

PLATAFORMA LOGÍSTICA REGIONAL DE DISTRIBUCIÓN DE
CONTENEDORES PARA LA EFICIENCIA DE LOS BUQUES QUE PASAN POR
EL PUERTO COROZAL

RONALD PAEZ MORENO 625117
EDUARD DAVID MORENO 625045

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
ALTERNATIVA VISITA TECNICA INTERNACIONAL
BOGOTÁ D.C.
2017

PLATAFORMA LOGÍSTICA REGIONAL DE DISTRIBUCIÓN DE
CONTENEDORES PARA LA EFICIENCIA DE LOS BUQUES QUE PASAN POR
EL PUERTO COROZAL

RONALD PAEZ MORENO 625117
EDUARD DAVID MORENO 625045

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Sistemas

Director
PhD. Alexandra María López Sevillano

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
ALTERNATIVA VISITA TECNICA INTERNACIONAL
BOGOTÁ D.C.
2017



Atribución 2.5 Colombia (CC BY 2.5 CO)

Este es un resumen legible por humanos (y no un sustituto) de la [licencia](#).

[Advertencia](#)



Usted es libre para:



Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y crear a partir del material

Para cualquier propósito, incluso comercialmente

El licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.

No hay restricciones adicionales — Usted no puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Aviso:

Usted no tiene que cumplir con la licencia para los materiales en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una excepción o limitación aplicable.

No se entregan garantías. La licencia podría no entregarle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como relativos a publicidad, privacidad, o derechos morales pueden limitar la forma en que utilice el material.

Nota de Aceptación

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Facultad de Ingeniería y la Universidad Católica de Colombia para optar al título de Ingenieros de Sistemas.

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que de alguna manera nos apoyaron, a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo gracias, en especial a la PhD Alexandra López, director de nuestro trabajo, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos meses.

Especial agradecimiento a nuestra familias por su confianza y respaldo sin ellos no hubiéramos podido realizar este trabajo, quisiéramos hacer extensiva nuestra gratitud a nuestros compañeros y amigos que nos dieron su apoyo en los momentos más necesitados.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
1. GENERALIDADES	10
1.1 ANTECEDENTES	10
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.2.1 Descripción del Problema:	11
1.2.2 Formulación del Problema.	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo general.	12
1.3.2 Objetivos Específicos	13
1.4 JUSTIFICACIÓN	13
1.4 DELIMITACIÓN	14
1.4.1 Alcance.	14
1.4.2 Espacio.	14
1.4.3 Tiempo.	14
1.4.4 Contenido.	14
1.4.5 Recursos.	15
1.4.6 Limitaciones.	15
1.6 MARCO REFERENCIAL	15
1.6.1 Marco conceptual	15
1.6.2 Marco Teórico.	17
1.6.2.1 Naturaleza de la Metaheurística	18
1.6.2.2 Algoritmos del Agente Viajero	20
1.6.2.3 Algoritmo del Subviaje Inverso	21
1.6.2.4 Algoritmo Búsqueda Tabú	24
1.6.2.5 Algoritmo Templado simulado	27
1.6.2.6 Algoritmos Genéticos	30
1.6.3 Marco Legal y Regulatorio	37
1.6.4 Marco Demográfico	38
1.6.5 Marco Geográfico	44
1.7 METODOLOGIA	47
1.7.1 Tipo de Estudio	47
1.7.2 Fuentes de Información	48
1.8 DISEÑO METODOLOGICO	48
2. MODELOS DE ALGORITMOS	49
2.1 Solución de problemas Metaheurísticos	49
2.2 Algoritmos Evolutivos	50
2.3 Algoritmos Evolutivos Descentralizados	51
2.3 Algoritmos Evolutivos Celulares	52
3. ANALISIS DE LA INFORMACION	54
3.1 Evolución del tonelaje y tránsitos	54
3.2 Ampliación del canal de Panamá	55
3.3 Crecimiento portuario y su relación con el canal	56
3.4 Proyecto Portuario Coloza	58
3.5 Analisis visita Panamá	60
3.6 Visita a la universidad tecnológica de Panamá.	60

3.7 Visita a las esclusas de Miraflores.	62
3.8 Visita a las esclusas de Cocolí.	65
4 RESULTADOS Y ESTRUCTURA DE LA ESTRATEGIA	67
4.1 Componentes de un algoritmo Genético	68
4.2 Definición del problema a optimizar	68
4.3 Representación para la solución del problema	68
4.4 Decodificación del cromosoma	69
4.5 Evolución del individuo	69
4.6 Operadores Evolutivos: Selección	69
4.7 Operadores Genéticos: cruce y mutación	70
4.8 Probabilidades de cruzamiento y mutación	71
5 CONCLUSIONES	72
6 RECOMENDACIONES	73
7 TRABAJOS FUTUROS	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Valor de la Función Objetivo	20
Figura 2 Problema del Agente Viajero	21
Figura 3 Inversión del Subviaje	23
Figura 4 Datos de Árbol de Expansión Mínima	26
Figura 5 Pirámide de la población	43
Figura 6 Mapa Geográfico Panamá	46
Figura 7 Precipitación pluvial y temperatura media	47
Figura 8. Técnicas de optimización	49
Figura 9 Funcionamiento de un Algoritmo Evolutivo.	51
Figura 10 Grafos de conectividad entre individuos	52
Figura 11 Población toroidal (izquierda) y vecindarios más típicamente utilizados (derecha) en cGAs	53
Figura 12 Tránsitos vs Tonelajes CP/SUAB AF1914 - AF2014	54
Figura 13 Evolución- toneladas por segmento AF 1995-2014	55
Figura 14 Desarrollo portuario panameño.	57
Figura 15 Movimiento portuario panameño 2001-2014	58
Figura 16 Puerto Corozal	59
Figura 17 Puerto Corozal Fases	60
Figura 18 Imagen Conferencia universidad Tecnológica de Panamá	62
Figura 19 Esclusas de Miraflores y Cabina de Control del Cana	63
Figura 20 Esclusas de Miraflores y sistematización y control por software	65
Figura 21 Esclusas de Cocolí	66
Figura 22 Planificación y Gestión de redes de distribución	67

LISTA DE ANEXOS

ANEXO EL Impacto positivo de un proyecto	76
--	----

GLOSARIO

ALGORITMO: Es una secuencia de instrucciones que representan un modelo de solución para determinado tipo de problemas o bien como un conjunto de instrucciones que realizadas en orden conducen a obtener la solución de un problema.

METAHEURÍSTICA: Una metaheurística es un método de solución general que proporciona tanto una estructura general como criterios estratégicos para desarrollar un método heurístico específico que se ajuste a un tipo particular de problema.

MUTACIÓN: Es, en el campo de la computación evolutiva, un operador genético usado para mantener la diversidad genética de una población.

RECOMBINACION: Es un operador genético utilizado en los algoritmos genéticos para generar variación en la programación de un cromosoma o cromosomas de una generación a la siguiente. Es análogo a la recombinación de la reproducción sexual biológica, en la que los algoritmos genéticos se inspiran.

ESTOCÁSTICOS: En estadística, y específicamente en la teoría de la probabilidad, un proceso estocástico es un concepto matemático que sirve para tratar con magnitudes aleatorias que varían con el tiempo, o más exactamente para caracterizar una sucesión de variables aleatorias (estocásticas) que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo.

ALGORITMOS GENÉTICOS: Estos algoritmos hacen evolucionar una población de individuos sometiéndola a acciones aleatorias semejantes a las que actúan en la evolución biológica (mutaciones y recombinaciones genéticas), así como también a una selección de acuerdo con algún criterio, en función del cual se decide cuáles son los individuos más adaptados, que sobreviven, y cuáles los menos aptos, que son descartados.

EVOLUCION BIOLÓGICA: Es el cambio en caracteres fenotípicos y genéticos de poblaciones biológicas a través de generaciones. Dicho proceso ha originado la diversidad de formas de vida que existen sobre la Tierra a partir de un antepasado común.

ALEATORIEDAD: Se asocia a todo proceso cuyo resultado no es previsible más que en razón de la intervención del azar. El resultado de todo suceso aleatorio no puede determinarse en ningún caso antes de que este se produzca. El estudio de los fenómenos aleatorios queda dentro del ámbito de la teoría de la probabilidad y, en un marco más amplio, en el de la estadística.

ESTRATEGIA EVOLUTIVA: Las Estrategias Evolutivas son un tipo de Algoritmos Evolutivos que se caracterizan principalmente por: La selección de individuos para

la recombinación es imparcial y es un proceso determinista, se diferencian del resto de los Algoritmos Evolutivos principalmente por la forma del operador de mutación y son aplicadas principalmente en problemas de optimización continua donde la representación es a través de vectores de números reales. Fueron originalmente creadas en la Universidad Técnica de Berlín en 1964.

PROGRAMACION EVOLUTIVA: Es una rama de la computación evolutiva. La programación evolutiva es prácticamente una variación de los algoritmos genéticos, donde lo que cambia es la representación de los individuos.

PROGRAMACION GENETICA: Es una metodología basada en los algoritmos evolutivos e inspirada en la evolución biológica para desarrollar automáticamente programas de computadoras que realicen una tarea definida por el usuario.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la mayoría de las organizaciones centran sus estrategias en la implementación de procesos que mejoren sus operaciones de control, transporte, carga y distribución desde el punto de origen hasta un punto de consumo con el fin de cumplir con los requisitos del cliente.

Para las organizaciones es importante avanzar y mejorar continuamente sus operaciones en función del cliente, de acuerdo a Méndez¹ es importante mejorar la función de servicio al cliente, entendiendo a ésta como una función que depende de muchas variables entre las que priman la calidad del producto o del servicio, el precio y el tiempo de entrega. Para mejorar la función de servicio al cliente se ha incorporado a la gestión de las actividades del negocio la Logística Empresarial que se compone de la logística de suministros, la de manufactura y la de productos o de distribución; ésta última encargada de llevar el bien a manos del cliente.

La planificación y gestión de las redes de distribución requiere de técnicas eficientes de optimización de rutas marítimas. El sistema de optimización de rutas disponible para el canal ampliado, no solo afecta el desarrollo de opciones sino, también las decisiones tácticas y estratégicas como el tamaño óptimo de flota en puertos, estimación de costes, políticas de publicidad y optimización de tiempos.

Aunque no exista un punto que pueda considerarse más importante que otro dentro de la cadena logística, se sabe que al final de la cadena esta función de servicio se vuelve más crítica, ya que se tiene un mayor contacto con el cliente que es el eje de trabajo logístico y además en esta etapa de distribución se trabaja con un producto terminado cuyo valor agregado es más alto y costoso para la organizaciones, por esto se toma la problemática de distribución física de los bienes/servicios a través de técnicas no convencionales, ya que las convencionales no ofrecen soluciones adecuadas al caso de colocación de las mercancías en manos del cliente, las principales técnicas consisten en modelos convencionales de transporte cuya solución cae en el campo de la programación lineal y la programación entera, por ejemplo Mendez² nos presenta otras técnicas como la teoría de grafos abordan y resuelven los problemas de distribución, algoritmos como el de Etiquetas o el de Dijkstra resuelven efectivamente problemas de rutas mínimas, flujos máximos o costos mínimos, sin embargo caen en problemas propios de su ejecutoria algorítmica elevando su tiempo de ejecución al contemplar costos no lineales.

¹ MENDEZ, German. Diseño de un Algoritmo Genético para un Sistema Logístico de Distribución [en línea]. Vol. 5, Bogotá: Universidad Francisco José de Caldas [Citado 12-Marzo-2017]. Disponible en Internet: < URL: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/3495/5043>>

² Ibíd., p. 21

La planificación y gestión de redes de distribución generan una variedad de problemas de decisión que dependen de la optimización de operaciones, con espacios de soluciones muy grandes y además crecientes exponencialmente con el número de destinos y tamaño de flota. Para Medina³ esta explosión combinatoria de soluciones y la complejidad de las variables a optimizar impiden que la optimización pueda ser abordada con técnicas de optimización exactas, por el contrario, las técnicas meta-heurísticas y probabilísticas son alternativas siempre viables que, aunque no garantizan alcanzar la solución óptima absoluta, sí pueden proporcionar buenas soluciones a problemas reales complejos.

Para el proceso logística y según Mendez⁴ el uso de modelos heurísticos que se basan en el juicio y la experiencia, de los cuales se destaca el Método del Ahorro que permite realizar las secuencias del despacho de vehículos y que en últimas determina medios de transporte asignados a rutas de distribución. Sin embargo, sólo contempla restricciones de un solo tipo y su extensión a varias características limitantes implica una modificación a su algoritmo. Como si fuera poco se consume más esfuerzo y tiempo en determinar una "buena solución".

³ MEDINA, Josep. Optimización de Redes de Distribución con Algoritmos Genético [en línea]. Vol. 5, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia España [Citado 8-Abril-2017]. Disponible en Internet: <http://personales.upv.es/vyepesp/00MYX07.pdf>.

⁴ MENDEZ, German. Diseño de un Algoritmo Genético para un Sistema Logístico de Distribución [en línea]. Vol. 5, Bogotá: Universidad Francisco José de Caldas [Citado 12-Marzo-2017]. Disponible en Internet: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/3495/5043>.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Luego de su separación de Colombia en 1903 se dieron serios inicios a la construcción, debido a los grandes avances tecnológicos y al apoyo de inversionistas, Francia fue el primero en tomar la iniciativa pero fracasó, los Estados Unidos aprovecharon el esfuerzo de Francia y culminó el trabajo inaugurando el canal en 1914.

Una década después se inaugura la ampliación del Canal de Panamá, firme con la aseveración de su nueva visión (líder en conectividad global e impulsor del progreso de Panamá). El impacto que tiene el Canal ampliado con la apertura al servicio del comercio mundial con el tercer juego de esclusas, impulsa a un cambio en la eficiencia del comercio marítimo mundial.

Los puertos marítimos de un país constituyen uno de sus activos logísticos estratégicos más relevantes, dada su participación en el intercambio internacional de bienes. De acuerdo con estadísticas de la Organización Mundial de Comercio (OMC, 2012) más del 80% de las mercancías que se comercializan en el mundo se mueven por vía marítima, siendo los puertos los nodos que permiten operar dicho intercambio.

La posibilidad de que los buques neopanamax transiten por el Canal de Panamá determina nuevas rutas de transporte y conecta de manera innovadora los mercados a nivel mundial. De esta forma Panamá aspira a convertirse en el corto plazo en una plataforma logística regional.

Históricamente, los indicadores de tránsito y tonelaje a través del Canal de Panamá crecieron proporcionalmente hasta mediados de los años 70; cuando se introducen embarcaciones de mayor tonelaje. A inicios de los 80 el número de tránsitos se estabilizó en el rango de 12,000 a 14,000 buques por año, mientras que el tonelaje continuó creciendo.

El segmento de mayor crecimiento en concepto de tonelaje de las últimas dos décadas ha ocurrido en el segmento de buques portacontenedores, debido al crecimiento del comercio mundial y a la globalización.

Desde sus inicios, los buques graneleros dominaron los tránsitos a través del Canal de Panamá hasta el año 2001 cuando la entrada de China a la Organización Mundial del Comercio (OMC), cambió este comportamiento. El segmento de contenedores dejó un crecimiento vertiginoso que impactó el tonelaje a través del Canal de Panamá, en el año 2008, este segmento sufrió una contracción debido a la crisis económica mundial registrada ese año, que duro hasta el año 2010.

El Canal de Panamá es el eje dinamizador de los Activos Logísticos del país, por tal motivo, la estrategia de modernización de los puertos panameños inició en la década de los años 90 a través de modelos de concesión a operadores portuarios privados internacionales, tales como Manzanillo International Terminal (MIT), Colon Container Terminal (CCT- Evergreen) y Panamá Ports con dos terminales (PPC-Cristóbal en el Atlántico y PPC- Balboa en el Pacífico).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del Problema: Desde 1999 Panamá administra la vía interoceánica como un negocio rentable que en siete años ha significado más de 3.000 millones de dólares para Panamá. Desde el año 2000, se empezó la ampliación del Canal de Panamá, una decisión difícil y arriesgada.

Hasta el momento, 10 servicios de línea Neopanamax han sido redirigidos a la vía acuática reconociendo el valor de la ruta. Los puertos de la costa este de los Estados Unidos, por ejemplo, continúan invirtiendo en grandes mejoras de infraestructura para acomodar los buques más grandes y el volumen de mercancías facilitada por la ampliación. En cuanto al tonelaje, el registro del 2016 fue de 330 millones de toneladas, reflejando un aumento cercano al 6.5%.

El interés del mercado en otras opciones para beneficio del Canal y de Panamá es grande sin dejar de lado el principal negocio que es pasar barcos, el canal se ha convertido en un negocio corporativo, la manera de fortalecer esta ruta interoceánica y su lado ampliado, recién inaugurado, es abriéndole la puerta a una gama de alternativas a nuevos negocios.

En ese sentido, el Canal de Panamá ha identificado nueve áreas con gran potencial. Las cuatro primeras son las prioridades inmediatas:

- El Puerto Corozal.

- Una terminal RoRo (roll on-roll off), es decir, para trasbordo de cargamento rodado como vehículos.
- Parques logísticos.
- Terminal de gas natural licuado (GNL).
- Bunkering o suministro de combustible a los buques.
- Generación de energía.
- Operaciones de top-off o trasiego.
- Reparación de buques
- Poliductos

Para optimizar los procesos logísticos y dar valor agregado al paso de barcos, que es principal negocio del canal, es necesario aplicar métodos matemáticos que apoyen las nuevas dinámicas organizacionales, en este contexto aplicar algoritmos eficientes para resolver problemas complejos (tanto problemas de búsqueda como de optimización) es uno de los aspectos más importantes en el campo de informática. El objetivo perseguido en este campo es fundamentalmente la aplicación de nuevos métodos capaces de resolver problemas logísticos complejos en el menor tiempo y con el menor esfuerzo computacional.

En consecuencia, según Díaz⁵ el uso tanto de algoritmos exactos como heurísticos para resolver problemas complejos de optimización está creciendo de forma evidente en la última década. La razón es que continuamente se están afrontando nuevos problemas de ingeniería, mientras que al mismo tiempo cada vez están disponibles mejores recursos.

1.2.2 Formulación del Problema.

¿Cómo un algoritmo genético apoya la plataforma logística regional de distribución de contenedores para la eficiencia de los buques que pasan el puerto de Corozal?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general.

Aplicar el algoritmo genético para apoyar la plataforma logística regional de distribución de contenedores en la eficiencia de los buques que pasan el puerto de Corozal.

⁵ DIAZ, Bernabé. Diseño e Implementación de Algoritmos Genéticos Celulares para Problemas Complejos. [en línea]. Vol. 1, Málaga: Universidad de Málaga [Citado 12-Junio-2017]. Disponible en Internet: < URL: <http://neo.lcc.uma.es/tesis/PhD-Bernabe.pdf>.>

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir el modelo matemático que permita la eficiencia de la distribución de contenedores en los buques.
- Identificar las variables del modelo de distribución logístico para simular su comportamiento.
- Evaluar la simulación para determinar la eficiencia y confiabilidad de los resultados.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El modo de transporte que más impacto ha tenido por la globalización en los últimos 20 años ha sido el marítimo, si se considera su amplia cobertura geográfica, los grandes volúmenes que se pueden desplazar por este medio y el alto nivel de eficiencia con el que esto se logra podría decirse que es el mas importante.

Desde el punto de vista de su función física, los puertos son instalaciones provistas de espacios de aguas tranquilas que permiten la conectividad entre el medio marítimo y el terrestre, mediante la existencia de tres zonas principales: la zona marítima o de acceso, la zona terrestre para maniobras y la zona de enlace con los modos terrestres.

La primera de ellas está constituida por las obras y el señalamiento marítimo que permite la entrada de las diferentes embarcaciones que arriban al puerto, a través del canal principal de acceso, la dársena de la ciaboga y los canales secundarios hacia sus distintas posiciones de atraque. Su capacidad está limitada, por una parte, al ancho de los canales y al diámetro de la dársena, así como a la profundidad mínima de sus aguas, que es conocida como el calado.

La denominada zona terrestre, está integrada principalmente por los muelles ubicados en las diferentes terminales con las que cuenta cada puerto comercial, con base en su vocación a los distintos tipos de mercancías (graneles, líquidos, vehículos, carga general, refrigerada y contenedores, entre otras) y al equipamiento de que disponen para efectuar las maniobras de carga y descarga de los buques.

Cada terminal cuenta con cierto número de posiciones de atraque donde se

atiende a los barcos en razón de su eslora (longitud) y del calado mínimo necesario de acuerdo con el tonelaje que transporten. Su capacidad está determinada por el largo de los muelles y por el rendimiento y productividad de su equipamiento, el cual comúnmente se mide por el número de operaciones realizadas o por las toneladas manejadas por hora.

Dentro de la zona de enlace, se encuentran las superficies e instalaciones que permiten el acceso, circulación, estacionamiento y operación de los modos de transporte terrestre de carga, así como las destinadas al almacenamiento de transferencia de las mercancías operadas, tanto de importación como de exportación. También comprende los circuitos de reconocimiento aduanero, bodegas fiscalizadas y las oficinas de las distintas autoridades, servicios y actores privados que actúan dentro del recinto portuario.

1.4 DELIMITACIÓN

1.4.1 Alcance.

Este presenta un algoritmo para la resolución de un problema de asignación de rutas y destinos en una flota de barcos que pasan por el puerto Cocolí. El objetivo es minimizar los costes y tiempos asociados al transporte satisfaciendo una serie de restricciones.

Para la resolución de dicho problema se han empleado técnicas de búsqueda inteligente por profundización iterativa que permiten ir refinando progresivamente la calidad de una solución inicial dada. Así, cuanto mayor sea el tiempo de optimización, mejor será el resultado obtenido. Por lo tanto, si el algoritmo se ejecuta durante el tiempo necesario devolverá la solución óptima. Gracias al refinamiento progresivo de la solución, si en un instante determinado se dispone de una solución que satisface las necesidades previstas, aun a pesar de no ser la óptima, se puede interrumpir el proceso de búsqueda.

1.4.2 Espacio.

Se desarrollará en la Universidad Católica de Colombia.

1.4.3 Tiempo.

La duración estimada para el desarrollo del trabajo es de seis meses.

1.4.4 Contenido.

Este documento contiene la información consultada en las páginas web relacionadas con la operación del canal de Panamá, en libros sobre el tema a desarrollar, trabajos relacionados, y la información recolectada durante la visita técnica a Panamá acerca de operación y optimización de los procesos con los cuales el canal opera.

1.4.5 Recursos.

Para el diseño y ejecución de este trabajo de grado se necesitó la consecución de un conjunto de personas, elementos materiales y financieros que hicieron posible dicha realización. El talento Humano el más importante fue compuesto por mi compañero y por los distintos asesores y el apoyo de director de trabajo de grado. Los materiales que puntualmente utilizamos fueron en su mayoría computadores, hojas y útiles de escritorio. Los recursos financieros comprenden el valor de la visita internacional y el valor del desplazamiento a la universidad.

1.4.6 Limitaciones.

En la realización de la investigación se evidencio que se encontró mucha información pero en idiomas que no son del domino de nosotros los investigadores, Uno de factores que más dificultades nos causo fue la falta de tiempo para llevar a cabo las diversas etapas de la investigación.

1.6 MARCO REFERENCIAL

1.6.1 Marco conceptual

ALGORITMO: Es una secuencia de instrucciones que representan un modelo de solución para determinado tipo de problemas. o bien como un conjunto de instrucciones que realizadas en orden conducen a obtener la solución de un problema.

CONTENEDOR: 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.

EFICIENCIA: Capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función.

LOGISTICA: Conjunto de los medios necesarios para llevar a cabo un fin determinado de un proceso complicado.

MARCO LEGAY Y REGULATORIO: Son leyes y reglamentos que gobiernan al entorno de innovación. Puede incluir incentivos fiscales y reglamentación de ciertas tecnologías o actividades como la protección a la propiedad intelectual.

METAHEURÍSTICA: Una metaheurística⁶ es un método de solución general que proporciona tanto una estructura general como criterios estratégicos para desarrollar un método heurístico específico que se ajuste a un tipo particular de problema.

OPTIMIZAR: Hace referencia a buscar la mejor manera de realizar una actividad. El término se utiliza mucho en el ámbito de la informática. La optimización de software busca adaptar los programas informáticos para que realicen sus tareas de la forma más eficiente posible.

RECURSOS FINANCIEROS: Capital y otros instrumentos financieros que puedan cubrir los costos que generan distintos aspectos del proceso de innovación. Toma características especiales porque los proyectos que se desea incentivar tienen un perfil de riesgo muy diferente a los proyectos y emprendimientos comerciales convencionales. La Estrategia anterior se refiere a estos recursos como capital financiero, recursos financieros o capital de riesgo.

SIMULACIÓN: Recreación de procesos que se dan en la realidad mediante la construcción de modelos que resultan del desarrollo de ciertas aplicaciones específicas. Los programas de simulación están muy extendidos y tienen capacidades variadas, desde sencillos juegos de ordenador hasta potentes aplicaciones que permiten la experimentación industrial sin necesidad de grandes y onerosas estructuras; un caso típico de esto último sería el túnel de viento en aeronáutica.

SOSTENIBILIDAD: Es la cualidad de poderse mantener por sí mismo, sin ayuda exterior y sin agotar los recursos disponibles.

TALENTO HUMANO: Son las personas en edades productivas que residen en el país o panameñas en el extranjero que puedan participar en el sector. La calidad y

⁶ HILLIER, Frederick S. Introducción a Investigación de Operaciones. 9ª ed. EE.UU: Mc Graw Hill 2010. p. 563

nivel de sofisticación de su trabajo es un factor determinante para el desarrollo del país. La estrategia original utiliza varios términos sinónimos para este pilar: recursos humanos, capital humano, recursos de conocimiento.

1.6.2 Marco Teórico.

Tradicionalmente, el estudio de problemas de distribución física ha sido tratado mediante técnicas de Programación Dinámica y de Investigación Operativa. Los problemas comunes, como el problema del vendedor viajero, obtención de la ruta más corta, etc., utilizan, en su mayoría, la teoría de grafos y la programación lineal.

Sin embargo, a medida que la complejidad y número de restricciones implicadas en el problema aumenta, se hace más difícil su resolución mediante este tipo de técnicas. Por tanto, resulta necesario utilizar técnicas alternativas para los problemas en los que, como éste, la complejidad y la cantidad de combinaciones posibles hacen complicado su tratamiento.

Según Hillier⁷ los algoritmos que pueden usarse para obtener una solución óptima para varios tipos de modelos de investigación de operaciones (IO), entre los cuales se incluyen ciertas clases de modelos de programación lineal, programación entera y programación no lineal. Estos algoritmos han probado ser invaluable para abordar una amplia variedad de problemas prácticos. Sin embargo, este enfoque no siempre funciona. Algunos problemas (y los correspondientes modelos de IO) pueden ser tan complicados que no es posible resolverlos para encontrar una solución óptima. En tales situaciones, aún es importante encontrar una buena solución factible que al menos esté razonablemente cerca de ser óptima. Por lo general, para buscar esa solución se utilizan métodos heurísticos.

Para Hillier⁸ un método heurístico es un procedimiento que trata de descubrir una solución factible muy buena, pero no necesariamente una solución óptima, para el problema específico bajo consideración. No puede darse una garantía acerca de la calidad de la solución que se obtiene, pero un método heurístico bien diseñado puede proporcionar una solución que al menos está cerca de ser óptima (o concluir que no existen tales soluciones). El procedimiento también debe ser suficientemente eficiente como para manejar problemas muy grandes. Con frecuencia, el procedimiento es un algoritmo iterativo novedoso, donde cada iteración implica la realización de una búsqueda de una nueva solución que puede

⁷ *Ibíd.*, p 563

⁸ *Ibíd.*, p 563

ser mejor que la solución que se encontró con anterioridad. Cuando el algoritmo termina después de un tiempo razonable, la solución que proporciona es la mejor que se pudo encontrar en cualquier iteración.

El inicio de la utilización de las estrategias evolutivas en la solución de este tipo de problemas data del año 1960 cuando John Holland planteó la posibilidad de incorporar los mecanismos naturales de selección y supervivencia a la resolución de problemas de Inteligencia Artificial (“Adaptation in Natural and Artificial Systems”). Esta investigación fue fundamentalmente académica, siendo su realización práctica en aquella época muy difícil. Llamada algoritmos evolutivos, y que fueron enmarcados dentro de las técnicas no convencionales de optimización para problemas del mundo real.

A partir de la creación de estas estrategias evolutivas aparecieron otras vías de investigación como son: Algoritmos Genéticos (Goldberg), Programación Genética (Koza), Programación Evolutiva (Fogel), y Estrategias de Evolución (Rechenberg/Schwefel), en donde la estrategia de evolución más conocida hoy en día son los algoritmos genéticos.

Las aplicaciones de los algoritmos genéticos han sido muy conocidas en áreas como diseño de circuitos, cálculo de estrategias de mercado, reconocimiento de patrones, acústica, ingeniería aeroespacial, astronomía y astrofísica, química, juegos, programación y secuenciación de operaciones, contabilidad lineal de procesos, programación de rutas, interpolación de superficies, tecnología de grupos, facilidad en diseño y localización, transporte de materiales y muchos otros problemas que involucran de alguna manera procesos de optimización.

Para Hillier⁹ los métodos heurísticos se basan en ideas simples, de sentido común. Estas ideas deben ajustarse al problema específico de interés. En consecuencia, los métodos heurísticos tienden a ser individualizados por naturaleza, cada método se diseña para abordar un tipo específico de problema en vez de una variedad de aplicaciones.

1.6.2.1 Naturaleza de la Metaheurística

Para ilustrar la naturaleza de la metaheurística se iniciará con un ejemplo de un problema de programación lineal pequeño pero difícil.

Consideremos el siguiente problema:

Maximizar $f(x)$ $12x_5 + 975x_4 + 28\,000x_3 + 345\,000x_2 + 1\,800\,000x_1$, sujeto a

⁹ HILLIER, Frederick S. Introducción a Investigación de Operaciones. 9ª ed. EE.UU: Mc Graw Hill 2010. p. 563

$$0 \leq x \leq 31.$$

En la figura se grafica la función objetivo $f(x)$ sobre los valores factibles de la variable única x . Esta gráfica revela que el problema tiene tres óptimos locales, uno en $x = 5$, otro en $x = 20$ y el tercero en $x = 31$, donde el óptimo global se encuentra en $x = 20$.

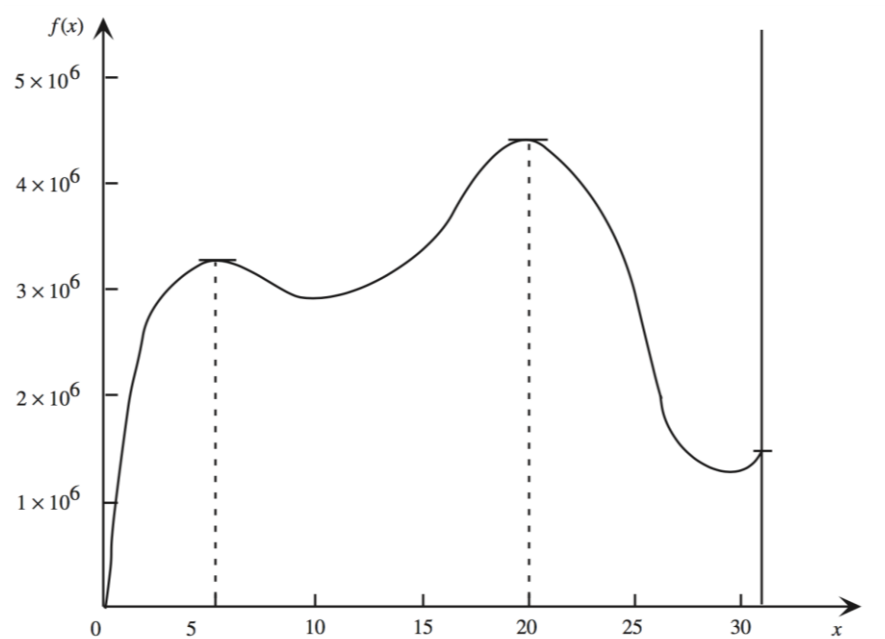
La función objetivo $f(x)$ es tan complicada que sería difícil determinar dónde se encuentra el óptimo global sin el beneficio de observar la gráfica de la figura 13.1. Se podría usar el cálculo, pero esto requeriría resolver una ecuación polinomial de cuarto grado (después de igualar a cero la primera derivada) para determinar dónde se encuentran los puntos críticos. Incluso sería difícil determinar que $f(x)$ tiene óptimos locales múltiples en vez de un solo óptimo global.

Este problema es un ejemplo de un problema de programación no convexa, un tipo especial de programación no lineal que por lo general tiene óptimos locales múltiples.

Para Hillier¹⁰ problemas de programación no lineal que parecen ser muy difíciles, como éste, un método heurístico común es ejecutar un procedimiento de mejora local. Tal procedimiento comienza con una solución de prueba inicial y después, en cada iteración, busca en la vecindad de la solución de prueba para tratar de encontrar una mejor solución que la actual. Este proceso continúa hasta que no se pueda encontrar una solución mejorada en la vecindad de la solución de prueba actual. De esta manera, este tipo de procedimiento puede verse como un procedimiento de escalada de montaña que se mantiene en ascenso en la gráfica de la función objetivo (si el objetivo es una maximización) hasta que, en esencia, alcanza la cumbre de la montaña. Un procedimiento de mejora local bien diseñado, por lo general convergirá hacia un óptimo local (una cumbre de montaña), pero se detendrá aun si este óptimo local no es un óptimo global (la cumbre más alta de la montaña).

¹⁰ HILLIER, Frederick S. Introducción a Investigación de Operaciones. 9ª ed. EE.UU: Mc Graw Hill 2010. p. 564.

Figura 1 Valor de la Función Objetivo



FUENTE. Introducción a Investigación de Operaciones. Gráfica del valor de la función objetivo en un intervalo factible del ejemplo de programación no lineal 9ª ed. EE.UU: Mc Graw Hill 2010. p. 564.

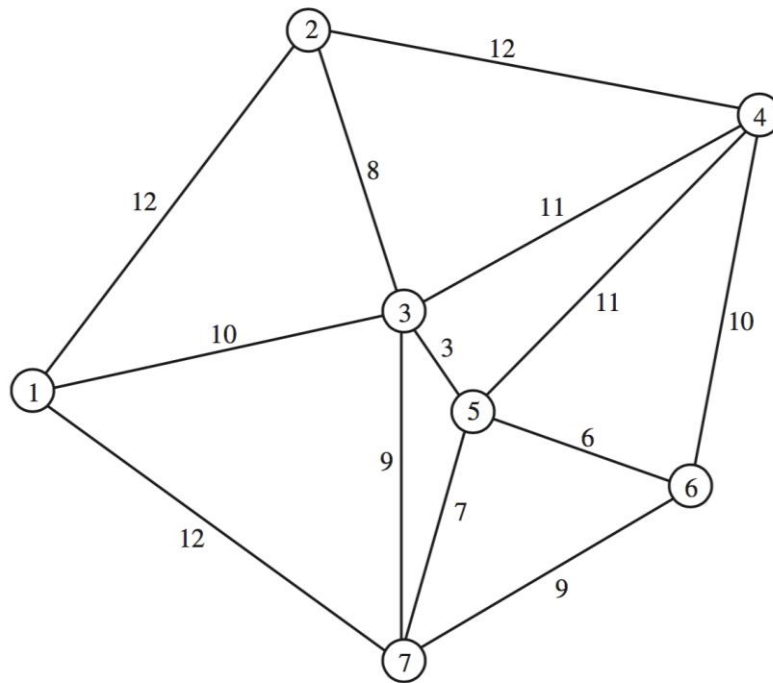
1.6.2.2 Algoritmos del Agente Viajero

El problema clásico de optimización combinatoria más famoso es conocido como el problema del agente viajero. Recibió este nombre porque puede describirse en términos de un agente de ventas que debe visitar cierta cantidad de ciudades en un solo viaje. Si comienza desde su ciudad de residencia, el agente determinará cuál ruta debe seguir para visitar cada ciudad exactamente una vez antes de regresar a su casa de manera que se minimice la longitud total del viaje.

La ciudad 1 es el lugar de residencia del agente. Por lo tanto, si comienza desde su ciudad, el agente debe elegir una ruta para visitar cada una de las otras ciudades exactamente una vez antes de regresar a su punto de partida. El número colocado junto a la ligadura entre cada par de ciudades representa la distancia (o el costo o el tiempo) entre estas ciudades. Se supone que la distancia es la misma en cualquier dirección. (Esto se conoce como el problema simétrico del agente viajero.) Aunque por lo general existe una ligadura directa entre cada par de ciudades, en este caso el ejemplo se simplifica al suponer que las únicas ligaduras directas son las que se muestran en la gura. El objetivo es determinar cuál ruta minimizará la distancia total que el agente viajero debe viajar.

Ha existido una serie de aplicaciones del problema del agente viajero a problemas que no tienen nada que ver con un agente de ventas. Por ejemplo, según Hillier¹¹ cuando un camión sale de un centro de distribución para entregar bienes a cierta cantidad de ubicaciones, el problema de determinar la ruta más corta es un problema del agente viajero. Otro ejemplo involucra la fabricación de tableros de circuitos impresos, semiconductores cableados y otros componentes. Cuando es necesario perforar muchos orificios en un tablero de circuitos impresos, el problema de encontrar la secuencia de perforaciones más eficiente constituye un problema del agente viajero.

Figura 2 Problema del Agente Viajero



FUENTE. Introducción a Investigación de Operaciones. Ejemplo del problema del agente viajero que se usará con propósitos ilustrativos a lo largo del capítulo 9^a ed. EE.UU: Mc Graw Hill 2010. p. 567.

1.6.2.3 Algoritmo del Subviaje Inverso

Paso inicial. Se inicia con cualquier viaje factible como la solución de prueba inicial.

¹¹ HILLIER, Frederick S. Introducción a Investigación de Operaciones. 9^a ed. EE.UU: Mc Graw Hill 2010. p. 564.

Iteración. Para la solución de prueba actual, considere todas las formas posibles de realizar un subviaje inverso (sólo excluya el inverso del viaje completo). Seleccione aquel que proporcione la mayor disminución en la distancia viajada para que sea la nueva solución de prueba. (Los empates se rompen de manera arbitraria.)

Regla de detención. El proceso se detiene cuando ninguna inversión de un subviaje mejora la solución de prueba actual, la cual se acepta como la solución final.

Ahora se aplicará este algoritmo al ejemplo. Se inicia con 1-2-3-4-5-6-7-1 como la solución de prueba inicial. Existen cuatro posibles subviajes que mejorarían esta solución, como a continuación se presenta en el segundo, tercero, cuarto y quinto renglones.

1-2-3-4-5-6-7-1 inverso 2-3: 1-3-2-4-5-6-7-1 inverso 3-4: 1-2-4-3-5-6-7-1 inverso 4-5: 1-2-3-5-4-6-7-1 inverso 5-6: 1-2-3-4-6-5-7-1

Distancia 5 69 Distancia 5 68 Distancia 5 65 Distancia 5 65 Distancia 5 66

Las dos soluciones con distancia 5 65 empatan pues proporcionan la mayor disminución en la distancia viajada; luego, suponga que se elige de manera arbitraria la primera de éstas, 1-2-4-3-5-6-7-1 (como se muestra en el lado derecho de la gura 13.5), como la siguiente solución de prueba, con lo cual se completa la primera iteración.

La segunda iteración comienza con el viaje que se muestra en el lado derecho de la gura, como la solución de prueba actual. En el caso de esta solución, existe sólo un subviaje que proporciona una mejora, como se menciona a continuación en el segundo renglón:

1-2-4-3-5-6-7-1 Distancia 5 65 inverso 3-5-6: 1-2-4-6-5-3-7-1 Distancia 5 64

En la gura 13.6 se muestra este subviaje inverso, donde la subsecuencia de ciudades 3-5-6 de la izquierda ahora se modifica en orden inverso (6-5-3) a la derecha. Por lo tanto, en el viaje a la derecha ahora se presenta la ligadura 4-6 en lugar de 4-3, así como la ligadura 3-7 en lugar de 6-7, para usar el orden inverso 6-5-3 entre las ciudades 4 y 7. Con lo anterior se completa la segunda iteración.

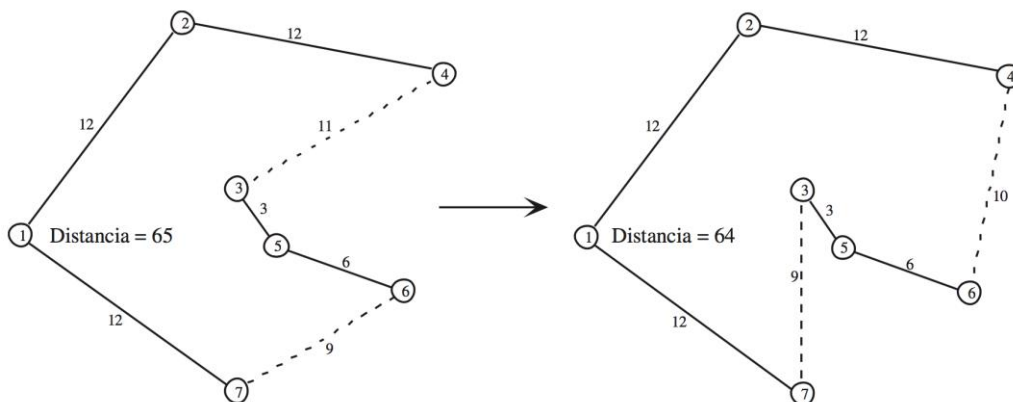
A continuación se tratará de encontrar el inverso que mejorará esta nueva solución de prueba. Sin embargo, no existe ninguna, por lo que se detiene el algoritmo del subviaje inverso con esta solución de prueba como la solución final.

¿La solución óptima es 1-2-4-6-5-3-7-1? Desafortunadamente no, pues la solución óptima resulta ser

1-2-4-6-7-5-3-1 Distancia 5 63 (o 1-3-5-7-6-4-2-1 al invertir la dirección de este viaje completo)

Sin embargo, no se puede llegar a esta solución al realizar la inversión de un subviaje que mejore 1-2-4-6-5-3-7-1.

Figura 3 Inversión del Subviaje



FUENTE. Introducción a Investigación de Operaciones. Inversion del subviaje 3-5-6 que conduce desde la solución de prueba de la izquierda hasta la solución de prueba de mejorada de la derecha. 9ª ed. EE.UU: Mc Graw Hill 2010. p. 570.

El algoritmo del subviaje inverso es otro ejemplo de un *procedimiento de mejora local*. Encuentra una mejoría sobre la solución de prueba actual en cada iteración. Cuando ya no puede encontrar una mejor solución se detiene porque la solución de prueba actual es un óptimo local. En este caso, en realidad 1-2-4-6-5-3-7-1 es un *óptimo local* porque no hay una mejor solución dentro de su vecindad local que pueda ser alcanzada mediante la inversión de un subviaje.

Lo que podría dar una mejor oportunidad de encontrar un óptimo local es utilizar una meta- heurística que permita el proceso de escapar de un óptimo local. En las tres secciones siguientes se verá cómo tres metaheurísticas distintas logran este resultado con el mismo ejemplo.

1.6.2.4 Algoritmo Búsqueda Tabú

La búsqueda tabú es una metaheurística muy usada que utiliza algunas ideas de sentido común para permitir que el proceso de búsqueda escape de un óptimo local. Después de introducir los conceptos básicos, se abordará un ejemplo simple y después se regresará al ejemplo del agente viajero.

Conceptos básicos: Cualquier aplicación de la búsqueda tabú incluye como una subrutina algún procedimiento de búsqueda local que parezca apropiado para el problema bajo consideración. (Un **procedimiento de búsqueda local** opera como un procedimiento de mejora local excepto que no requiere que cada nueva solución de prueba sea mejor que la solución de prueba anterior.)

El proceso comienza con este método como un procedimiento de mejora local de la manera usual (es decir, al aceptar sólo una solución mejorada en cada iteración) para encontrar un óptimo local. Una estrategia de la búsqueda tabú es que continúa la búsqueda pero permite movimientos sin mejora hacia las mejores soluciones en la vecindad del óptimo local. Una vez que se alcanza un punto en el que se pueden encontrar mejores soluciones en la vecindad de la solución de prueba, se aplica de nuevo el procedimiento de mejora local para encontrar un nuevo óptimo local.

Debido a la analogía con la escalada de una montaña, algunas veces este proceso se conoce como enfoque del ascenso más empinado/descenso más suave porque cada iteración selecciona el movimiento disponible que sube más en la pendiente o, cuando no hay disponible algún movimiento hacia arriba, selecciona el movimiento que baja menos en la pendiente. Si todo sale bien, el proceso seguirá un patrón, donde se deja atrás un óptimo local con la intención de escalar hacia el óptimo global.

El peligro de este enfoque es que después de dejar un óptimo local, el proceso se puede ciclar y regresar al mismo óptimo local. Para evitar este círculo vicioso, la búsqueda tabú prohíbe en forma temporal los movimientos que pudieran regresar el proceso a una solución visitada recientemente. Una lista tabú registra estos movimientos prohibidos, los cuales se conocen como movimientos tabú. (La única excepción a la prohibición de un movimiento de este tipo se presenta cuando un movimiento tabú en realidad es mejor que la mejor solución factible que se haya encontrado hasta ese momento.)

Paso inicial. Se Comienza con una solución de prueba inicial factible.

Iteración. Utilice un procedimiento de búsqueda local apropiado para de finir los

movimientos factibles en la vecindad local de la solución de prueba actual. No considere la realización de ningún movimiento incluido en la lista tabú actual a menos que ese movimiento genere una mejor solución que la mejor solución de prueba que se haya encontrado hasta ahora. Determine cuál de los movimientos restantes proporciona la mejor solución. Adopte esta solución como la próxima solución de prueba, sin importar si ésta es mejor o peor que la solución de prueba actual. Actualice la lista tabú para evitar el regreso a la última solución de prueba actual. Si la lista tabú ya está llena, elimine el elemento más antiguo de la lista para proporcionar más flexibilidad a los movimientos futuros.

Regla de detención. Utilice algún criterio de detención, como un número jo de iteraciones, una cantidad de tiempo del CPU o un número jo de iteraciones consecutivas que no produzcan ninguna mejoría al mejor valor de la función objetivo. (El último es un criterio particularmente popular.) El proceso también puede detenerse en cualquier iteración donde no existan movimientos factibles en la vecindad local de la solución de prueba actual. Se acepta la mejor solución de prueba que se haya encontrado en cualquier iteración como la solución final.

Todos éstos son detalles importantes que deben trabajarse para satisfacer el tipo específico de problema que se aborde, como lo ilustran los siguientes ejemplos. La búsqueda tabú sólo proporciona una estructura general y directrices estratégicas para desarrollar un método heurístico específico para afrontar una situación particular. La selección de estos parámetros es una parte clave en el desarrollo de un método heurístico exitoso.

Los siguientes ejemplos ilustran el uso de la búsqueda tabú.

Problema del árbol de expansión mínima con restricciones

El problema del árbol de expansión mínima. En resumen, éste se inicia con una red que tiene sus nodos pero todavía no las ligaduras entre ellos, por lo que el problema es determinar cuáles ligaduras deben insertarse en la red. El objetivo es minimizar el costo (o la longitud) total de las ligaduras insertadas que proporcionarán una ruta entre cada par de nodos. En el caso de una red con n nodos se necesitan $(n - 1)$ ligaduras (sin ciclos) para proporcionar una ruta entre cada par de nodos. Una red como ésta es conocida como un árbol de expansión.

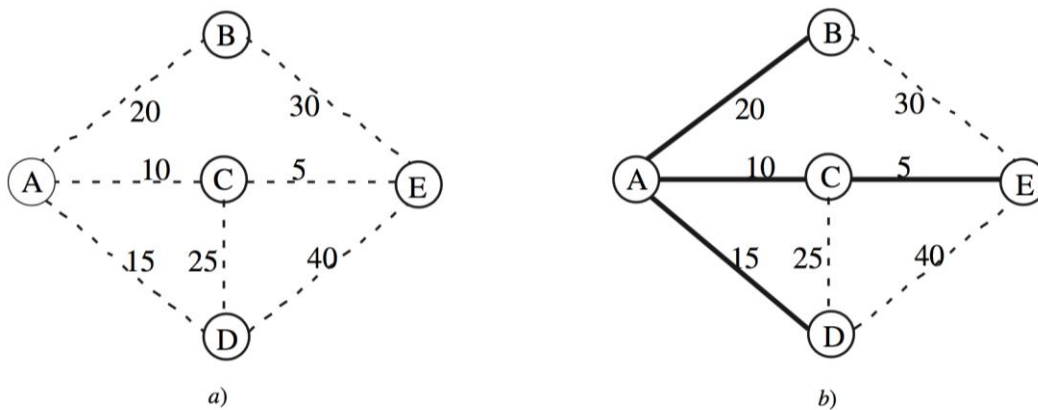
En la figura se muestra una red con cinco nodos, en la cual las líneas punteadas representan las ligaduras potenciales que podrían insertarse en la red, mientras que el número a continuación de cada línea punteada representa el costo asociado con la inserción de esa ligadura en particular. Por tanto, el problema es determinar las cuatro ligaduras (sin ciclos) que deben insertarse en la red para

minimizar el costo total de dichas ligaduras. El lado derecho de la gura presenta el árbol de expansión mínima deseado, donde las líneas oscuras representan las ligaduras que se han insertado en la red con un costo total de 50.

Para ilustrar el uso de la búsqueda tabú, a continuación se agregará un par de complicaciones a este ejemplo al suponer que también deben observarse las siguientes restricciones en el momento de elegir las ligaduras a incluirse en la red.

Restricción 1: La ligadura AD se puede incluir sólo si también se incluye la ligadura DE. Restricción 2: Se puede incluir, como máximo, una de las tres ligaduras: AD, CD y AB.

Figura 4 Datos de Árbol de Expansión Mínima



FUENTE. Introducción a Investigación de Operaciones. datos de árbol de expansión mínima antes de escoger las ligaduras. 9ª ed. EE.UU: Mc Graw Hill 2010. p. 572.

Se observa que la solución óptima previa en el lado derecho de la figura viola ambas restricciones porque: 1) está incluida la ligadura AD aunque DE no lo está y 2) se incluye tanto AD como AB.

Al imponer estas restricciones, el algoritmo ya no se puede utilizar para encontrar la nueva solución óptima. Para un problema tan pequeño, es probable que esta solución se encuentre con mayor rapidez mediante inspección. Sin embargo, a continuación se verá cómo podría utilizarse la búsqueda tabú, tanto en éste como en problemas mucho más grandes, para buscar una solución óptima.

La manera más fácil de tomar en cuenta estas restricciones es cargar una penalización muy grande por violarlas, como las que se presentan en seguida.

Cargar una penalización de 100 si se viola la restricción 1.

Cargar una penalización de 100 si se incluyen dos de las tres ligaduras especificadas en la restricción 2. Aumentar esta penalización a 200 si se incluyen las tres ligaduras.

Una penalización de 100 es lo suficientemente grande como para asegurar que las restricciones no se violarán en un árbol de expansión mínima que minimice el costo total, incluyendo las penalizaciones, dado que existen algunas restricciones factibles. Al duplicar la penalización en caso de que la restricción 2 se viole en mayor medida, se proporciona un incentivo para al menos reducir el número de ligaduras que se consideran durante una iteración de la búsqueda tabú.

1.6.2.5 Algoritmo Templado simulado

El templado simulado es otra metaheurística que se utiliza con amplitud que permite al proceso de búsqueda escapar de un óptimo local. Para compararlo y contrastarlo mejor con la búsqueda tabú, se aplicará al mismo problema del agente viajero antes de regresar al ejemplo de programación no lineal, pero primero se examinarán los conceptos básicos del templado simulado.

Conceptos básicos

Un enfoque, adoptado por la búsqueda tabú, es escalar la pendiente actual en la dirección más empinada hasta alcanzar ese pico particular y después descender lentamente para buscar otra cuesta que escalar. La desventaja es que se emplea demasiado tiempo (iteraciones) en escalar cada cuesta que se encuentra en lugar de buscar la más alta.

Por otro lado, el enfoque que se utiliza en el templado simulado es concentrarse de manera principal en la búsqueda de la cuesta más alta. Como el pico más alto puede estar en cualquier sitio dentro de la región factible, se le otorga la mayor importancia a dar pasos en direcciones aleatorias (excepto por el rechazo de algunos, pero no de todos, los pasos que descienden en lugar de ascender) con la intención de explorar tanta región factible como sea posible.

Como la mayoría de los pasos aceptados son ascendentes, en forma gradual la búsqueda gravitará hacia aquellas partes de la región factible que contienen las cumbres más altas. Por lo tanto, de manera gradual, el proceso de búsqueda incrementa el hincapié en el ascenso al rechazar una proporción creciente de pasos que descienden. Si se da el tiempo suficiente, con frecuencia el proceso encontrará y ascenderá hasta la cuesta más alta.

De manera más específica, cada iteración del proceso de búsqueda de templado simulado se mueve de la solución de prueba actual a un vecino inmediato en la vecindad local de esta solución, igual que en la búsqueda tabú. Sin embargo, la diferencia con ésta es

Vecino inmediato para ser la próxima solución de prueba. Sea

Z_C = valor de la función objetivo de la solución de prueba *actual*.

Z_n = valor de la función objetivo del candidato actual a ser la siguiente solución de prueba,

T = un parámetro que mide la tendencia a aceptar el candidato actual para ser la próxima solución de prueba si este candidato no es una mejora sobre la solución de prueba actual.

La regla para seleccionar cuál vecino inmediato será la próxima solución de prueba es la siguiente.

Regla de selección del movimiento: Entre todos los vecinos inmediatos de la solución de prueba actual, seleccione uno de manera aleatoria para convertirse en el candidato actual a ser la próxima solución de prueba. Si se supone que el objetivo es la *maximización* de la función objetivo, acepte o rechace este candidato para ser la próxima solución de prueba como sigue:

Si $Z_n \geq Z_C$, siempre acepte este candidato.

Si $Z_n < Z_C$, acepte el candidato con la siguiente probabilidad:

$$\text{Prob}\{\text{aceptación}\} = e^x \text{ donde } x = \frac{Z_n - Z_C}{T}$$

(Si el objetivo es de *minimización*, se deben invertir Z_n y Z_C en las fórmulas anteriores.) Si el candidato es rechazado repita el proceso con un vecino inmediato de la solución de prueba actual seleccionado de manera aleatoria. (Si ya no existen vecinos inmediatos restantes, el algoritmo termina.)

Tabla No. 1 Algunas probabilidades

$x = \frac{Z_n - Z_c}{T}$	Prob{aceptación} = e^x
-0.01	0.990
-0.1	0.905
-0.25	0.779
-0.5	0.607
-1	0.368
-2	0.135
-3	0.050
-4	0.018
-5	0.007

FUENTE. Introducción a Investigación de Operaciones. Algunas probabilidades de muestra de que la regla de selección del movimiento acepte un paso descendente cuando el objetivo es maximizar. 9ª ed. EE.UU: Mc Graw Hill 2010. p. 582.

Por tanto, si el candidato actual bajo consideración es mejor que la solución de prueba actual, éste siempre se acepta como la próxima solución de prueba. Si es peor, la probabilidad de aceptación depende de qué tan peor es (y del tamaño de T). En la tabla se presenta una muestra de estos valores de probabilidad, que van desde una muy alta cuando el candidato actual es sólo un poco peor (en relación con T) que la solución de prueba actual hasta una probabilidad en extremo pequeña cuando es mucho peor.

En otras palabras, la regla de selección del movimiento por lo general aceptará un paso que sólo es un poco descendente, pero será muy difícil que acepte un paso descendente muy pronunciado. Si se inicia con un valor relativamente grande de T (como lo hace el templado simulado) la probabilidad de aceptación correspondiente será alta, lo que permite a la búsqueda proceder en direcciones casi aleatorias. Si se disminuye de manera gradual el valor de T a medida que la búsqueda continúa (como lo hace el templado simulado) la probabilidad de aceptación disminuye de un modo paulatino, lo cual aumenta la importancia de ascender la mayor parte del tiempo. Así, la elección de los valores de T a través del tiempo controla el grado de aleatoriedad del proceso para permitir pasos descendentes. Este componente aleatorio, que no está presente en la búsqueda tabú básica, proporciona más flexibilidad de movimiento hacia otra parte de la región factible con la esperanza de encontrar una cumbre más alta.

El método usual de implantar la regla de selección del movimiento para determinar si se aceptará un paso descendente particular es comparar un número aleatorio entre 0 y 1 con la probabilidad de aceptación. Ese número aleatorio puede considerarse como una observación aleatoria en una distribución uniforme entre 0 y 1. (A lo largo de este capítulo todas las referencias a números aleatorios tendrán relación con ese tipo de números aleatorios.) Existen varios métodos para generar

estos números aleatorios. Por ejemplo, la función de Excel ALEATORIO() los genera cuando se le solicita.

La analogía con un problema de optimización en la forma de minimización es que el nivel de energía de la sustancia en el estado actual del sistema corresponde al valor de la función objetivo con la solución factible actual del problema. El objetivo de que la sustancia alcance un nivel estable con un nivel de energía tan pequeño como sea posible corresponde al problema de llegar a una solución factible con un valor de la función objetivo tan pequeño como sea posible.

Igual que en un proceso físico de templado, una cuestión clave cuando se diseña un algoritmo de templado simulado de un problema de optimización es seleccionar un programa de temperatura apropiado para ser usado. (Debido a la analogía con el templado físico, en el algoritmo de templado simulado se hará referencia a T como la temperatura.) Este programa debe especificar el valor inicial de T , relativamente grande, así como los valores subsecuentes que se reducen en forma progresiva. También debe precisar cuántos movimientos (iteraciones) se deben hacer para cada valor de T .

La selección de estos parámetros para ajustarse al problema bajo consideración es un factor clave de la eficacia del algoritmo. Se puede utilizar cierta experimentación preliminar para guiar la selección de los parámetros del algoritmo. Después se especificará un programa de temperatura específico que parece razonable para los dos ejemplos que se consideran en esta sección, pero también se podrían aplicar muchos otros.

Con esta base, ahora es posible proporcionar un esquema del algoritmo de templado simulado básico.

1.6.2.6 Algoritmos Genéticos

Los algoritmos genéticos proporcionan un tercer tipo de metaheurística que es muy diferente de las primeras dos. Este tipo tiende a ser muy eficaz para explorar diversas partes de la región factible y evolucionar de manera gradual hacia las mejores soluciones factibles.

Después de introducir los conceptos básicos de este tipo de metaheurística, se aplicará un algoritmo genético básico al mismo ejemplo de programación no lineal que se consideró en la sección anterior con la restricción adicional de que la variable se limita a valores enteros. Después se aplicará este enfoque al mismo ejemplo del problema del agente viajero que se consideró en cada una de las secciones precedentes.

Conceptos básicos

De la misma forma que el templado simulado se basa en una analogía con un fenómeno natural (el proceso físico de templado), los algoritmos genéticos están muy influidos por otra forma de un fenómeno natural. En este caso, la analogía es con la teoría biológica de la evolución formulada por Charles Darwin a mediados del siglo XIX.

Cada especie de plantas y animales muestra grandes variaciones individuales. Darwin observó que aquellos individuos con variaciones que signifi- can una ventaja de supervivencia a través de una mejoría en la adaptación al entorno tienen una posibilidad mayor de sobrevivir en la siguiente generación. Este fenómeno se conoce desde entonces como la supervivencia del más apto.

El moderno campo de la genética proporciona una mejor explicación de este proceso de evo- lución y de la selección natural involucrada en la supervivencia del más apto. En algunas especies que se reproducen por vía sexual, cada descendiente hereda algunos de los cromosomas de cada uno de los dos padres, donde los genes de los cromosomas determinan las características individuales del hijo. Un hijo que hereda las mejores características de los padres tiene una mayor posibilidad de sobrevivir en su adultez y se convierte en un padre que pasa algunas de estas características a la siguiente generación.

La población tiende a mejorar de manera lenta a través del tiempo por medio de este proceso. Un segundo factor que contribuye a este proceso es una tasa de mutación aleatoria y de bajo nivel en el DNA de los cromosomas. En este contexto, de vez en cuando ocurre una mutación que cambia las características de un cromosoma que un hijo hereda de un padre. Aunque la mayoría de las mutaciones no tiene ningún efecto o son desventajosas, algunas proporcionan mejoras deseables. Los hijos con mutaciones deseables tienen una posibilidad un poco mayor de sobrevivir para así contribuir a la reserva futura de genes de la especie.

Estas ideas se transfieren hacia los problemas de optimización en una forma bastante natural. Las soluciones factibles de un problema específico corresponden a los miembros de una especie particular, donde la aptitud de cada miembro ahora se mide por el valor de la función objetivo. En lugar de procesar una sola solución de prueba a la vez (como sucede con las formas básicas de la búsqueda tabú y el templado simulado), ahora se trabaja con una población completa de soluciones de prueba. En el caso de cada iteración (generación) de un algoritmo genético, la población actual consiste en el conjunto de soluciones de prueba que en la

actualidad están bajo consideración.

Estas soluciones de prueba se entienden como los miembros vivos de la especie. Algunos de los miembros más jóvenes de la población (en especial los miembros más aptos) sobreviven en la adultez y se convierten en padres (aparejados de manera aleatoria) que después tienen hijos (nuevas soluciones de prueba) que tienen algunas de las características (genes) de ambos padres. Como los miembros más aptos de la población tienen una mayor probabilidad de convertirse en padres que los otros, a medida que avanza, un algoritmo genético tiende a generar poblaciones mejoradas de soluciones de prueba. De vez en cuando ocurren mutaciones, de forma que los hijos también pueden adquirir características (algunas veces deseables) que no posee ninguno de los padres. Este fenómeno ayuda a los algoritmos genéticos a explorar una parte de la región factible, quizá mejor que la que se consideró antes. Por último, la supervivencia del más apto tiende a conducir al algoritmo genético hacia una solución de prueba (la mejor de todas las consideradas) que al menos es cercana a la óptima.

Aunque la analogía con el proceso de la evolución biológica defina la esencia de cualquier algoritmo genético, no es necesario adherirse de manera rígida a esta analogía en cada detalle. Por ejemplo, algunos algoritmos genéticos (incluido el que se describe a continuación) permiten que la misma solución de prueba sea un padre en forma repetida a través de múltiples generaciones. De modo que la analogía debe ser sólo un punto de partida para definir los detalles del algoritmo que se ajuste mejor al problema bajo consideración.

A continuación se presenta un esquema bastante típico de un algoritmo genético que se empleará para los dos ejemplos.

Esquema de un algoritmo genético básico

Paso inicial. Comience con una población de soluciones de prueba factibles, quizá generándolas en forma aleatoria. Evalúe la *aptitud* (el valor de la función objetivo) de cada miembro de esta población actual.

Iteración. Use un proceso aleatorio que esté sesgado hacia los miembros más aptos de la población actual para seleccionar algunos de ellos (un número par) para convertirse en padres. Apareje los padres de manera aleatoria para que de ellos nazcan dos hijos (nuevas soluciones de prueba *factibles*) cuyas características (genes) sean una mezcla aleatoria de las características de los padres, excepto por mutaciones ocasionales. (Cuando la mezcla aleatoria de características y algunas mutaciones generan una solución *no factible*, ésta se

considera un *aborto*, y el proceso de intentar un nacimiento se repite hasta que nace un hijo que corresponde a una solución *factible*.) Conserve los hijos y una cantidad suficiente de los mejores miembros de la población actual para formar la nueva población del mismo tamaño de la próxima iteración. (Descarte los otros miembros de la población actual.) Evalúe la aptitud de cada nuevo miembro (hijo) de la población.

Regla de detención. Utilice alguna regla de detención, como un número fijo de iteraciones, una cantidad de tiempo de CPU fija o un número fijo de iteraciones consecutivas sin ninguna mejora a la mejor solución de prueba que haya encontrado hasta ese momento. Use la mejor solución de prueba que encontró en cualquier iteración como la solución final.

Versión entera del ejemplo de programación no lineal

Considere de nuevo el pequeño problema de programación no lineal que se vio anteriormente y que después se resolvió con un algoritmo de templado simulado al final de la sección anterior. Ahora, a este ejemplo se le agrega la restricción de que la única variable x del problema debe tener un valor entero. Como el problema ya tiene la restricción de que $0 \leq x \leq 31$, lo cual significa que el problema tiene 32 soluciones factibles, $x \in \{0, 1, 2, \dots, 31\}$. (La existencia de estos límites es muy importante para un algoritmo genético, puesto que reduce el espacio de búsqueda a la región relevante.) Por lo tanto, el ejemplo se ha convertido en un problema de programación no lineal *entera*.

Cuando se aplica un algoritmo genético, con frecuencia se utilizan *cadena de dígitos binarios* para representar las soluciones del problema. Tal *codificación* de las soluciones es particularmente conveniente para los diferentes pasos de un algoritmo genético, incluido el proceso de nacimiento de los hijos. Esta codificación es fácil de hacer para este problema en particular, porque simplemente se puede escribir cada valor de x en base 2. Como el máximo valor factible de x es 31, sólo se requieren cinco dígitos binarios para escribir cualquier valor factible. Siempre se incluirán los cinco dígitos binarios aunque el primero o los primeros dígitos sean ceros. Así, por ejemplo,

$x = 3$ es 00011 en base 2,
 $x = 10$ es 01010 en base 2,
 $x = 25$ es 11001 en base 2.

Cada uno de los cinco dígitos binarios se conoce como uno de los **genes** de la solución, donde los dos valores posibles del dígito binario describen cuál de las dos posibles características se conserva en ese gen para ayudar a formar la composición genética global. Cuando los dos padres tienen la misma característica, éste se pasará a cada hijo (excepto cuando ocurre una mutación).

Sin embargo, cuando los dos padres tienen características opuestas del mismo gen, la característica que heredará el hijo se vuelve aleatoria.

Por ejemplo, suponga que los dos padres son

P1: 00011y

P2: 01010.

Como el primero, tercero y cuarto dígitos coinciden, en forma automática los hijos serán (salvo mutaciones)

C1: 0x01x y

C2: 0x01x,

Donde x indica que este dígito particular todavía no se conoce. Para identificar los dígitos desconocidos se utilizan números aleatorios, donde una correspondencia natural es

0.0000-0.4999 corresponde a que el dígito sea 0.

0.5000-0.9999 corresponde a que el dígito sea 1.

Por ejemplo, suponga que los siguientes cuatro números aleatorios generados son 0.7265, 0.5190, 0.0402 y 0.3639, de manera que los dos dígitos desconocidos del primer hijo son 1 y los dos dígitos desconocidos del segundo hijo son 0. En este caso los hijos serán (salvo mutaciones)

C1: 01011y

C2: 00010.

Este método particular para generar hijos a partir de los padres se conoce como *cruce uniforme*. Quizá es el más intuitivo de los diferentes métodos alternativos que se han propuesto.

Ahora es necesario considerar la posibilidad de mutaciones que pudieran afectar la conformación genética del hijo.

Como la probabilidad de una mutación en algún gen (que cambia el valor de un dígito binario al valor opuesto) se ha establecido en 0.1 para este algoritmo, se pueden utilizar de nuevo números aleatorios, donde

0.0000-0.0999 corresponde a una mutación,

0.1000-0.9999 corresponde a que no hay mutación.

Por ejemplo, suponga que en los siguientes 10 números aleatorios generados, sólo el octavo es menor a 0.1000. Esto indica que no ocurre mutación en el primer hijo, pero el tercer gen (dígito) del segundo hijo invierte su valor. Por tanto, la conclusión final es que los dos hijos son

C1: 01011y

C2: 00110.

Si se regresa a la base 10, los dos padres corresponden a las soluciones $x_5 = 3$ y $x_5 = 10$, mientras que sus hijos serían (salvo mutaciones) $x_5 = 11$ y $x_5 = 2$. Sin embargo, debido a la mutación, los hijos se convierten en $x_5 = 11$ y $x_5 = 6$.

En este ejemplo particular, cualquier valor entero de x tal que $0 \leq x \leq 31$ (en base 10) es una solución factible, por lo que cada número de 5 dígitos en base 2 también es una solución factible. Por tanto, el proceso anterior de crear hijos nunca resulta en un *aborto* (una solución factible). Sin embargo, si el límite superior sobre x fuera, por ejemplo, $x \leq 25$, entonces ocurrirán abortos de manera ocasional. Siempre que sucede un aborto se descarta la solución y se repite el proceso completo de creación de un hijo hasta que se obtiene una solución factible.

Este ejemplo incluye sólo una variable. Para problemas de programación no lineal con múltiples variables, cada miembro de la población usaría de nuevo la base dos para mostrar el valor de cada variable. Entonces, el proceso anterior para generar hijos a partir de los padres se realizaría de la misma forma para una variable a la vez.

Los cinco números de la población inicial que tienen el grado más alto de aptitud (en orden) son los miembros 10, 8, 4, 1 y 7. Para elegir en forma aleatoria cuatro de estos miembros para convertirse en padres, se usa un número aleatorio para seleccionar un miembro que será rechazado, donde 0.0000-0.1999 signifi ca la expulsión del primer miembro de la lista (miembro 10), 0.2000-0.3999 corresponde a expulsar el segundo miembro, y así sucesivamente. En este caso, el número aleatorio fue 0.9665 (miembro 7), por lo que el quinto miembro de la lista no se convierte en padre.

De entre los cinco miembros menos aptos de la población inicial (miembros 2, 1, 6, 5 y 9), ahora se usan números aleatorios para seleccionar cuáles dos de estos miembros se convertirán en padres. En este caso los números aleatorios fueron

0.5634 y 0.1270. Con referencia al primer número aleatorio, 0.0000-0.1999 corresponde seleccionar el primer número de la lista (miembro 2), 0.2000-0.3999 corresponde a seleccionar el segundo miembro, y así sucesivamente, por lo que en este caso el miembro seleccionado es el tercero (miembro 6). Como ahora restan sólo cuatro números (2, 1, 5 y 9) para seleccionar el último padre, los intervalos correspondientes al segundo número aleatorio son 0.0000-0.2499, 0.2500-0.4999, 0.5000-0.7499 y 0.7500-0.9999. Como 0.1270 cae en el primero de estos intervalos se selecciona el primer miembro de la lista (miembro 2) para ser un padre.

El siguiente paso es aparejar los seis padres, esto es, los miembros 10, 8, 4, 1, 6 y 2. Se comenzará por usar un número aleatorio para determinar la pareja del primer miembro de la lista (miembro 10). El número aleatorio 0.8204 indicó que 10 debe estar aparejado con el quinto de los otros cinco padres de la lista (miembro 2). Para aparejar el siguiente miembro de la lista (miembro 8), el número aleatorio fue 0.0198, que se encuentra en el intervalo 0.0000-0.3333, por lo que el primero de los tres padres restantes (miembro 4) se elige para ser el compañero del miembro 8. Con esto restan dos padres (miembros 1 y 6) que se convierten en la última pareja.

En la parte *b)* de la tabla 2 se muestran los hijos reproducidos por estos padres por medio del proceso que se ilustró antes en esta subsección. Observe las mutaciones que sufrió el tercer gen del segundo hijo y el cuarto gen del cuarto hijo. Asimismo, el sexto hijo tiene un grado de aptitud relativamente alto. En realidad, para cada pareja, ambos hijos resultaron ser más aptos que uno de los padres. Esto no sucede siempre, pero es bastante común. En el caso de la segunda pareja de padres, los dos hijos resultaron ser más aptos que ambos padres. De manera fortuita, los dos hijos ($x_5 19$ y $x_5 20$) en realidad son superiores a *cualquiera* de los miembros de la población anterior que se presentó en la parte *a)* de la tabla. Para formar la nueva población de la próxima iteración, los seis hijos se conservan junto con los cuatro miembros más aptos de la población anterior (miembros 10, 8, 4 y 1).

Aunque éste fue un ejemplo discreto, los algoritmos genéticos también se pueden aplicar a problemas continuos, como un problema de programación no lineal sin la restricción de valores enteros. En este caso, el valor de una variable continua se representaría (o tendría una aproximación cercana) por medio de un número decimal en base 2. Por ejemplo, $x_5 23^5$ es 10111.10100 en base 2, y $x_5 23.66$ es muy cercano a 10111.10101 en base 2. Todos los dígitos binarios de ambos lados del punto decimal se pueden tratar como se hizo antes para aparejar padres que producen hijos, etcétera.

Tabla 2 Aplicación de algoritmo genético al ejemplo de programación lineal

Miembro	Población inicial	Valor de x	Aptitud
1	0 1 1 1 1	15	3 628 125
2	0 0 1 0 0	4	3 234 688
3	0 1 0 0 0	8	3 055 616
4	1 0 1 1 1	23	3 962 091
a) 5	0 1 0 1 0	10	2 950 000
6	0 1 0 0 1	9	2 978 613
7	0 0 1 0 1	5	3 303 125
8	1 0 0 1 0	18	4 239 216
9	1 1 1 1 0	30	1 350 000
10	1 0 1 0 1	21	4 353 187

Miembro	Padres	Hijo	Valor de x	Aptitud
10	1 0 1 0 1	0 0 1 0 1	5	3 303 125
2	0 0 1 0 0	1 0 0 0 1	17	4 064 259
b) 8	1 0 0 1 0	1 0 0 1 1	19	4 357 164
4	1 0 1 1 1	1 0 1 0 0	20	4 400 000
1	0 1 1 1 1	0 1 0 1 1	11	2 980 637
6	0 1 0 0 1	0 1 1 1 1	15	3 628 125

FUENTE. Introducción a Investigación de Operaciones. Aplicación de algoritmo genético al ejemplo de programación lineal . 9ª ed. EE.UU: Mc Graw Hill 2010. p. 593.

1.6.3 Marco Legal y Regulatorio

Según Panamá Hub Digital¹² la actualización de la Estrategia Nacional Tic 2008 - 2018, contratada por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, Senacyt, y desarrollada por el Dr. Peter Wilton de la Universidad de Berkeley en el año 2008 en consultoría para la Cámara Panameña de Tecnologías de Información, Innovación y Telecomunicaciones, Capatec y el gobierno nacional.

Ley de Laboratorios Nacionales. Esto se refiere a dos leyes complementarias. La primera consolidaría la figura de Asociaciones de Interés Público (Aip), elevando a nivel de ley algunas de las características que mejor resultado han demostrado en las AIP: transparencia, independencia, apoyo gubernamental continuo, rendición de cuentas. La segunda ley define la creación de una red de laboratorios nacionales que pueda evolucionar bajo la figura de AIP, entre otras. Al no ser específicas para el sector Tic, recibirían apoyo más amplio, pero abonarían el terreno para la creación o consolidación del laboratorio Indicatic.

¹² Panamá Hub Digital. Estrategia para el desarrollo del sector TIC 2025. [en línea]. Vol. 1, Panamá: Centauri 2015 [Citado 20-Agosto-2017]. Disponible en Internet: < URL: <https://capatec.org.pa/wp-content/uploads/2017/06/ESTRATEGIA-PARA-EL-DESARROLLO-DEL-SECTOR-TIC-2025-PANAMA-HUB-DIGITAL-.pdf.>>

Inmigración de Talento. Fortalecer la definición e incentivos de la categoría de inmigración para talento especializado en la ley de migración y promover las oportunidades que no pueda llenar el talento local. La temporalidad y atractivo de los incentivos puede ir de la mano con el nivel de especialización versus disponibilidad de talento local. La reglamentación debe contar con mecanismos que aseguren que las mismas oportunidades están disponibles al talento local. La inmigración supliría el déficit de recurso humano en el área y el observatorio debe mantener bajo observación la evolución de la situación.

Leyes de Incentivos Fiscales a la Innovación. Lograr la aprobación de un paquete de incentivos fiscales para innovación. Estas leyes tampoco serían específicas al sector Tic y por tanto promueven el apoyo más amplio posible. Los incentivos fiscales requieren consideración cuidadosa legal, socioeconómica y política. Por tanto Capatec contrataría a un equipo de especialistas y conocedores que consideren leyes con historial comprobado de eficacia en otros países, que consideren la dinámica nacional y propongan un paquete que genere innovación, perdure en el tiempo y atraiga apoyo social.

Macroproyectos que promueven el Ecosistema (factura digital, identidad electrónica, firma electrónica, etc.). Algunas tecnologías requieren de una contraparte legal consensuada para poder implementarse y promover la evolución del Ecosistema. Un ejemplo de esto es el establecimiento de la facturación digital como mecanismo viable de facturación para Mipymes. Actualmente la facturación por medios digitales es principalmente prerrogativa de grandes empresas, por los obstáculos legales y tecnológicos requeridos. La facturación digital en forma segura, por Internet, cerraría el ciclo que permitiría la digitalización completa de muchos procesos de negocios, generando una industria de conversión hacia el comercio electrónico. La Senacyt y la Aig dentro de sus agendas gubernamentales promoverían la facturación digital, incluyendo su aceptación por la Dirección General de Ingresos (Dgi) y la migración hacia comercio electrónico.

1.6.4 Marco Demográfico

Situación Demográfica:

Población: Según datos consultados de INEC¹³ la composición de la población panameña y como consecuencia de la posición geográfica del Istmo y de una serie de circunstancias históricas, la población está constituida por diversos grupos humanos:

¹³ INEC. Instituto Nacional de Estadística y Censo .Panamá. [en línea]. Vol. 1, Panamá: INEC [Citado 11-Sep-2017]. Disponible en Internet: < <https://www.contraloria.gob.pa/inec/archivos/P7881DatosGenerales2.pdf>.> URL:

A. Grupos no Indígenas:

1. Grupo Hispano-Indígena:

Constituye uno de los grupos humanos de mestizaje más importantes. Está ubicado en el litoral Pacífico, en las tierras bajas que corren entre la carretera central y la costa de las provincias de Chiriquí, Veraguas, Coclé, Herrera, Los Santos y oeste de la provincia de Panamá. Su actividad económica se desarrolla en todas las áreas, con especial énfasis en la agricultura, la ganadería y el comercio. Se caracteriza por la conservación y fomento de las tradiciones y costumbres del país.

2. Población Afrocolonial:

Son los descendientes de los esclavos africanos traídos al Istmo durante la colonización española. Unos, al rebelarse y huir de la esclavitud, poblaron la costa atlántica, regiones selváticas del Bayano, Darién y el Archipiélago de Las Perlas. Los que se quedaron como sirvientes, adquirieron su libertad al abolirse la esclavitud y se mezclaron con los otros grupos que interactuaban en el Istmo, razón por la cual, se encuentran en todas las áreas de la actividad económica y estratos sociales de Panamá. Aun así, se pueden identificar a los descendientes de estos últimos en las provincias centrales, en áreas como Natá, Parita y Monagrillo; y en Chiriquí, en áreas como Puerto Armuelles y Alanje. Y de los primeros, en áreas como la Costa Arriba y la Costa Abajo de la provincia de Colón; Pacora, San Miguel y Chepo, en la provincia de Panamá.

3. Población Afroantillana:

Son los descendientes de los trabajadores antillanos de habla francesa o inglesa que llegaron a Panamá principalmente durante la construcción del Canal, traídos primero por los franceses y luego por los norteamericanos.

Se les localiza mayormente en las áreas de tránsito (ciudades de Panamá y Colón) y en la provincia de Bocas del Toro. Sus descendientes en la actualidad, interactúan en todas las ramas de la actividad económica, científica y cultural; y en los estratos sociales de la nación panameña.

4. Otros grupos étnicos:

Están constituidos por pequeños grupos que, por su número, solo permiten su clasificación como Colonia. De ellas, la de mayor antigüedad es la china, que llegó al Istmo durante la construcción del Ferrocarril Transístmico en 1850.

Otros grupos lo constituyen los indostanos, los hebreos, centroeuropeos y centroamericanos, que llegaron al Istmo atraídos por el auge comercial en la época de construcción del Canal y posteriormente, por las obras emprendidas para su defensa, operación y mantenimiento. Se dedican a actividades económicas relacionadas con el comercio y los servicios.

B. Grupos Indígenas:

Representan aproximadamente el 12.3 por ciento del total de la población de la República; están constituidos por ocho grupos claramente definidos:

1. Kuna:

Localizados, principalmente, en la región insular y costera del Archipiélago de Kuna Yala, así como también, en la región continental de pluviselvas del Río Bayano; en la Comarca de Madungandí, constituida por un área geográfica del distrito de Chepo (provincia de Panamá); en el curso alto del Río Chucunaque y los afluentes del Río Tuirá. Según el Censo de 2010, este grupo representó el 19.3 por ciento (80,526 personas) del total de la población indígena de la República. El 17.2 por ciento de ellos, con 10 años y más de edad, es analfabeta. La mediana de edad se situó en 22 años. El promedio de hijos por mujer fue de 2.4.

2. Emberá:

Originarios del Chocó colombiano, se encuentran concentrados en las márgenes de los ríos darienitas y en la Comarca Emberá. Presentan las características típicas de una cultura de pluviselvas. Su economía se basa en la agricultura de subsistencia, con faenas secundarias de caza y pesca. Los Emberá representan el 7.5 por ciento (31,284) del total de la población indígena, investigada en el Censo de 2010. El 18.0 por ciento de este grupo con 10 y más años de edad resultó ser analfabeta; su edad mediana se situó en 22 años y el promedio de hijos por mujer se estableció en 2.9.

3. Wounaan:

Originarios del Chocó colombiano, se encuentran concentrados en las márgenes de los ríos darienitas y en la Comarca Emberá. Presentan las características típicas de una cultura de pluviselvas. Su economía es a base de la agricultura de subsistencia, con faenas secundarias de caza y pesca. La investigación determinó que representan el 1.7 por ciento (7,279 personas) del total de la población indígena; y el 18.0 por ciento de la población resultó ser analfabeta. La edad mediana de este grupo se situó en los 19 años y el promedio de hijos por mujer se estableció en 3.0.

5. Ngäbe:

Anteriormente denominado “guaymíes’ Se ubican, principalmente, en la Comarca Ngäbe Buglé, formada de la segregación de tierras de las provincias de Chiriquí, Bocas del Toro y Veraguas. Este es el conglomerado más numeroso, representan el 62.3 por ciento (260,058 personas) del total de la población indígena censada en el 2010. La investigación también determinó que el 25.4 por ciento de los Ngäbes; de 10 años y más de edad son analfabetas. La edad mediana se situó en 16 años y el promedio de hijos tenidos por sus mujeres se determinó en 3.0.

6. Buglé:

Antes se denominaban “guaymíes’ Están ubicados, principalmente, en la Comarca Ngäbe Bugle, formada de la segregación de tierras de las provincias de Chiriquí, Bocas del Toro y Veraguas, representan el 6.0 por ciento (24,912 personas) del total de la población indígena censada en el 2010. La investigación también determinó que el 23.5 por ciento de los Buglés de 10 y años más de edad son analfabetas. La edad mediana se situó en 18 años y el promedio de hijos tenidos por sus mujeres se determinó en 2.8.

7. Bokota:

Es uno de los grupos más pequeño y poco conocidos. Fueron identificados en 1927; viven en el Oriente de la provincia de Bocas del Toro y en las regiones vecinas del noroeste de la provincia de Veraguas. La investigación censal de 2010 determinó que representaron el 0.5 por ciento (1,959 personas) del total de la población indígena; además, el 12.7 por ciento de la población de 10 y más años

de edad es analfabeta. La edad mediana de este grupo se determinó en 22 años y el promedio de hijos tenidos por sus mujeres se determinó en 2.4.

8. Naso/Teribe:

Se encuentran a orillas de los ríos Teribe y San San en el corregimiento de Teribe (provincia de Bocas del Toro). Según el Censo de 2010, representan aproximadamente el 1.0 por ciento del total de la población indígena (4,046 personas). Se determinó que el 7.5 por ciento de la población con 10 y más años de edad es analfabeta, su edad mediana fue establecida en 20 años y el promedio de hijos tenidos por sus mujeres es 3.2.

9. Bri Bri:

Se le ubica a orillas del río Yorkín en Bocas dei Toro. En 1911 se planteaba que, por su reducido número en el territorio nacional, debían considerarse como costarricenses, ya que en Panamá no tenían la condición tribal ni numérica de los otros grupos indígenas. Sin embargo, en el último Censo (2010) representan aproximadamente el 0.3 por ciento del total de la población indígena, reporto una población de 1,068 habitantes, con una mediana de edad de 28 años. En cuanto a la población analfabeta, el censo reveló que representó el 10.0 por ciento de la población de 10 y más años de edad y el promedio de hijos tenidos por sus mujeres se determinó en 2.5.

Población:

De acuerdo con INEC¹⁴ la población panameña crece a un ritmo medio anual en el período 2011-15 de 1.65 por ciento. La dinámica demográfica enmarcada por los nacimientos, defunciones y un saldo migratorio positivo, señala que en este período la población se ha incrementado en un poco más de un cuarto de millón de personas. La tasa bruta de natalidad fluctúa alrededor de 20 nacidos vivos por cada mil personas. mientras que la tasa bruta de mortalidad alcanza las 5 defunciones por cada 1000 habitantes.

Por otro lado, la tasa de mortalidad infantil, que en promedio se ubica alrededor de

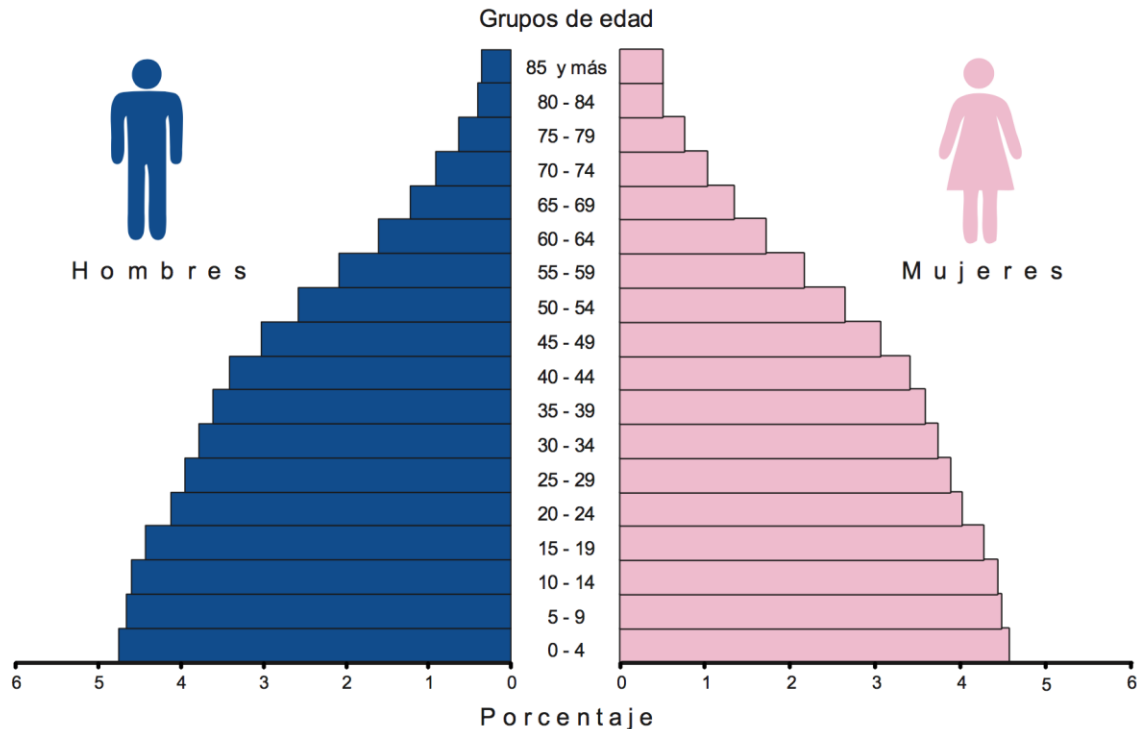
¹⁴ Ibid., p.4

15 defunciones de menores de un año por cada mil nacidos vivos, es relativamente baja si se compara con los países de la región. la misma tiende al descenso.

La esperanza de vida al nacer derivada de las tablas de vida, señalan que para el 2015 de prevalecer las condiciones de salud en el país. los hombres al nacer tendrían una expectativa de vida de 74.8 años y las mujeres de 80.9. con un promedio de ambos sexos de 77.8 años. Entre el 2011 y el 2015 la esperanza de vida al nacer aumentó en 0.8 años.

Panamá se caracteriza por tener una estructura de población relativamente joven, para el 2015 los menores de 15 años representaban el 27.5 por ciento. Con porcentajes por debajo del promedio nacional se encuentran Herrera, Los Santos, Panamá y Panamá Oeste, mientras que la provincia de Bocas del Toro y las comarcas indígenas tienen porcentajes de población menores de 15 años que en promedio es del 40 por ciento. Cabe señalar. que la estructura de población más joven la presenta la Comarca Ngabe Bugle. El resto de las provincias tienen porcentajes ligeramente superior al promedio nacional.

Figura 5 Pirámide de la población



FUENTE. Instituto Nacional de Estadística y Censo .Panamá. Pirámide de la población de la república al 1 de julio 2015 [en línea]. Vol. 1, Panamá: INEC

[Citado 11-Sep-2017]. Disponible en Internet: < URL:
<https://www.contraloria.gob.pa/inec/archivos/P7881DatosGenerales2.pdf>.>

1.6.5 Marco Geográfico

Datos Generales e históricos de Panamá

Localización: La República de Panamá está ubicada entre las siguientes coordenadas: los 7°12'07" y 9°38'46" de Latitud Norte y los 77°09'24"y 83°03'07"de Longitud Oeste. Limita al Norte con el Mar Caribe, al Este con la República de Colombia, al Sur con el Océano Pacífico y al Oeste con la República de Costa Rica.

Organización del Estado Panameño: La Nación Panameña está organizada en Estado Soberano e Independiente, cuya denominación es República de Panamá. Su gobierno es unitario, republicano, democrático y representativo.

El Poder Público solo emana del pueblo, lo ejerce el Estado conforme la Constitución lo establece, por medio de los Organos Legislativo, Ejecutivo y Judicial, los cuales actúan limitada y separadamente, pero en armónica colaboración.

El territorio de la República de Panamá comprende la superficie terrestre, el mar territorial, la plataforma continental submarina, el subsuelo y el espacio aéreo entre Colombia y Costa Rica, de acuerdo con los tratados de límites celebrados por Panamá con estos Estados.

El español es el idioma oficial de la República.

Moneda: El balboa es la unidad monetaria del país; se subdivide en 100 centésimos y es equivalente al dólar de los Estados Unidos de América.

División Política-Administrativa: Comprende 10 provincias, 77 distritos o municipios, 3 comarcas indígenas con categoría de provincia (Kuna Yala, Emberá y Ngäbe Bugle), pues cuentan con un gobernador comarcal; y 2 comarcas con nivel de corregimiento (Kuna de Madungandí y Kuna de Wargandí), con los cuales se completan un total de 648 corregimientos en todo el país.

Superficie: Total de la República: 74,177.3 km² (no incluye áreas de masas de aguas continentales con 1,142.5069 km²).

Mar Territorial: Se extiende a una zona de 12 millas marinas de ancho sobre la cual, la República de Panamá ejerce su soberanía, al igual que en el lecho, el subsuelo y sobre su espacio aéreo, cuya superficie es de 319,823.9 km², la cual supera a su territorio continental e insular.

Longitud del Litoral: Panamá tiene una considerable longitud de costas, que suman en total 2,988.3 kilómetros, de los cuales 1,700.6 corresponden al litoral Pacífico; y 1,287.7 al Caribe.

Longitud de los ríos más importantes: (en kilómetros)

Vertiente del Caribe: Chagres (125), Changuinola (118), Indio (97), Cricamola (83) y Sixaola - Yorkín (70).

Vertiente del Pacífico: Chucunaque (231), Tuirá (230), Bayano (206), Santa María (173), Balsas (152), Chiriquí Viejo (128), La Villa (119), Tabasará (109) y Grande (97).

Tabla No. 3 Principales islas

Isla	Provincia	Superficie (km ²)
Del Atlántico:		
Colón	Bocas del Toro	61
Popa	Bocas del Toro	53
Bastimentos	Bocas del Toro	51
Cristóbal	Bocas del Toro	37
Cayo de Agua	Bocas del Toro	14
Del Pacífico:		
Coiba	Veraguas	493
Del Rey	Panamá	234
Cébaco	Veraguas	80
San José	Panamá	44
Boca Brava	Chiriquí	28
Jicarón	Veraguas	20
Pedro González	Panamá	14
Paridas	Chiriquí	15
Leones	Veraguas	14

FUENTE. Instituto Nacional de Estadística y Censo .Panamá. Principales Islas. 2015 [en línea]. Vol. 1, Panamá: INEC [Citado 11-Sep-2017]. Disponible en Internet: < URL: <https://www.contraloria.gob.pa/inec/archivos/P7881DatosGenerales2.pdf>>

Figura 6 Mapa Geográfico Panamá



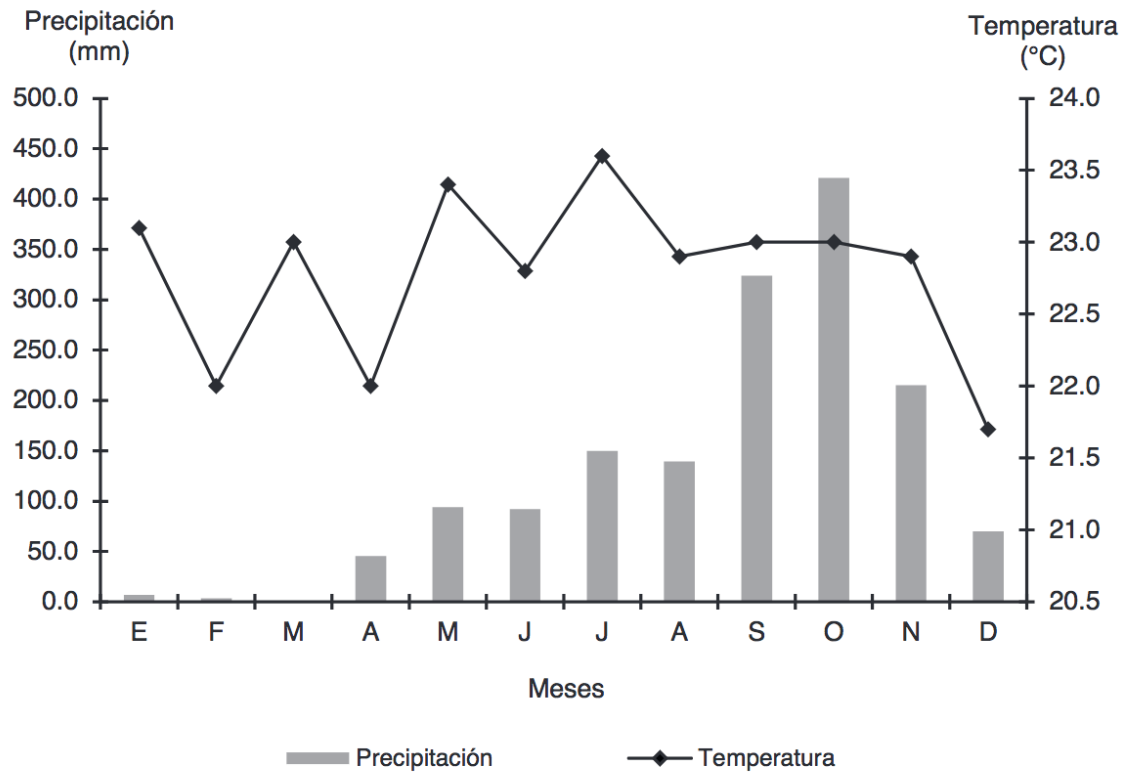
FUENTE. Pinterest Map Kushan [en línea]. Panamá: [Citado 18-Sep-2017]. Disponible en Internet: < URL: <https://i.pinimg.com/originals/b2/3f/64/b23f64e50be203bc589c04cdd4519f69.jpg>>

Situación Física:

Clima: Según datos consultados de INEC Los datos demuestran que la máxima precipitación pluvial se presentó en octubre de 2015 con 420.9 milímetros. La más alta temperatura anual fue observada en septiembre de 2015, con lectura de 36.2 grados centígrados. Por otra parte, tenemos que en los meses de mayo, septiembre, octubre y noviembre se registró un 100 por ciento de humedad relativa.

La máxima presión atmosférica registrada fue en marzo de 2015 con 1014.8 milibares; y la velocidad máxima absoluta del viento fue registrada con 22 nudos en dirección NE, en agosto.

Figura 7 Precipitación pluvial y temperatura media



FUENTE. Instituto Nacional de Estadística y Censo .Panamá. Precipitación pluvial y temperatura media registrada en la estación metereologica de tocumen, por mes . 2015 [en línea]. Vol. 1, Panamá: INEC [Citado 110-Sep-2017]. Disponible en Internet: <https://www.contraloria.gob.pa/inec/archivos/P7881DatosGenerales2.pdf>.>

1.7 METODOLOGIA

1.7.1 Tipo de Estudio

Estudio descriptivo que permita conocer toda la información acerca del tema central de este trabajo, y relación de todas las variables que este abarca.

Estudio documental que abarque las empresas, los proyectos e iniciativas que se han llevado a cabo sobre optimización en logística.

1.7.2 Fuentes de Información

- Páginas web
- Revistas
- Libros virtuales
- Periódicos

1.8 DISEÑO METODOLOGICO

- Recopilación de información acerca de los antecedentes, en distintos lugares del mundo de la utilización de algoritmos que optimizen procesos.
- Visita técnica a la Universidad de Tecnológica de Panamá USP en Panamá
- Consolidación de la información teniendo en cuenta las conferencias recibidas en la visita técnica y la orientación recibida por parte de los docentes de la universidad.
- Consulta de las distintas empresas o lugares informales donde se ha realizado esta actividad anteriormente, los requisitos, las ventajas, desventajas, el impacto y la viabilidad del trabajo.
- Aplicación de la herramienta Atlas ti para llevar a cabo el análisis cualitativo de la información recolectada durante el tiempo de consulta y desarrollo del trabajo.
- Estructuración de la mejor forma de llevar a cabo el trabajo de manera que represente un beneficio para la sociedad.

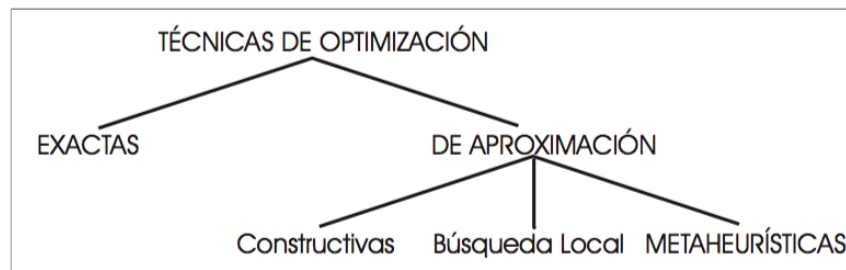
2. MODELOS DE ALGORITMOS

2.1 Solución de problemas Metaheurísticos

Según Díaz¹⁵ existen multitud de propuestas de técnicas algorítmicas, tanto exactas como aproximadas, para resolver problemas de optimización. Los algoritmos exactos garantizan que encuentran una solución óptima al problema para toda instancia de tamaño finito. Generalmente, los métodos exactos necesitan tiempos exponenciales de computación cuando tratamos con instancias grandes de problemas complejos. De manera muy clara, los problemas NP-difíciles no pueden abordarse de forma realista con técnicas exactas. Por tanto, el uso de técnicas aproximadas está recibiendo en las últimas décadas cada vez más atención.

En estos métodos aproximados se sacrifica la garantía de encontrar el óptimo global al problema (en muchos casos, aunque no siempre) con el fin de poder encontrar soluciones buenas en un tiempo significativamente reducido en comparación con los métodos exactos.

Figura 8. Técnicas de optimización



Fuente. DISEÑO Y IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS GENÉTICOS CELULARES PARA PROBLEMAS COMPLEJOS. Clasificación de técnicas de optimización. [en línea]. Málaga: Universidad de Málaga [citado 10 Junio, 2017] Disponible en Internet: < URL: <http://neo.lcc.uma.es/tesis/PhD-Bernabe.pdf>.>

En las últimas dos décadas han emergido nuevos tipos de técnicas aproximadas que según Diaz¹⁶ consiste básicamente en la combinación de métodos heurísticos (técnicas aproximadas con componentes aleatorios guiados) básicos en entornos

¹⁵ DIAZ, Bernabé. Diseño e Implementación de Algoritmos Genéticos Celulares para Problemas Complejos. [en línea]. Vol. 1, Málaga: Universidad de Málaga [Citado 12-Junio-2017]. Disponible en Internet: < URL: <http://neo.lcc.uma.es/tesis/PhD-Bernabe.pdf>.>

¹⁶ DIAZ, Bernabé. Diseño e Implementación de Algoritmos Genéticos Celulares para Problemas Complejos. [en línea]. Vol. 1, Málaga: Universidad de Málaga [Citado 12-Junio-2017]. Disponible en Internet: < URL: <http://neo.lcc.uma.es/tesis/PhD-Bernabe.pdf>.>

de más alto nivel con el fin de explorar el espacio de búsqueda de una forma eficiente y efectiva. Estos métodos son comúnmente conocidos con el término metaheurísticas.

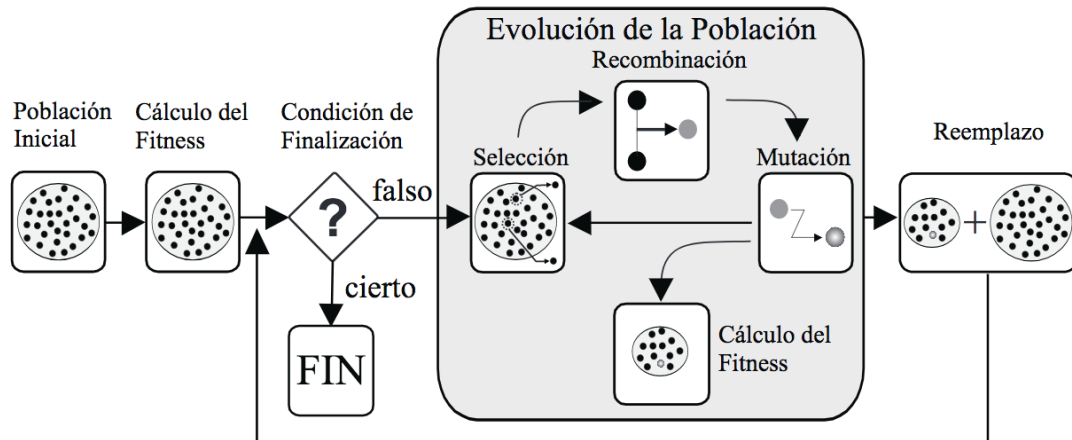
Las metaheurísticas pueden clasificarse en diferentes formas, se da una clasificación que depende de un conjunto de características seleccionadas que las diferencian. Así se pueden obtener metaheurísticas inspiradas en la naturaleza o no, basadas en poblaciones o en trayectorias, con función objetivo estáticas o dinámica, que utilizan una o varias estructuras de vecindario, o que memorizan estados anteriores de la búsqueda o no. De entre las metaheurísticas más conocidas, se pueden destacar a los algoritmos evolutivos (EA), la búsqueda local iterada (ILS), el enfriamiento simulado (SA), la búsqueda tabú (TS) y la búsqueda de vecindarios variables (VNS).

2.2 Algoritmos Evolutivos

Alrededor de los años 60, algunos investigadores coincidieron (de forma independiente) en la idea de implementar algoritmos basados en el modelo de evolución orgánica como un intento de resolver tareas de optimización duras en ordenadores. Hoy en día, debido a su robustez, a su amplia aplicabilidad y también a la disponibilidad de una cada vez mayor potencia computacional.

El funcionamiento de un algoritmo evolutivo procede de forma iterativa mediante la evolución de los individuos pertenecientes a la población actual. Esta evolución es normalmente consecuencia de la aplicación de operadores estocásticos de variación sobre la población, como la selección, recombinación y mutación, con el fin de calcular una generación completa de nuevos individuos. A cada individuo se le asigna un valor representativo de su aptitud para el problema tratado mediante evaluaciones de la función de adecuación. Esta medida puede ser una función objetiva (un modelo matemático o una simulación por computador) o también una función subjetiva, en la que una persona pueda elegir las mejores soluciones frente a las peores. El criterio de terminación se fija normalmente en alcanzar un número máximo de iteraciones (programado previamente) del algoritmo, o encontrar la solución óptima al problema (o una aproximación a la misma) en caso de que se conozca de antemano.

Figura 9 Funcionamiento de un Algoritmo Evolutivo.



Fuente. DISEÑO Y IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS GENÉTICOS CELULARES PARA PROBLEMAS COMPLEJOS. Clasificación de técnicas de optimización. [en línea]. Málaga: Universidad de Málaga [citado 10 Junio, 2017] Disponible en Internet: < URL: <http://neo.lcc.uma.es/tesis/PhD-Bernabe.pdf>.>

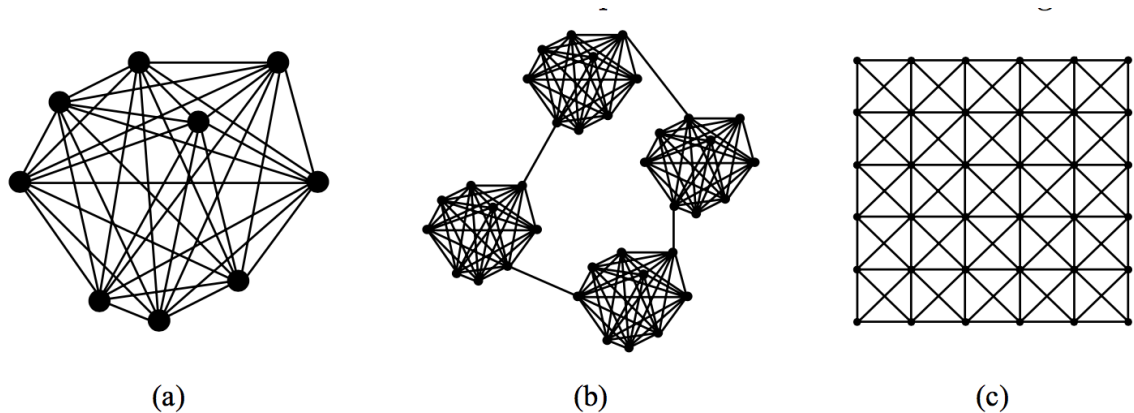
2.3 Algoritmos Evolutivos Descentralizados

La mayoría de los EAs trabajan sobre una única población de individuos, aplicando los operadores a la población como un todo, por otro lado, existe también una cierta tradición en el uso de EAs estructurados (en los que la población se descentraliza de alguna forma), especialmente en relación con su implementación en paralelo. El uso de poblaciones distribuidas de forma paralela en EAs se basa en la idea de que el aislamiento de poblaciones nos permite mantener una mayor diferenciación genética. En multitud de casos, estos algoritmos con población descentralizada realizan un mejor muestreo del espacio de búsqueda y mejoran tanto el comportamiento numérico como el tiempo de ejecución de un algoritmo equivalente. Entre los muchos tipos de EAs estructurados, los algoritmos distribuidos y los celulares son las herramientas de optimización más populares.

Por un lado, en el caso de los EAs distribuidos (dEAs), la población está particionada en un conjunto de islas en las que se ejecutan EAs aislados que intercambian algo de información durante la ejecución. Este intercambio de información se realiza mediante la migración de individuos de unas poblaciones a otras con el fin de introducir algo de diversidad en cada una de estas sub-

poblaciones, previniendo así a los algoritmos de cada isla de caer en óptimos locales de los que no puedan salir.

Figura 10 Grafos de conectividad entre individuos



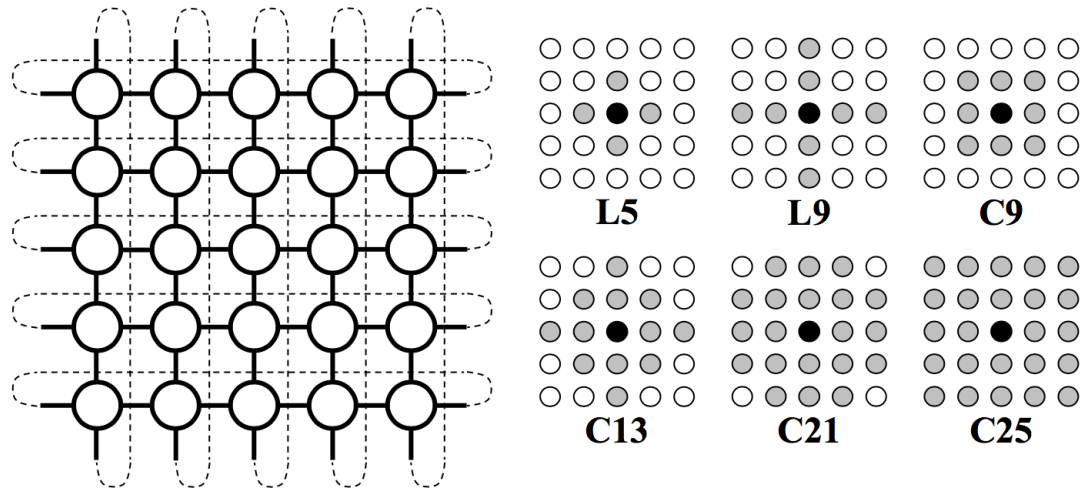
Fuente. DISEÑO Y IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS GENÉTICOS CELULARES PARA PROBLEMAS COMPLEJOS. Grafos de conectividad entre individuos para EAs panmícticos, distribuidos y celulares. [en línea]. Málaga: Universidad de Málaga [citado 10 Junio, 2017] Disponible en Internet: < URL: <http://neo.lcc.uma.es/tesis/PhD-Bernabe.pdf>.>

2.3 Algoritmos Evolutivos Celulares

El modelo celular simula la evolución natural desde el punto de vista del individuo. La idea esencial de este modelo celular es proveer a la población de una estructura espacial que, como vimos en la sección anterior, puede definirse como un grafo conectado en el que cada vértice es un individuo que se comunica con sus vecinos más cercanos.

En concreto, los individuos se encuentran dispuestos conceptualmente en una rejilla, y sólo se permite realizar la recombinación entre individuos cercanos. Esto nos lleva a un tipo de localidad conocido como aislamiento por distancia. El conjunto de emparejamientos potenciales de un individuo se llama vecindario. Se ha demostrado que en este tipo de algoritmos se pueden formar grupos de individuos similares, también llamados nichos, y que estos grupos funcionan de una forma que puede ser vista como subpoblaciones discretas (islas). De cualquier forma, no existen en realidad fronteras entre los grupos, y nichos cercanos pueden ser colonizados más fácilmente por nichos competidores que en un modelo de islas. Al mismo tiempo, nichos más distantes pueden ser afectados más lentamente.

Figura 11 Población toroidal (izquierda) y vecindarios más típicamente utilizados (derecha) en cGAs



Fuente. DISEÑO Y IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS GENÉTICOS CELULARES PARA PROBLEMAS COMPLEJOS. Población toroidal (izquierda) y vecindarios más típicamente utilizados (derecha) en cGAs. [en línea]. Málaga: Universidad de Málaga [citado 10 Junio, 2017] Disponible en Internet: < URL: <http://neo.lcc.uma.es/tesis/PhD-Bernabe.pdf>.>

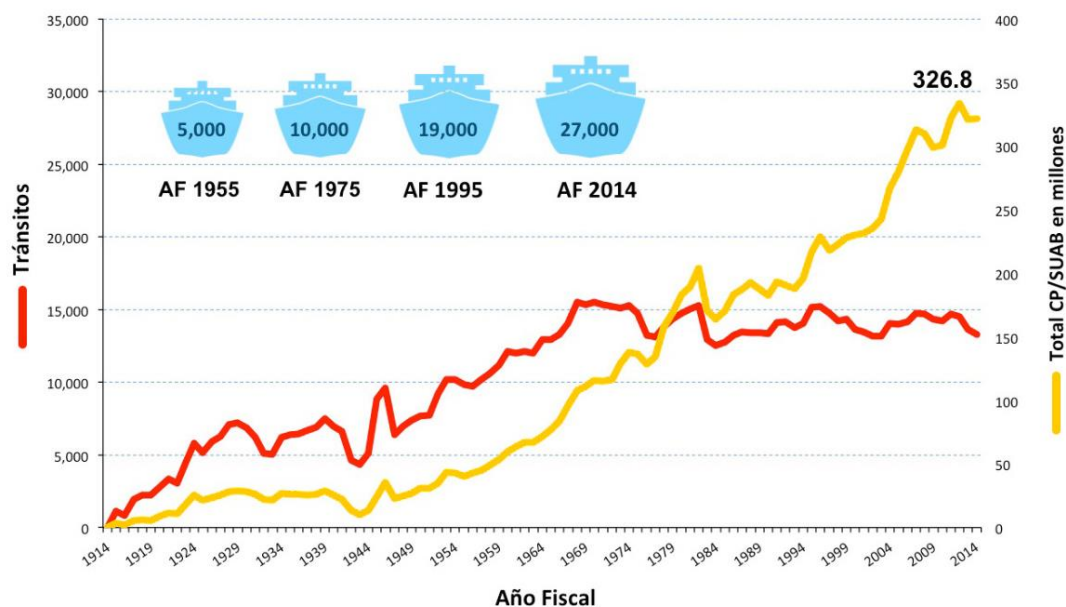
3. ANALISIS DE LA INFORMACION

Desde su apertura en 1914, el Canal de Panamá conecta el mundo, acortando las distancias, tiempo y costos de transporte entre los centros de producción y consumo. Hoy, el Canal de Panamá es sinónimo de conectividad como lo reflejan las 144 rutas marítimas que cruzan la vía, llegando a 1,700 puertos en 160 países.

3.1 Evolución del tonelaje y tránsitos

Históricamente, los indicadores de tránsito y tonelaje a través del Canal de Panamá crecieron proporcionalmente hasta mediados de los años 70; cuando se introducen embarcaciones de mayor tonelaje. A inicios de los 80 el número de tránsitos se estabilizó en el rango de 12,000 a 14,000 buques por año, mientras que el tonelaje continuó creciendo.

Figura 12 Tránsitos vs Tonelajes CP/SUAB AF1914 - AF2014



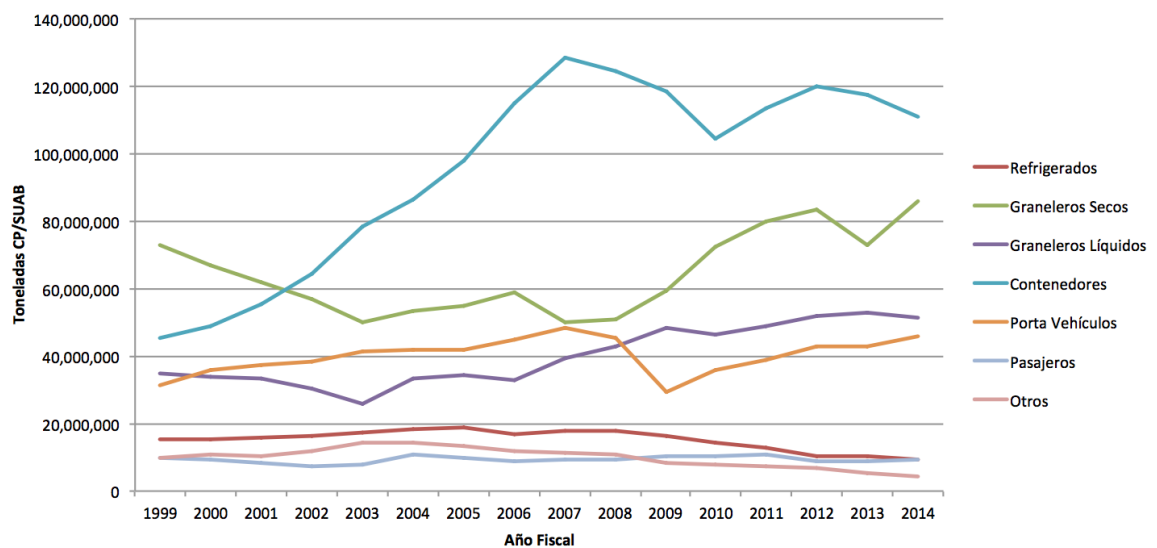
Fuente. REVISTA EL FARO. PROYECTO PUERTO COROZAL. Tránsitos vs Tonelajes CP/SUAB AF1914 - AF2014. [en línea]. Panamá: Autoridad del canal de Panamá [citado 03 Junio, 2017] Disponible en Internet: < URL: http://micanaldepanama.com/nosotros/sobre-la-acp/el-faro/#st_content_2>

El segmento de mayor crecimiento en concepto de tonelaje de las últimas dos décadas ha ocurrido en el segmento de buques portacontenedores, debido al crecimiento del comercio mundial y a la globalización. El incremento de las economías de libre mercado, la eliminación de barreras comerciales y la

suscripción de acuerdos de libre comercio, han propiciado la ubicación de los centros de producción en los sitios con menor costo laboral, muchas veces distantes de los grandes centros de consumo.

Desde sus inicios, los buques graneleros dominaron los tránsitos a través del Canal de Panamá hasta el año 2001 cuando la entrada de China a la Organización Mundial del Comercio (OMC), cambió este comportamiento. Inmediatamente el segmento de contenedores refejó un crecimiento vertiginoso que impactó el tonelaje a través del Canal de Panamá. Más tarde, en el año 2008, este segmento sufre una contracción debido a la crisis económica mundial registrada ese año, que perduró hasta el año 2010. Entre los años 2011 y 2012 este segmento mostró señales de recuperación, pero a partir del año 2013 se ha observado un decrecimiento.

Figura 13 Evolución- toneladas por segmento AF 1995-2014



Fuente. REVISTA EL FARO. PROYECTO PUERTO COROZAL. Evolución-tonelajes por segmento AF 1995-2014. [en línea]. Panamá: Autoridad del canal de Panamá [citado 03 Junio, 2017] Disponible en Internet: < URL: http://micanaldepanama.com/nosotros/sobre-la-acp/el-faro/#st_content_2>

3.2 Ampliación del canal de Panamá

La ACP, luego de años de estudios que indicaron que buques mayores serían emplazados en nuestra ruta y que no se contaba con la capacidad para atender la futura demanda de estos, sometió a referéndum el proyecto de Ampliación del Canal de Panamá, el cual fue aprobado por el pueblo panameño el 22 de octubre de 2006.

El objetivo principal de la ampliación del Canal es aumentar el valor de esta ruta marítima y hacer sostenible, a largo plazo, los aportes al Tesoro Nacional.

El proyecto de Ampliación del Canal de Panamá incluye la construcción de dos complejos de esclusas de tres niveles cada una con tinajas de reutilización de agua, una en el lado Pacífico y otra en el lado Atlántico, así como la construcción de un canal de acceso en el Pacífico. Incluye además el ensanche y profundización de los cauces de navegación existentes y de las entradas del mar del Pacífico y del Atlántico. La gráfica No 3 muestra las dimensiones de las nuevas esclusas. Las nuevas esclusas permitirán el tránsito de buques portacontenedores de mayor tamaño, pasando de buques con capacidad para transportar 5,000 TEUs a buques con capacidad para transportar hasta 13,200 TEUs.

Con la construcción del Canal de Panamá, la importancia del país para el comercio se pone en evidencia convirtiéndose en el eje principal del comercio internacional y en un socio estratégico para el comercio exterior de los países para los cuales la ruta es relevante, al proporcionarles beneficios en reducción de tiempo y costo de transp

3.3 Crecimiento portuario y su relación con el canal

El Canal de Panamá es el eje dinamizador de los Activos Logísticos del país, por tal motivo, la estrategia de modernización de los puertos panameños inició en la década de los años 90 a través de modelos de concesión a operadores portuarios privados internacionales, tales como Manzanillo International Terminal (MIT), Colon Container Terminal (CCT- Evergreen) y Panama Ports con dos terminales (PPC-Cristóbal en el Atlántico y PPC- Balboa en el Pacífico). Posteriormente en el año 2011, entra al mercado PSA.

El crecimiento compuesto agregado de los puertos de contenedores panameños entre el año 2001 y el año 2012 fue de 14% anual. Después de una disminución en el año 2013, los volúmenes de movimientos se recuperaron en el 2014.

En años recientes, el Sistema Portuario Nacional se ha visto afectado por diversos factores. Algunas terminales portuarias han experimentado problemas laborales que han generado demoras en el sistema. Adicionalmente, las terminales portuarias del Pacífico, han estado operando muy cerca de su capacidad y por ende, ha afectado su eficiencia operativa. PSA, ubicada en el lado oeste de la entrada del Canal, tiene limitaciones de conectividad férrea y terrestre con los

puertos del Atlántico. En cuanto a los puertos del Atlántico, dos de ellos cuentan con planes de expansión.

A lo externo, ha habido una afectación en el segmento de buques portacontenedores debido a una migración de buques más grandes hacia la ruta de Suez. Esta migración se debe en gran parte a la entrada en operación de los buques que estaban en construcción y que no pueden pasar por el Canal actual, aunado a los retrasos en la entrada en operación de la ampliación del Canal. Al entrar en operación la ampliación del Canal de Panamá, se estima que estos buques se repositionarán en la ruta de Panamá.

Figura 14 Desarrollo portuario panameño.

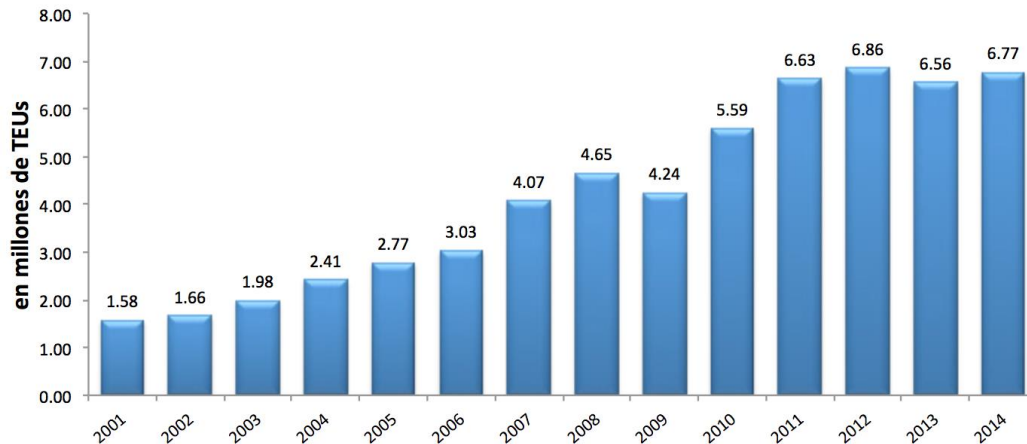


Fuente. REVISTA EL FARO. PROYECTO PUERTO COROZAL. Desarrollo portuario panameño. [en línea]. Panamá: Autoridad del canal de Panamá [citado 03 Junio, 2017] Disponible en Internet: < URL: http://micanaldepanama.com/nosotros/sobre-la-acp/el-faro/#st_content_2>

Una consecuencia natural de la ampliación es el emplazamiento de buques pospanamax. Al emplazar estos buques por Panamá, lo óptimo es realizar operaciones de trasbordo lo más cercano a la ruta del Canal y así poder interconectar diferentes sub- mercados en un solo HUB de carga contenerizada. En el caso de Panamá, se produce la confluencia de la ruta del comercio este-oeste con las rutas norte- sur de las Américas, lo que ofrece la oportunidad de un mayor trasbordo que demanda una mayor capacidad portuaria. Existe el

potencial de capturar el volumen de trasbordo esperado post-expansión, mediante la oferta de una mayor capacidad portuaria en el sector Pacífico.

Figura 15 Movimiento portuario panameño 2001-2014



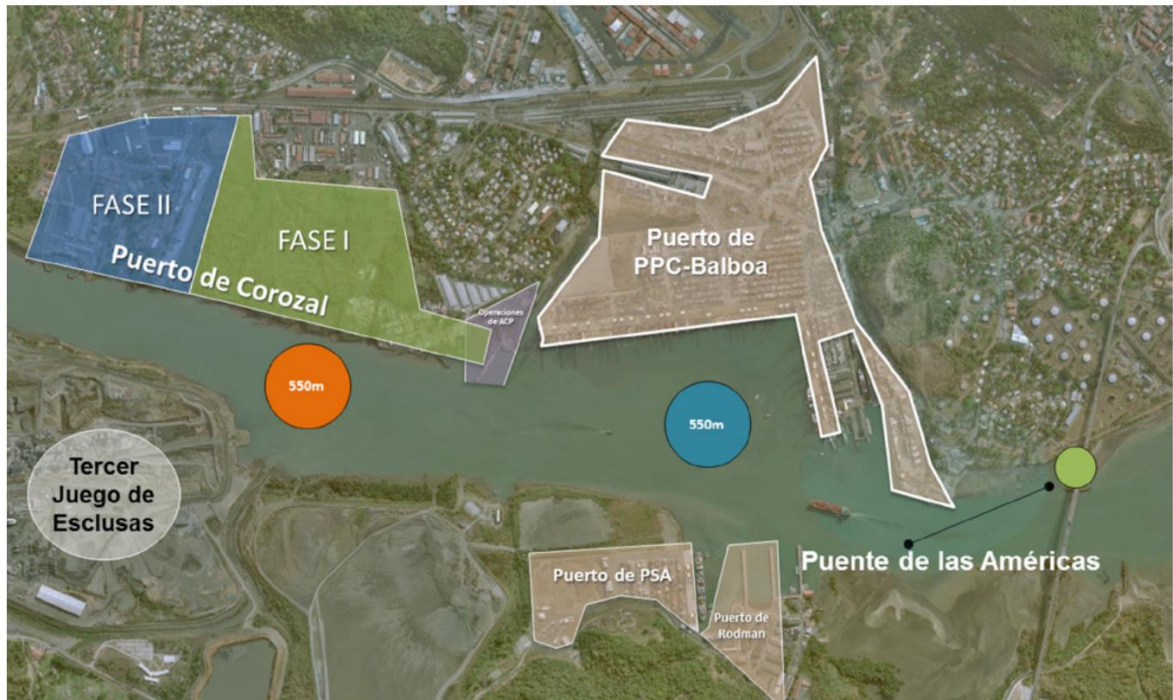
Fuente. REVISTA EL FARO. PROYECTO PUERTO COROZAL. Movimiento portuario panameño 2001-2014. [en línea]. Panamá: Autoridad del canal de Panamá [citado 03 Junio, 2017] Disponible en Internet: < URL: http://micanaldepanama.com/nosotros/sobre-la-acp/el-faro/#st_content_2>

3.4 Proyecto Portuario Colozal

La Autoridad del Canal de Panamá (ACP), ha desarrollado por más de dos años, una serie de estudios con el apoyo de varias consultoras internacionales, donde se estudiaron las proyecciones de demanda, el diseño conceptual de la terminal, los esquemas de negocios y sus respectivos análisis financieros, además de evaluaciones de riesgos, estudios ambientales preliminares y la evaluación del impacto social del proyecto.

En base a estos estudios, se aprobó iniciar los procesos de precalificación y licitación pública que culminarán con el otorgamiento de una concesión a un operador portuario para el diseño, construcción, equipamiento y operación de un puerto de trasbordo de contenedores en el área patrimonial y bajo administración privativa de la ACP en Corozal Oeste. Ello incluirá la construcción de un muelle, el patio de contenedores, las superestructuras, tales como oficinas, bodegas, almacenes, galeras y/o cualquier otra infraestructura que se requiera para el funcionamiento y operación eficiente del puerto, a cambio de un pago a la ACP utilizando tarifas fijas y variables.

Figura 16 Puerto Corozal



Fuente. REVISTA EL FARO. PROYECTO PUERTO COROZAL. Puerto Corozal. [en línea]. Panamá: Autoridad del canal de Panamá [citado 03 Junio, 2017] Disponible en Internet: < URL: http://micanaldepanama.com/nosotros/sobre-la-acp/el-faro/#st_content_2>

La concesión incluirá la construcción de aproximadamente 2,081 metros lineales de muelles, patio de contenedores y superestructuras, en una superficie de terreno y agua propiedad de la Autoridad y bajo su administración privativa de aproximadamente 120 hectáreas, con capacidad para operar hasta cinco buques pospanamax simultáneamente; un acceso directo al ferrocarril, y una capacidad total para manejar aproximadamente cinco (5) millones de TEUs anuales.

El proyecto se desarrollaría en dos (2) fases de conformidad con un cronograma que se desarrollará para este fin.

La fase I comprende 1,350 metros lineales de muelles, patio de contenedores, superestructura y equipamiento para atender tres (3) buques pospanamax simultáneamente y manejar aproximadamente 3 millones de TEUs anuales.

La fase II comprende 731 metros de muelles restantes, con capacidad para operar y manejar, en adición a la fase I, hasta dos buques pospanamax y manejar aproximadamente dos (2) millones de TEUs anuales.

Figura 17 Puerto Corozal Fases



Fuente. REVISTA EL FARO. PROYECTO PUERTO COROZAL. Puerto Corozal Fases. [en línea]. Panamá: Autoridad del canal de Panamá [citado 03 Junio, 2017] Disponible en Internet: < URL: http://micanaldepanama.com/nosotros/sobre-la-acp/el-faro/#st_content_2>

3.5 Analisis visita Panamá

En la visita académica realizada pudimos asistir a lugares y conferencias de gran importancia para el proyecto que se pretende presentar, en total de toda la visita definimos 3 visitas que nos dieron bastante fundamentación y recolección de información donde aclaramos las dudas pertinentes que de acuerdo a lo que se tenía en mente se pudo obtener la información requerida para continuar con nuestro proyecto. Los lugares destacados fueron:

3.6 Visita a la universidad tecnológica de Panamá.

Lugar Universidad Tecnológica de Panamá
Hora 2:00 p.m.
Actividad Lugar de llegada: Edificio de Postgrado, Campus Víctor Levi Sasso, Universidad Tecnológica de Panamá. Nos recibió Katherine Bernal, Coordinadora de Movilidad Estudiantil Internacional
(Traslado al Edificio No. 1, : Salón de Conferencias Rosendo Taylor, Fac. Ing. Civil).

Conferencia Ing. Aris Castillo y Dr. Ariel Grey

En la primera visita fuimos recibidos por diversos ingenieros en especial el Dr. Ariel Grey quien fue el encargado de aclararnos preguntas que nos surgían a través de la conferencia dada por las personas de la Universidad Tecnológica de Panamá, La información generada acerca del canal de panamá y su historia fue muy entendible, además fue fundamental como preparación para las visitas a las esclusas de Miraflores y Cocolí.

Preguntas:

¿Qué servicios ofrece el canal de Panamá?

El canal de panamá está pasando por un período de grandes cambios, en este momento el canal de panamá ofrece unicamente el servicio del paso de barcos clasificados según su tamaño y según lo que transportan. Diariamente pueden pasar hasta 38 barcos por las esclusas del canal de miraflores, por cada barco que pasa se cobra aproximadamente 450.000 USD, hay empresas que son clientes preferenciales del canal a las cuales se les da prioridad, la estrategia y planificacion del paso de los barcos se hace con semanas de anticipacion y algunos casos con meses. Con la ampliacion del canal y con el auge del comercio maritimo, es evidente la falta de servicios adicionales.

Figura 18 Imagen Conferencia universidad Tecnológica de Panamá



Fuente. El autor

¿En la actualidad hay algún proyecto en curso que amplie el portafolio de servicios del canal?

La ampliación del canal de Panamá va más allá de las expectativas el primer año de funcionamiento del canal ampliado marca un panorama prometedor para esta ruta. Hay registros estadísticos que dan cuenta de que la obra de ingeniería sobrepasó lo esperado. Aun así las operaciones del canal aún no amplían su portafolio más allá del paso de barcos. En este momento se están estudiando las posibilidades de generar nuevos servicios pero no hay ningún proyecto en curso.

3.7 Visita a las esclusas de Miraflores.

Lugar	Esclusas de Miraflores
Hora	9:00 a.m.
Actividad	Lugar de llegada: Auditorio edificio principal, Recorrido por las esclusas de Miraflores.

Conferencia Ing. Carlos Patterson

Actividad realizada: Conferencia Ing. Carlos Patterson y recorrido por las instalaciones de las esclusas de Miraflores, Observación y simulación desde la

cabina de control que opera en estas esclusas, visita al museo del Canal de Panamá en el centro de visitantes de Miraflores.

Conferencista Invitado: Ing. Carlos Patterson. El ingeniero nos ingresó a la cámara de control del canal de Panamá desde la cual se controla y vigila el funcionamiento del Canal, se vio la parte de sistemas electrónicos y de automatización del mismo.

Preguntas:

¿Cuáles son las principales metas corporativas?

4. Adjudicar la concesión del puerto de Corozal y licitar la concesión del puerto de RoRo.
5. Obtener un margen operativo mayor o igual 47,3%.
6. Lograr el 80,5% de las iniciativas de mejores prácticas del negocio y procesos claves para fortalecer las operaciones y el buen gobierno corporativo bajo un enfoque innovador.
7. Fortalecer la gestión del recurso hídrico y ambiental a través de la implementación del 90.20% de las iniciativas para preservar en cantidad y calidad el agua.
8. Lograr mantener un índice de gestión de la comunicación y reputación corporativa del 100%.
9. Lograr el 80% de las acciones acordadas para fortalecer la satisfacción del cliente y la inteligencia de negocios.

Figura 19 Esclusas de Miraflores y Cabina de Control del Cana



Fuente. El autor

¿Actualmente como opera administración, control y mantenimiento de la esclusas?

Actualmente se utiliza un software de simulación desarrollado sobre una plataforma de *Rockwell Automation* con el cual se puede controlar mediante sistemas de automatización (sensores) la apertura de las compuertas y de las esclusas, en esta parte se pudo evidenciar el manejo logístico para la apertura de compuertas para el paso de buques, donde se puede generar experimentos para poder enfocar el crecimiento logístico para el uso de servicios mediante el monitoreo controlado y distribución operativa.

¿Cuál es la capacidad operativa de las nuevas esclusas?

En este primer año han pasado por día 12 barcos si todo funciona bien, para optimizar el funcionamiento del paso de los barcos hay que capacitar a los operadores, en el primer año ya esta la mitad de la capacidad copada, el canal panamax (exclusas antiguas) le tomo casi 100 años en llegar a su tope. Toda la industria esta adquiriendo barcos Neo que son 3.5 mas grandes que los barcos Panamax.

¿El canal de Panamá en cuantas y cuales esclusas está dividido?

Actualmente al día de hoy el canal de panamá se encuentra dividido por 5 esclusas, 3 esclusas antiguas y las 2 esclusas nuevas. En Miraflores la esclusa principal existe un sistema doble que es la primera que se encuentra desde que suben desde el pacifico y es la esclusa más cercana a la Ciudad de Panamá, Luego se encuentra la esclusa de Pedro Miguel que consta de un sistema sencillo, que es el segundo cruce que realizaría una embarcación que proviene del Pacifico.

Las esclusas de Gatún que son las del atlántico consta de un sistema triple lo cual lo hace muy importante ya que fue construida posterior al lago Gatún, y también posee una represa que incorpora una central hidroeléctrica que promueve energía a varios sistemas en especial al de esta esclusa, adicional su salida posterior al atlántico, su ubicación es cerca de la ciudad Colon. La esclusa de Cocoli es una de las dos esclusas que hacen parte de la ampliación del canal es muy cercana a Miraflores y gracias a su nueva tecnología permite su descongestión por el sector pacifico, se usa con gran facilidad y genera más economía en tiempo para la circulación de navieras. Finalmente esta la esclusa de Agua Clara ubicada por el atlántico muy cerca de la ciudad de Colon, estas últimas dos hacen parte de la

ampliación del canal y son de la tercera parte de esclusas inauguradas en junio del 2016.

Figura 20 Esclusas de Miraflores y sistematización y control por software



Fuente. El autor

3.8 Visita a las esclusas de Cocolí.

Lugar Esclusas de Cocolí

Hora 9:00 a.m.

Actividad Visita Esclusas de Cocolí Recorrido por las esclusas de Cocolí.

Conferencia Ing. Rafael Alvarado

En la tercera visita fuimos a las esclusas de Cocoli donde pudimos ver detalladamente su funcionamiento, la visión y expansión que se tiene el canal de Panamá, donde mediante modernos sistemas tecnológicos permiten el paso de buques.

Figura 21 Esclusas de Cocolí



Fuente. El autor

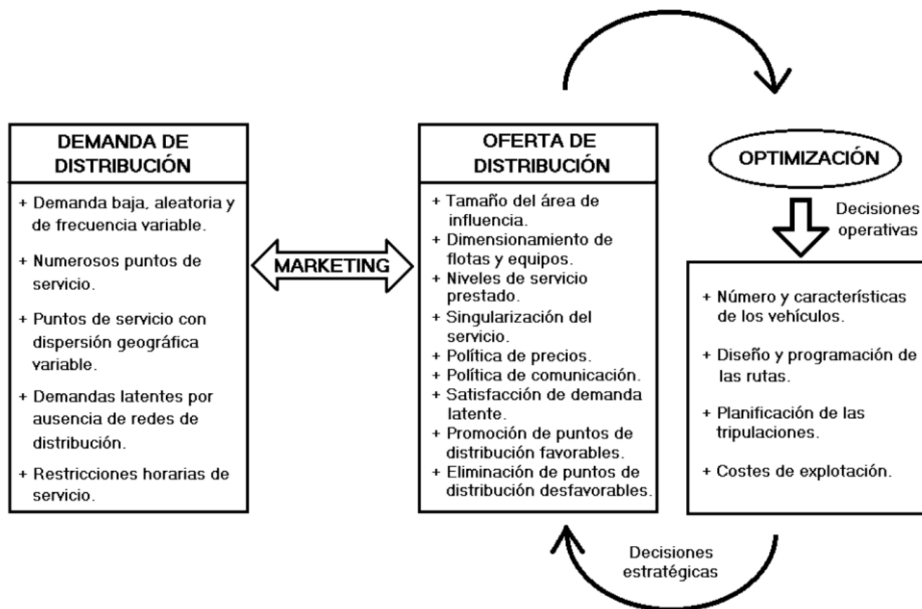
¿Cómo están optimizando los tiempos en las nuevas esclusas?

Panamá aspira a convertirse en corto plazo en plataforma logística regional, y la ampliación del Canal de Panamá ha venido a potenciar esta gran expectativa nacional. actualmente el canal de panamá esta haciendo grandes esfuerzos y capacitando a los operadores para poder garantizar la eficiencia de las esclusas, al igual que en la exlusas de Miraflores rocket Automation es el software que se utiliza para la gestión y control del paso de los barcos.

4 RESULTADOS Y ESTRUCTURA DE LA ESTRATEGIA

En la planificación y gestión de redes de distribución de baja demanda según Medina¹⁷ se genera una variedad de problemas de decisión que dependen críticamente de la optimización de operaciones, con espacios de soluciones muy grandes y además crecientes exponencialmente con el número de destinos y tamaño de flota. Esta explosión combinatoria de soluciones y la complejidad de las variables a optimizar impiden que la optimización pueda ser abordada con técnicas de optimización exactas; por el contrario, las técnicas meta-heurísticas y probabilísticas son alternativas siempre viables que, aunque no garantizan alcanzar la solución óptima absoluta, sí pueden proporcionar buenas soluciones a problemas reales complejos. En este contexto, los sistemas inteligentes son métodos apropiados para resolver problemas complejos de optimización combinatoria como el planteado.

Figura 22 Planificación y Gestión de redes de distribución



Fuente. OPTIMIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN CON ALGORITMOS GENÉTICOS. Planificación y Gestión de redes de distribución. [en línea]. España: Universidad Politécnica de Valencia [citado 23 Junio, 2017] Disponible en Internet: < URL: <http://personales.upv.es/vyepesp/00MYX07.pdf>.>

¹⁷ MEDINA, Josep R. Optimización de redes de distribución con algoritmos genéticos [en línea]. España: Universidad Politécnica de Valencia [citado 23 Junio, 2017] Disponible en Internet: < URL: <http://personales.upv.es/vyepesp/00MYX07.pdf>.>

4.1 Componentes de un algoritmo Genético

Los algoritmos genéticos se pueden caracterizar a través de los siguientes componentes:

4.2 Definición del problema a optimizar

Los algoritmos genéticos tienen su campo de aplicación importante en problemas de optimización complejos, donde se tiene diferentes parámetros o conjuntos de variables que deben ser combinadas para su solución. También se enmarcan en este campo problemas con muchas restricciones y problemas con espacios de búsqueda muy grandes. Este tipo de optimización difiere en muchos aspectos de los procesos convencionales de optimización, ya que los algoritmos genéticos:

- Trabajan sobre un conjunto codificado de soluciones, no sobre las soluciones mismas.
- Trabajan sobre un conjunto de soluciones, no sobre una solución única.
- Utilizan información simple para determinar la aptitud de los individuos, dejando de lado los procesos de derivación u otra información adicional.
- Usan procesos de transición probabilística para la búsqueda de la solución, no reglas determinísticas.

Gracias a estas características, los algoritmos genéticos no requieren información matemática adicional sobre optimización, por lo que pueden tomar otro tipo de funciones objetivo y todo tipo de restricciones (lineales y no lineales) definidas sobre espacios discretos, continuos o espacios de búsqueda combinados.

La robustez de los operadores de evolución hace muy efectivos a los algoritmos genéticos en procesos de búsqueda de soluciones globales. A diferencia de las soluciones obtenidas con un algoritmo genético, las búsquedas tradicionales operan sobre una solución particular del problema, buscando soluciones óptimas en las cercanías de esta solución particular, en muchos casos no encontrando soluciones globales para el problema. Por ello, los algoritmos genéticos proveen una gran flexibilidad para ser combinados con heurísticas específicas para la solución de un problema en particular..

4.3 Representación para la solución del problema

Para la solución de un problema en particular es importante definir una estructura del cromosoma de acuerdo con el espacio de búsqueda. En el caso de los algoritmos genéticos la representación más utilizada es la representación binaria, debido a su facilidad de manipulación por los operadores genéticos, su fácil

transformación en números enteros o reales, además de la facilidad que da para la demostración de teoremas.

La codificación de números reales en cadenas de números binarios se debe hacer teniendo en cuenta el siguiente proceso y la precisión requerida para la solución del problema:

$x \in [a, b]$ en donde el rango de la variable debe quedar dividida en $(b - a) \cdot 10^p$, iii ii donde p es la precisión requerida por el proceso (determinando así su potencia) La longitud de la cadena binaria de caracteres denotada por m , para cada variable es calculada como $m \geq \lceil \log_2 \left(\frac{b - a}{10^p} \right) + 1 \rceil$

4.4 Decodificación del cromosoma

Para determinar el número real que la cadena binaria de caracteres representa. Es importante tener en cuenta que la cadena no representa un número real, sino que este número binario etiqueta un número dentro del intervalo inicialmente fijado.

4.5 Evolución del individuo

Nos muestra el valor de aptitud de cada uno de los individuos. Esta aptitud viene dada por una función que es la unión entre el mundo natural y el problema a resolver matemáticamente. Esta función de aptitud es particular para cada problema particular a resolver y representa para un algoritmo genético lo que el medio ambiente representa para los humanos.

4.6 Operadores Evolutivos: Selección

Un algoritmo genético puede utilizar muchas técnicas diferentes para seleccionar a los individuos que deben copiarse hacia la siguiente generación, pero abajo se listan algunos de los más comunes. Algunos de estos métodos son mutuamente exclusivos, pero otros pueden utilizarse en combinación, algo que se hace a menudo.

Las diferentes variantes en la operación de selección son:

Selección elitista: se garantiza la selección de los miembros más aptos de cada generación. (La mayoría de los AGs no utilizan elitismo puro, sino que usan una forma modificada por la que el individuo mejor, o algunos de los mejores, son copiados hacia la siguiente generación en caso de que no surja nada mejor).

Selección proporcional a la aptitud: los individuos más aptos tienen más probabilidad de ser seleccionados, pero no la certeza.

Selección por rueda de ruleta: una forma de selección proporcional a la aptitud en la que la probabilidad de que un individuo sea seleccionado es proporcional a

la diferencia entre su aptitud y la de sus competidores. (Conceptualmente, esto puede representarse como un juego de ruleta: cada individuo obtiene una sección de la ruleta, pero los más aptos obtienen secciones mayores que las de los menos aptos. Luego la ruleta se hace girar, y en cada vez se elige al individuo que “posea” la sección en la que se pare la ruleta).

Selección escalada: al incrementarse la aptitud media de la población, la fuerza de la presión selectiva también aumenta y la función de aptitud se hace más discriminadora. Este método puede ser útil para seleccionar más tarde, cuando todos los individuos tengan una aptitud relativamente alta y sólo les distinguen pequeñas diferencias en la aptitud.

Selección por torneo: se eligen subgrupos de individuos de la población, y los miembros de cada subgrupo compiten entre ellos. Sólo se elige a un individuo de cada subgrupo para la reproducción.

Selección por rango: a cada individuo de la población se le asigna un rango numérico basado en su aptitud, y la selección se basa en este ranking, en lugar de las diferencias absolutas en aptitud. La ventaja de este método es que puede evitar que individuos muy aptos ganen dominancia al principio a expensas de los menos aptos, lo que reduciría la diversidad genética de la población y podría obstaculizar la búsqueda de una solución aceptable.

Selección generacional: la descendencia de los individuos seleccionados en cada generación se convierte en toda la siguiente generación. No se conservan individuos entre las generaciones.

Selección por estado estacionario: la descendencia de los individuos seleccionados en cada generación vuelven al acervo genético preexistente, reemplazando a algunos de los miembros menos aptos de la siguiente generación. Se conservan algunos individuos entre generaciones.

Selección jerárquica: los individuos atraviesan múltiples rondas de selección en cada generación. Las evaluaciones de los primeros niveles son más rápidas y menos discriminatorias, mientras que los que sobreviven hasta niveles más altos son evaluados más rigurosamente. La ventaja de este método es que reduce el tiempo total de cálculo al utilizar una evaluación más rápida y menos selectiva para eliminar a la mayoría de los individuos que se muestran poco o nada prometedores, y sometiendo a una evaluación de aptitud más rigurosa y computacionalmente más costosa sólo a los que sobreviven a esta prueba inicial.

4.7 Operadores Genéticos: cruce y mutación

Se han utilizado una amplia variedad de operadores de mutación especializados en resolver defectos distintos de una mala solución (de uno y varios puntos, de traslación, de inversión, etc.), pero ninguno especializado en eliminar cruces en planta para permitir un rápido chequeo visual de la calidad de las soluciones encontradas.

4.8 Probabilidades de cruzamiento y mutación

Una vez que la selección ha elegido a los individuos aptos, éstos deben ser alterados aleatoriamente con la esperanza de mejorar su aptitud para la siguiente generación. Existen dos estrategias básicas para llevar esto a cabo. La primera y más sencilla se llama mutación. Al igual que una mutación en los seres vivos cambia un gen por otro, una mutación en un algoritmo genético también causa pequeñas alteraciones en puntos concretos del código de un individuo.

El segundo método se llama cruce, e implica elegir a dos individuos para que intercambien segmentos de su código, produciendo una “descendencia” artificial cuyos individuos son combinaciones de sus padres. Este proceso pretende simular el proceso análogo de la recombinación que se da en los cromosomas durante la reproducción sexual. Las formas comunes de cruzamiento incluyen al cruzamiento de un punto, en el que se establece un punto de intercambio en un lugar aleatorio del genoma de los dos individuos, y uno de los individuos contribuye todo su código anterior a ese punto y el otro individuo contribuye todo su código a partir de ese punto para producir una descendencia, y al cruzamiento uniforme, en el que el valor de una posición dada en el genoma de la descendencia corresponde al valor en esa posición del genoma de uno de los padres o al valor en esa posición del genoma del otro padre, elegido con un 50% de probabilidad.

Los operadores genéticos en este caso son operadores con memoria, guardando en cada iteración los códigos genéticos de los mejores individuos a través de las generaciones. Los procesos de evolución darwiniana generalmente son procesos miméticos a través de las generaciones.

-
1. $P \leftarrow \text{GenerarPoblaciónInicial}()$;
 2. $\text{Evaluar}(P)$;
 3. **mientras** $\text{!CondiciónParada}()$ **hacer**
 4. $P' \leftarrow \text{SeleccionarPadres}(P)$;
 5. $P' \leftarrow \text{OperadoresDeVariación}(P')$;
 6. $\text{Evaluar}(P')$;
 7. $P \leftarrow \text{SeleccionarNuevaPoblación}(P, P')$;
 8. **fin mientras**
 9. **Resultado:** La mejor solución encontrada
-

5 CONCLUSIONES

Con la información obtenida en este trabajo se concluye que la planificación y gestión de redes de distribución de baja demanda exige disponer de técnicas eficientes de optimización de rutas. Desde su apertura el canal de Panamá conecta el mundo acortando las distancias tiempo y costos de transporte entre los centros de producción y de consumo.

El sistema de rutas disponible, no sólo afecta el desarrollo de operaciones sino, también las decisiones tácticas y estratégicas como el tamaño óptimo de flota, estimación de costos y indisponibilidad de servicio, etc. Los algoritmos genéticos, inspirados en los principios de selección natural, son una herramienta robusta y flexible para la solución de problemas combinatorios difíciles como los del canal.

Es importante diversificar los servicios que en este momento ofrece el canal que se limita solo al paso de buques sin ningún valor agregado, la flexibilidad de los algoritmos genéticos permite adaptarse a entornos legales, técnicos y empresariales cambiantes, pudiendo considerar una extensa variedad de restricciones y objetivos, muchas veces ambiguos e incluso contradictorios.

6 RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer una investigación mas profunda en lo referente a algoritmos heurísticos ya que finalmente, una de las cualidades de los algoritmos genéticos que, a primera vista, puede parecer un desastre, resulta ser una de sus ventajas: a saber, los AGs no saben nada de los problemas que deben resolver.

al crear un algoritmo genético es definir una representación del problema. El lenguaje utilizado para especificar soluciones candidatas debe ser robusto; es decir, debe ser capaz de tolerar cambios aleatorios que no produzcan constantemente errores fatales o resultados sin sentido.

7 TRABAJOS FUTUROS

Debido a la complejidad de encontrar resultados óptimos resulta importante trabajar en la habilidad para manipular muchos parámetros simultáneamente. Muchos problemas de la vida real no pueden definirse en términos de un único valor que hay que minimizar o maximizar, sino que deben expresarse en términos de múltiples objetivos, a menudo involucrando contrapartidas: uno sólo puede mejorar a expensas de otro. Los AGs son muy buenos resolviendo estos problemas: en particular, su uso del paralelismo les permite producir múltiples soluciones, igualmente buenas, al mismo problema, donde posiblemente una solución candidata optimiza un parámetro y otra candidata optimiza uno distinto, y luego un supervisor humano puede seleccionar una de esas candidatas para su utilización.

BIBLIOGRAFIA

DIAZ, Bernabé. Diseño e Implementación de Algoritmos Genéticos Celulares para Problemas Complejos. [en línea]. Vol. 1, Málaga: Universidad de Málaga [Citado 12-Junio-2017]. Disponible en Internet: < URL: <http://neo.lcc.uma.es/tesis/PhD-Bernabe.pdf>.> [Sección de libro].

EC. Instituto Nacional de Estadística y Censo .Panamá. [en línea]. Vol. 1, Panamá: INEC [Citado 11-Sep-2017]. Disponible en Internet: < URL: <https://www.contraloria.gob.pa/inec/archivos/P7881DatosGenerales2.pdf>.> [Sección de libro].

HILLIER, Frederick S. Introducción a Investigación de Operaciones. 9ª ed. EE.UU: Mc Graw Hill [Sección de libro].

MEDINA, Josep. Optimización de Redes de Distribución con Algoritmos Genético [en línea]. Vol. 5, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia España [Citado 8-Abril-2017]. Disponible en Internet: <http://personales.upv.es/vyepesp/00MYX07.pdf>. [Sección de libro].

MENDEZ, German. Diseño de un Algoritmo Genético para un Sistema Logístico de Distribución [en línea]. Vol. 5, Bogotá: Universidad Francisco José de Caldas [Citado 12-Marzo-2017]. Disponible en Internet: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revi> [Sección de libro].

Panamá Hub Digital. Estrategia para el desarrollo del sector TIC 2025. [en línea]. Vol. 1, Panamá: Centauri 2015 [Citado 20-Agosto-2017]. Disponible en Internet: < URL: <https://capatec.org.pa/wp-content/uploads/2017/06/ESTRATEGIA-PARA-EL-DESARROLLO-DEL-S> [Sección de libro].

ANEXOS

ANEXO EL Impacto positivo de un proyecto

EL IMPACTO POSITIVO DE UN PROYECTO

El puerto de contenedores de Corozal es uno de los pilares de la propuesta de desarrollo de negocios de Panama.

Mas de 1.500 buques han cruzado el canal ampliado desde su apertura al comercio maritimo mundial.

El proyecto Puerto Corozal fortalecera la ruta Panama y sus servicios afines.

BENEFICIOS

2.100 empleos directos durante la construccion.

3.800 empleos directos durante la operacion.

B/. 1.350 millones inversion directa extranjera

PUERTO COROZAL

EN NÚMEROS

32% es la participación del conglomerado logístico de comercio mundial en la economía de Panamá.

300,000 empleos, directos e indirectos, genera el conglomerado de actividad logística en Panamá.

120 hectáreas es el área que ocupará el Puerto Corozal.

3.2 millones es la capacidad de TEU (contenedores de 20 pies) que manejará el puerto en su primera etapa.

2.1 millones es la capacidad de TEU (contenedores de 20 pies) que manejará el puerto en la opción de expansión.

2,081 metros lineales será el frente de atraque en sus dos fases.



PosterMyWall.com