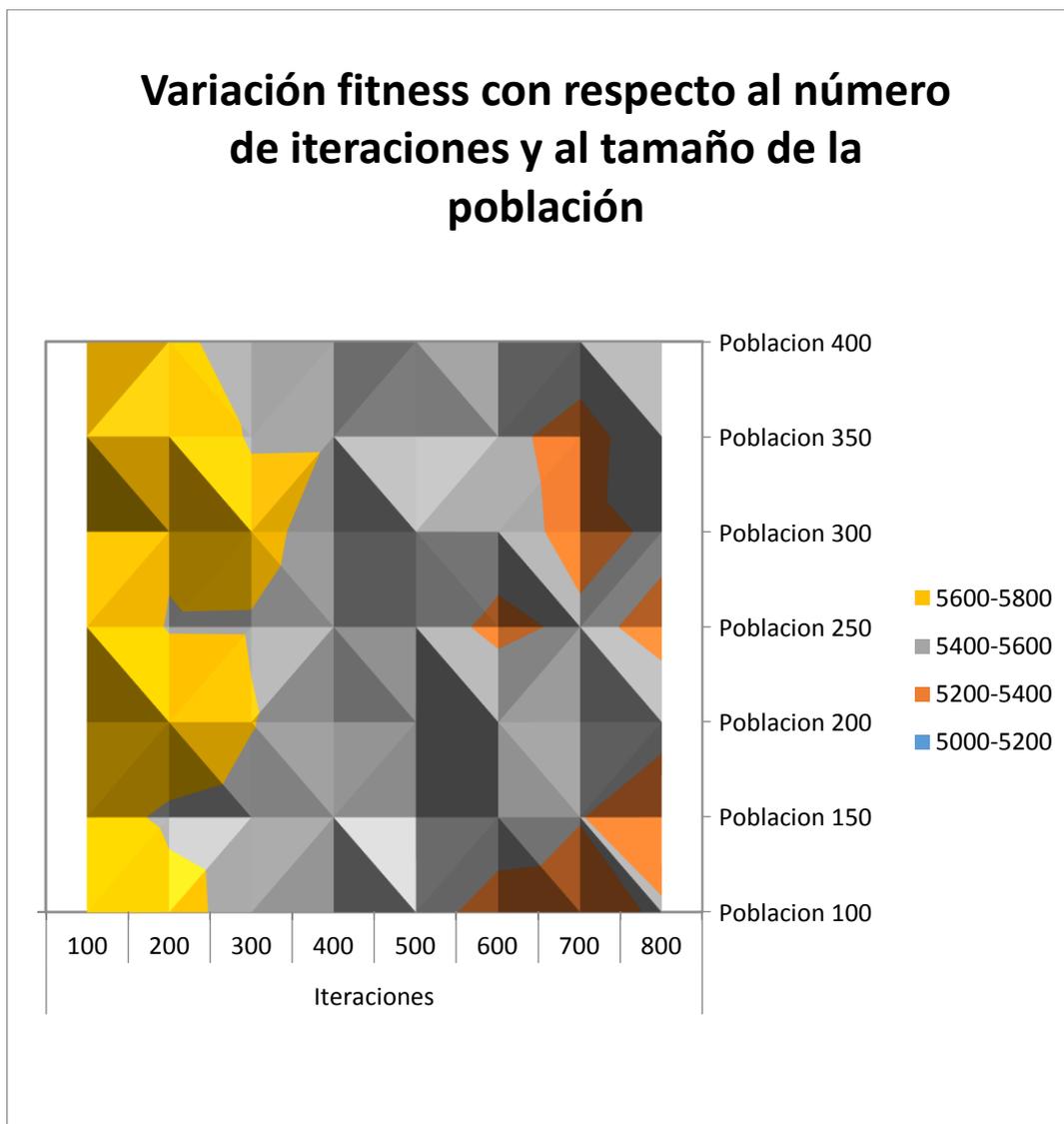


FIGURA 66: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 10

La Figura 67 muestra la variación del *fitness* con al porcentaje de mutación y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de número de iteraciones en 600.

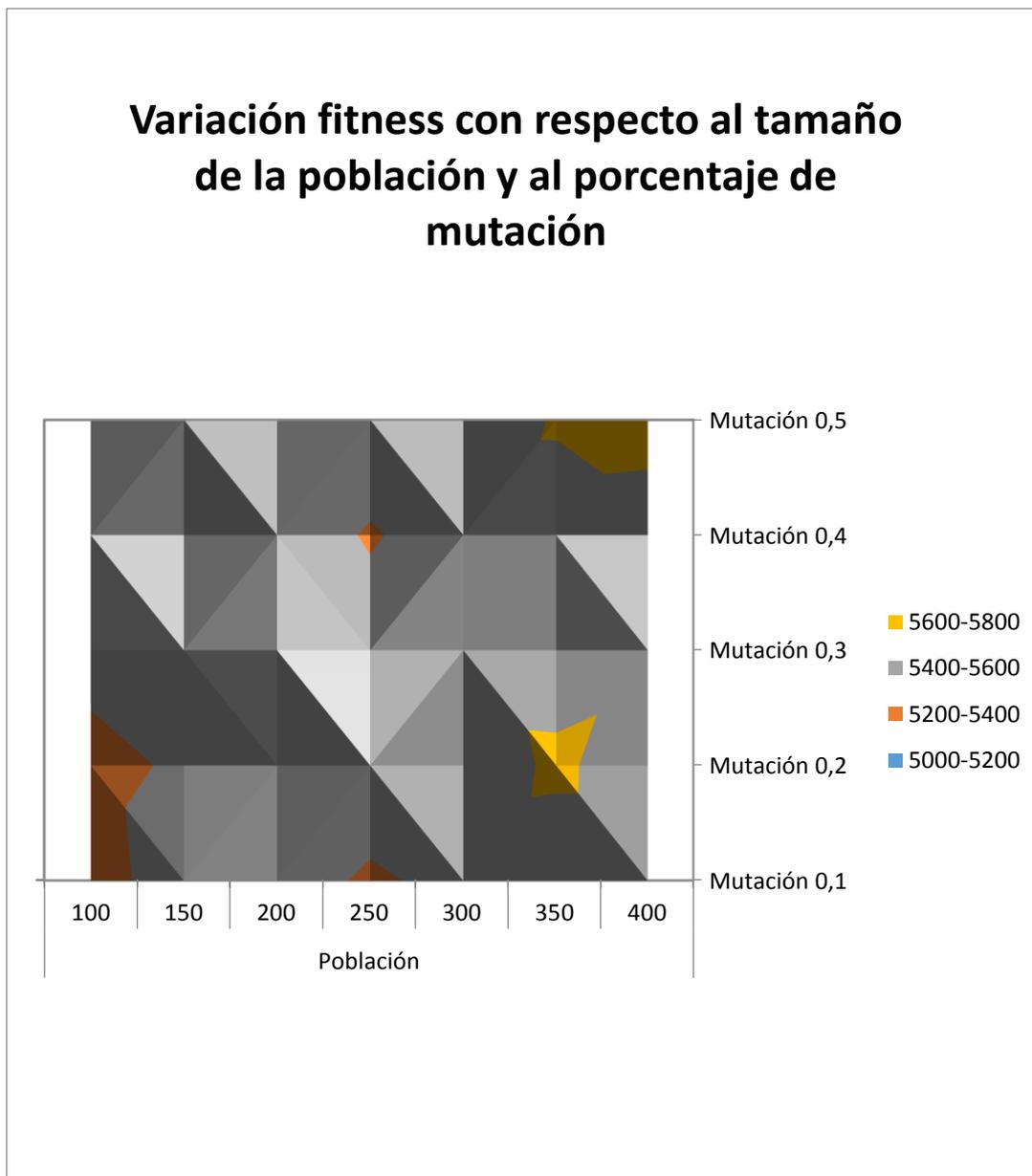


FIGURA 67: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 10

La Figura 68 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y el porcentaje de mutación, dejando fijado el tamaño de la población en 100.

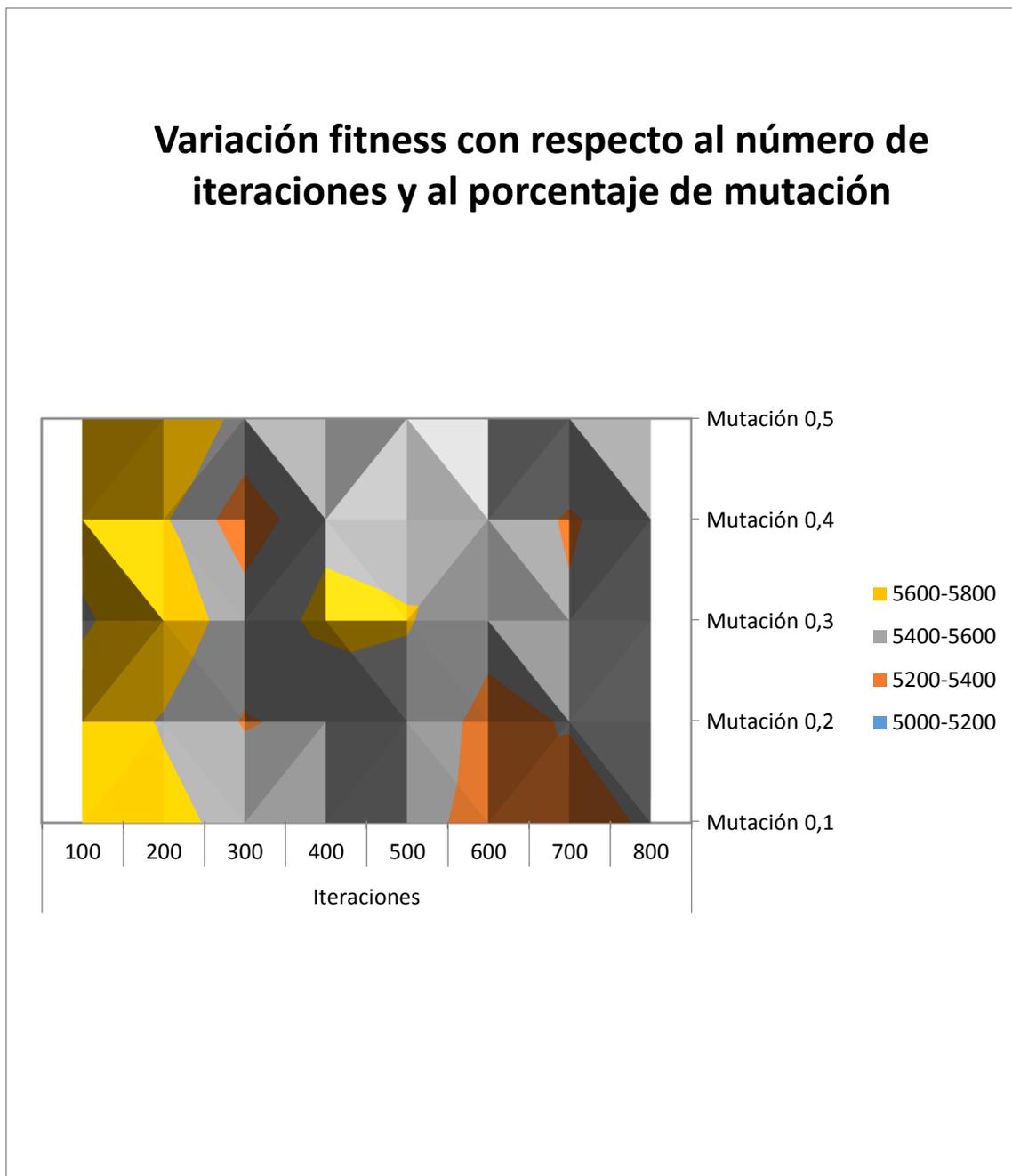


FIGURA 68: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 10

Escenario 11:

Parámetros fijados:

Número iteraciones	Tamaño Población	Porcentaje mutación
700	200	0.2

La Figura 69 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de porcentaje de mutación en 0.2.

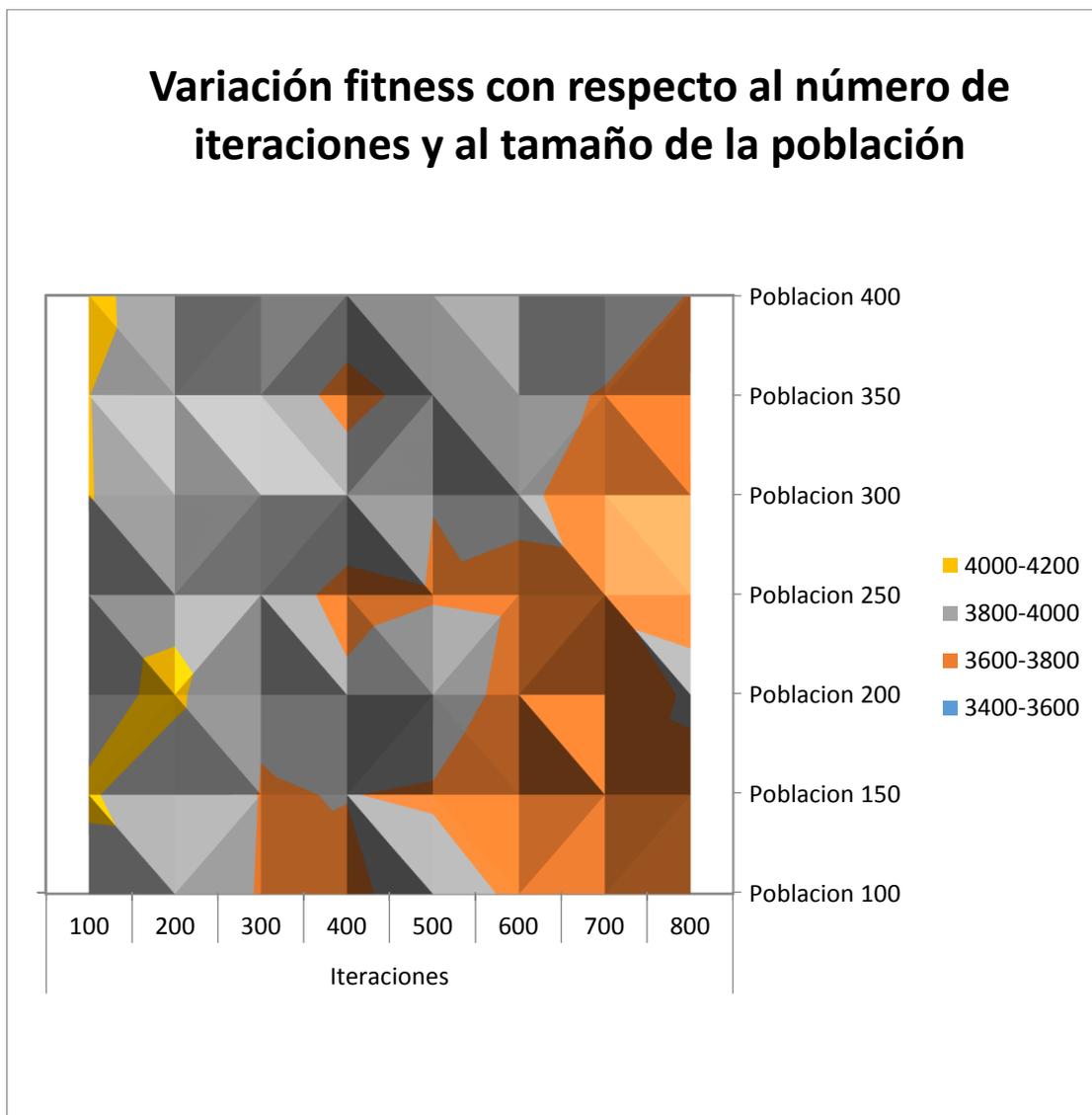


FIGURA 69: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 11

La Figura 70 muestra la variación del *fitness* con al porcentaje de mutación y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de número de iteraciones en 700.

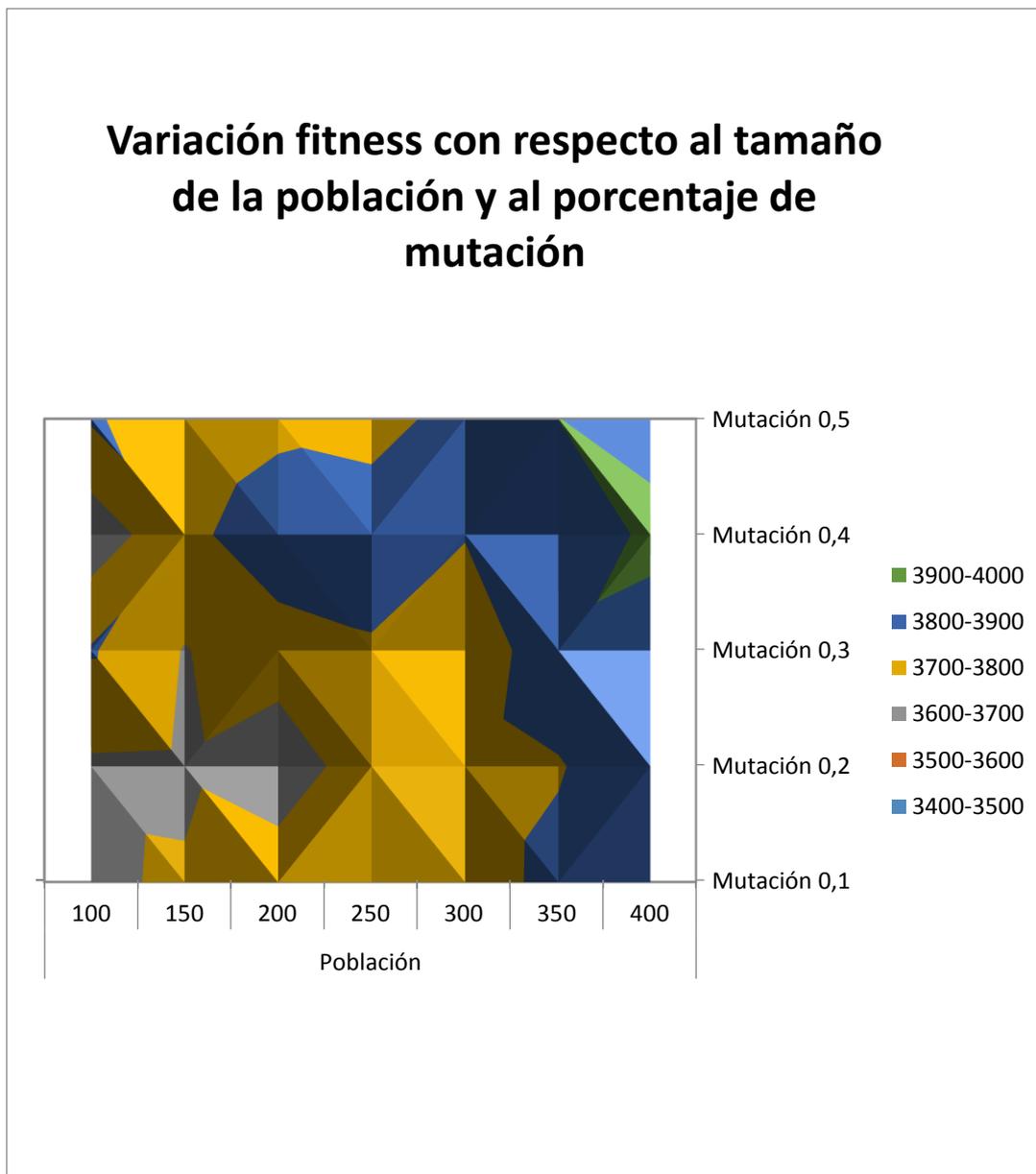


FIGURA 70: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLAACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 11

La Figura 71 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y el porcentaje de mutación, dejando fijado el tamaño de la población en 200.



FIGURA 71: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 11

Escenario 12:

Parámetros fijados:

Número iteraciones	Tamaño Población	Porcentaje mutación
800	100	0.3

La Figura 72 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de porcentaje de mutación en 0.3.

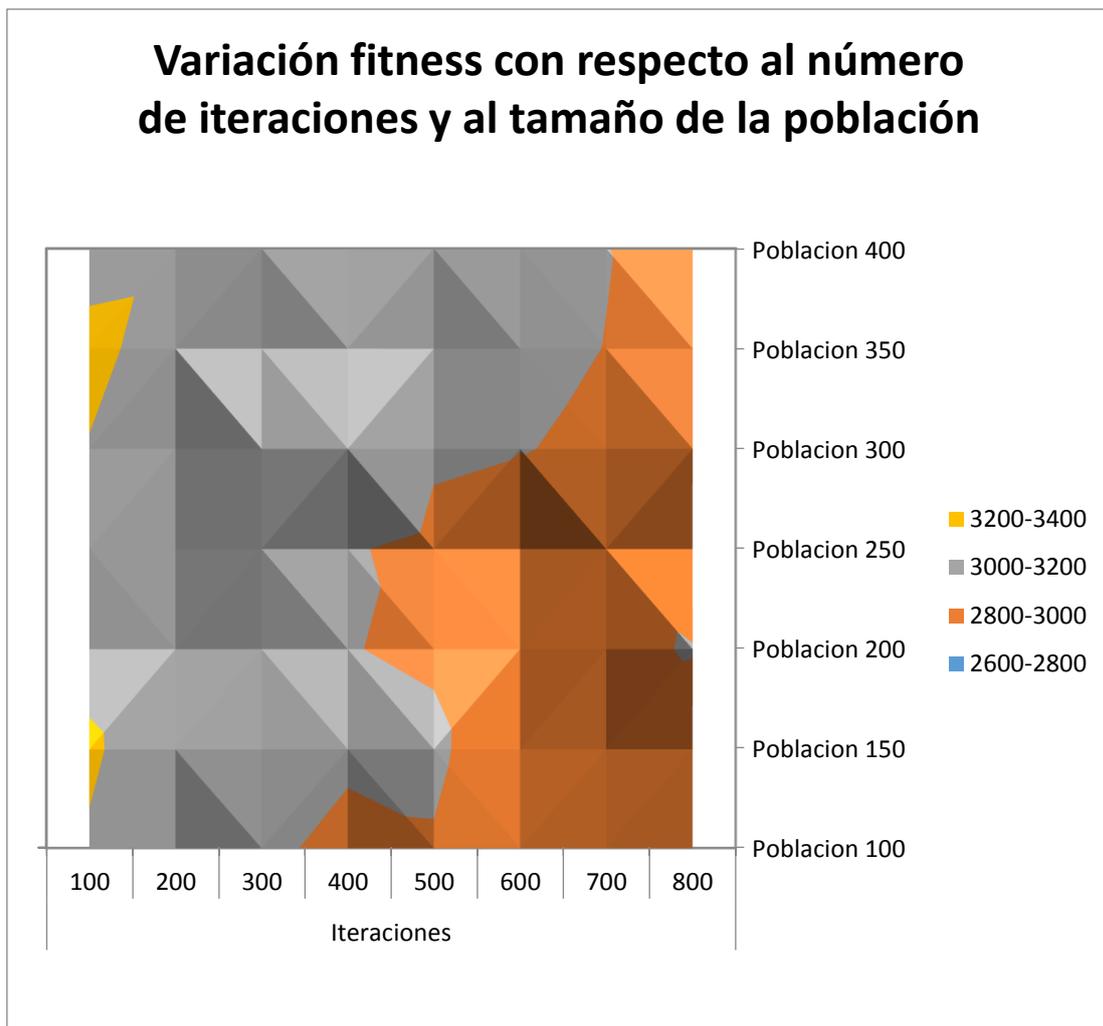


FIGURA 72: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y POBLACIÓN. ESCENARIO 12

La Figura 73 muestra la variación del *fitness* con al porcentaje de mutación y al tamaño de la población, dejando fijado el valor de número de iteraciones en 800.

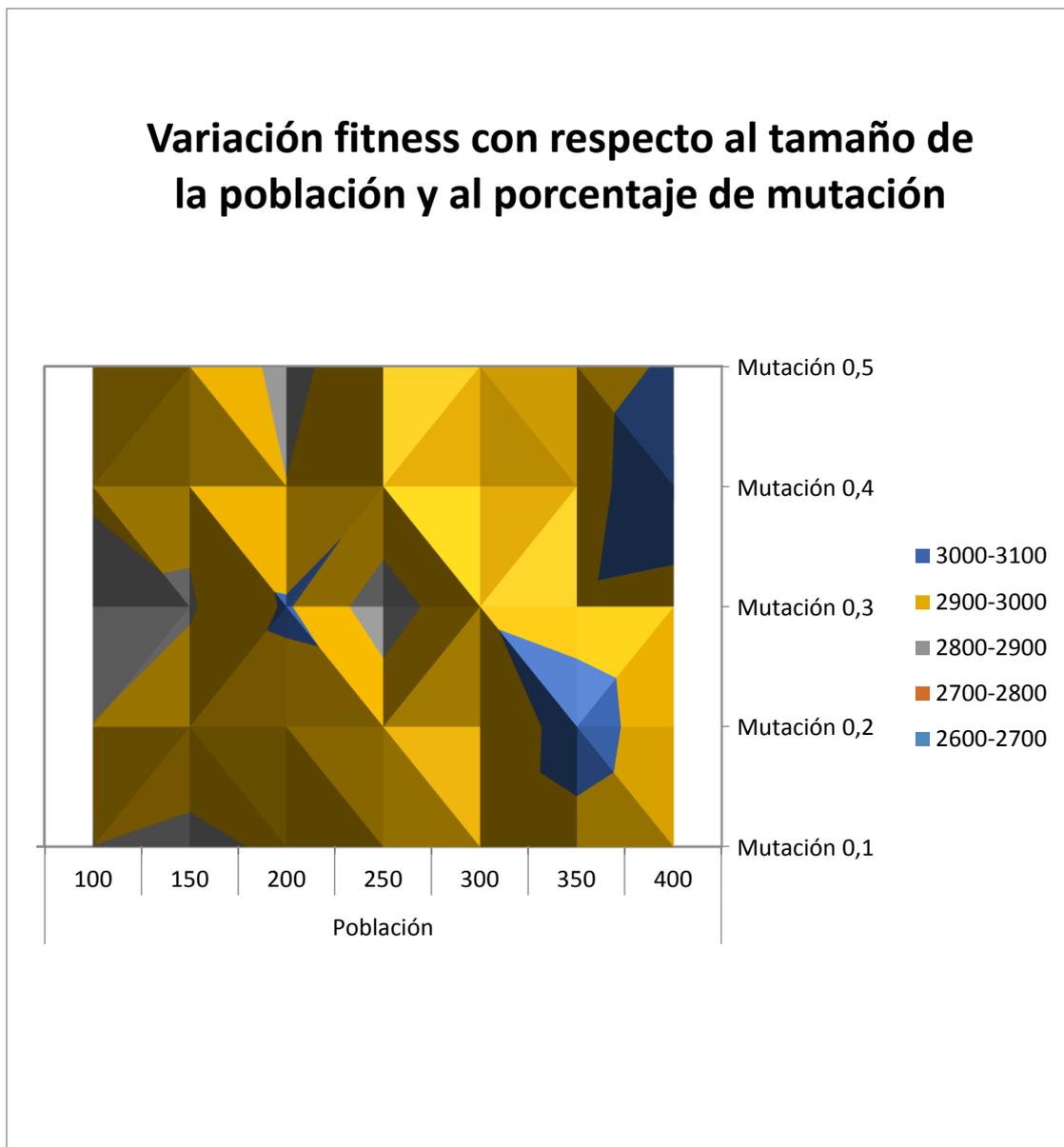


FIGURA 73: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO POBLACIÓN Y MUTACIÓN. ESCENARIO 12

La Figura 74 muestra la variación del *fitness* con respecto al número de iteraciones y el porcentaje de mutación, dejando fijado el tamaño de la población en 100.

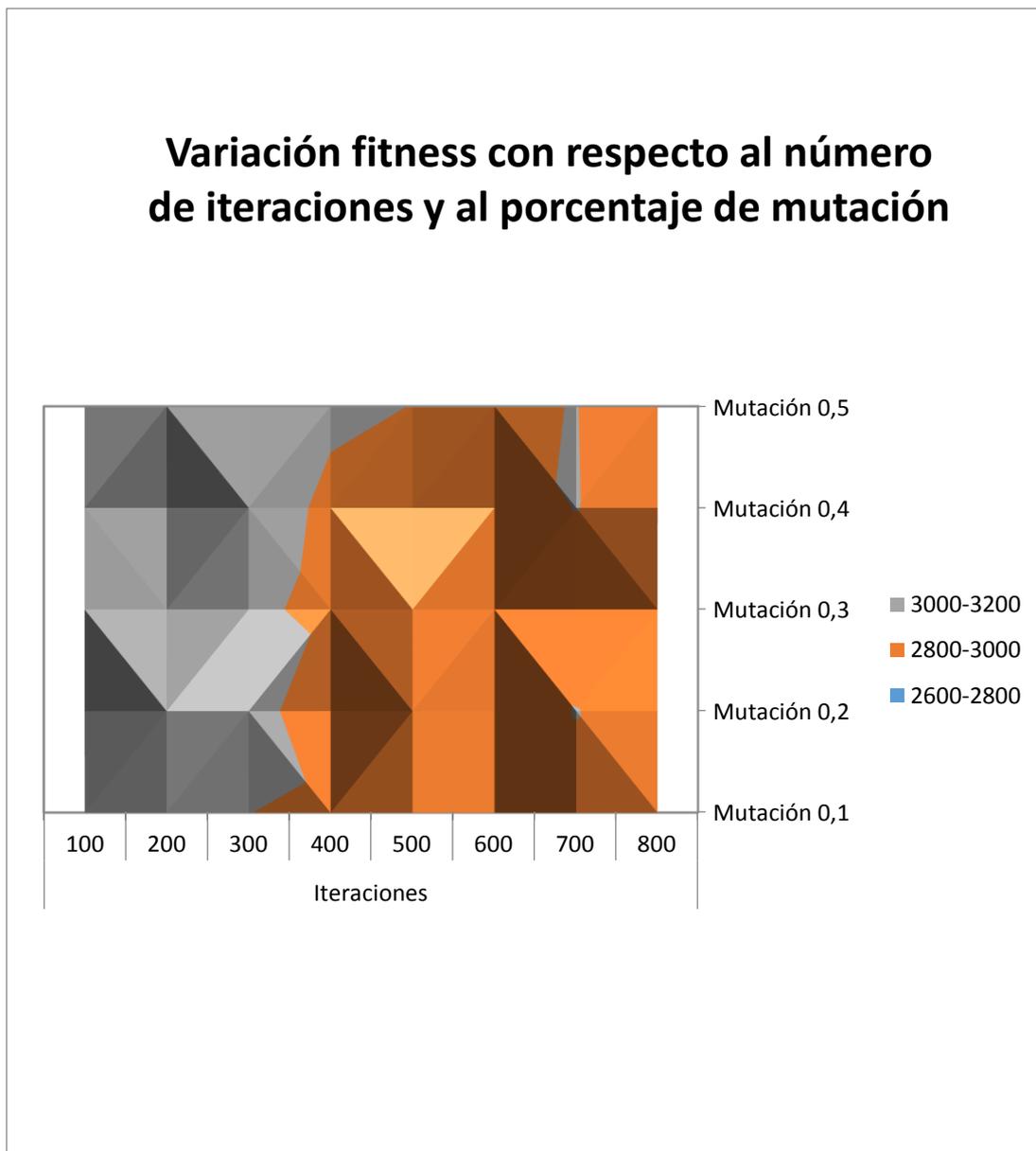


FIGURA 74: VARIACIÓN FITNESS CON RESPECTO ITERACIONES Y MUTACIÓN. ESCENARIO 12

4.5. Datos de salida del Algoritmo Genético

Para cada uno de los distintos escenarios, el algoritmo genético, tras ejecutarse, genera un documento Excel con los datos de salida, que serán posteriormente los datos de entrada del modelo de simulación en Arena (explicado más adelante). La Figura 75 muestra un ejemplo de dicho fichero de Excel, en concreto el que surge tras la ejecución de un ejemplo del Escenario 2, en el que aparecen los siguientes datos:

- Identificación de los barcos (columna B, filas 2 y 3) y los trenes (columna B, filas de la 6 a la 9)
- Identificación de los contenedores (las siglas Ab, Cb, Eb, Ib, Hb, ...)
- Las ventanas temporales entre las cual se encuentra el instante de entrada de cada barco y cada tren (columnas C y D, filas 2,3 y 6-9)
- El instante de entrada escogido por el algoritmo (columna E, filas 2,3 y 6-9)
- El instante de salida (columna F, filas 2,3 y 6-9)
- El tiempo de residencia en el puerto (columna G, filas 2,3 y 6-9)
- La gestión de carga y descarga que realizará cada una de las grúas, así como el tiempo en el que la realizará y sobre qué contenedor se llevará a cabo la acción (columnas B-I, filas 11-29).

Así, por ejemplo, en el instante 10 la grúa barco 1 descarga el contenedor Ab.

En el instante 16, la misma grúa barco 1 descarga el contenedor Cb.

La grúa tren 1 descargará el contenedor Ob en el instante 5.

Etc.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		VPlate	VEat	VLat	VArrivalT	VDepartureT	VResidenceT		
2		V001	10	40	10	52	42		
3		V002	20	50	20	58	38		
4									
5		TPlate	TEat	TLat	TArrivalT	TDepartureT	TResidenceT		
6		T001	5	35	5	34	29		
7		T002	15	45	15	34	19		
8		T003	25	55	25	58	33		
9		T004	30	65	40	52	12		
10									
11		Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
12		-1	-1	-1	1	-1	1	1	1
13		Ab	Cb	Eb	Ib	Hb	Lb	Mb	Nb
14		10	16	22	28	34	40	46	52
15									
16		Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
17		-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
18		Bb	Db	Fb	Gb	Jb	Kb	Ob	Pb
19		10	16	22	28	34	40	46	52
20									
21		Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
22		-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
23		Ob	Jb	Ib	Eb	Lb	Nb	Hb	Cb
24		5	16	22	28	34	40	46	52
25									
26		Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
27		-1	1	1	1	-1	-1	1	1
28		Pb	Ab	Bb	Fb	Kb	Mb	Db	Gb
29		5	16	22	28	34	40	46	52
30									

FIGURA 75: EXCEL SALIDA ESCENARIO 2

Como ya se ha comentado antes, las ventanas temporales y la organización de los contenedores es igual a los conjuntos de escenarios 1 – 4, 5 – 8, 9 – 12. Sin embargo, debido a la variación del número de grúas, el *fitness*, que corresponde con el sumatorio de los tiempos de salida, no es el mismo para los escenarios que conforman estos conjuntos, al igual que las tareas de las grúas tampoco serán las mismas.

En el siguiente apartado se explicará el siguiente paso del proceso, que implica la utilización del software Arena, como ya se ha adelantado anteriormente, el cual ayuda a simular lo que ocurre en el puerto con la llegada de los contenedores, cómo se organizan éstos, y su salida.

5. Modelo de simulación en Arena

Este capítulo contiene el último paso de todo el proceso de optimización: la simulación en el software Arena de un modelo representativo de una terminal portuaria con los datos obtenidos del AG.

5.1. Introducción software Arena

El software utilizado para desarrollar los modelos de simulación y hacer los experimentos es el simulador Arena Rockwell Automation.

Este software es un programa de simulación que ha sido diseñado para su uso en todas las diferentes funciones que se pueden dar en una empresa, permitiendo el análisis de los procesos a llevar a cabo en una determinada función de la empresa (fabricación, logística, servicio al cliente), así como el análisis de procesos en los que intervienen varias áreas funcionales.

Arena combina la facilidad de uso de los simuladores de alto nivel con la flexibilidad de los lenguajes de simulación. La cantidad de funciones es muy amplia como, por ejemplo: fabricación, logística y distribución, hasta la gestión administrativa y el servicio y atención al cliente.

Permite el modelado de los procesos para definir, documentar y comunicar, así como simular el funcionamiento futuro de un sistema para entender las complejas relaciones e identificar oportunidades de mejora.

En este proyecto se va a utilizar la versión de Arena 14.7.

A continuación, se procederá a hacer una descripción de los menús que contiene el software, las barras de herramientas, los distintos paneles, etc.

5.1.1. Menús

Están disponibles los menús File, View, Tools y Help.

Una vez se abre un modelo, se añaden los menús Edit, Arrange, Object, Run y Window.

Muchos de los elementos que se despliegan de estos menús son funciones estándar de Windows, por lo que sólo se entrará a comentar aquellos que sean específicos de Arena.

5.1.2. Barras de herramientas

Posee varias barras de herramientas con grupos de botones y menús desplegables para poder facilitar el acceso directo a las funciones con mayor uso.

Las barras de herramientas disponibles en Arena son: la Barra de Herramientas Estándar, la Barra de Herramientas View, la barra Run Interaction y la Barra Arrange. Cada una de ellas se corresponde con la barra del menú del mismo nombre.

La barra de Draw no tiene correspondencia con opciones de menú, por tanto, los dibujos sólo pueden hacerse accediendo a la barra de herramientas. De esta manera es como pueden dibujarse líneas, arcos, etc., para vestir el modelo.

A continuación, la Figura 76 muestra la ventana principal de Arena. Es ahí donde se diseñará el modelo de simulación.

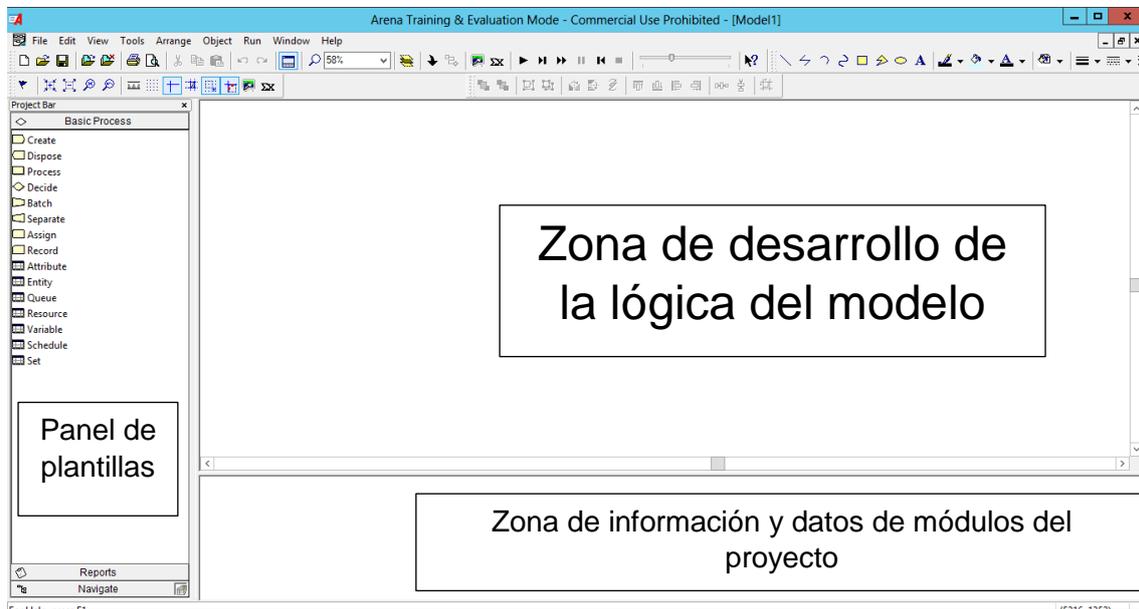


FIGURA 76: VENTANA PRINCIPAL ARENA

Aparecen indicadas:

- La zona de desarrollo de la lógica del modelo
- La zona de información y datos de módulos del proyecto
- El Panel de plantillas

5.1.3. Módulos de Arena

En este apartado se describirán los principales módulos que componen el software y los más utilizados, algunos de los cuales se muestran en la Figura 77:

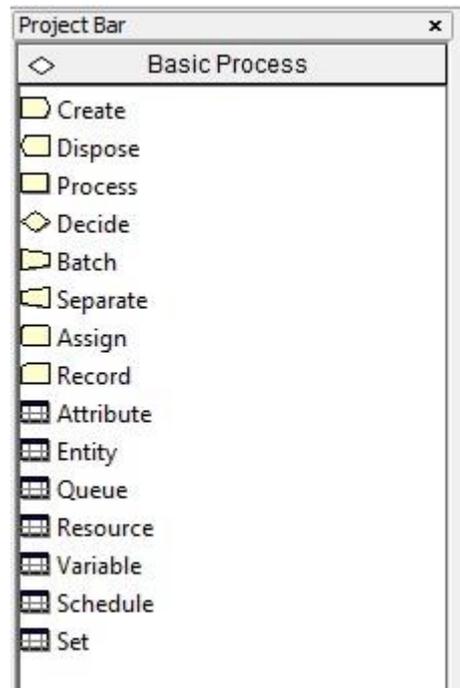


FIGURA 77: PANEL DE PROCESOS BÁSICOS DE ARENA

Módulo Create

Descripción: Este módulo representa la creación o también lo se puede entender como llegada de entidades al modelo de simulación. Las entidades se crean usando una planificación previa o programando el tiempo entre llegadas. En este módulo se especifica también el tipo de entidad de que se trata.

Módulo Process

Descripción: Este módulo corresponde al principal método de procesamiento en simulación.

El módulo consta de opciones para ocupar y liberar un recurso. Además, existe la opción de especificar un “submodelo” y especificar el orden del proceso que elija por el usuario, es decir, se puede establecer una prioridad a la hora de procesar los elementos. El tiempo del proceso se le añade a la entidad y se puede considerar como valor añadido, valor no-añadido, transferencia, espera u otros.

Módulo Decide

Descripción: Este es un módulo de decisión permite a los procesos tomar decisiones en el sistema. Consta de la opción de tomar decisiones basándose en una o más condiciones o basándose en probabilidades (por ejemplo, 75% verdadero, 25% falso).

Las condiciones también se pueden basar en los valores de los atributos (por ejemplo, prioridad), valores de variables (por ejemplo, Número de Rechazados), el tipo de entidad o una expresión a introducir por el usuario.

El módulo consta de dos puntos de salida cuando se especifica el tipo 2-way chance o 2-way condition. Hay un punto de salida para las entidades “verdaderas” y otro para las entidades “falsas”.

Cuando se especifica el tipo Nway chance o condition, aparecen múltiples puntos de salida para cada condición o probabilidad y una única salida “else”, la cual es escogida por el sistema sino se cumple ninguna de las condiciones anteriores.

Módulo Assign

Descripción: La función de este módulo es asignar valores nuevos a las variables, a los atributos de las entidades, tipos de entidades, ilustraciones de las entidades, u otras variables del sistema. Se pueden hacer varias asignaciones con un único módulo Assign.

Módulo Batch

Descripción: Este módulo realiza una función de agrupamiento dentro del modelo de simulación. Los lotes de elementos pueden estar agrupados durante todo el modelo o sólo temporalmente.

Los lotes temporales deben ser divididos posteriormente usando el módulo Separate.

Los lotes se pueden realizar con un número específico de entidades de entrada o se pueden unir a partir del valor de un determinado atributo. Las entidades que van llegando a un módulo Batch se van colocando en una cola hasta que se ha acumulado el número necesario de entidades, una vez acumuladas, se crea una nueva entidad.

Se puede entender este módulo como el ensamblaje de una serie de elementos para dar otro elemento nuevo.

Módulo Separate

Descripción: La función de este módulo es separar la entidad entrante en múltiples entidades o dividir una entidad previamente agrupada mediante un módulo Batch. Se especifican también las reglas de asignación de atributos para las entidades miembro.

Cuando se segmentan lotes existentes, la entidad temporal que se había formado se destruye y las entidades que la formaban se recuperan.

Las entidades saldrán del sistema secuencialmente en el mismo orden en que se agregaron al lote en el origen del mismo.

Cuando se duplican entidades, se hacen el número de copias especificado.

Módulo Record

Descripción: Este módulo se usa para recoger estadísticas del modelo de simulación. Se dispone de varios tipos de estadísticas observables, incluyendo el tiempo entre salidas a través del módulo, estadísticas de entidad (tiempo, costes, etc.), observaciones generales, y estadísticas de intervalo.

Módulo Dispose

Descripción: Este módulo representa el punto final de entidades en un modelo de simulación dónde se recogen los datos de las entidades que van entrando en el mismo.

Las estadísticas de la entidad se registrarán antes de que la entidad se elimine del modelo.

Módulo Entity

Descripción: Este es un módulo de datos donde se definen los diversos tipos de entidades y el valor inicial que van a tomar en la simulación.

Módulo Queue

Descripción: Este es un módulo de datos que se suele usar para cambiar la prioridad de las entidades para una determinada cola.

La regla que define el orden de la cola por defecto es First In, First Out salvo que se indique otra cosa en este módulo. Hay un campo adicional que permite definir la cola como compartida.

Módulo Resource

Descripción: Este es un módulo de datos donde se definen los recursos de un sistema de simulación, incluyendo información de costes y disponibilidad del recurso.

Los recursos pueden tener una capacidad fija que no varía durante la simulación o pueden funcionar en base a una planificación. Los fallos y estados del recurso se pueden definir también en este módulo.

Módulo Schedule

Descripción: Este es un módulo de datos que se suele usar en conjunción con el módulo Resource para definir la planificación de un recurso del sistema o con el módulo Create para definir una planificación de llegada de entidades. Además, una planificación se puede usar y referir a factores de retardos de tiempo basados en el tiempo de simulación.

Módulo Set

Descripción: Este es un módulo de datos donde se define varios tipos de conjuntos, incluyendo recursos, contadores, cuentas, tipos de entidad e ilustraciones de entidades.

Los conjuntos de recursos se pueden usar en los módulos Process (Seize, Release, Enter y Leave en el panel Advanced Transfer). Los conjuntos Counter y Tally se pueden usar en el módulo Record.

Los conjuntos Queue se pueden usar con Seize, Hold, Access, Request, Leave, y Allocate de los paneles Advanced Process y Advanced Transfer.

Módulo Variable

Descripción: Este es un módulo de datos que se usa para definir una variable y su valor inicial. Las variables se pueden referenciar en otros módulos del modelo, se les puede asignar un valor nuevo y se pueden usar en cualquier expresión.

Otros módulos utilizados están incluidos en el Panel de Procesos Avanzados mostrado en la Figura 78:

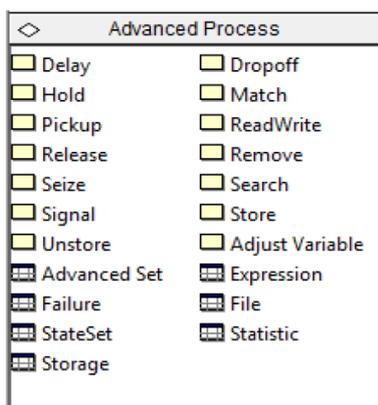


FIGURA 78: PANEL DE PROCESOS AVANZADOS DE ARENA

Módulo Delay

Descripción: Este módulo se encarga de retrasar a las entidades que lleguen a él por el tiempo especificado. Retiene las entidades conforme llegan al módulo, es capaz de retener varias entidades a la vez. Se puede usar para simular un desplazamiento.

Módulo Hold

Descripción: Este módulo retendrá una entidad en una cola para esperar a una señal o que una condición llegue a ser verdadera (*scan*) o sea detenida infinitamente, para que sea removida después con el módulo Remove. Si la entidad está detenida esperando una señal, el módulo Signal se utiliza en otro lugar en el modelo para permitir

que la entidad pase al siguiente módulo. Si la entidad está esperando que una condición dada sea verdadera, la entidad permanecerá en el módulo, hasta que la condición/es llegue a ser verdadera. Cuando la entidad es un Hold infinito, el módulo Remove se utiliza en algún lugar del modelo para permitir que la entidad continúe procesándose.

Módulo Release

Descripción: Se encarga de liberar un recurso.

Módulo ReadWrite

Descripción: Se utiliza para leer los datos de un fichero de entrada o del teclado y asignar los valores de los datos a una lista de variables o cualidades. Este módulo también se utiliza para escribir datos a un dispositivo de salida, tal como la pantalla o un archivo.

Módulo Remove

Descripción: Quita una sola entidad de una posición especificada en una cola y la envía a un módulo señalado. El ranking de la entidad significa la localización de la entidad dentro de la cola.

Módulo Search

Descripción: Busca el conjunto de entidades que cumplan con las condiciones especificadas. Maneja tres opciones:

- Search a queue
- Search a Batch
- Search an expresión

Retorna, dentro de la variable *Global J.*, la posición en la cola de la primera entidad que cumple con las condiciones especificadas.

Se ha utilizado otro módulo denominado *Station* que se encuentra en el Panel de Traslados Avanzados de Arena, visible en la Figura 79:

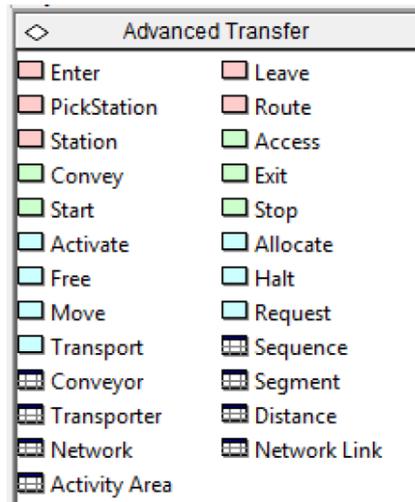


FIGURA 79: PANEL DE TRASLADOS AVANZADOS DE ARENA

Módulo Station

Descripción: es un bloque usado para diferenciar las partes de nuestro sistema. Su uso hace más manejable el modelo y facilita la definición de los movimientos entre las distintas partes del sistema.

5.2. Datos de entrada del modelo

Los datos de entrada del modelo de Arena (que será descrito en el apartado siguiente), son los mismos que los datos de salida del AG, como ya se ha citado con anterioridad.

De esta forma, el documento Excel que podemos considerar como entrada de Arena es el de la Figura 80, que corresponde con los datos de salida del AG para un ejemplo del escenario de estudio número 2:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		VPlate	VEat	VLat	VArrivalT	VDepartureT	VResidenceT		
2		V001	10	40	10	52	42		
3		V002	20	50	20	58	38		
4									
5		TPlate	TEat	TLat	TArrivalT	TDepartureT	TResidenceT		
6		T001	5	35	5	34	29		
7		T002	15	45	15	34	19		
8		T003	25	55	25	58	33		
9		T004	30	65	40	52	12		
10									
11		Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
12		-1	-1	-1	1	-1	1	1	1
13		Ab	Cb	Eb	Ib	Hb	Lb	Mb	Nb
14		10	16	22	28	34	40	46	52
15									
16		Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
17		-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
18		Bb	Db	Fb	Gb	Jb	Kb	Ob	Pb
19		10	16	22	28	34	40	46	52
20									
21		Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
22		-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
23		Ob	Jb	Ib	Eb	Lb	Nb	Hb	Cb
24		5	16	22	28	34	40	46	52
25									
26		Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
27		-1	1	1	1	-1	-1	1	1
28		Pb	Ab	Bb	Fb	Kb	Mb	Db	Gb
29		5	16	22	28	34	40	46	52
30									

FIGURA 80: DATOS DE ENTRADA DEL MODELO DE ARENA

La Figura 80 es igual a la Figura 75, por lo que los datos que contiene ya han sido explicados en el apartado 4.5.

Una vez el modelo recibe los datos de entrada, realiza una simulación de lo que ocurre en la terminal portuaria con esas especificaciones descritas: el número de trenes y de barcos dado, la capacidad de estos, el instante de entrada y de salida de cada transporte, así como la tarea a realizar por cada grúa, especificando sobre qué contenedor es realizada y en qué instante de tiempo.

5.3. Descripción del modelo

El objetivo de este modelo es proporcionar una simulación del tráfico de contenedores dentro del puerto, desde la llegada de bienes mediante barcos hasta su salida mediante trenes, y viceversa.

En función del tiempo de llegada dado por el algoritmo de optimización, los barcos contenedores llegan al puerto, de igual manera que los trenes contenedores llegan a la terminal. Los contenedores son descargados al puerto o a la terminal y conducidos a una zona de almacenaje común. Entonces, si el transporte encargado de su salida del puerto está presente, el contenedor puede ser trasladado al puerto o a la terminal. Los contenedores que llegan al puerto vía marítima deberán salir de él por tren, y viceversa. La carga debe realizarse mediante el uso de una grúa del tipo correcto, al igual que la descarga. Una vez que todos los contenedores de un transporte determinado están cargados, éste podrá abandonar el puerto.

En términos de datos de entrada, como ya se ha mencionado con anterioridad es necesario especificar el número de barcos y trenes que usan el puerto durante el periodo de simulación y sus capacidades (entendiendo por capacidad el número máximo de contenedores que son capaces de transportar). Las grúas son utilizadas como recursos, pero de igual manera hay que especificar el número de grúas que hay de cada tipo y sus tiempos de operación. Las tareas que deben realizar serán también datos de salida del AG y, por tanto, datos de entrada del modelo de Arena.

Se asume que cada transporte tiene una única capacidad relacionada con el tipo de transporte del que se trata, y que deben estar completamente llenos cuando llegan o cuando se marchan. El número de contenedores que llegan por mar debe ser igual al número de contenedores transportados vía tierra. Así, al final de la simulación, ningún transporte o contenedor quedará en el puerto.

5.3.1. Lectura datos de entrada

Una entidad específica ha sido creada para la lectura de datos de Arena. El proceso de lectura empieza 1 segundo antes de la simulación, con el fin de saber cuántas entidades tienen que ser creadas sin afectar esto demasiado al reloj de simulación.

Un subproceso, visible en la Figura 81, fue utilizado aquí para simplificar el principal modelo de simulación, y se hace visible mediante una flecha en el módulo llamado “Leer datos”, como se muestra en la Figura siguiente:

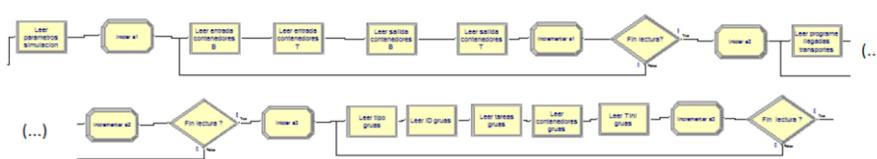


FIGURA 81: SUBPROCESO “LEER DATOS”

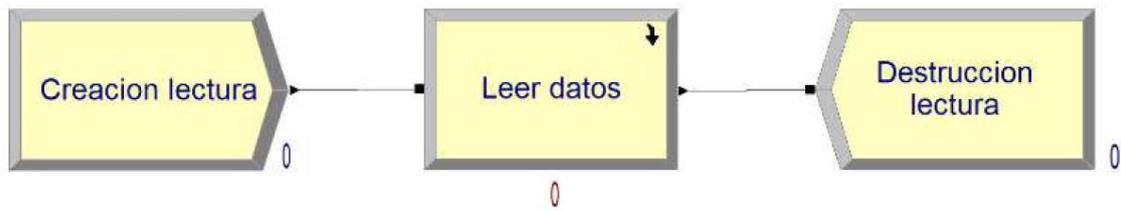


FIGURA 82: MÓDULO “LEER DATOS”

5.3.2. Entidades utilizadas

Para ilustrar el proceso físico, se ha elegido presentar la evolución de 3 entidades: barcos, trenes y contenedores. La distinción de estas tres entidades es también perceptible en el modelo base, con caminos modulares disociados, los cuales pueden verse en la Figura 83:

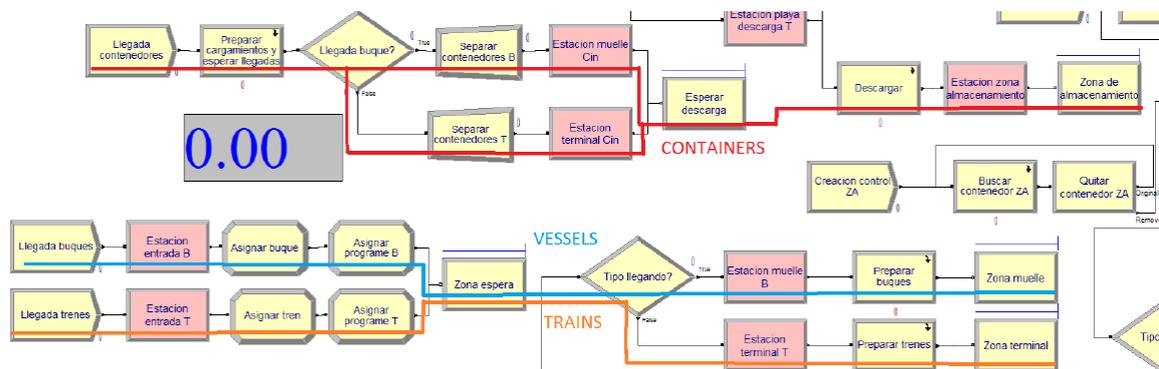


FIGURA 83: CAMINOS MODULARES DE LAS PRINCIPALES ENTIDADES

Aunque cada camino es independiente, existen obviamente links entre ellos. Por ejemplo, las señales son mandadas para informar de la llegada de un transporte (en los submodelos “Preparar buques” y “Preparar trenes” mostrados en la figura) de forma que los contenedores puedan llegar al puerto antes de ser descargados.

La gestión de los atributos que constituyen la información de las entidades es también un paso importante. Para los contenedores, barcos y trenes, un tipo (marítimo o terrestre) y una identidad correspondiente a los datos de entrada fue asignada. Así, la identidad de los transportes que serán utilizados para su salida es establecida para los contenedores, mientras que la hora de salida es especificada para los transportes. El resto de datos son guardadas simplemente en la forma de variables de simulación.

5.3.3. Colas con condición

Debido al funcionamiento necesario del modelo y al movimiento de contenedores requerido por la terminal, saber cómo elegir una entidad específica en una cola, sin importar su posición, resulta algo no sólo útil sino más bien indispensable. Una función así no existe en Arena, por lo que los módulos “Infinite Hold”, “Search”, y “Remove” han tenido que ser adaptados para suplir estas necesidades, creando así un método al que nos referiremos como el “Método de Elección”.

Se explicará de qué manera se ha hecho poniendo de ejemplo la Zona de Almacenamiento.

La idea es permitir la retirada de un contenedor sólo si el transporte encargado de su salida del puerto está presente en la terminal portuaria. Para conseguir esto, una matriz llamada “Demand” ha sido creada. Inicialmente vacía, ésta se llena gradualmente con la llegada de transportes, escribiendo el contenedor que tiene que ser cargado antes de su salida. Como consecuencia, tan pronto como el transporte es presente, la matriz Demand es actualizada, y cuando el condicional “Search” se encuentra con el contenedor con la correspondiente identidad, éste puede ser retirado gracias a un registro de su índice y llevado a la zona de carga. Es importante tener en cuenta que la búsqueda debe ser realizada periódicamente y no continuamente con el objetivo de que la simulación continúe. Un periodo de 1 minuto ha sido elegido: es corto y no tiene una gran influencia en el resultado, y permite una velocidad de simulación aceptable.

A continuación, en la Figura 84 se muestra la Zona de Almacenamiento en el modelo principal, y en la Figura 85 se puede ver el submodelo “Buscar contenedor ZA”, encargado de buscar un contenedor presente en la Zona de Almacenamiento.

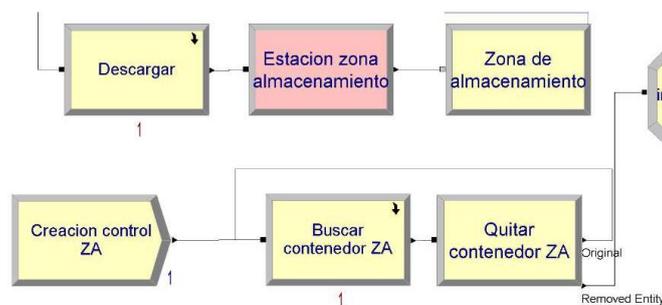


FIGURA 84: ZONA DE ALMACENAMIENTO

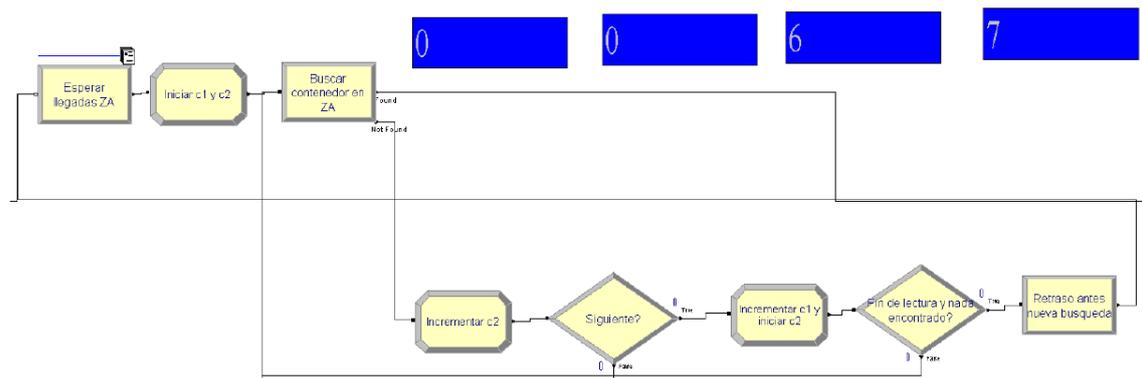


FIGURA 85: SUBMODELO “BUSCAR CONTENEDOR ZA”

Esta idea ha sido también utilizada para diferentes problemas prácticos, como la planificación de la llegada de transportes. En realidad, todos los transportes son creados en el instante $t = 1$ segundo, y entonces son guardados en un módulo “Infinite Hold” hasta que el tiempo de la simulación corresponde con el atributo de fecha de llegada. A partir de ahí los contenedores, creados también en el instante $t = 1$ segundo, pueden entrar en el sistema real gracias a una señal mandada a ellos. De hecho, la idea de poder elegir elementos de una cola ha sido adaptada a la retirada de transportes en el puerto o la terminal, y para manejar las operaciones de las grúas durante la carga y descarga de los contenedores.

5.3.4. Carga/ Descarga de contenedores

Otro paso que ha debido de ser tratado con cuidado es el modelado de la carga y descarga de contenedores. Como ambos procesos son similares, a continuación se describirá únicamente la operación de descarga de contenedores de los transportes entrantes en el puerto.

Antes de nada, algunas condiciones deben darse antes de la descarga de contenedores. Una grúa del tipo correcto debe estar libre. Además, si el esquema de operación de las grúas hubiera sido creado con anterioridad, como es el caso, éste debe ser utilizado. En ese caso, una operación debe llevarse a cabo por una grúa específica, sobre un contenedor específico, y en una fecha fijada. Estos requisitos son manejados a través del uso del “Método de Elección”, en una cola de “Infinite Hold” correspondiente a los contenedores que están esperando a ser descargados.

Contemplando la acción de descarga en sí misma, los contenedores son simplemente manejados por un módulo “Process” que añade un retraso en ellos correspondiente a los datos de entrada.

En la Figura 86 mostrada a continuación, se puede ver representado el subproceso de Descarga:



FIGURA 86: SUBPROCESO DE DESCARGA

5.4. Datos de salida del modelo

Uno de los objetivos de la simulación es comprobar que las soluciones propuestas por el algoritmo de optimización eran viables. Por ello, una parte de los datos de Arena debían ser guardados y entonces comparados con las estimaciones.

A continuación, la Figura 87 muestra el área de escritura dentro del modelo principal:



FIGURA 87: ÁREA DE ESCRITURA

En la Figura 88 se muestra el subproceso Escribir datos transportes:

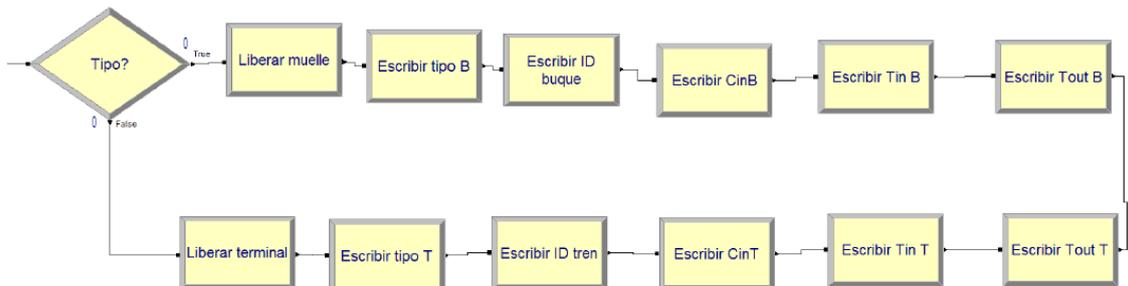


FIGURA 88: SUBPROCESO "ESCRIBIR DATOS TRANSPORTE"

Este subproceso es el encargado de escribir en una plantilla, como la mostrada en la Figura 89, las fechas reales de llegada y de salida de los transportes. Sus cargas iniciales y finales son también aquí recogidas mediante la asignación de una identidad a cada contenedor. En cuanto a los contenedores en sí mismos, la fecha de las operaciones realizadas sobre ellos ha sido también registrada y escrita con el fin de compararlas con las del esquema inicial.

5.5. Simulación del modelo con los escenarios de estudio

A continuación, se describirá lo ocurrido tras simular en el software Arena algunos de los escenarios de estudio.

5.5.1. Datos de entrada de Arena

El siguiente paso del proceso, como ya se ha indicado, es la simulación de los resultados obtenidos con el AG en el modelo de simulación de Arena.

Se realizará la simulación de los 4 primeros escenarios y se comentará.

A continuación, en la Figura 91 se muestran los datos comunes a los escenarios 1, 2,3 y 4:

	Localizador	Organización de contenedores		Ventanas temporales fecha entrada puerto	
		a la entrada al puerto	a la salida del puerto	Instante mínimo de entrada	Instante máximo de entrada
Barcos	V001	Ab,Bb,Cb,Db	Ib,Kb,Mb,Ob	10	40
	V002	Eb,Fb,Gb,Hb	Jb,Lb,Nb,Pb	20	50
Trenes	T001	Ob,Pb	Ab,Eb	5	35
	T002	Ib,Jb	Bb,Fb	15	45
	T003	Kb,Lb	Cb,Gb	25	55
	T004	Mb,Nb	Db,Hb	30	65

FIGURA 91: DATOS ESCENARIOS 1, 2, 3 Y 4

Los datos que varían entre los escenarios son los siguientes:

- Escenario 1: 1 grúa barco y 1 grúa tren disponible en el puerto
- Escenario 2: 2 grúas tren y 2 grúas barco disponibles en el puerto
- Escenario 3: 3 grúas tren y 3 grúas barco disponibles en el puerto
- Escenario 4: 4 grúas tren y 4 grúas barco disponibles en el puerto

Los tiempos de operación (de carga y descarga de contenedores) de las grúas en todos los casos serán iguales a 6 unidades de tiempo.

Tras la ejecución del AG, éste ha devuelto los instantes de entrada mejores que ha podido conseguir, así como la organización de las grúas dentro del puerto para cada escenario.

Estos datos son los que, como ya se ha explicado con anterioridad, sirven de datos de entrada para el AG.

A continuación, las Figuras 92 y 93 muestran dichos datos de los escenarios 1 y 2:

	Identificador	Instante mín de entrada	Instante máx de entrada	Instante óptimo de entrada	Instante de salida	Tiempo de residencia										
Barcos	V001	10	40	15	111	96										
	V002	20	50	20	93	73										
Trenes	T001	5	35	5	35	30										
	T002	15	45	15	53	38										
	T003	25	55	35	83	48										
	T004	30	65	60	101	41										
						476	<i>Fitness</i>									

	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14	Var15	Var16
Grúa barco 1	Tarea	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
	Cotenedor	Ab	Eb	Bb	Fb	Gb	Cb	Db	Hb	Jb	Lb	Ib	Nb	Pb	Kb	Mb
	Instante tarea	15	21	27	33	39	45	51	57	63	69	75	81	87	93	99

	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14	Var15	Var16
Grúa tren 1	Tarea	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1
	Cotenedor	Ob	Pb	Ib	Ab	Eb	Jb	Bb	Fb	Kb	Lb	Cb	Nb	Gb	Mb	Db
	Instante tarea	5	11	17	23	29	35	41	47	53	59	65	71	77	83	89

FIGURA 92: DATOS SALIDA AG ESCENARIO 1

	Identificador	Instante mín de entrada	Instante máx de entrada	Instante óptimo de entrada	Instante de salida	Tiempo de residencia								
Barcos	V001	10	40	10	58	48								
	V002	20	50	20	52	32								
Trenes	T001	5	35	5	34	29								
	T002	15	45	15	34	19								
	T003	25	55	30	52	22								
	T004	30	65	35	58	23								
						288	<i>Fitness</i>							

	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
Grúa barco 1	Tarea	-1	-1	-1	-1	1	1	1
	Cotenedor	Ab	Cb	Eb	Gb	Ib	Lb	Mb
	Instante tarea	10	16	22	28	34	40	46

	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
Grúa barco 2	Tarea	-1	-1	-1	-1	1	1	1
	Cotenedor	Bb	Db	Fb	Hb	Jb	Kb	Pb
	Instante tarea	10	16	22	28	34	40	46

	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
Grúa tren 1	Tarea	-1	1	-1	1	-1	-1	1
	Cotenedor	Ob	Ab	Ib	Fb	Lb	Nb	Gb
	Instante tarea	5	16	22	28	34	40	46

	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
Grúa tren 1	Tarea	-1	-1	1	1	-1	1	-1
	Cotenedor	Pb	Jb	Bb	Eb	Kb	Cb	Mb
	Instante tarea	5	16	22	28	34	40	46

FIGURA 93: DATOS SALIDA AG ESCENARIO 2

En el caso del Escenario 1, como sólo disponemos de 1 grúa de cada tipo, éstas serán las encargadas de hacer todas las cargas y descargas de los transportes de su mismo

tipo. Así, por ejemplo, la grúa barco que está disponible en el puerto es la encargada de descargar todos los barcos que entren en el puerto, así como de volver a cargarlos.

En el caso del Escenario 2, disponemos de 2 grúas de cada tipo. En el puerto entran 8 contenedores vía mar y 8 contenedores vía tierra, por lo que, por ejemplo, las grúas tipo barco deberán realizar 16 tareas en total (8 cargas y 8 descargas). El algoritmo ha determinado que cada grúa debe realizar el mismo número de tareas para llegar a la una solución razonablemente buena.

Las Figuras 94 y 95 muestran los datos de salida del AG de los escenarios 3 y 4:

		Identificador	Instante mín de entrada	Instante máx de entrada	Instante óptimo de entrada	Instante de salida	Tiempo de residencia
Barcos	V001		10	40	10	50	40
	V002		20	50	20	44	24
Trenes	T001		5	35	5	32	27
	T002		15	45	20	32	12
	T003		25	55	25	50	25
	T004		30	65	30	44	14
						252	<i>Fitness</i>
Grúa barco 1	Var1		Var2	Var3	Var4	Var5	Var6
	Tarea	-1	-1	-1	1	1	1
	Cotenedor	Ab	Db	Gb	lb	Lb	Kb
Instante tarea		10	16	23	29	35	44
Grúa barco 2	Var1		Var2	Var3	Var4	Var5	Var6
	Tarea	-1	-1	-1	1	1	1
	Cotenedor	Bb	Eb	Hb	Nb	Mb	Pb
Instante tarea		10	20	26	38	44	50
Grúa barco 3	Var1		Var2	Var3	Var4	Var5	
	Tarea	-1	-1	1	1	1	
	Cotenedor	Cb	Fb	Jb	Pb	Ob	
Instante tarea		10	20	26	38	44	
Grúa tren 1	Var1		Var2	Var3	Var4	Var5	Var6
	Tarea	-1	1	1	-1	1	1
	Cotenedor	Ob	Ab	Bb	Lb	Db	Gb
Instante tarea		5	16	22	29	35	41
Grúa tren 2	Var1		Var2	Var3	Var4	Var5	Var6
	Tarea	-1	-1	1	-1	-1	1
	Cotenedor	Pb	Jb	Eb	Mb	Kb	Cb
Instante tarea		5	20	26	32	38	44
Grúa tren 3	Var1		Var2	Var3	Var4	Var5	
	Tarea	-1	1	-1	1	1	
	Cotenedor	lb	Fb	Nb	Hb	Hb	
Instante tarea		20	26	32	38	42	

FIGURA 94: DATOS SALIDA AG ESCENARIO 3

		Identificador	Instante mín de entrada	Instante máx de entrada	Instante óptimo de entrada	Instante de salida	Tiempo de residencia
	Barcos	V001	10	40	10	48	38
		V002	20	50	20	48	28
	Trenes	T001	5	35	15	32	17
		T002	15	45	20	32	12
		T003	25	55	30	38	8
		T004	30	65	35	44	9
						242	<i>Fitness</i>
		Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	
Grúa barco 1	Tarea	-1	-1	1	1	1	
	Cotenedor	Ab	Eb	Ib	Kb	Nb	
	Instante tarea	10	20	26	36	42	
		Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	
Grúa barco 2	Tarea	-1	-1	1	1	1	
	Cotenedor	Bb	Fb	Jb	Lb	Pb	
	Instante tarea	10	20	28	36	42	
		Var1	Var2	Var3			
Grúa barco 3	Tarea	-1	-1	1			
	Cotenedor	Cb	Gb	Mb			
	Instante tarea	10	20	42			
		Var1	Var2	Var3			
Grúa barco 4	Tarea	-1	-1	1			
	Cotenedor	Db	Hb	Ob			
	Instante tarea	10	20	42			
		Var1	Var2	Var3	Var4		
Grúa tren 1	Tarea	-1	-1	-1	-1	-1	
	Cotenedor	Ob	Jb	Lb	Nb		
	Instante tarea	16	22	30	36		
		Var1	Var2	Var3	Var4		
Grúa tren 2	Tarea	-1	1	-1	-1	-1	
	Cotenedor	Pb	Bb	Kb	Mb		
	Instante tarea	16	22	30	36		
		Var1	Var2	Var3	Var4		
Grúa tren 3	Tarea	1	1	1	1		
	Cotenedor	Ab	Eb	Cb	Hb		
	Instante tarea	16	26	32	38		
		Var1	Var2	Var3	Var4		
Grúa tren 4	Tarea	-1	1	1	1		
	Cotenedor	Ib	Fb	Gb	Db		
	Instante tarea	20	26	32	38		

FIGURA 95: DATOS SALIDA AG ESCENARIO 4

Se puede ver, como ya se había comentado con anterioridad, que el valor del *fitness* disminuye en estos dos casos debido al aumento del número de grúas disponibles para realizar las cargas y las descargas.

5.5.2. Resultados simulación en Arena de los Escenarios 1, 2, 3 y 4

Al ejecutar los escenarios en Arena, se puede comprobar si la solución que fue proporcionada por el AG es viable o no.

Tras completarse la simulación, una hoja de Excel como la mostrada en la Figura 96 es creada:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA				
1	VARIABLES	CONTENED	C in B	C in T	C out B	C out T	GRUAS	Tipo	ID	Tarea	Conter	Fecha	HORARIOS	ID	Ent. Prevista	Sal. prevista	RESULTADO	Tipo transp.	ID transp.	Fecha ent.	Fecha sal.	ID	Cl	Tin desc.	Tout desc.	Tin carg.	Tout carg.			
2	NumB	2	Ab	Ob	Ib	Ab		1	1	-1 Ab	15		V001	15	111			1	1	15	11/09/87	Ab		15	21	22,01666667	220,966667			
3	CapB	4	Eb	Pb	Mb	Eb		1	1	-1 Eb	21		V002	20	93			1	2	20	93,016667	Eb		27	33	41,01666667	47,01666667			
4	NumT	4	Cb	Ib	Mb	Eb		1	1	-1 Eb	27		T001	5	35			2	1	5	35,016667	Cb		35,01666667	65,01666667	71,01666667	71,01666667			
5	CapT	2	Dc	Jb	Ob	Fb		1	1	-1 Fb	33		T002	15	53			2	2	15,0167	53,016667	Dc		57,01666667	57,01666667	59,01666667	59,01666667			
6	NumGB	1	Eb	Kb	Jb	Cb		1	1	-1 Gb	39		T003	35	83			2	3	35,0167	83,016667	Eb		21	27	29,01666667	36,01666667			
7	T GB carga	6	Fb	Lb	Lb	Gb		1	1	-1 Cb	45		T004	60	101			2	4	60,0167	101,0167	Fb		33	39	47,01666667	53,01666667			
8	T GB descarga	6	Gb	Mb	Nb	Dc		1	1	-1 Db	51											Gb		41,01666667	47,01666667	77,01666667	83,01666667			
9	NumGT	1	Hb	Nb	Pb	Hb	Grúas barco	1	1	-1 Hb	57											Hb		57,01666667	63,01666667	65,01666667	101,016667			
10	T GT carga	6						1	1	1 Jb	63											Ib		17	23	75,01666667	81,01666667			
11	T GT descarga	6						1	1	1 Lb	69											Jb		35,01666667	41,01666667	63,01666667	69,01666667			
12								1	1	1 Ib	75											Kb		53,01666667	59,01666667	59,01666667	59,01666667			
13								1	1	1 Nb	81											Lb		59,01666667	65,01666667	65,01666667	75,01666667			
14								1	1	1 Pb	87											Mb		83,01666667	89,01666667	93,01666667	105,016667			
15	Preparación (1)							1	1	1 Kb	93											Nb		71,01666667	77,01666667	81,01666667	87,01666667			
16								1	1	1 Mb	99											Ob		5	11	105,016667	111,016667	111,016667	111,016667	
17								1	1	1 Db	105											Pb		11	17	87,01666667	93,01666667	93,01666667	93,01666667	
18								2	1	-1 Db	5																			
19								2	1	-1 Pb	11																			
20								2	1	-1 Ib	17																			
21	Simulación (2)							2	1	1 Ab	23																			
22								2	1	1 Eb	29																			
23								2	1	-1 Jb	35																			
24								2	1	1 Eb	41																			
25							Grúas tren	2	1	1 Fb	47																			
26								2	1	-1 Kb	53																			
27								2	1	-1 Lb	59																			
28								2	1	1 Cb	65																			
29								2	1	-1 Nb	71																			
30								2	1	1 Gb	77																			
31								2	1	-1 Mb	83																			
32								2	1	1 Db	89																			
33								2	1	1 Hb	95																			

FIGURA 96: HOJA EXCEL SALIDA ARENA

En la mitad izquierda de la hoja se pueden ver los datos que han servido como entrada para el modelo de simulación. En la Figura 97 pueden verse más de cerca para el caso del Escenario 1.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	VARIABLES	CONTENED	C in B	C in T	C out B	C out T	GRUAS	Tipo	ID	Tarea	Conter	Fecha	HORARIOS	ID	Ent. Prevista	Sal. prevista
2	NumB	2	Ab	Ob	Ib	Ab		1	1	-1 Ab	15		V001	15	111	
3	CapB	4	Eb	Pb	Mb	Eb		1	1	-1 Eb	21		V002	20	93	
4	NumT	4	Dc	Jb	Ob	Fb		1	1	-1 Fb	27		T001	5	35	
5	CapT	2	Dc	Jb	Ob	Fb		1	1	-1 Fb	33		T002	15	53	
6	NumGB	1	Eb	Kb	Jb	Cb		1	1	-1 Gb	39		T003	35	83	
7	T GB carga	6	Fb	Lb	Lb	Gb		1	1	-1 Cb	45		T004	60	101	
8	T GB descarga	6	Gb	Mb	Nb	Dc		1	1	-1 Db	51					
9	NumGT	1	Hb	Nb	Pb	Hb	Grúas barco	1	1	-1 Hb	57					
10	T GT carga	6						1	1	1 Jb	63					
11	T GT descarga	6						1	1	1 Lb	69					
12								1	1	1 Ib	75					
13								1	1	1 Nb	81					
14								1	1	1 Pb	87					
15	Preparación (1)							1	1	1 Kb	93					
16								1	1	1 Mb	99					
17								1	1	1 Db	105					
18								2	1	-1 Db	5					
19								2	1	-1 Pb	11					
20								2	1	-1 Ib	17					
21	Simulación (2)							2	1	1 Ab	23					
22								2	1	1 Eb	29					
23								2	1	-1 Jb	35					
24								2	1	1 Eb	41					
25							Grúas tren	2	1	1 Fb	47					
26								2	1	-1 Kb	53					
27								2	1	-1 Lb	59					
28								2	1	1 Cb	65					
29								2	1	-1 Nb	71					
30								2	1	1 Gb	77					
31								2	1	-1 Mb	83					
32								2	1	1 Db	89					
33								2	1	1 Hb	95					

FIGURA 97: DATOS ENTRADA ARENA ESCENARIO 1

Por otra parte, en la mitad derecha de la hoja pueden verse los resultados de la simulación. Pueden verse los correspondientes al Escenario 1 en la Figura 98:

	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
1	RESULTADOS	Tipo transp.	ID transp.	Fecha entr	Fecha sal.	ID_C	Tin desc.	Tout desc.	Tin carg.	Tout carg.
2		1	1	15	111,0166667	Ab	15	21	23,01666667	29,01666667
3		1	2	20	93,0166667	Bb	27	33	41,01666667	47,01666667
4		2	1	5	35,0166667	Cb	35,01666667	41,01666667	65,01666667	71,01666667
5		2	2	15,016667	53,0166667	Db	51,01666667	57,01666667	89,01666667	95,01666667
6		2	3	35,016667	83,0166667	Eb	21	27	29,01666667	35,01666667
7		2	4	60,016667	101,016667	Fb	33	39	47,01666667	53,01666667
8						Gb	41,01666667	47,01666667	77,01666667	83,01666667
9						Hb	57,01666667	63,01666667	95,01666667	101,0166667
10						Ib	17	23	75,01666667	81,01666667
11						Jb	35,01666667	41,01666667	63,01666667	69,01666667
12						Kb	53,01666667	59,01666667	93,01666667	99,01666667
13						Lb	59,01666667	65,01666667	69,01666667	75,01666667
14						Mb	83,01666667	89,01666667	99,01666667	105,0166667
15						Nb	71,01666667	77,01666667	81,01666667	87,01666667
16						Ob	5	11	105,0166667	111,0166667
17						Pb	11	17	87,01666667	93,01666667

FIGURA 98: RESULTADOS SIMULACIÓN ARENA ESCENARIO 1

Se puede comprobar que la solución aportada por el AG para el Escenario 1 es una solución factible, ya que los instantes de entrada y de salida se han cumplido y los contenedores han sido descargados en el tiempo fijado.

En este caso, el último transporte que abandona el puerto es el buque 1 y lo hace en el instante **111 unidades de tiempo**.

De igual manera, tras introducir como datos de entrada en el modelo de simulación los datos de salida del AG para los Escenarios 2, 3 y 4, se ha comprobado que la solución propuesta por éste es también factible.

A continuación, las Figuras 99 y 100 muestran los datos que han servido de entrada para el modelo de Arena para el Escenario 2 y los resultados de esta simulación, respectivamente:

VARIABLES	CONTENED.	C in B	C in T	C out B	C out T	GRUAS	Tipo	ID	Tarea	Conter	Fecha	HORARIOS	ID	Ent. Prevista	Sal. prevista
NumB	2	Ab	Ob	Ib	Ab		1	1	-1	Ab	10		V001	10	58
CapB	4	Bb	Pb	Kb	Eb		1	1	-1	Eb	16		V002	20	52
NumT	4	Cb	Ib	Mb	Bb		1	1	-1	Bb	22		T001	5	34
CapT	2	Db	Jb	Ob	Fb		1	1	-1	Fb	28		T002	15	34
NumGB	2	Eb	Kb	Jb	Cb		1	1	1	Gb	34		T003	30	52
T GB carga	6	Fb	Lb	Lb	Gb		1	1	1	Cb	40		T004	35	58
T GB descarga	6	Gb	Mb	Nb	Db		1	1	1	Db	46				
NumGT	2	Hb	Nb	Pb	Hb	Grúas barco	1	1	1	Hb	52				
T GT carga	6						1	2	-1	Jb	10				
T GT descarga	6						1	2	-1	Lb	16				
							1	2	-1	Ib	22				
							1	2	-1	Nb	28				
							1	2	1	Pb	34				
							1	2	1	Kb	40				
							1	2	1	Mb	46				
							1	2	1	Ob	52				
							2	1	-1	Ob	5				
							2	1	1	Pb	16				
							2	1	-1	Ib	22				
							2	1	1	Ab	28				
							2	1	-1	Eb	34				
							2	1	-1	Jb	40				
							2	1	1	Bb	46				
							2	1	1	Fb	52				
						Grúas tren	2	2	-1	Kb	5				
							2	2	-1	Lb	16				
							2	2	1	Cb	22				
							2	2	1	Nb	28				
							2	2	-1	Gb	34				
							2	2	1	Mb	40				
							2	2	-1	Db	46				
							2	2	1	Hb	52				

FIGURA 99: DATOS ENTRADA ARENA ESCENARIO 2

RESULTADOS	Tipo transp.	ID transp.	Fecha entr.	Fecha sal.	ID_C	Tin desc.	Tout desc.	Tin carg.	Tout carg.
		1	1	10	58,05	Ab	10	16	22
		1	2	20	52,05	Bb	10	16	28,01666667
		2	1	5	34,03333333	Cb	16	22	46,03333333
		2	2	15	34,05	Db	16	22	58,03333333
		2	3	30,01666667	52,03333333	Eb	22	28	34,03333333
		2	4	35,01666667	58,03333333	Fb	22	28	34,03333333
						Gb	28	34	52,03333333
						Hb	28	34	58,03333333
						Ib	22	28	40,01666667
						Jb	16	22	40,01666667
						Kb	34,03333333	40,03333333	46,05
						Lb	34,03333333	40,03333333	46,05
						Mb	46,03333333	52,03333333	58,05
						Nb	40,03333333	46,03333333	52,05
						Ob	5	11	58,01666667
						Pb	5	11	52,01666667

FIGURA 100: RESULTADOS SIMULACIÓN ARENA ESCENARIO 2

Se aprecia que las fechas de entradas establecidas se han cumplido, así como las tareas a realizar por cada grúa y los instantes de estas. El último transporte en abandonar el puerto es el Barco 4, y lo hace en el instante **58 unidades de tiempo**. Este instante es inferior al de 111 unidades de tiempo alcanzado por el último transporte en abandonar el puerto en el Escenario 1.

Se comprueba pues que, al aumentar el número de grúas que hay disponibles, las tareas de carga y descarga se realizan antes por lo que los transportes abandonan el puerto también antes.

En las Figuras 101 y 102 pueden verse los datos de entrada del modelo y los de salida, respectivamente, para el caso del Escenario 3:

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	VARIABLES		CONTENED.	C in B	C in T	Cout B	Cout T	GRUAS	Tipo	ID	Tarea	Conter	Fecha	HORARIOS	ID	Ent. Prevista	Sal. prevista
2	NumB	2		Ab	Ob	Ib	Ab		1	1	-1 Ab		10		V001	10	50
3	CapB	4		Bb	Pb	Kb	Eb		1	1	-1 Eb		16		V002	20	44
4	NumT	4		Cb	Ib	Mb	Bb		1	1	-1 Bb		23		T001	5	32
5	CapT	2		Db	Jb	Ob	Fb		1	1	1 Fb		29		T002	20	32
6	NumGB	3		Eb	Kb	Jb	Cb		1	1	1 Gb		35		T003	25	50
7	T GB carga	6		Fb	Lb	Lb	Gb		1	1	1 Co		44		T004	30	44
8	T GB descarga	6		Gb	Mb	Nb	Db		1	2	-1 Db		10				
9	NumGT	3		Hb	Nb	Pb	Hb	Grúas barco	1	2	-1 Hb		20				
10	T GT carga	6							1	2	-1 Jb		26				
11	T GT descarga	6							1	2	1 Lb		38				
12									1	2	1 Ib		44				
13									1	3	-1 Nb		10				
14									1	3	-1 Pb		20				
15	Preparación (1)								1	3	1 Kb		26				
16									1	3	1 Mb		38				
17									1	3	1 Ob		44				
18									2	1	-1 Ob		5				
19									2	1	1 Pb		16				
20									2	1	1 Ib		22				
21	Simulación (2)								2	1	-1 Ab		29				
22									2	1	1 Eb		35				
23									2	1	1 Jb		41				
24									2	2	-1 Bb		5				
25								Grúas tren	2	2	-1 Fb		20				
26									2	2	1 Kb		26				
27									2	2	-1 Lb		32				
28									2	2	-1 Cb		38				
29									2	2	1 Nb		44				
30									2	3	-1 Gb		20				
31									2	3	1 Mb		26				
32									2	3	-1 Db		32				
33									2	3	1 Hb		38				

FIGURA 101: DATOS ENTRADA ESCENARIO 3

	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
1	RESULTADOS	Tipo transp.	ID transp.	Fecha entr.	Fecha sal.	ID_C	Tin desc.	Tout	Tin carg.	Tout carg.
2		1	1	10	50,03333333	Ab		10	16	16
3		1	2	20	44,03333333	Bb		10	16	22,01666667
4		2	1	5	32,03333333	Cb		10	16	44,01666667
5		2	2	20,01667	32,0166667	Db		16	22	35,01666667
6		2	3	25,01667	50,0166667	Eb		20	26	26,01666667
7		2	4	30,01667	44,0166667	Fb		20	26	26,01666667
8						Gb		23	29	41,01666667
9						Hb	26,01666667	32,02	38,01666667	44,01666667
10						Ib	20,01666667	26,02	29,01666667	35,01666667
11						Jb	20,01666667	26,02	26,03333333	32,03333333
12						Kb	32,01666667	38,02	44,01666667	50,03333333
13						Lb	29,01666667	35,02	35,03333333	41,03333333
14						Mb	32,01666667	38,02	44,01666667	50,01666667
15						Nb	32,01666667	38,02	38,03333333	44,03333333
16						Ob		5	11	44,01666667
17						Pb		5	11	38,01666667

FIGURA 102: RESULTADOS SIMULACIÓN ARENA ESCENARIO 3

De nuevo se comprueba que la solución de optimización del AG para este escenario es también factible, ya que sus instantes de tiempo de entrada y salida se cumplen, y también las tareas realizadas en los contenedores por las grúas.

Al haber seguido aumentando el número de grúas (en el caso de este escenario hay 3 grúas disponibles de cada tipo), el instante de salida del último transporte ha disminuido también. Ha pasado de 58 unidades de tiempo para el caso del Escenario 2 a **50 unidades** de tiempo para el caso del Escenario 3.

La solución aportada por el AG para el caso del Escenario 4 es también factible. Se puede comprobar en las Figuras 103 y 104 mostradas a continuación:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	VARIABLES		CONTENED.	C in B	C in T	C out B	Cout T	GRUAS	Tipo	ID	Tarea	Conter	Fecha	HORARIOS	ID	Ent. Prevista	Sal. prevista
2	NumB	2		Ab	Ob	Ib	Ab		1	1	-1	Ab	10		V001	10	48
3	CapB	4		Bb	Pb	Kb	Eb		1	1	-1	Eb	20		V002	20	48
4	NumT	4		Cb	Ib	Mb	Bb		1	1	1	Bb	26		T001	15	32
5	CapT	2		Db	Jb	Ob	Fb		1	1	1	Fb	36		T002	20	32
6	NumGB	4		Eb	Kb	Jb	Cb		1	1	1	Gb	42		T003	30	38
7	T GB carga	6		Fb	Lb	Lb	Gb		1	2	-1	Cb	10		T004	35	44
8	T GB descarga	6		Gb	Mb	Nb	Db		1	2	-1	Db	20				
9	NumGT	4		Hb	Nb	Pb	Hb		1	2	1	Hb	28				
10	T GT carga	6							1	2	1	Jb	36				
11	T GT descarga	6							1	2	1	Lb	42				
12									1	3	-1	Ib	10				
13									1	3	-1	Nb	20				
14									1	3	1	Pb	42				
15	Preparación (1)								1	4	-1	Kb	10				
16									1	4	-1	Mb	20				
17									1	4	1	Ob	42				
18									2	1	-1	Ob	16				
19									2	1	-1	Pb	22				
20	Simulación (2)								2	1	-1	Ib	30				
21									2	1	-1	Ab	36				
22									2	2	-1	Eb	16				
23									2	2	1	Jb	22				
24									2	2	-1	Bb	30				
25									2	2	-1	Fb	36				
26									2	3	1	Kb	16				
27									2	3	1	Lb	26				
28									2	3	1	Cb	32				
29									2	3	1	Nb	38				
30									2	4	-1	Gb	20				
31									2	4	1	Mb	26				
32									2	4	1	Db	32				
33									2	4	1	Hb	38				

FIGURA 103: DATOS ENTRADA ARENA ESCENARIO 4

	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
1	RESULTADOS	Tipo transp.	ID transp.	Fecha entr	Fecha sal.	ID_C	Tin desc.	Tout	Tin carg.	Tout carg.
2		1	1	10	48,0333333	Ab		10	16	16
3		1	2	20	48,05	Bb		10	16	22,01666667
4		2	1	15	32,0333333	Cb		10	16	32,01666667
5		2	2	20,016667	32,0166667	Db		10	16	38,01666667
6		2	3	30,016667	38,0166667	Eb		20	26	26,01666667
7		2	4	35,016667	44,0166667	Fb		20	26	26,01666667
8						Gb		20	26	32,01666667
9						Hb		20	26	38,01666667
10						Ib	20,01666667	26,017	26,03333333	32,03333333
11						Jb		22	28	28,01666667
12						Kb	30,01666667	36,017	36,03333333	42,03333333
13						Lb	30,01666667	36,017	36,03333333	42,03333333
14						Mb	36,01666667	42,017	42,01666667	48,03333333
15						Nb	36,01666667	42,017	42,01666667	48,03333333
16						Ob		16	22	42,01666667
17						Pb		16	22	42,01666667

FIGURA 104: RESULTADOS SIMULACIÓN ARENA ESCENARIO 4

Finalmente, la salida del último transporte del puerto se ha realizado en el instante 48 unidades de tiempo, comprobándose una vez más que al aumentar el número de grúas disponibles del puerto se ha reducido el tiempo empleado en la realización de las tareas.

En este caso, el último transporte en abandonar el puerto es en Barco 1 y lo hace en el instante **48 unidades de tiempo**.

5.5.3. Análisis informes salida de Arena

Al completarse una simulación, el mismo software Arena muestra unos informes con resultados y datos de lo ocurrido durante la simulación.

Entre estos informes, aparecen las colas que se producen en las distintas tareas y secciones del puerto, lo que puede dar una idea a las zonas que necesitarían más apoyo para mejorar los tiempos de salida.

La Figura 105 muestra las colas del informe realizado tras la ejecución del Escenario 1:

Queue				
Time				
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Agrupar B.Queue	12.0000	(Insufficient)	0.00	30.0000
Agrupar para buques.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Agrupar para trenes.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Agrupar T.Queue	3.7500	(Insufficient)	0.00	12.0000
Coger muelle.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Coger terminal.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Esperar carga.Queue	26.1292	(Insufficient)	2.0167	94.0167
Esperar descarga.Queue	15.2531	(Insufficient)	0.00	37.0167
Esperar dispo GB.Queue	0.00000000	(Insufficient)	0.00000000	0.00000000
Esperar dispo GT.Queue	0.00000000	(Insufficient)	0.00	0.00000000
Esperar dispo GB.Queue	0.2500	(Insufficient)	0.00	2.0000
Esperar dispo GT.Queue	0.00185185	(Insufficient)	0.00	0.01666667
Esperar llegadas carga.Queue	0.00277265	(Correlated)	0.00	15.0167
Esperar llegadas descarga.Queue	0.5882	(Insufficient)	0.00	5.0000
Esperar llegadas terminal y cargas.Queue	18.4861	(Insufficient)	7.9833	35.0000
Esperar llegadas ZA.Queue	0.1278	0,101337450	0.00	12.0000
Esperar presencia transportes.Queue	0.00	0.000000000	0.00	0.00
Organizar llegadas B.Queue	17.4997	(Insufficient)	14.9997	19.9997
Organizar llegadas T.Queue	28.7622	(Insufficient)	4.9997	60.0164
Sincronizar contenedores y transportes.Queue1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Sincronizar contenedores y transportes.Queue2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Zona de almacenamiento.Queue	0.6281	(Insufficient)	0.00	4.0167
Zona espera.Queue	25.0083	(Insufficient)	5.0000	60.0167
Zona muelle.Queue	84.5167	(Insufficient)	73.0167	96.0167
Zona terminal.Queue	39.2542	(Insufficient)	30.0167	48.0000

FIGURA 105: INFORME COLAS ESCENARIO 1

Aquí se puede observar que, dentro de las tareas como tales, las que alcanzan unas mayores colas son la Espera de carga y la Espera de descarga.

En efecto, en la Espera de carga, el máximo tiempo que pasa un contenedor son **94 unidades de tiempo**, y en la Espera de descarga son **37 unidades de tiempo**.

A continuación, en la Figura 106 se puede ver lo que ha esperado cada contenedor para ser cargado y descargado (en unidades de tiempo):

	Esperar descarga	Esperar carga
Ab	0	2,016666667
Bb	12	8,016666667
Cb	20,01666667	24
Db	36,01666667	32
Eb	1	2,016666667
Fb	13	8,016666667
Gb	21,01666667	30
Hb	37,01666667	32
Ib	1,983333333	52,01666667
Jb	20	22
Kb	18	34
Lb	24	4
Mb	23	10
Nb	11	4
Ob	0	94,01666667
Pb	6	70,01666667

FIGURA 106: ESPERAS CARGA Y DESCARGA ESCENARIO 1

El tiempo de espera de descarga de los contenedores se ha calculado como la diferencia entre el tiempo en el que se inicia su descarga y el tiempo en el que el transporte que los introdujo al puerto entró en este.

El tiempo de Espera de carga es la diferencia entre el tiempo que los contenedores empiezan a ser cargados y el tiempo en el que fueron totalmente descargados.

Estas esperas se deben a la falta de recursos como son las grúas.

En la Figura 107 se puede observar el informe de colas del Escenario número 2:

Queue				
Time				
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Agrupar B.Queue	6.0083	(Insufficient)	0.00	18.0333
Agrupar para buques.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Agrupar para trenes.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Agrupar T.Queue	3.0062	(Insufficient)	0.00	12.0333
Coger muelle.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Coger terminal.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Esperar carga.Queue	9.1958	(Insufficient)	0.00	41.0167
Esperar descarga.Queue	4.0042	(Insufficient)	0.00	11.0167
Esperar dispo GB.Queue	0.01041667	(Insufficient)	0.00	0.03333333
Esperar dispo GT.Queue	0.00833333	(Insufficient)	0.00	0.01666667
Esperar dispo GB.Queue	0.00000000	(Insufficient)	0.00	0.00000000
Esperar dispo GT.Queue	0.00454545	(Insufficient)	0.00	0.01666667
Esperar llegadas carga.Queue	0.00444758	(Correlated)	0.00	11.0000
Esperar llegadas descarga.Queue	0.6500	(Insufficient)	0.00	5.0000
Esperar llegadas terminal y cargas.Queue	9.6583	(Insufficient)	0.00	34.0167
Esperar llegadas ZA.Queue	0.02242152	(Correlated)	0.00	11.0000
Esperar presencia transportes.Queue	0.00	0.00000000	0.00	0.00
Organizar llegadas B.Queue	14.9997	(Insufficient)	9.9997	19.9997
Organizar llegadas T.Queue	21.2581	(Insufficient)	4.9997	35.0164
Sincronizar contenedores y transportes.Queue1	0.00277778	(Insufficient)	0.00	0.01666667
Sincronizar contenedores y transportes.Queue2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Zona de almacenamiento.Queue	1.9458	(Insufficient)	0.00	13.0167
Zona espera.Queue	19.1722	(Insufficient)	5.0000	35.0167
Zona muelle.Queue	40.0500	(Insufficient)	32.0500	48.0500
Zona terminal.Queue	23.2792	(Insufficient)	19.0500	29.0333

FIGURA 107: INFORME COLAS ESCENARIO 2

De nuevo se observa que las tareas Espera carga y Espera descarga son las que suponen colas mayores.

En este caso, el mayor tiempo de Espera de carga es de **41 unidades de tiempo**, mientras que el mayor tiempo de Espera de descarga es de **11 unidades de tiempo**.

Se puede observar que, debido al aumento del número de grúas presentes en el puerto para este escenario con respecto al escenario anterior, estos tiempos de cola han disminuido.

Los tiempos de espera de cada contenedor pueden observarse en la Figura 108:

	Esperar descarga	Esperar carga
Ab	0	9,9476E-14
Bb	0	6,016666667
Cb	6	18,01666667
Db	6	30,01666667
Eb	2	0,033333333
Fb	2	0,033333333
Gb	8	12,01666667
Hb	8	18,01666667
Ib	7	6,016666667
Jb	1	12,01666667
Kb	4,016666667	0,016666667
Lb	4,016666667	0,016666667
Mb	11,01666667	0
Nb	5,016666667	0,016666667
Ob	0	41,01666667
Pb	0	35,01666667

FIGURA 108: ESPERAS CARGA Y DESCARGA ESCENARIO 2

Para el caso del Escenario 3, la Figura 109 muestra el informe de colas:

Queue				
Time				
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Agrupar B.Queue	3.7583	(Insufficient)	0.00	15.0167
Agrupar para buques.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Agrupar para trenes.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Agrupar T.Queue	2.1271	(Insufficient)	0.00	10.0167
Coger muelle.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Coger terminal.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Esperar carga.Queue	6.8740	(Insufficient)	0.00	33.0167
Esperar descarga.Queue	1.8760	(Insufficient)	0.00	7.0000
Esperar dispo GB.Queue	0.00208333	(Insufficient)	0.00	0.01666667
Esperar dispo GT.Queue	0.3750	(Insufficient)	0.00	3.0000
Esperar dispo GB.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Esperar dispo GT.Queue	0.00000000	(Insufficient)	0.00	0.00000000
Esperar llegadas carga.Queue	0.00550826	(Correlated)	0.00	11.0000
Esperar llegadas descarga.Queue	0.8750	(Insufficient)	0.00	5.0000
Esperar llegadas terminal y cargas.Queue	8.3222	(Insufficient)	0.00	32.0000
Esperar llegadas ZA.Queue	0.01639321	(Correlated)	0.00	11.0000
Esperar presencia transportes.Queue	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Organizar llegadas B.Queue	14.9997	(Insufficient)	9.9997	19.9997
Organizar llegadas T.Queue	20.0122	(Insufficient)	4.9997	30.0164
Sincronizar contenedores y transportes.Queue1	0.00277778	(Insufficient)	0.00	0.01666667
Sincronizar contenedores y transportes.Queue2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Zona de almacenamiento.Queue	1.8875	(Insufficient)	0.00	9.0333
Zona espera.Queue	18.3417	(Insufficient)	5.0000	30.0167
Zona muelle.Queue	32.0333	(Insufficient)	24.0333	40.0333
Zona terminal.Queue	19.5083	(Insufficient)	12.0000	27.0333

FIGURA 109: INFORME COLAS ESCENARIO 3

Se puede observar cómo, de nuevo al aumentar el número de grúas disponibles para su utilización, los tiempos de espera han disminuido.

En este caso, el tiempo de Espera de carga máximo es de **33 unidades de tiempo**, y el tiempo de Espera de descarga máximo es de **7 unidades de tiempo**.

La Figura 110 permite ver qué tiempo ha debido esperar cada contenedor para que dichas tareas fueran realizadas sobre ellos.

	Esperar descarga	Esperar carga
Ab	0	9,9476E-14
Bb	0	6,016666667
Cb	0	28,01666667
Db	6	13,01666667
Eb	0	0,016666667
Fb	0	0,016666667
Gb	3	12,01666667
Hb	6,016666667	6
Ib	0	3
Jb	0	0,016666667
Kb	7	6
Lb	4	0,016666667
Mb	2	6
Nb	2	0,016666667
Ob	0	33,01666667
Pb	0	27,01666667

FIGURA 110: ESPERAS CARGA Y DESCARGA ESCENARIO 3

El Escenario 4, al aumentar el número de grúas disponibles de cada tipo hasta 4, es que el que conlleva menores tiempos de espera.

El informe de colas puede verse en la Figura 111:

Queue				
Time				
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Agrupar B.Queue	5.2562	(Insufficient)	0.00	16.0000
Agrupar para buques.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Agrupar para trenes.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Agrupar T.Queue	1.7521	(Insufficient)	0.00	10.0167
Coger muelle.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Coger terminal.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Esperar carga.Queue	3.2469	(Insufficient)	0.00	22.0167
Esperar descarga.Queue	0.3740	(Insufficient)	0.00	1.9833
Esperar dispo GB.Queue	0.00416667	(Insufficient)	0.00	0.01666667
Esperar dispo GT.Queue	0.00000000	(Insufficient)	0.00	0.00000000
Esperar dispo GB.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Esperar dispo GT.Queue	0.00000000	(Insufficient)	0.00	0.00000000
Esperar llegadas carga.Queue	0.01500624	(Correlated)	0.00	16.0000
Esperar llegadas descarga.Queue	2.0021	(Insufficient)	0.00	10.0000
Esperar llegadas terminal y cargas.Queue	7.9917	(Insufficient)	0.00	32.0000
Esperar llegadas ZA.Queue	0.01984744	(Correlated)	0.00	16.0000
Esperar presencia transportes.Queue	0.00	0.000000000	0.00	0.00
Organizar llegadas B.Queue	14.9997	(Insufficient)	9.9997	19.9997
Organizar llegadas T.Queue	25.0122	(Insufficient)	14.9997	35.0164
Sincronizar contenedores y transportes.Queue1	0.00555556	(Insufficient)	0.00	0.01666667
Sincronizar contenedores y transportes.Queue2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Zona de almacenamiento.Queue	3.1417	(Insufficient)	0.00	19.0333
Zona espera.Queue	21.6750	(Insufficient)	10.0000	35.0167
Zona muelle.Queue	33.0417	(Insufficient)	28.0500	38.0333
Zona terminal.Queue	11.5083	(Insufficient)	8.0000	17.0333

FIGURA 111: INFORME COLAS ESCENARIO 4

El tiempo máximo de Espera de carga es de **22 unidades de tiempo**, y el de Espera de descargas es de **2 unidad de tiempo**.

Los tiempos de esperas de cada contenedor se pueden observar en la Figura 112:

	Esperar descarga	Esperar carga
Ab	0	0
Bb	0	6,01666667
Cb	0	16,01666667
Db	0	22,01666667
Eb	0	0,01666667
Fb	0	0,01666667
Gb	0	6,01666667
Hb	0	12,01666667
Ib	0	0,01666667
Jb	1,98333333	0,01666667
Kb	0	0,01666667
Lb	0	0,01666667
Mb	1	0
Nb	1	0
Ob	1	20,01666667
Pb	1	20,01666667

FIGURA 112: ESPERAS CARGA Y DESCARGA ESCENARIO 4

Como ya se ha ido comentando, se puede observar que, a medida que va aumentando el número de escenario, estos valores máximos de espera disminuyen.

Así, la tabla 6 muestra de forma resumida dichos valores máximos para los 4 escenarios comentados:

TABLA 6: VALORES MÁXIMOS CARGA Y DESCARGA ESCENARIOS 1, 2, 3, 4

Escenario	Tiempo máximo espera descarga	Tiempo máximo espera carga	Número de grúas barco disponibles	Número de grúas tren disponibles
1	37	94	1	1
2	11	41	2	2
3	7	33	3	3
4	2	22	4	4

Se puede observar que las colas se han ido reduciendo a medida que el recurso grúa ha ido aumentando, por lo que el aumento de dicho recurso supondría la mejora de estas colas.

6. Conclusiones

El objetivo de este proyecto era la calibración de una serie de parámetros variables que actúan como datos de entrada en un Algoritmo Genético, cuyo objetivo era optimizar los procesos logísticos que tienen lugar en una terminal portuaria con la llegada y salida de mercancía contenerizada.

Esta optimización se llevaría a cabo mediante la minimización de los tiempos de residencia de los transportes de estas mercancías en dicha terminal portuaria. Al mismo tiempo, se intentaría siempre que el tiempo de ejecución del algoritmo no fuera demasiado alto, pero permitiendo alcanzar una posible solución óptima.

Doce escenarios han sido definidos y servido como objeto de estudio. Dichos escenarios difieren unos de otros en el número barcos y trenes que interactúan con la terminal portuaria y en el número de grúas de cada tipo que están disponibles en el puerto para la carga y descarga de mercancía.

Previo a la calibración de los parámetros de entrada del AG, se ha contextualizado el proyecto, proporcionando información sobre la historia de las terminales portuarias, conceptos básicos sobre ellas e información relevante acerca de los tipos de transportes y de mercancías que interactúan con ellas.

Los parámetros variables de entrada del Algoritmo Genético que han sido estudiados y calibrados son el número de iteraciones, el tamaño de la población, la probabilidad de mutación y la probabilidad de cruce.

La complejidad de los escenarios va aumentando a medida que aumenta su índice; así, el Escenario 1 es el más simple, contando con 2 barcos, 4 trenes, 1 grúa tipo barco y 1 grúa tipo tren, mientras que el Escenario 12 es el más complejo, estando compuesto por 5 barcos, 10 trenes, 4 grúas tipo barco y 4 grúas tipo tren.

El número de iteraciones es un parámetro que ha ido aumentando a medida que se incrementaba la complejidad del escenario, ya que el número de transportes que interactúan con el puerto y el número de grúas disponibles va en aumento, por lo que se necesita más tiempo y más iteraciones para llegar a una solución considerablemente buena.

El tamaño de la población, por el contrario, se ha ido manteniendo relativamente estable, moviéndose entre valores pequeños como son 100 individuos, 150, 200, 250 o 300. Esto se debe a que un tamaño de población mayor supondría un aumento del tiempo de ejecución del algoritmo, mientras que no necesariamente se llegaría a una mejor solución, ya que el número de soluciones inaceptables aumentaría, dificultando así la llegada a las soluciones aceptables.

En cuanto a la probabilidad de cruce y la probabilidad de mutación, para todos los escenarios la probabilidad de cruce ha sido mayor que su complementaria. Por ello, puede deducirse que es más rápido y efectivo llegar a la solución óptima cuando los individuos se cruzan entre sí y no cuando mutan.

Los tiempos de ejecución del algoritmo han ido en aumento también a medida que se incrementaba la complejidad de los escenarios. Sin embargo, nunca han superado los 6 minutos por lo que en ningún caso se consideran demasiado altos.

Este estudio de calibración de parámetros podría extrapolarse a cualquier otro estudio en el que fuera necesario fijar más de un parámetro variable.

Una vez fijados estos valores, se ha ejecutado el modelo de simulación con Arena de varios escenarios. Se ha podido comprobar que dicho modelo cumple con los resultados previstos por el Algoritmo Genético, por lo que estaba bien realizado y modelado.

Al realizar estas ejecuciones, se ha comprobado que el valor de la función objetivo “tiempos de residencia” del AG disminuye al aumentar el recurso del número de grúas disponibles en el puerto. Por ello, cuanto mayor sea este número de grúas, menor será el tiempo que pasan los transportes en el puerto.

Un posible posterior estudio sería el de ver hasta qué número conviene elevar el número de grúas presentes en el puerto, teniendo en cuenta el coste que esto conlleva, y comparándolo con el ahorro que supone la minimización del tiempo del proceso logístico que se lleva a cabo en el puerto con la llegada y salida de mercancías.

Este modelo de Arena es un ejemplo de una posible terminal portuaria. Los valores fijados como datos de entrada del Algoritmo Genético y, por consiguiente, los datos de salida de éste tras su ejecución, podrían servir como dato de entrada para cualquier otro modelo de simulación, siempre y cuando los datos de entrada de este modelo fueran los mismos que los del modelo utilizado en este proyecto.

Bibliografía

- Arango Pastrana, C. A. (2014). *Tesis Doctoral. Optimización basada en simulación para la gestión de operaciones de las terminales de contenedores portuaria*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Berrocal de Ó, M. Á. (s.f.). *Modelado de Sistemas de Generación Energética distribuida. Resolución mediante Algoritmo Genético*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Descripción de una Terminal de Contenedores. (s.f.). Universitat Politècnica de Catalunya.
- Eslava Sarmiento, A. (15 de Enero de 2016). Indicadores de eficiencia y nivel de servicio portuario. Obtenido de <http://revistadelogistica.com/actualidad/indicadores-de-eficiencia-y-nivel-de-servicio-portuario/>
- Gayoso Venegas, M. A. (2004). *Simulación de la fabricación de paneles contrachapados en Tulsa S.A.* Chile: Universidad del Bio- Bio.
- Iglesias Pirla, F., & Fernández San Luis, S. (2015). *Infraestructuras portuarias: Gestión y Logística*. Santa Cruz de Tenerife: Universidad de La Laguna.
- Ingeniería, M. q. (s.f.). Obtenido de masqueingenieria.com
- Majde, K. (2015). *Container traffic*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Martínez Madero, C. A. (21 de Junio de 2013). Arena - Software de Simulación. Obtenido de <https://prezi.com/hf8be8fdfsfl8/arena-software-de-simulacion/>
- Ministerio de Fomento. (s.f.). *Gestión de Mercancías (Nivel 1)*. Obtenido de www.puertodegijón.com
- Muñoz Lombardo, L. (2014). *Simulación mediante Arena para resolver un problema de transportes en una zona portuaria*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Pineda Díaz, D. (2013). *Sistema de control de la producción basado en tarjetas para entornos de tipo taller: estudio del sistema COBACABANA y propuesta de mejora*. Universidad de Sevilla.

Anexo 1: Valor *fitness* para cada escenario para las distintas combinaciones de parámetros variables

En este anexo pueden observarse los valores alcanzados por el *fitness* de los 12 escenarios para cada una de las combinaciones de los 3 parámetros variables del AG.

Las tablas 9 - 20 muestran estos valores:

Escenario 1:

TABLA 7: VALORES FITNESS ESCENARIO 1

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	100	100	496
0.1	100	150	482
0.1	100	200	503
0.1	100	250	497
0.1	100	300	504
0.1	100	350	494
0.1	100	400	498
0.1	200	100	497
0.1	200	150	486
0.1	200	200	486
0.1	200	250	504
0.1	200	300	486
0.1	200	350	493
0.1	200	400	492
0.1	300	100	486
0.1	300	150	488
0.1	300	200	486
0.1	300	250	486
0.1	300	300	488
0.1	300	350	516
0.1	300	400	504
0.1	400	100	486
0.1	400	150	480
0.1	400	200	486
0.1	400	250	490
0.1	400	300	486
0.1	400	350	482
0.1	400	400	490
0.1	500	100	482

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	500	150	476
0.1	500	200	478
0.1	500	250	492
0.1	500	300	484
0.1	500	350	482
0.1	500	400	479
0.1	600	100	482
0.1	600	150	480
0.1	600	200	478
0.1	600	250	484
0.1	600	300	486
0.1	600	350	488
0.1	600	400	486
0.1	700	100	474
0.1	700	150	474
0.1	700	200	470
0.1	700	250	476
0.1	700	300	486
0.1	700	350	486
0.1	700	400	484
0.1	800	100	476
0.1	800	150	474
0.1	800	200	474
0.1	800	250	482
0.1	800	300	486
0.1	800	350	486
0.1	800	400	486
0.2	100	100	486
0.2	100	150	510
0.2	100	200	500
0.2	100	250	503
0.2	100	300	510
0.2	100	350	490
0.2	100	400	488
0.2	200	100	498
0.2	200	150	498
0.2	200	200	486
0.2	200	250	498
0.2	200	300	492
0.2	200	350	506
0.2	200	400	498
0.2	300	100	480
0.2	300	150	474
0.2	300	200	492
0.2	300	250	488
0.2	300	300	488
0.2	300	350	482
0.2	300	400	492

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	400	100	494
0.2	400	150	480
0.2	400	200	486
0.2	400	250	486
0.2	400	300	488
0.2	400	350	498
0.2	400	400	504
0.2	500	100	486
0.2	500	150	476
0.2	500	200	478
0.2	500	250	478
0.2	500	300	480
0.2	500	350	480
0.2	500	400	482
0.2	600	100	472
0.2	600	150	490
0.2	600	200	484
0.2	600	250	486
0.2	600	300	486
0.2	600	350	484
0.2	600	400	486
0.2	700	100	488
0.2	700	150	480
0.2	700	200	480
0.2	700	250	486
0.2	700	300	486
0.2	700	350	476
0.2	700	400	486
0.2	800	100	486
0.2	800	150	474
0.2	800	200	479
0.2	800	250	480
0.2	800	300	479
0.2	800	350	489
0.2	800	400	482
0.3	100	100	498
0.3	100	150	518
0.3	100	200	498
0.3	100	250	512
0.3	100	300	510
0.3	100	350	504
0.3	100	400	492
0.3	200	100	498
0.3	200	150	498
0.3	200	200	479
0.3	200	250	510
0.3	200	300	514
0.3	200	350	498

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.3	200	400	498
0.3	300	100	480
0.3	300	150	484
0.3	300	200	478
0.3	300	250	486
0.3	300	300	488
0.3	300	350	492
0.3	300	400	498
0.3	400	100	484
0.3	400	150	474
0.3	400	200	492
0.3	400	250	500
0.3	400	300	486
0.3	400	350	488
0.3	400	400	486
0.3	500	100	482
0.3	500	150	482
0.3	500	200	479
0.3	500	250	486
0.3	500	300	486
0.3	500	350	488
0.3	500	400	484
0.3	600	100	478
0.3	600	150	480
0.3	600	200	468
0.3	600	250	484
0.3	600	300	484
0.3	600	350	478
0.3	600	400	486
0.3	700	100	478
0.3	700	150	478
0.3	700	200	480
0.3	700	250	484
0.3	700	300	484
0.3	700	350	482
0.3	700	400	486
0.3	800	100	478
0.3	800	150	480
0.3	800	200	486
0.3	800	250	480
0.3	800	300	480
0.3	800	350	486
0.3	800	400	476
0.4	100	100	529
0.4	100	150	504
0.4	100	200	498
0.4	100	250	482
0.4	100	300	494

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	100	350	522
0.4	100	400	504
0.4	200	100	498
0.4	200	150	510
0.4	200	200	494
0.4	200	250	486
0.4	200	300	490
0.4	200	350	498
0.4	200	400	494
0.4	300	100	492
0.4	300	150	490
0.4	300	200	488
0.4	300	250	490
0.4	300	300	486
0.4	300	350	504
0.4	300	400	492
0.4	400	100	490
0.4	400	150	498
0.4	400	200	482
0.4	400	250	474
0.4	400	300	490
0.4	400	350	486
0.4	400	400	492
0.4	500	100	480
0.4	500	150	482
0.4	500	200	486
0.4	500	250	486
0.4	500	300	492
0.4	500	350	486
0.4	500	400	492
0.4	600	100	478
0.4	600	150	474
0.4	600	200	486
0.4	600	250	473
0.4	600	300	492
0.4	600	350	488
0.4	600	400	488
0.4	700	100	474
0.4	700	150	486
0.4	700	200	480
0.4	700	250	474
0.4	700	300	488
0.4	700	350	486
0.4	700	400	486
0.4	800	100	478
0.4	800	150	473
0.4	800	200	490
0.4	800	250	484

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	800	300	482
0.4	800	350	486
0.4	800	400	482
0.5	100	100	500
0.5	100	150	498
0.5	100	200	498
0.5	100	250	504
0.5	100	300	500
0.5	100	350	498
0.5	100	400	504
0.5	200	100	486
0.5	200	150	486
0.5	200	200	500
0.5	200	250	498
0.5	200	300	510
0.5	200	350	510
0.5	200	400	498
0.5	300	100	486
0.5	300	150	492
0.5	300	200	504
0.5	300	250	504
0.5	300	300	492
0.5	300	350	504
0.5	300	400	498
0.5	400	100	492
0.5	400	150	486
0.5	400	200	482
0.5	400	250	504
0.5	400	300	508
0.5	400	350	502
0.5	400	400	498
0.5	500	100	488
0.5	500	150	482
0.5	500	200	488
0.5	500	250	494
0.5	500	300	492
0.5	500	350	482
0.5	500	400	500
0.5	600	100	480
0.5	600	150	480
0.5	600	200	486
0.5	600	250	486
0.5	600	300	474
0.5	600	350	504
0.5	600	400	491
0.5	700	100	482
0.5	700	150	486
0.5	700	200	486

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.5	700	250	484
0.5	700	300	492
0.5	700	350	486
0.5	700	400	492
0.5	800	100	476
0.5	800	150	486
0.5	800	200	480
0.5	800	250	480
0.5	800	300	484
0.5	800	350	492
0.5	800	400	487

Escenario 2:

TABLA 8: VALORES FITNESS ESCENARIO 2

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.1	100	100	324
0.1	150	150	314
0.1	200	200	327
0.1	250	250	318
0.1	300	300	318
0.1	350	350	336
0.1	400	400	324
0.1	100	100	312
0.1	150	150	310
0.1	200	200	288
0.1	250	250	318
0.1	300	300	324
0.1	350	350	324
0.1	400	400	308
0.1	100	100	306
0.1	150	150	308
0.1	200	200	308
0.1	250	250	318
0.1	300	300	312
0.1	350	350	308
0.1	400	400	324
0.1	100	100	310
0.1	150	150	288
0.1	200	200	310
0.1	250	250	308
0.1	300	300	294
0.1	350	350	312
0.1	400	400	316
0.1	100	100	308

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	150	150	309
0.1	200	200	294
0.1	250	250	288
0.1	300	300	288
0.1	350	350	288
0.1	400	400	310
0.1	100	100	288
0.1	150	150	288
0.1	200	200	312
0.1	250	250	308
0.1	300	300	288
0.1	350	350	288
0.1	400	400	300
0.1	100	100	288
0.1	150	150	288
0.1	200	200	306
0.1	250	250	288
0.1	300	300	288
0.1	350	350	288
0.1	400	400	288
0.1	100	100	288
0.1	150	150	288
0.1	200	200	288
0.1	250	250	288
0.1	300	300	288
0.1	350	350	288
0.1	400	400	288
0.2	100	100	320
0.2	150	150	320
0.2	200	200	326
0.2	250	250	321
0.2	300	300	328
0.2	350	350	328
0.2	400	400	324
0.2	100	100	294
0.2	150	150	318
0.2	200	200	318
0.2	250	250	322
0.2	300	300	300
0.2	350	350	312
0.2	400	400	328
0.2	100	100	306
0.2	150	150	309
0.2	200	200	300
0.2	250	250	314
0.2	300	300	312
0.2	350	350	318
0.2	400	400	312
0.2	100	100	304
0.2	150	150	302
0.2	200	200	288

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	250	250	288
0.2	300	300	310
0.2	350	350	312
0.2	400	400	312
0.2	100	100	312
0.2	150	150	312
0.2	200	200	300
0.2	250	250	288
0.2	300	300	306
0.2	350	350	312
0.2	400	400	294
0.2	100	100	288
0.2	150	150	288
0.2	200	200	294
0.2	250	250	312
0.2	300	300	288
0.2	350	350	308
0.2	400	400	312
0.2	100	100	288
0.2	150	150	312
0.2	200	200	288
0.2	250	250	294
0.2	300	300	288
0.2	350	350	288
0.2	400	400	288
0.2	100	100	309
0.2	150	150	288
0.2	200	200	294
0.2	250	250	306
0.2	300	300	305
0.2	350	350	288
0.2	400	400	288
0.3	100	100	324
0.3	150	150	327
0.3	200	200	312
0.3	250	250	330
0.3	300	300	318
0.3	350	350	328
0.3	400	400	312
0.3	100	100	308
0.3	150	150	318
0.3	200	200	324
0.3	250	250	318
0.3	300	300	318
0.3	350	350	316
0.3	400	400	320
0.3	100	100	312
0.3	150	150	288
0.3	200	200	312
0.3	250	250	294
0.3	300	300	312

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.3	350	350	307
0.3	400	400	324
0.3	100	100	304
0.3	150	150	312
0.3	200	200	288
0.3	250	250	318
0.3	300	300	292
0.3	350	350	300
0.3	400	400	312
0.3	100	100	288
0.3	150	150	308
0.3	200	200	288
0.3	250	250	310
0.3	300	300	318
0.3	350	350	306
0.3	400	400	312
0.3	100	100	288
0.3	150	150	288
0.3	200	200	313
0.3	250	250	306
0.3	300	300	298
0.3	350	350	306
0.3	400	400	292
0.3	100	100	308
0.3	150	150	288
0.3	200	200	294
0.3	250	250	288
0.3	300	300	288
0.3	350	350	306
0.3	400	400	294
0.3	100	100	288
0.3	150	150	306
0.3	200	200	288
0.3	250	250	300
0.3	300	300	304
0.3	350	350	292
0.3	400	400	288
0.4	100	100	318
0.4	150	150	318
0.4	200	200	318
0.4	250	250	340
0.4	300	300	318
0.4	350	350	342
0.4	400	400	334
0.4	100	100	318
0.4	150	150	318
0.4	200	200	304
0.4	250	250	330
0.4	300	300	324
0.4	350	350	318
0.4	400	400	324

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	100	100	312
0.4	150	150	312
0.4	200	200	307
0.4	250	250	312
0.4	300	300	310
0.4	350	350	312
0.4	400	400	300
0.4	100	100	292
0.4	150	150	288
0.4	200	200	313
0.4	250	250	308
0.4	300	300	312
0.4	350	350	318
0.4	400	400	324
0.4	100	100	300
0.4	150	150	306
0.4	200	200	309
0.4	250	250	312
0.4	300	300	308
0.4	350	350	312
0.4	400	400	312
0.4	100	100	294
0.4	150	150	288
0.4	200	200	292
0.4	250	250	288
0.4	300	300	288
0.4	350	350	288
0.4	400	400	309
0.4	100	100	288
0.4	150	150	292
0.4	200	200	300
0.4	250	250	294
0.4	300	300	292
0.4	350	350	312
0.4	400	400	306
0.4	100	100	288
0.4	150	150	288
0.4	200	200	304
0.4	250	250	294
0.4	300	300	288
0.4	350	350	306
0.4	400	400	294
0.5	100	100	327
0.5	150	150	330
0.5	200	200	336
0.5	250	250	346
0.5	300	300	336
0.5	350	350	342
0.5	400	400	330
0.5	100	100	318
0.5	150	150	324

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.5	200	200	312
0.5	250	250	322
0.5	300	300	328
0.5	350	350	324
0.5	400	400	313
0.5	100	100	294
0.5	150	150	312
0.5	200	200	312
0.5	250	250	312
0.5	300	300	324
0.5	350	350	318
0.5	400	400	323
0.5	100	100	306
0.5	150	150	294
0.5	200	200	312
0.5	250	250	300
0.5	300	300	312
0.5	350	350	307
0.5	400	400	316
0.5	100	100	294
0.5	150	150	288
0.5	200	200	306
0.5	250	250	298
0.5	300	300	318
0.5	350	350	311
0.5	400	400	294
0.5	100	100	312
0.5	150	150	288
0.5	200	200	288
0.5	250	250	298
0.5	300	300	316
0.5	350	350	306
0.5	400	400	318
0.5	100	100	288
0.5	150	150	304
0.5	200	200	288
0.5	250	250	312
0.5	300	300	302
0.5	350	350	304
0.5	400	400	294
0.5	100	100	288
0.5	150	150	309
0.5	200	200	300
0.5	250	250	312
0.5	300	300	300
0.5	350	350	300
0.5	400	400	288

Escenario 3:

TABLA 9: VALORES FITNESS ESCENARIO 3

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.1	100	100	273
0.1	100	150	276
0.1	100	200	294
0.1	100	250	283
0.1	100	300	276
0.1	100	350	294
0.1	100	400	288
0.1	200	100	266
0.1	200	150	254
0.1	200	200	258
0.1	200	250	260
0.1	200	300	268
0.1	200	350	264
0.1	200	400	282
0.1	300	100	256
0.1	300	150	256
0.1	300	200	258
0.1	300	250	252
0.1	300	300	264
0.1	300	350	264
0.1	300	400	258
0.1	400	100	252
0.1	400	150	264
0.1	400	200	258
0.1	400	250	254
0.1	400	300	258
0.1	400	350	252
0.1	400	400	257
0.1	500	100	252
0.1	500	150	252
0.1	500	200	265
0.1	500	250	252
0.1	500	300	252
0.1	500	350	256
0.1	500	400	252
0.1	600	100	252
0.1	600	150	252
0.1	600	200	252
0.1	600	250	264
0.1	600	300	252
0.1	600	350	252
0.1	600	400	252
0.1	700	100	252
0.1	700	150	257

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.1	700	200	252
0.1	700	250	252
0.1	700	300	252
0.1	700	350	258
0.1	700	400	258
0.1	800	100	257
0.1	800	150	252
0.1	800	200	252
0.1	800	250	252
0.1	800	300	258
0.1	800	350	255
0.1	800	400	252
0.2	100	100	284
0.2	100	150	273
0.2	100	200	277
0.2	100	250	294
0.2	100	300	282
0.2	100	350	278
0.2	100	400	270
0.2	200	100	264
0.2	200	150	264
0.2	200	200	262
0.2	200	250	256
0.2	200	300	272
0.2	200	350	269
0.2	200	400	260
0.2	300	100	270
0.2	300	150	266
0.2	300	200	258
0.2	300	250	258
0.2	300	300	262
0.2	300	350	267
0.2	300	400	268
0.2	400	100	260
0.2	400	150	258
0.2	400	200	256
0.2	400	250	252
0.2	400	300	257
0.2	400	350	256
0.2	400	400	258
0.2	500	100	254
0.2	500	150	258
0.2	500	200	252
0.2	500	250	252
0.2	500	300	255
0.2	500	350	258
0.2	500	400	258
0.2	600	100	254
0.2	600	150	266
0.2	600	200	252
0.2	600	250	252

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	600	300	257
0.2	600	350	262
0.2	600	400	258
0.2	700	100	259
0.2	700	150	254
0.2	700	200	252
0.2	700	250	252
0.2	700	300	252
0.2	700	350	252
0.2	700	400	257
0.2	800	100	258
0.2	800	150	252
0.2	800	200	252
0.2	800	250	252
0.2	800	300	254
0.2	800	350	260
0.2	800	400	252
0.3	100	100	282
0.3	100	150	277
0.3	100	200	270
0.3	100	250	282
0.3	100	300	266
0.3	100	350	278
0.3	100	400	276
0.3	200	100	264
0.3	200	150	252
0.3	200	200	273
0.3	200	250	273
0.3	200	300	273
0.3	200	350	273
0.3	200	400	277
0.3	300	100	270
0.3	300	150	268
0.3	300	200	263
0.3	300	250	258
0.3	300	300	252
0.3	300	350	268
0.3	300	400	264
0.3	400	100	252
0.3	400	150	258
0.3	400	200	258
0.3	400	250	256
0.3	400	300	258
0.3	400	350	252
0.3	400	400	264
0.3	500	100	252
0.3	500	150	252
0.3	500	200	252
0.3	500	250	258
0.3	500	300	258
0.3	500	350	252

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.3	500	400	259
0.3	600	100	252
0.3	600	150	257
0.3	600	200	258
0.3	600	250	252
0.3	600	300	260
0.3	600	350	258
0.3	600	400	264
0.3	700	100	252
0.3	700	150	252
0.3	700	200	252
0.3	700	250	257
0.3	700	300	258
0.3	700	350	252
0.3	700	400	254
0.3	800	100	258
0.3	800	150	260
0.3	800	200	252
0.3	800	250	264
0.3	800	300	258
0.3	800	350	257
0.3	800	400	252
0.4	100	100	270
0.4	100	150	252
0.4	100	200	277
0.4	100	250	270
0.4	100	300	265
0.4	100	350	282
0.4	100	400	294
0.4	200	100	252
0.4	200	150	273
0.4	200	200	264
0.4	200	250	278
0.4	200	300	264
0.4	200	350	276
0.4	200	400	282
0.4	300	100	261
0.4	300	150	271
0.4	300	200	258
0.4	300	250	262
0.4	300	300	270
0.4	300	350	269
0.4	300	400	270
0.4	400	100	252
0.4	400	150	252
0.4	400	200	282
0.4	400	250	252
0.4	400	300	258
0.4	400	350	270
0.4	400	400	267
0.4	500	100	264

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	500	150	258
0.4	500	200	270
0.4	500	250	256
0.4	500	300	252
0.4	500	350	252
0.4	500	400	258
0.4	600	100	255
0.4	600	150	252
0.4	600	200	264
0.4	600	250	256
0.4	600	300	264
0.4	600	350	269
0.4	600	400	264
0.4	700	100	258
0.4	700	150	252
0.4	700	200	252
0.4	700	250	252
0.4	700	300	252
0.4	700	350	258
0.4	700	400	264
0.4	800	100	252
0.4	800	150	257
0.4	800	200	252
0.4	800	250	252
0.4	800	300	258
0.4	800	350	258
0.4	800	400	258
0.5	100	100	283
0.5	100	150	278
0.5	100	200	252
0.5	100	250	292
0.5	100	300	294
0.5	100	350	270
0.5	100	400	292
0.5	200	100	276
0.5	200	150	270
0.5	200	200	292
0.5	200	250	281
0.5	200	300	276
0.5	200	350	266
0.5	200	400	278
0.5	300	100	258
0.5	300	150	264
0.5	300	200	266
0.5	300	250	270
0.5	300	300	264
0.5	300	350	288
0.5	300	400	271
0.5	400	100	258
0.5	400	150	274
0.5	400	200	270

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.5	400	250	256
0.5	400	300	276
0.5	400	350	270
0.5	400	400	273
0.5	500	100	252
0.5	500	150	252
0.5	500	200	252
0.5	500	250	258
0.5	500	300	252
0.5	500	350	252
0.5	500	400	262
0.5	600	100	252
0.5	600	150	252
0.5	600	200	258
0.5	600	250	252
0.5	600	300	270
0.5	600	350	264
0.5	600	400	252
0.5	700	100	252
0.5	700	150	254
0.5	700	200	258
0.5	700	250	257
0.5	700	300	258
0.5	700	350	252
0.5	700	400	258
0.5	800	100	252
0.5	800	150	252
0.5	800	200	252
0.5	800	250	252
0.5	800	300	252
0.5	800	350	252
0.5	800	400	258

Escenario 4:

TABLA 10: VALORES FITNESS ESCENARIO 4

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.1	100	100	262
0.1	100	150	249
0.1	100	200	268
0.1	100	250	272
0.1	100	300	248
0.1	100	350	274
0.1	100	400	246

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	200	100	258
0.1	200	150	246
0.1	200	200	246
0.1	200	250	244
0.1	200	300	251
0.1	200	350	242
0.1	200	400	261
0.1	300	100	242
0.1	300	150	240
0.1	300	200	244
0.1	300	250	240
0.1	300	300	253
0.1	300	350	250
0.1	300	400	244
0.1	400	100	237
0.1	400	150	242
0.1	400	200	237
0.1	400	250	240
0.1	400	300	249
0.1	400	350	238
0.1	400	400	245
0.1	500	100	238
0.1	500	150	240
0.1	500	200	233
0.1	500	250	236
0.1	500	300	239
0.1	500	350	243
0.1	500	400	240
0.1	600	100	239
0.1	600	150	234
0.1	600	200	245
0.1	600	250	242
0.1	600	300	234
0.1	600	350	240
0.1	600	400	240
0.1	700	100	233
0.1	700	150	240
0.1	700	200	233
0.1	700	250	240
0.1	700	300	238
0.1	700	350	240
0.1	700	400	238
0.1	800	100	234
0.1	800	150	234
0.1	800	200	233
0.1	800	250	234
0.1	800	300	240
0.1	800	350	244
0.1	800	400	233
0.2	100	100	252
0.2	100	150	252

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	100	200	242
0.2	100	250	252
0.2	100	300	243
0.2	100	350	270
0.2	100	400	264
0.2	200	100	243
0.2	200	150	240
0.2	200	200	246
0.2	200	250	248
0.2	200	300	241
0.2	200	350	252
0.2	200	400	264
0.2	300	100	233
0.2	300	150	236
0.2	300	200	242
0.2	300	250	244
0.2	300	300	258
0.2	300	350	248
0.2	300	400	245
0.2	400	100	240
0.2	400	150	246
0.2	400	200	240
0.2	400	250	240
0.2	400	300	244
0.2	400	350	240
0.2	400	400	242
0.2	500	100	238
0.2	500	150	243
0.2	500	200	241
0.2	500	250	240
0.2	500	300	236
0.2	500	350	240
0.2	500	400	242
0.2	600	100	236
0.2	600	150	233
0.2	600	200	234
0.2	600	250	242
0.2	600	300	234
0.2	600	350	237
0.2	600	400	240
0.2	700	100	234
0.2	700	150	238
0.2	700	200	237
0.2	700	250	241
0.2	700	300	237
0.2	700	350	240
0.2	700	400	239
0.2	800	100	234
0.2	800	150	233
0.2	800	200	240
0.2	800	250	234

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	800	300	234
0.2	800	350	240
0.2	800	400	233
0.3	100	100	249
0.3	100	150	263
0.3	100	200	249
0.3	100	250	261
0.3	100	300	255
0.3	100	350	270
0.3	100	400	252
0.3	200	100	246
0.3	200	150	240
0.3	200	200	254
0.3	200	250	243
0.3	200	300	260
0.3	200	350	246
0.3	200	400	254
0.3	300	100	233
0.3	300	150	241
0.3	300	200	243
0.3	300	250	251
0.3	300	300	254
0.3	300	350	248
0.3	300	400	249
0.3	400	100	240
0.3	400	150	240
0.3	400	200	238
0.3	400	250	237
0.3	400	300	240
0.3	400	350	242
0.3	400	400	246
0.3	500	100	240
0.3	500	150	237
0.3	500	200	240
0.3	500	250	242
0.3	500	300	240
0.3	500	350	246
0.3	500	400	248
0.3	600	100	242
0.3	600	150	236
0.3	600	200	238
0.3	600	250	240
0.3	600	300	238
0.3	600	350	243
0.3	600	400	240
0.3	700	100	236
0.3	700	150	241
0.3	700	200	234
0.3	700	250	234
0.3	700	300	240
0.3	700	350	240

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.3	700	400	238
0.3	800	100	249
0.3	800	150	237
0.3	800	200	233
0.3	800	250	238
0.3	800	300	240
0.3	800	350	242
0.3	800	400	240
0.4	100	100	234
0.4	100	150	262
0.4	100	200	250
0.4	100	250	255
0.4	100	300	270
0.4	100	350	264
0.4	100	400	267
0.4	200	100	248
0.4	200	150	240
0.4	200	200	240
0.4	200	250	244
0.4	200	300	240
0.4	200	350	262
0.4	200	400	251
0.4	300	100	239
0.4	300	150	244
0.4	300	200	246
0.4	300	250	246
0.4	300	300	248
0.4	300	350	250
0.4	300	400	252
0.4	400	100	251
0.4	400	150	242
0.4	400	200	257
0.4	400	250	247
0.4	400	300	248
0.4	400	350	246
0.4	400	400	252
0.4	500	100	242
0.4	500	150	240
0.4	500	200	238
0.4	500	250	242
0.4	500	300	240
0.4	500	350	244
0.4	500	400	242
0.4	600	100	236
0.4	600	150	244
0.4	600	200	238
0.4	600	250	236
0.4	600	300	242
0.4	600	350	240
0.4	600	400	238
0.4	700	100	240

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	700	150	236
0.4	700	200	234
0.4	700	250	240
0.4	700	300	233
0.4	700	350	246
0.4	700	400	233
0.4	800	100	234
0.4	800	150	238
0.4	800	200	238
0.4	800	250	240
0.4	800	300	234
0.4	800	350	240
0.4	800	400	234
0.5	100	100	245
0.5	100	150	264
0.5	100	200	252
0.5	100	250	261
0.5	100	300	264
0.5	100	350	248
0.5	100	400	270
0.5	200	100	258
0.5	200	150	248
0.5	200	200	261
0.5	200	250	266
0.5	200	300	246
0.5	200	350	249
0.5	200	400	255
0.5	300	100	238
0.5	300	150	233
0.5	300	200	244
0.5	300	250	246
0.5	300	300	248
0.5	300	350	252
0.5	300	400	248
0.5	400	100	242
0.5	400	150	245
0.5	400	200	242
0.5	400	250	249
0.5	400	300	244
0.5	400	350	250
0.5	400	400	240
0.5	500	100	238
0.5	500	150	238
0.5	500	200	240
0.5	500	250	240
0.5	500	300	247
0.5	500	350	244
0.5	500	400	258
0.5	600	100	238
0.5	600	150	233
0.5	600	200	244

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.5	600	250	242
0.5	600	300	240
0.5	600	350	240
0.5	600	400	249
0.5	700	100	238
0.5	700	150	234
0.5	700	200	236
0.5	700	250	242
0.5	700	300	244
0.5	700	350	240
0.5	700	400	240
0.5	800	100	240
0.5	800	150	236
0.5	800	200	240
0.5	800	250	240
0.5	800	300	240
0.5	800	350	238
0.5	800	400	238

Escenario 5:

TABLA 11: VALORES FITNESS ESCENARIO 5

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.1	100	100	2871
0.1	100	150	2829
0.1	100	200	2856
0.1	100	250	2809
0.1	100	300	2864
0.1	100	350	2838
0.1	100	400	2862
0.1	200	100	2853
0.1	200	150	2822
0.1	200	200	2840
0.1	200	250	2823
0.1	200	300	2823
0.1	200	350	2817
0.1	200	400	2808
0.1	300	100	2806
0.1	300	150	2772
0.1	300	200	2788
0.1	300	250	2814
0.1	300	300	2831
0.1	300	350	2841
0.1	300	400	2834

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	400	100	2800
0.1	400	150	2862
0.1	400	200	2794
0.1	400	250	2750
0.1	400	300	2787
0.1	400	350	2818
0.1	400	400	2799
0.1	500	100	2797
0.1	500	150	2789
0.1	500	200	2844
0.1	500	250	2820
0.1	500	300	2753
0.1	500	350	2799
0.1	500	400	2817
0.1	600	100	2832
0.1	600	150	2803
0.1	600	200	2821
0.1	600	250	2793
0.1	600	300	2822
0.1	600	350	2811
0.1	600	400	2782
0.1	700	100	2767
0.1	700	150	2777
0.1	700	200	2800
0.1	700	250	2794
0.1	700	300	2709
0.1	700	350	2809
0.1	700	400	2769
0.1	800	100	2781
0.1	800	150	2741
0.1	800	200	2806
0.1	800	250	2782
0.1	800	300	2773
0.1	800	350	2793
0.1	800	400	2809
0.2	100	100	2836
0.2	100	150	2878
0.2	100	200	2810
0.2	100	250	2865
0.2	100	300	2816
0.2	100	350	2779
0.2	100	400	2838
0.2	200	100	2812
0.2	200	150	2834
0.2	200	200	2838
0.2	200	250	2878
0.2	200	300	2844
0.2	200	350	2847
0.2	200	400	2869
0.2	300	100	2847
0.2	300	150	2832

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	300	200	2818
0.2	300	250	2757
0.2	300	300	2781
0.2	300	350	2840
0.2	300	400	2831
0.2	400	100	2797
0.2	400	150	2798
0.2	400	200	2805
0.2	400	250	2839
0.2	400	300	2826
0.2	400	350	2851
0.2	400	400	2825
0.2	500	100	2812
0.2	500	150	2805
0.2	500	200	2787
0.2	500	250	2809
0.2	500	300	2750
0.2	500	350	2808
0.2	500	400	2763
0.2	600	100	2755
0.2	600	150	2799
0.2	600	200	2768
0.2	600	250	2811
0.2	600	300	2785
0.2	600	350	2828
0.2	600	400	2784
0.2	700	100	2781
0.2	700	150	2760
0.2	700	200	2783
0.2	700	250	2748
0.2	700	300	2812
0.2	700	350	2765
0.2	700	400	2823
0.2	800	100	2754
0.2	800	150	2822
0.2	800	200	2785
0.2	800	250	2778
0.2	800	300	2799
0.2	800	350	2779
0.2	800	400	2786
0.3	100	100	2819
0.3	100	150	2881
0.3	100	200	2826
0.3	100	250	2819
0.3	100	300	2796
0.3	100	350	2696
0.3	100	400	2799
0.3	200	100	2829
0.3	200	150	2843
0.3	200	200	2833
0.3	200	250	2818

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.3	200	300	2821
0.3	200	350	2761
0.3	200	400	2818
0.3	300	100	2805
0.3	300	150	2801
0.3	300	200	2818
0.3	300	250	2781
0.3	300	300	2759
0.3	300	350	2812
0.3	300	400	2828
0.3	400	100	2817
0.3	400	150	2801
0.3	400	200	2768
0.3	400	250	2831
0.3	400	300	2841
0.3	400	350	2763
0.3	400	400	2826
0.3	500	100	2774
0.3	500	150	2799
0.3	500	200	2828
0.3	500	250	2818
0.3	500	300	2762
0.3	500	350	2804
0.3	500	400	2788
0.3	600	100	2790
0.3	600	150	2781
0.3	600	200	2787
0.3	600	250	2742
0.3	600	300	2805
0.3	600	350	2752
0.3	600	400	2816
0.3	700	100	2828
0.3	700	150	2785
0.3	700	200	2760
0.3	700	250	2801
0.3	700	300	2774
0.3	700	350	2756
0.3	700	400	2775
0.3	800	100	2740
0.3	800	150	2796
0.3	800	200	2800
0.3	800	250	2757
0.3	800	300	2785
0.3	800	350	2734
0.3	800	400	2822
0.4	100	100	2835
0.4	100	150	2893
0.4	100	200	2808
0.4	100	250	2844
0.4	100	300	2872
0.4	100	350	2838

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	100	400	2877
0.4	200	100	2839
0.4	200	150	2802
0.4	200	200	2824
0.4	200	250	2794
0.4	200	300	2871
0.4	200	350	2831
0.4	200	400	2844
0.4	300	100	2847
0.4	300	150	2820
0.4	300	200	2869
0.4	300	250	2821
0.4	300	300	2830
0.4	300	350	2830
0.4	300	400	2859
0.4	400	100	2770
0.4	400	150	2829
0.4	400	200	2776
0.4	400	250	2825
0.4	400	300	2799
0.4	400	350	2839
0.4	400	400	2823
0.4	500	100	2826
0.4	500	150	2834
0.4	500	200	2805
0.4	500	250	2775
0.4	500	300	2805
0.4	500	350	2809
0.4	500	400	2789
0.4	600	100	2756
0.4	600	150	2792
0.4	600	200	2836
0.4	600	250	2767
0.4	600	300	2752
0.4	600	350	2789
0.4	600	400	2733
0.4	700	100	2782
0.4	700	150	2800
0.4	700	200	2786
0.4	700	250	2763
0.4	700	300	2802
0.4	700	350	2790
0.4	700	400	2777
0.4	800	100	2767
0.4	800	150	2781
0.4	800	200	2786
0.4	800	250	2828
0.4	800	300	2817
0.4	800	350	2811
0.4	800	400	2794
0.5	100	100	2871

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.5	100	150	2856
0.5	100	200	2822
0.5	100	250	2825
0.5	100	300	2828
0.5	100	350	2842
0.5	100	400	2861
0.5	200	100	2848
0.5	200	150	2849
0.5	200	200	2860
0.5	200	250	2847
0.5	200	300	2835
0.5	200	350	2847
0.5	200	400	2865
0.5	300	100	2799
0.5	300	150	2833
0.5	300	200	2802
0.5	300	250	2864
0.5	300	300	2815
0.5	300	350	2848
0.5	300	400	2834
0.5	400	100	2799
0.5	400	150	2769
0.5	400	200	2799
0.5	400	250	2814
0.5	400	300	2809
0.5	400	350	2806
0.5	400	400	2813
0.5	500	100	2763
0.5	500	150	2835
0.5	500	200	2807
0.5	500	250	2818
0.5	500	300	2820
0.5	500	350	2806
0.5	500	400	2822
0.5	600	100	2798
0.5	600	150	2776
0.5	600	200	2770
0.5	600	250	2827
0.5	600	300	2808
0.5	600	350	2794
0.5	600	400	2790
0.5	700	100	2803
0.5	700	150	2817
0.5	700	200	2771
0.5	700	250	2757
0.5	700	300	2807
0.5	700	350	2757
0.5	700	400	2794
0.5	800	100	2825
0.5	800	150	2795
0.5	800	200	2809

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.5	800	250	2804
0.5	800	300	2767
0.5	800	350	2806
0.5	800	400	2768

Escenario 6:

TABLA 12: VALORES FITNESS ESCENARIO 6

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.1	100	100	1465
0.1	100	150	1465
0.1	100	200	1510
0.1	100	250	1494
0.1	100	300	1498
0.1	100	350	1518
0.1	100	400	1515
0.1	200	100	1489
0.1	200	150	1506
0.1	200	200	1478
0.1	200	250	1510
0.1	200	300	1491
0.1	200	350	1500
0.1	200	400	1480
0.1	300	100	1478
0.1	300	150	1467
0.1	300	200	1466
0.1	300	250	1500
0.1	300	300	1479
0.1	300	350	1464
0.1	300	400	1499
0.1	400	100	1431
0.1	400	150	1437
0.1	400	200	1442
0.1	400	250	1455
0.1	400	300	1449
0.1	400	350	1477
0.1	400	400	1477
0.1	500	100	1413
0.1	500	150	1448
0.1	500	200	1443
0.1	500	250	1431
0.1	500	300	1460
0.1	500	350	1461

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	500	400	1465
0.1	600	100	1425
0.1	600	150	1443
0.1	600	200	1437
0.1	600	250	1448
0.1	600	300	1458
0.1	600	350	1449
0.1	600	400	1458
0.1	700	100	1419
0.1	700	150	1430
0.1	700	200	1435
0.1	700	250	1428
0.1	700	300	1455
0.1	700	350	1460
0.1	700	400	1449
0.1	800	100	1417
0.1	800	150	1413
0.1	800	200	1429
0.1	800	250	1419
0.1	800	300	1431
0.1	800	350	1418
0.1	800	400	1434
0.2	100	100	1458
0.2	100	150	1506
0.2	100	200	1498
0.2	100	250	1481
0.2	100	300	1483
0.2	100	350	1490
0.2	100	400	1524
0.2	200	100	1468
0.2	200	150	1452
0.2	200	200	1478
0.2	200	250	1502
0.2	200	300	1479
0.2	200	350	1510
0.2	200	400	1495
0.2	300	100	1449
0.2	300	150	1437
0.2	300	200	1467
0.2	300	250	1455
0.2	300	300	1489
0.2	300	350	1477
0.2	300	400	1473
0.2	400	100	1431
0.2	400	150	1443
0.2	400	200	1453
0.2	400	250	1467
0.2	400	300	1468
0.2	400	350	1479
0.2	400	400	1461
0.2	500	100	1423

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	500	150	1431
0.2	500	200	1445
0.2	500	250	1459
0.2	500	300	1464
0.2	500	350	1437
0.2	500	400	1454
0.2	600	100	1448
0.2	600	150	1462
0.2	600	200	1417
0.2	600	250	1447
0.2	600	300	1451
0.2	600	350	1484
0.2	600	400	1461
0.2	700	100	1431
0.2	700	150	1417
0.2	700	200	1442
0.2	700	250	1455
0.2	700	300	1443
0.2	700	350	1454
0.2	700	400	1456
0.2	800	100	1453
0.2	800	150	1424
0.2	800	200	1431
0.2	800	250	1419
0.2	800	300	1443
0.2	800	350	1419
0.2	800	400	1448
0.3	100	100	1506
0.3	100	150	1489
0.3	100	200	1531
0.3	100	250	1515
0.3	100	300	1494
0.3	100	350	1515
0.3	100	400	1489
0.3	200	100	1451
0.3	200	150	1511
0.3	200	200	1515
0.3	200	250	1466
0.3	200	300	1497
0.3	200	350	1473
0.3	200	400	1458
0.3	300	100	1462
0.3	300	150	1440
0.3	300	200	1467
0.3	300	250	1495
0.3	300	300	1471
0.3	300	350	1510
0.3	300	400	1506
0.3	400	100	1455
0.3	400	150	1455
0.3	400	200	1461

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.3	400	250	1453
0.3	400	300	1485
0.3	400	350	1473
0.3	400	400	1461
0.3	500	100	1416
0.3	500	150	1455
0.3	500	200	1446
0.3	500	250	1463
0.3	500	300	1477
0.3	500	350	1443
0.3	500	400	1484
0.3	600	100	1429
0.3	600	150	1441
0.3	600	200	1419
0.3	600	250	1449
0.3	600	300	1458
0.3	600	350	1467
0.3	600	400	1467
0.3	700	100	1431
0.3	700	150	1402
0.3	700	200	1442
0.3	700	250	1436
0.3	700	300	1441
0.3	700	350	1436
0.3	700	400	1467
0.3	800	100	1410
0.3	800	150	1440
0.3	800	200	1461
0.3	800	250	1431
0.3	800	300	1443
0.3	800	350	1431
0.3	800	400	1443
0.4	100	100	1476
0.4	100	150	1527
0.4	100	200	1518
0.4	100	250	1479
0.4	100	300	1512
0.4	100	350	1506
0.4	100	400	1517
0.4	200	100	1466
0.4	200	150	1489
0.4	200	200	1485
0.4	200	250	1505
0.4	200	300	1485
0.4	200	350	1491
0.4	200	400	1479
0.4	300	100	1436
0.4	300	150	1459
0.4	300	200	1479
0.4	300	250	1443
0.4	300	300	1470

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	300	350	1489
0.4	300	400	1506
0.4	400	100	1419
0.4	400	150	1448
0.4	400	200	1395
0.4	400	250	1437
0.4	400	300	1467
0.4	400	350	1466
0.4	400	400	1493
0.4	500	100	1422
0.4	500	150	1459
0.4	500	200	1455
0.4	500	250	1429
0.4	500	300	1455
0.4	500	350	1495
0.4	500	400	1479
0.4	600	100	1473
0.4	600	150	1418
0.4	600	200	1448
0.4	600	250	1449
0.4	600	300	1471
0.4	600	350	1448
0.4	600	400	1461
0.4	700	100	1431
0.4	700	150	1437
0.4	700	200	1465
0.4	700	250	1443
0.4	700	300	1456
0.4	700	350	1472
0.4	700	400	1464
0.4	800	100	1429
0.4	800	150	1425
0.4	800	200	1425
0.4	800	250	1437
0.4	800	300	1431
0.4	800	350	1466
0.4	800	400	1431
0.5	100	100	1493
0.5	100	150	1483
0.5	100	200	1503
0.5	100	250	1515
0.5	100	300	1529
0.5	100	350	1509
0.5	100	400	1503
0.5	200	100	1462
0.5	200	150	1507
0.5	200	200	1497
0.5	200	250	1515
0.5	200	300	1437
0.5	200	350	1495
0.5	200	400	1503

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.5	300	100	1482
0.5	300	150	1436
0.5	300	200	1527
0.5	300	250	1484
0.5	300	300	1480
0.5	300	350	1501
0.5	300	400	1478
0.5	400	100	1502
0.5	400	150	1455
0.5	400	200	1473
0.5	400	250	1461
0.5	400	300	1473
0.5	400	350	1512
0.5	400	400	1488
0.5	500	100	1443
0.5	500	150	1453
0.5	500	200	1473
0.5	500	250	1483
0.5	500	300	1474
0.5	500	350	1437
0.5	500	400	1483
0.5	600	100	1425
0.5	600	150	1443
0.5	600	200	1472
0.5	600	250	1435
0.5	600	300	1442
0.5	600	350	1473
0.5	600	400	1452
0.5	700	100	1425
0.5	700	150	1431
0.5	700	200	1423
0.5	700	250	1445
0.5	700	300	1454
0.5	700	350	1472
0.5	700	400	1448
0.5	800	100	1425
0.5	800	150	1431
0.5	800	200	1449
0.5	800	250	1440
0.5	800	300	1448
0.5	800	350	1467
0.5	800	400	1443

Escenario 7:

TABLA 13: VALORES FITNESS ESCENARIO 7

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	100	100	1098
0.1	100	150	1128
0.1	100	200	1122
0.1	100	250	1106
0.1	100	300	1151
0.1	100	350	1112
0.1	100	400	1139
0.1	200	100	1052
0.1	200	150	1105
0.1	200	200	1089
0.1	200	250	1055
0.1	200	300	1099
0.1	200	350	1084
0.1	200	400	1057
0.1	300	100	1086
0.1	300	150	1077
0.1	300	200	1046
0.1	300	250	1086
0.1	300	300	1096
0.1	300	350	1076
0.1	300	400	1112
0.1	400	100	1052
0.1	400	150	1089
0.1	400	200	1043
0.1	400	250	1063
0.1	400	300	1058
0.1	400	350	1074
0.1	400	400	1063
0.1	500	100	1044
0.1	500	150	1043
0.1	500	200	1056
0.1	500	250	1070
0.1	500	300	1049
0.1	500	350	1059
0.1	500	400	1058
0.1	600	100	1038
0.1	600	150	1052
0.1	600	200	1048
0.1	600	250	1039
0.1	600	300	1065
0.1	600	350	1060
0.1	600	400	1054
0.1	700	100	1025
0.1	700	150	1046

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	700	200	1023
0.1	700	250	1017
0.1	700	300	1047
0.1	700	350	1055
0.1	700	400	1048
0.1	800	100	1030
0.1	800	150	1031
0.1	800	200	1041
0.1	800	250	1036
0.1	800	300	1035
0.1	800	350	1029
0.1	800	400	1053
0.2	100	100	1104
0.2	100	150	1088
0.2	100	200	1152
0.2	100	250	1122
0.2	100	300	1123
0.2	100	350	1150
0.2	100	400	1131
0.2	200	100	1071
0.2	200	150	1082
0.2	200	200	1062
0.2	200	250	1121
0.2	200	300	1116
0.2	200	350	1101
0.2	200	400	1109
0.2	300	100	1083
0.2	300	150	1040
0.2	300	200	1079
0.2	300	250	1080
0.2	300	300	1074
0.2	300	350	1095
0.2	300	400	1086
0.2	400	100	1040
0.2	400	150	1034
0.2	400	200	1073
0.2	400	250	1051
0.2	400	300	1092
0.2	400	350	1087
0.2	400	400	1099
0.2	500	100	1037
0.2	500	150	1058
0.2	500	200	1048
0.2	500	250	1056
0.2	500	300	1051
0.2	500	350	1065
0.2	500	400	1101
0.2	600	100	1049
0.2	600	150	1011
0.2	600	200	1047
0.2	600	250	1055

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	600	300	1070
0.2	600	350	1054
0.2	600	400	1059
0.2	700	100	1038
0.2	700	150	1033
0.2	700	200	1052
0.2	700	250	1060
0.2	700	300	1045
0.2	700	350	1050
0.2	700	400	1064
0.2	800	100	1022
0.2	800	150	1011
0.2	800	200	1043
0.2	800	250	1043
0.2	800	300	1044
0.2	800	350	1041
0.2	800	400	1047
0.3	100	100	1139
0.3	100	150	1151
0.3	100	200	1110
0.3	100	250	1116
0.3	100	300	1108
0.3	100	350	1069
0.3	100	400	1146
0.3	200	100	1102
0.3	200	150	1097
0.3	200	200	1074
0.3	200	250	1110
0.3	200	300	1100
0.3	200	350	1089
0.3	200	400	1106
0.3	300	100	1073
0.3	300	150	1078
0.3	300	200	1102
0.3	300	250	1129
0.3	300	300	1097
0.3	300	350	1105
0.3	300	400	1109
0.3	400	100	1018
0.3	400	150	1070
0.3	400	200	1073
0.3	400	250	1101
0.3	400	300	1091
0.3	400	350	1077
0.3	400	400	1081
0.3	500	100	1043
0.3	500	150	1029
0.3	500	200	1069
0.3	500	250	1083
0.3	500	300	1084
0.3	500	350	1077

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.3	500	400	1071
0.3	600	100	1015
0.3	600	150	1056
0.3	600	200	1052
0.3	600	250	1046
0.3	600	300	1054
0.3	600	350	1064
0.3	600	400	1069
0.3	700	100	1046
0.3	700	150	1035
0.3	700	200	1044
0.3	700	250	1056
0.3	700	300	1057
0.3	700	350	1073
0.3	700	400	1055
0.3	800	100	1028
0.3	800	150	1018
0.3	800	200	1033
0.3	800	250	1036
0.3	800	300	1035
0.3	800	350	1045
0.3	800	400	1039
0.4	100	100	1118
0.4	100	150	1136
0.4	100	200	1125
0.4	100	250	1104
0.4	100	300	1115
0.4	100	350	1076
0.4	100	400	1124
0.4	200	100	1098
0.4	200	150	1129
0.4	200	200	1128
0.4	200	250	1120
0.4	200	300	1119
0.4	200	350	1114
0.4	200	400	1113
0.4	300	100	1075
0.4	300	150	1075
0.4	300	200	1096
0.4	300	250	1092
0.4	300	300	1075
0.4	300	350	1118
0.4	300	400	1118
0.4	400	100	1035
0.4	400	150	1073
0.4	400	200	1053
0.4	400	250	1051
0.4	400	300	1108
0.4	400	350	1111
0.4	400	400	1086
0.4	500	100	1051

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	500	150	1031
0.4	500	200	1060
0.4	500	250	1058
0.4	500	300	1061
0.4	500	350	1084
0.4	500	400	1107
0.4	600	100	1026
0.4	600	150	1059
0.4	600	200	1041
0.4	600	250	1061
0.4	600	300	1066
0.4	600	350	1064
0.4	600	400	1065
0.4	700	100	1034
0.4	700	150	1060
0.4	700	200	1035
0.4	700	250	1026
0.4	700	300	1061
0.4	700	350	1074
0.4	700	400	1064
0.4	800	100	1039
0.4	800	150	1036
0.4	800	200	1028
0.4	800	250	1041
0.4	800	300	1066
0.4	800	350	1056
0.4	800	400	1079
0.5	100	100	1112
0.5	100	150	1114
0.5	100	200	1125
0.5	100	250	1161
0.5	100	300	1134
0.5	100	350	1146
0.5	100	400	1137
0.5	200	100	1083
0.5	200	150	1099
0.5	200	200	1110
0.5	200	250	1104
0.5	200	300	1137
0.5	200	350	1117
0.5	200	400	1110
0.5	300	100	1077
0.5	300	150	1061
0.5	300	200	1068
0.5	300	250	1137
0.5	300	300	1100
0.5	300	350	1105
0.5	300	400	1112
0.5	400	100	1057
0.5	400	150	1065
0.5	400	200	1087

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.5	400	250	1074
0.5	400	300	1099
0.5	400	350	1088
0.5	400	400	1079
0.5	500	100	1029
0.5	500	150	1043
0.5	500	200	1068
0.5	500	250	1083
0.5	500	300	1077
0.5	500	350	1106
0.5	500	400	1112
0.5	600	100	1038
0.5	600	150	1051
0.5	600	200	1034
0.5	600	250	1044
0.5	600	300	1080
0.5	600	350	1064
0.5	600	400	1104
0.5	700	100	1038
0.5	700	150	1048
0.5	700	200	1029
0.5	700	250	1049
0.5	700	300	1070
0.5	700	350	1074
0.5	700	400	1075
0.5	800	100	1023
0.5	800	150	1058
0.5	800	200	1055
0.5	800	250	1077
0.5	800	300	1057
0.5	800	350	1059
0.5	800	400	1074

Escenario 8:

TABLA 14: VALORES FITNESS ESCENARIO 8

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	100	100	928
0.1	100	150	942
0.1	100	200	960
0.1	100	250	952
0.1	100	300	947
0.1	100	350	950

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	100	400	964
0.1	200	100	915
0.1	200	150	920
0.1	200	200	912
0.1	200	250	930
0.1	200	300	890
0.1	200	350	945
0.1	200	400	937
0.1	300	100	890
0.1	300	150	880
0.1	300	200	914
0.1	300	250	905
0.1	300	300	922
0.1	300	350	900
0.1	300	400	934
0.1	400	100	881
0.1	400	150	862
0.1	400	200	903
0.1	400	250	886
0.1	400	300	913
0.1	400	350	915
0.1	400	400	900
0.1	500	100	876
0.1	500	150	858
0.1	500	200	879
0.1	500	250	876
0.1	500	300	901
0.1	500	350	899
0.1	500	400	910
0.1	600	100	853
0.1	600	150	886
0.1	600	200	849
0.1	600	250	894
0.1	600	300	891
0.1	600	350	868
0.1	600	400	890
0.1	700	100	861
0.1	700	150	866
0.1	700	200	899
0.1	700	250	866
0.1	700	300	872
0.1	700	350	868
0.1	700	400	893
0.1	800	100	845
0.1	800	150	865
0.1	800	200	855
0.1	800	250	846
0.1	800	300	876
0.1	800	350	873
0.1	800	400	873
0.2	100	100	963

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	100	150	956
0.2	100	200	950
0.2	100	250	940
0.2	100	300	956
0.2	100	350	975
0.2	100	400	952
0.2	200	100	873
0.2	200	150	927
0.2	200	200	945
0.2	200	250	924
0.2	200	300	933
0.2	200	350	929
0.2	200	400	943
0.2	300	100	887
0.2	300	150	922
0.2	300	200	908
0.2	300	250	910
0.2	300	300	920
0.2	300	350	942
0.2	300	400	930
0.2	400	100	885
0.2	400	150	859
0.2	400	200	877
0.2	400	250	902
0.2	400	300	932
0.2	400	350	930
0.2	400	400	925
0.2	500	100	868
0.2	500	150	891
0.2	500	200	867
0.2	500	250	897
0.2	500	300	874
0.2	500	350	905
0.2	500	400	899
0.2	600	100	860
0.2	600	150	850
0.2	600	200	881
0.2	600	250	881
0.2	600	300	908
0.2	600	350	894
0.2	600	400	884
0.2	700	100	879
0.2	700	150	860
0.2	700	200	907
0.2	700	250	878
0.2	700	300	901
0.2	700	350	897
0.2	700	400	899
0.2	800	100	852
0.2	800	150	856
0.2	800	200	872

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	800	250	885
0.2	800	300	880
0.2	800	350	883
0.2	800	400	863
0.3	100	100	926
0.3	100	150	955
0.3	100	200	979
0.3	100	250	1001
0.3	100	300	988
0.3	100	350	979
0.3	100	400	945
0.3	200	100	940
0.3	200	150	918
0.3	200	200	953
0.3	200	250	930
0.3	200	300	931
0.3	200	350	945
0.3	200	400	948
0.3	300	100	885
0.3	300	150	896
0.3	300	200	927
0.3	300	250	898
0.3	300	300	927
0.3	300	350	936
0.3	300	400	901
0.3	400	100	870
0.3	400	150	870
0.3	400	200	886
0.3	400	250	869
0.3	400	300	909
0.3	400	350	931
0.3	400	400	908
0.3	500	100	880
0.3	500	150	880
0.3	500	200	883
0.3	500	250	903
0.3	500	300	910
0.3	500	350	928
0.3	500	400	904
0.3	600	100	856
0.3	600	150	876
0.3	600	200	878
0.3	600	250	899
0.3	600	300	895
0.3	600	350	918
0.3	600	400	898
0.3	700	100	850
0.3	700	150	883
0.3	700	200	844
0.3	700	250	878
0.3	700	300	866

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.3	700	350	882
0.3	700	400	891
0.3	800	100	866
0.3	800	150	884
0.3	800	200	860
0.3	800	250	872
0.3	800	300	889
0.3	800	350	875
0.3	800	400	876
0.4	100	100	941
0.4	100	150	971
0.4	100	200	945
0.4	100	250	964
0.4	100	300	1005
0.4	100	350	933
0.4	100	400	977
0.4	200	100	914
0.4	200	150	913
0.4	200	200	934
0.4	200	250	940
0.4	200	300	918
0.4	200	350	921
0.4	200	400	951
0.4	300	100	854
0.4	300	150	905
0.4	300	200	929
0.4	300	250	912
0.4	300	300	928
0.4	300	350	945
0.4	300	400	919
0.4	400	100	887
0.4	400	150	881
0.4	400	200	906
0.4	400	250	914
0.4	400	300	944
0.4	400	350	936
0.4	400	400	921
0.4	500	100	913
0.4	500	150	911
0.4	500	200	885
0.4	500	250	884
0.4	500	300	901
0.4	500	350	933
0.4	500	400	945
0.4	600	100	872
0.4	600	150	872
0.4	600	200	906
0.4	600	250	928
0.4	600	300	883
0.4	600	350	902
0.4	600	400	908

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	700	100	879
0.4	700	150	854
0.4	700	200	894
0.4	700	250	899
0.4	700	300	907
0.4	700	350	903
0.4	700	400	903
0.4	800	100	882
0.4	800	150	878
0.4	800	200	870
0.4	800	250	886
0.4	800	300	905
0.4	800	350	888
0.4	800	400	909
0.5	100	100	909
0.5	100	150	963
0.5	100	200	951
0.5	100	250	986
0.5	100	300	961
0.5	100	350	970
0.5	100	400	990
0.5	200	100	942
0.5	200	150	933
0.5	200	200	907
0.5	200	250	944
0.5	200	300	905
0.5	200	350	929
0.5	200	400	932
0.5	300	100	890
0.5	300	150	916
0.5	300	200	909
0.5	300	250	920
0.5	300	300	948
0.5	300	350	963
0.5	300	400	908
0.5	400	100	933
0.5	400	150	889
0.5	400	200	916
0.5	400	250	907
0.5	400	300	917
0.5	400	350	900
0.5	400	400	882
0.5	500	100	904
0.5	500	150	893
0.5	500	200	902
0.5	500	250	910
0.5	500	300	897
0.5	500	350	937
0.5	500	400	896
0.5	600	100	888
0.5	600	150	888

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.5	600	200	876
0.5	600	250	909
0.5	600	300	886
0.5	600	350	944
0.5	600	400	925
0.5	700	100	878
0.5	700	150	885
0.5	700	200	887
0.5	700	250	873
0.5	700	300	873
0.5	700	350	896
0.5	700	400	896
0.5	800	100	868
0.5	800	150	873
0.5	800	200	850
0.5	800	250	897
0.5	800	300	892
0.5	800	350	914
0.5	800	400	891

Escenario 9:

TABLA 15: VALORES FITNESS ESCENARIO 9

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	100	100	11094
0.1	100	150	10998
0.1	100	200	11142
0.1	100	250	11068
0.1	100	300	10811
0.1	100	350	10865
0.1	100	400	10998
0.1	200	100	10848
0.1	200	150	11034
0.1	200	200	10884
0.1	200	250	10930
0.1	200	300	10884
0.1	200	350	10925
0.1	200	400	10956
0.1	300	100	11024
0.1	300	150	10983
0.1	300	200	10816
0.1	300	250	10924
0.1	300	300	10866

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	300	350	10944
0.1	300	400	10948
0.1	400	100	10832
0.1	400	150	10808
0.1	400	200	10680
0.1	400	250	10870
0.1	400	300	11046
0.1	400	350	10886
0.1	400	400	11021
0.1	500	100	10730
0.1	500	150	10806
0.1	500	200	10740
0.1	500	250	10691
0.1	500	300	10622
0.1	500	350	10644
0.1	500	400	10942
0.1	600	100	10784
0.1	600	150	10928
0.1	600	200	10776
0.1	600	250	10908
0.1	600	300	10912
0.1	600	350	10851
0.1	600	400	10642
0.1	700	100	10781
0.1	700	150	10878
0.1	700	200	10720
0.1	700	250	10827
0.1	700	300	10941
0.1	700	350	10887
0.1	700	400	10860
0.1	800	100	10750
0.1	800	150	10670
0.1	800	200	10836
0.1	800	250	10849
0.1	800	300	10848
0.1	800	350	10733
0.1	800	400	10846
0.2	100	100	11100
0.2	100	150	11038
0.2	100	200	10888
0.2	100	250	10971
0.2	100	300	11087
0.2	100	350	10952
0.2	100	400	10972
0.2	200	100	11004
0.2	200	150	10752
0.2	200	200	10904
0.2	200	250	11039
0.2	200	300	10999
0.2	200	350	10905
0.2	200	400	10994

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	300	100	10928
0.2	300	150	10930
0.2	300	200	11053
0.2	300	250	10920
0.2	300	300	10711
0.2	300	350	10998
0.2	300	400	10950
0.2	400	100	10822
0.2	400	150	10778
0.2	400	200	10968
0.2	400	250	10890
0.2	400	300	10827
0.2	400	350	10885
0.2	400	400	10975
0.2	500	100	10673
0.2	500	150	10800
0.2	500	200	10928
0.2	500	250	10866
0.2	500	300	10830
0.2	500	350	10908
0.2	500	400	10851
0.2	600	100	10742
0.2	600	150	10939
0.2	600	200	10355
0.2	600	250	10816
0.2	600	300	10899
0.2	600	350	10706
0.2	600	400	10742
0.2	700	100	10559
0.2	700	150	10810
0.2	700	200	10805
0.2	700	250	10756
0.2	700	300	10668
0.2	700	350	10762
0.2	700	400	10834
0.2	800	100	10902
0.2	800	150	10699
0.2	800	200	10816
0.2	800	250	10782
0.2	800	300	10702
0.2	800	350	10906
0.2	800	400	10788
0.3	100	100	10932
0.3	100	150	11034
0.3	100	200	10967
0.3	100	250	11052
0.3	100	300	11000
0.3	100	350	10854
0.3	100	400	11070
0.3	200	100	10918
0.3	200	150	10829

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.3	200	200	10998
0.3	200	250	10913
0.3	200	300	11010
0.3	200	350	11070
0.3	200	400	10860
0.3	300	100	10782
0.3	300	150	10896
0.3	300	200	10866
0.3	300	250	10998
0.3	300	300	10855
0.3	300	350	10948
0.3	300	400	11038
0.3	400	100	10768
0.3	400	150	10700
0.3	400	200	10677
0.3	400	250	10886
0.3	400	300	10744
0.3	400	350	10884
0.3	400	400	10783
0.3	500	100	10709
0.3	500	150	10831
0.3	500	200	10917
0.3	500	250	10786
0.3	500	300	10650
0.3	500	350	11046
0.3	500	400	10878
0.3	600	100	10770
0.3	600	150	10755
0.3	600	200	10846
0.3	600	250	10788
0.3	600	300	10710
0.3	600	350	10977
0.3	600	400	10932
0.3	700	100	10824
0.3	700	150	10782
0.3	700	200	10874
0.3	700	250	10852
0.3	700	300	10854
0.3	700	350	10864
0.3	700	400	10794
0.3	800	100	10674
0.3	800	150	10844
0.3	800	200	10905
0.3	800	250	10819
0.3	800	300	10839
0.3	800	350	10715
0.3	800	400	10770
0.4	100	100	10944
0.4	100	150	11051
0.4	100	200	11022
0.4	100	250	11004

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	100	300	11010
0.4	100	350	10863
0.4	100	400	11040
0.4	200	100	11045
0.4	200	150	10962
0.4	200	200	10848
0.4	200	250	10910
0.4	200	300	11004
0.4	200	350	10910
0.4	200	400	10792
0.4	300	100	11127
0.4	300	150	10956
0.4	300	200	11000
0.4	300	250	10920
0.4	300	300	10818
0.4	300	350	10981
0.4	300	400	11058
0.4	400	100	10874
0.4	400	150	10952
0.4	400	200	10911
0.4	400	250	10924
0.4	400	300	10834
0.4	400	350	10990
0.4	400	400	10792
0.4	500	100	10706
0.4	500	150	10764
0.4	500	200	10800
0.4	500	250	10788
0.4	500	300	10692
0.4	500	350	10789
0.4	500	400	11050
0.4	600	100	10780
0.4	600	150	10779
0.4	600	200	10862
0.4	600	250	10651
0.4	600	300	10897
0.4	600	350	10888
0.4	600	400	11004
0.4	700	100	10596
0.4	700	150	10960
0.4	700	200	10744
0.4	700	250	10925
0.4	700	300	10830
0.4	700	350	10883
0.4	700	400	10800
0.4	800	100	10595
0.4	800	150	10680
0.4	800	200	10860
0.4	800	250	10863
0.4	800	300	10816
0.4	800	350	10775

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	800	400	10921
0.5	100	100	11084
0.5	100	150	10905
0.5	100	200	11118
0.5	100	250	11052
0.5	100	300	10996
0.5	100	350	11010
0.5	100	400	10976
0.5	200	100	10980
0.5	200	150	10955
0.5	200	200	11036
0.5	200	250	10883
0.5	200	300	10937
0.5	200	350	11054
0.5	200	400	11095
0.5	300	100	10866
0.5	300	150	10897
0.5	300	200	10756
0.5	300	250	10972
0.5	300	300	10824
0.5	300	350	10774
0.5	300	400	11027
0.5	400	100	10896
0.5	400	150	10948
0.5	400	200	10671
0.5	400	250	10964
0.5	400	300	10870
0.5	400	350	10992
0.5	400	400	10816
0.5	500	100	10834
0.5	500	150	10823
0.5	500	200	10825
0.5	500	250	10998
0.5	500	300	10872
0.5	500	350	10934
0.5	500	400	10836
0.5	600	100	10635
0.5	600	150	10881
0.5	600	200	11026
0.5	600	250	10944
0.5	600	300	10974
0.5	600	350	10811
0.5	600	400	11018
0.5	700	100	10821
0.5	700	150	10652
0.5	700	200	10948
0.5	700	250	10860
0.5	700	300	11022
0.5	700	350	10851
0.5	700	400	10991
0.5	800	100	10920

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.5	800	150	10895
0.5	800	200	10917
0.5	800	250	10704
0.5	800	300	10800
0.5	800	350	10946
0.5	800	400	10866

Escenario 10:

TABLA 16: VALORES FITNESS ESCENARIO 10

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	100	100	5784
0.1	100	150	5660
0.1	100	200	5669
0.1	100	250	5716
0.1	100	300	5622
0.1	100	350	5742
0.1	100	400	5613
0.1	200	100	5646
0.1	200	150	5577
0.1	200	200	5707
0.1	200	250	5592
0.1	200	300	5616
0.1	200	350	5678
0.1	200	400	5664
0.1	300	100	5549
0.1	300	150	5543
0.1	300	200	5608
0.1	300	250	5591
0.1	300	300	5641
0.1	300	350	5591
0.1	300	400	5489
0.1	400	100	5423
0.1	400	150	5460
0.1	400	200	5466
0.1	400	250	5526
0.1	400	300	5546
0.1	400	350	5592
0.1	400	400	5495
0.1	500	100	5468
0.1	500	150	5412
0.1	500	200	5445
0.1	500	250	5472

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	500	300	5590
0.1	500	350	5514
0.1	500	400	5585
0.1	600	100	5334
0.1	600	150	5484
0.1	600	200	5520
0.1	600	250	5364
0.1	600	300	5471
0.1	600	350	5446
0.1	600	400	5445
0.1	700	100	5320
0.1	700	150	5407
0.1	700	200	5404
0.1	700	250	5429
0.1	700	300	5346
0.1	700	350	5334
0.1	700	400	5500
0.1	800	100	5425
0.1	800	150	5280
0.1	800	200	5459
0.1	800	250	5367
0.1	800	300	5429
0.1	800	350	5513
0.1	800	400	5399
0.2	100	100	5704
0.2	100	150	5608
0.2	100	200	5705
0.2	100	250	5670
0.2	100	300	5772
0.2	100	350	5730
0.2	100	400	5712
0.2	200	100	5586
0.2	200	150	5558
0.2	200	200	5635
0.2	200	250	5542
0.2	200	300	5578
0.2	200	350	5555
0.2	200	400	5604
0.2	300	100	5385
0.2	300	150	5673
0.2	300	200	5598
0.2	300	250	5610
0.2	300	300	5538
0.2	300	350	5532
0.2	300	400	5537
0.2	400	100	5450
0.2	400	150	5523
0.2	400	200	5382
0.2	400	250	5553
0.2	400	300	5549
0.2	400	350	5616

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	400	400	5620
0.2	500	100	5508
0.2	500	150	5489
0.2	500	200	5525
0.2	500	250	5598
0.2	500	300	5556
0.2	500	350	5566
0.2	500	400	5556
0.2	600	100	5351
0.2	600	150	5424
0.2	600	200	5472
0.2	600	250	5557
0.2	600	300	5431
0.2	600	350	5649
0.2	600	400	5452
0.2	700	100	5411
0.2	700	150	5558
0.2	700	200	5532
0.2	700	250	5509
0.2	700	300	5428
0.2	700	350	5426
0.2	700	400	5530
0.2	800	100	5454
0.2	800	150	5403
0.2	800	200	5436
0.2	800	250	5421
0.2	800	300	5430
0.2	800	350	5428
0.2	800	400	5441
0.3	100	100	5574
0.3	100	150	5592
0.3	100	200	5655
0.3	100	250	5712
0.3	100	300	5784
0.3	100	350	5658
0.3	100	400	5687
0.3	200	100	5724
0.3	200	150	5553
0.3	200	200	5730
0.3	200	250	5550
0.3	200	300	5757
0.3	200	350	5650
0.3	200	400	5724
0.3	300	100	5506
0.3	300	150	5530
0.3	300	200	5608
0.3	300	250	5632
0.3	300	300	5595
0.3	300	350	5580
0.3	300	400	5592
0.3	400	100	5642

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.3	400	150	5562
0.3	400	200	5562
0.3	400	250	5532
0.3	400	300	5640
0.3	400	350	5525
0.3	400	400	5490
0.3	500	100	5616
0.3	500	150	5356
0.3	500	200	5390
0.3	500	250	5520
0.3	500	300	5562
0.3	500	350	5627
0.3	500	400	5522
0.3	600	100	5454
0.3	600	150	5505
0.3	600	200	5539
0.3	600	250	5494
0.3	600	300	5490
0.3	600	350	5477
0.3	600	400	5538
0.3	700	100	5418
0.3	700	150	5406
0.3	700	200	5414
0.3	700	250	5342
0.3	700	300	5480
0.3	700	350	5387
0.3	700	400	5456
0.3	800	100	5472
0.3	800	150	5506
0.3	800	200	5417
0.3	800	250	5550
0.3	800	300	5490
0.3	800	350	5512
0.3	800	400	5453
0.4	100	100	5671
0.4	100	150	5682
0.4	100	200	5698
0.4	100	250	5790
0.4	100	300	5586
0.4	100	350	5674
0.4	100	400	5661
0.4	200	100	5626
0.4	200	150	5629
0.4	200	200	5640
0.4	200	250	5635
0.4	200	300	5643
0.4	200	350	5604
0.4	200	400	5645
0.4	300	100	5279
0.4	300	150	5630
0.4	300	200	5604

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	300	250	5594
0.4	300	300	5595
0.4	300	350	5626
0.4	300	400	5652
0.4	400	100	5562
0.4	400	150	5484
0.4	400	200	5444
0.4	400	250	5644
0.4	400	300	5532
0.4	400	350	5603
0.4	400	400	5568
0.4	500	100	5514
0.4	500	150	5560
0.4	500	200	5550
0.4	500	250	5536
0.4	500	300	5538
0.4	500	350	5514
0.4	500	400	5573
0.4	600	100	5507
0.4	600	150	5440
0.4	600	200	5522
0.4	600	250	5381
0.4	600	300	5505
0.4	600	350	5508
0.4	600	400	5492
0.4	700	100	5382
0.4	700	150	5456
0.4	700	200	5382
0.4	700	250	5406
0.4	700	300	5444
0.4	700	350	5511
0.4	700	400	5526
0.4	800	100	5492
0.4	800	150	5555
0.4	800	200	5460
0.4	800	250	5370
0.4	800	300	5377
0.4	800	350	5472
0.4	800	400	5461
0.5	100	100	5715
0.5	100	150	5610
0.5	100	200	5700
0.5	100	250	5752
0.5	100	300	5792
0.5	100	350	5668
0.5	100	400	5628
0.5	200	100	5752
0.5	200	150	5702
0.5	200	200	5644
0.5	200	250	5562
0.5	200	300	5659

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.5	200	350	5688
0.5	200	400	5670
0.5	300	100	5550
0.5	300	150	5598
0.5	300	200	5634
0.5	300	250	5569
0.5	300	300	5557
0.5	300	350	5634
0.5	300	400	5718
0.5	400	100	5427
0.5	400	150	5622
0.5	400	200	5458
0.5	400	250	5635
0.5	400	300	5590
0.5	400	350	5676
0.5	400	400	5602
0.5	500	100	5490
0.5	500	150	5532
0.5	500	200	5469
0.5	500	250	5510
0.5	500	300	5502
0.5	500	350	5560
0.5	500	400	5525
0.5	600	100	5454
0.5	600	150	5551
0.5	600	200	5460
0.5	600	250	5541
0.5	600	300	5436
0.5	600	350	5620
0.5	600	400	5682
0.5	700	100	5557
0.5	700	150	5364
0.5	700	200	5400
0.5	700	250	5502
0.5	700	300	5469
0.5	700	350	5616
0.5	700	400	5514
0.5	800	100	5457
0.5	800	150	5428
0.5	800	200	5530
0.5	800	250	5562
0.5	800	300	5507
0.5	800	350	5580
0.5	800	400	5538

Escenario 11:

TABLA 17: VALORES FITNESS ESCENARIO 11

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	100	100	3961
0.1	100	150	3960
0.1	100	200	3988
0.1	100	250	3964
0.1	100	300	3986
0.1	100	350	3942
0.1	100	400	3940
0.1	200	100	3790
0.1	200	150	3894
0.1	200	200	3925
0.1	200	250	3930
0.1	200	300	4000
0.1	200	350	4012
0.1	200	400	4043
0.1	300	100	3740
0.1	300	150	3755
0.1	300	200	3988
0.1	300	250	3908
0.1	300	300	3914
0.1	300	350	3898
0.1	300	400	3798
0.1	400	100	3785
0.1	400	150	3814
0.1	400	200	3804
0.1	400	250	3746
0.1	400	300	3822
0.1	400	350	3949
0.1	400	400	3848
0.1	500	100	3805
0.1	500	150	3728
0.1	500	200	3736
0.1	500	250	3870
0.1	500	300	3803
0.1	500	350	3928
0.1	500	400	3932
0.1	600	100	3724
0.1	600	150	3728
0.1	600	200	3722
0.1	600	250	3767
0.1	600	300	3808
0.1	600	350	3876
0.1	600	400	3762
0.1	700	100	3688
0.1	700	150	3710

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.1	700	200	3779
0.1	700	250	3746
0.1	700	300	3746
0.1	700	350	3832
0.1	700	400	3846
0.1	800	100	3654
0.1	800	150	3593
0.1	800	200	3695
0.1	800	250	3670
0.1	800	300	3726
0.1	800	350	3774
0.1	800	400	3753
0.2	100	100	3959
0.2	100	150	4016
0.2	100	200	3956
0.2	100	250	3945
0.2	100	300	4002
0.2	100	350	4001
0.2	100	400	4025
0.2	200	100	3965
0.2	200	150	3899
0.2	200	200	4032
0.2	200	250	3966
0.2	200	300	3970
0.2	200	350	3949
0.2	200	400	3946
0.2	300	100	3785
0.2	300	150	3794
0.2	300	200	3813
0.2	300	250	3882
0.2	300	300	3978
0.2	300	350	3932
0.2	300	400	3990
0.2	400	100	3769
0.2	400	150	3803
0.2	400	200	3828
0.2	400	250	3754
0.2	400	300	3912
0.2	400	350	3735
0.2	400	400	3932
0.2	500	100	3867
0.2	500	150	3784
0.2	500	200	3902
0.2	500	250	3789
0.2	500	300	3803
0.2	500	350	3879
0.2	500	400	3900
0.2	600	100	3776
0.2	600	150	3628
0.2	600	200	3736
0.2	600	250	3773

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	600	300	3822
0.2	600	350	3843
0.2	600	400	3839
0.2	700	100	3686
0.2	700	150	3682
0.2	700	200	3615
0.2	700	250	3780
0.2	700	300	3744
0.2	700	350	3791
0.2	700	400	3890
0.2	800	100	3708
0.2	800	150	3726
0.2	800	200	3838
0.2	800	250	3756
0.2	800	300	3707
0.2	800	350	3667
0.2	800	400	3794
0.3	100	100	3917
0.3	100	150	3943
0.3	100	200	4020
0.3	100	250	3946
0.3	100	300	3991
0.3	100	350	3957
0.3	100	400	3983
0.3	200	100	3869
0.3	200	150	3832
0.3	200	200	3990
0.3	200	250	3971
0.3	200	300	3987
0.3	200	350	3938
0.3	200	400	3938
0.3	300	100	3855
0.3	300	150	3774
0.3	300	200	3830
0.3	300	250	3974
0.3	300	300	4012
0.3	300	350	3976
0.3	300	400	4004
0.3	400	100	3870
0.3	400	150	3748
0.3	400	200	3875
0.3	400	250	3897
0.3	400	300	3891
0.3	400	350	3968
0.3	400	400	3971
0.3	500	100	3813
0.3	500	150	3782
0.3	500	200	3708
0.3	500	250	3859
0.3	500	300	3811
0.3	500	350	3864

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.3	500	400	3877
0.3	600	100	3672
0.3	600	150	3804
0.3	600	200	3747
0.3	600	250	3840
0.3	600	300	3826
0.3	600	350	3871
0.3	600	400	3839
0.3	700	100	3809
0.3	700	150	3695
0.3	700	200	3767
0.3	700	250	3789
0.3	700	300	3718
0.3	700	350	3881
0.3	700	400	3852
0.3	800	100	3670
0.3	800	150	3783
0.3	800	200	3684
0.3	800	250	3708
0.3	800	300	3711
0.3	800	350	3750
0.3	800	400	3752
0.4	100	100	4028
0.4	100	150	3983
0.4	100	200	3992
0.4	100	250	3960
0.4	100	300	4047
0.4	100	350	3946
0.4	100	400	3981
0.4	200	100	4015
0.4	200	150	3924
0.4	200	200	3912
0.4	200	250	3936
0.4	200	300	3960
0.4	200	350	3977
0.4	200	400	4004
0.4	300	100	3753
0.4	300	150	3805
0.4	300	200	3861
0.4	300	250	3882
0.4	300	300	3914
0.4	300	350	4058
0.4	300	400	3917
0.4	400	100	3761
0.4	400	150	3813
0.4	400	200	3814
0.4	400	250	3877
0.4	400	300	3942
0.4	400	350	3894
0.4	400	400	3845
0.4	500	100	3705

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	500	150	3837
0.4	500	200	3732
0.4	500	250	3842
0.4	500	300	3784
0.4	500	350	3884
0.4	500	400	3870
0.4	600	100	3673
0.4	600	150	3864
0.4	600	200	3726
0.4	600	250	3869
0.4	600	300	3825
0.4	600	350	3861
0.4	600	400	3837
0.4	700	100	3637
0.4	700	150	3780
0.4	700	200	3846
0.4	700	250	3860
0.4	700	300	3806
0.4	700	350	3801
0.4	700	400	3927
0.4	800	100	3628
0.4	800	150	3650
0.4	800	200	3844
0.4	800	250	3787
0.4	800	300	3815
0.4	800	350	3815
0.4	800	400	3870
0.5	100	100	3912
0.5	100	150	3957
0.5	100	200	4022
0.5	100	250	4050
0.5	100	300	4013
0.5	100	350	3917
0.5	100	400	3961
0.5	200	100	3906
0.5	200	150	4035
0.5	200	200	3933
0.5	200	250	3914
0.5	200	300	4014
0.5	200	350	3990
0.5	200	400	3886
0.5	300	100	3783
0.5	300	150	3975
0.5	300	200	3908
0.5	300	250	3878
0.5	300	300	3928
0.5	300	350	3931
0.5	300	400	3938
0.5	400	100	3834
0.5	400	150	3863
0.5	400	200	3907

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.5	400	250	3901
0.5	400	300	3887
0.5	400	350	3949
0.5	400	400	3942
0.5	500	100	3882
0.5	500	150	3734
0.5	500	200	3799
0.5	500	250	3854
0.5	500	300	3875
0.5	500	350	3787
0.5	500	400	3838
0.5	600	100	3823
0.5	600	150	3731
0.5	600	200	3821
0.5	600	250	3794
0.5	600	300	3907
0.5	600	350	3927
0.5	600	400	3978
0.5	700	100	3811
0.5	700	150	3742
0.5	700	200	3780
0.5	700	250	3761
0.5	700	300	3839
0.5	700	350	3901
0.5	700	400	3866
0.5	800	100	3731
0.5	800	150	3776
0.5	800	200	3818
0.5	800	250	3800
0.5	800	300	3738
0.5	800	350	3792
0.5	800	400	3857

Escenario 12:

TABLA 18: VALORES FITNESS ESCENARIO 12

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	100	100	3082
0.1	100	150	3178
0.1	100	200	3172
0.1	100	250	3151
0.1	100	300	3152
0.1	100	350	3160
0.1	100	400	3132

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.1	200	100	3073
0.1	200	150	3099
0.1	200	200	3117
0.1	200	250	3125
0.1	200	300	3138
0.1	200	350	3138
0.1	200	400	3200
0.1	300	100	3002
0.1	300	150	2999
0.1	300	200	3051
0.1	300	250	3135
0.1	300	300	3067
0.1	300	350	3091
0.1	300	400	3100
0.1	400	100	2964
0.1	400	150	3011
0.1	400	200	3058
0.1	400	250	3044
0.1	400	300	3097
0.1	400	350	3122
0.1	400	400	3087
0.1	500	100	2994
0.1	500	150	2900
0.1	500	200	2891
0.1	500	250	2942
0.1	500	300	3028
0.1	500	350	2979
0.1	500	400	3040
0.1	600	100	2892
0.1	600	150	2919
0.1	600	200	2978
0.1	600	250	2863
0.1	600	300	2966
0.1	600	350	2972
0.1	600	400	3012
0.1	700	100	2938
0.1	700	150	2976
0.1	700	200	2841
0.1	700	250	2916
0.1	700	300	2994
0.1	700	350	2987
0.1	700	400	2930
0.1	800	100	2899
0.1	800	150	2877
0.1	800	200	2916
0.1	800	250	2949
0.1	800	300	2951
0.1	800	350	2978
0.1	800	300	2951
0.1	100	350	2978
0.1	100	400	2969

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	100	100	3108
0.2	100	150	3208
0.2	100	200	3221
0.2	100	250	3183
0.2	100	300	3163
0.2	200	350	3193
0.2	200	400	3194
0.2	200	100	3134
0.2	200	150	3066
0.2	200	200	3162
0.2	200	250	3166
0.2	200	300	3031
0.2	300	350	3044
0.2	300	400	3156
0.2	300	100	3084
0.2	300	150	2992
0.2	300	200	3103
0.2	300	250	3054
0.2	300	300	3115
0.2	400	350	3164
0.2	400	400	3168
0.2	400	100	2864
0.2	400	150	2971
0.2	400	200	3002
0.2	400	250	2997
0.2	400	300	3054
0.2	500	350	3011
0.2	500	400	3122
0.2	500	100	2999
0.2	500	150	2924
0.2	500	200	2928
0.2	500	250	2950
0.2	500	300	3090
0.2	600	350	3082
0.2	600	400	3020
0.2	600	100	2894
0.2	600	150	2986
0.2	600	200	2853
0.2	600	250	2948
0.2	600	300	3032
0.2	700	350	3029
0.2	700	400	2975
0.2	700	100	3006
0.2	700	150	2901
0.2	700	200	2925
0.2	700	250	2974
0.2	700	400	3026
0.2	800	100	2903
0.2	800	150	2956
0.2	800	200	2969
0.2	800	250	2978

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.2	800	300	2948
0.2	800	350	3030
0.2	800	400	2964
0.3	100	100	3180
0.3	100	150	3229
0.3	100	200	3138
0.3	100	250	3177
0.3	100	300	3196
0.3	100	350	3223
0.3	100	400	3169
0.3	200	100	3018
0.3	200	150	3065
0.3	200	200	3058
0.3	200	250	3087
0.3	200	300	3118
0.3	200	350	3160
0.3	200	400	3179
0.3	300	100	3021
0.3	300	150	3037
0.3	300	200	3036
0.3	300	250	3090
0.3	300	300	3128
0.3	300	350	3112
0.3	300	400	3150
0.3	400	100	2973
0.3	400	150	3017
0.3	400	200	3003
0.3	400	250	3008
0.3	400	300	3120
0.3	400	350	3091
0.3	400	400	3096
0.3	500	100	2992
0.3	500	150	3019
0.3	500	200	2987
0.3	500	250	2977
0.3	500	300	3013
0.3	500	350	3020
0.3	500	400	3049
0.3	600	100	2907
0.3	600	150	2925
0.3	600	200	2926
0.3	600	250	2907
0.3	600	300	3003
0.3	600	350	3016
0.3	600	400	3021
0.3	700	100	2865
0.3	700	150	2922
0.3	700	200	2960
0.3	700	250	2950
0.3	700	300	2987
0.3	700	350	2999

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del fitness
0.3	700	400	3002
0.3	800	100	2818
0.3	800	150	2890
0.3	800	200	3011
0.3	800	250	2841
0.3	800	300	2993
0.3	800	350	2977
0.3	800	400	2956
0.4	100	100	3193
0.4	100	150	3243
0.4	100	200	3177
0.4	100	250	3217
0.4	100	300	3135
0.4	100	350	3160
0.4	100	400	3133
0.4	200	100	3004
0.4	200	150	3042
0.4	200	200	3116
0.4	200	250	3162
0.4	200	300	3109
0.4	200	350	3224
0.4	200	400	3129
0.4	300	100	3046
0.4	300	150	3108
0.4	300	200	3101
0.4	300	250	3074
0.4	300	300	3089
0.4	300	350	3112
0.4	300	400	3162
0.4	400	100	2983
0.4	400	150	3040
0.4	400	200	3010
0.4	400	250	3018
0.4	400	300	3105
0.4	400	350	3168
0.4	400	400	3106
0.4	500	100	2956
0.4	500	150	2945
0.4	500	200	2993
0.4	500	250	3042
0.4	500	300	3077
0.4	500	350	3089
0.4	500	400	3097
0.4	600	100	2930
0.4	600	150	2996
0.4	600	200	2989
0.4	600	250	2979
0.4	600	300	3082
0.4	600	350	3087
0.4	600	400	2998
0.4	700	100	3004

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.4	700	150	2942
0.4	700	200	2942
0.4	700	250	2950
0.4	700	300	2952
0.4	700	350	3042
0.4	700	400	3034
0.4	800	100	2926
0.4	800	150	2921
0.4	800	200	2902
0.4	800	250	2992
0.4	800	300	2953
0.4	800	350	2954
0.4	800	400	3082
0.5	100	100	3131
0.5	100	150	3189
0.5	100	200	3183
0.5	100	250	3199
0.5	100	300	3191
0.5	100	350	3252
0.5	100	400	3207
0.5	200	100	3181
0.5	200	150	3131
0.5	200	200	3141
0.5	200	250	3149
0.5	200	300	3126
0.5	200	350	3248
0.5	200	400	3182
0.5	300	100	3056
0.5	300	150	2994
0.5	300	200	3001
0.5	300	250	3093
0.5	300	300	3084
0.5	300	350	3064
0.5	300	400	3155
0.5	400	100	3014
0.5	400	150	2919
0.5	400	200	3060
0.5	400	250	3051
0.5	400	300	3181
0.5	400	350	3116
0.5	400	400	3178
0.5	500	100	2999
0.5	500	150	3076
0.5	500	200	2994
0.5	500	250	2984
0.5	500	300	3070
0.5	500	350	3047
0.5	500	400	3143
0.5	600	100	2988
0.5	600	150	2953
0.5	600	200	3009

Mutación	Iteraciones	Población	Valor del <i>fitness</i>
0.5	600	250	3119
0.5	600	300	3099
0.5	600	350	3076
0.5	600	400	3125
0.5	700	100	3002
0.5	700	150	2963
0.5	700	200	2957
0.5	700	250	3004
0.5	700	300	2986
0.5	700	350	3032
0.5	700	400	3026
0.5	800	100	2932
0.5	800	150	2982
0.5	800	200	2872
0.5	800	250	2967
0.5	800	300	2953
0.5	800	350	2948
0.5	800	400	3017