

Improving Port Ship Times Fixed Itinerary, by Allocating Berths, using a Formal Programming Model

Jonatán Edward Rojas Polo, Mg.¹, David Meléndez Medina, Ing.², Sharely Cárdenas Robles, Ing.¹

¹ Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, jrojas@pucp.pe, sharely.cardenas@pucp.pe

² Perú, davidm_m@hotmail.com

Abstract— This research arises from the need in the care of the ships of a port terminal in Pilot Plan PELS (Programming Early Landing Ship). Our research was conducted in order to increase productivity and reliability of scheduled Ships Fixed Route jobs, using formal models for optimal decision making; thus avoiding non-user satisfaction and misuse of available resources while streamlining operations, reducing time and costs of information processing. The methodology used was based on operations research (Definition of the problem, model formulation, obtaining model solution from, and model validation) also for model construction heuristic or approximate methods were used, which are efficient procedures to find good solutions but not necessarily be optimal; in these methods, the speed of the process is as important as the quality of the solution obtained.

The results show that it was feasible to develop a system capable of simulating a heuristic allocation, load leveling pier produced in the adjustment algorithm allows greater attention ships raising levels of customer satisfaction, along the model offers a fast and reliable response. With the model the utilization rate of the springs from 48% to 57%, which impacted directly on the profits with improved 17.09% increase.

Keywords— Allocation of ships, heuristic model.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.073>

ISBN: 13 978-0-9822896-8-6

ISSN: 2414-6668

13th LACCEI Annual International Conference: “Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?”
July 29-31, 2015, Santo Domingo, Dominican Republic

ISBN: 13 978-0-9822896-8-6

ISSN: 2414-6668

DOI: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.073>

Mejora de tiempos en puerto de buques de itinerario fijo, mediante la asignación de amarraderos, haciendo uso de un modelo formal de programación

Jonatán Edward Rojas Polo, Mg.¹, David Meléndez Medina, Ing.², Sharely Cárdenas Robles, Ing.³
Rojas¹ y Cárdenas³ pertenecen a la Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, jrojasp@pucp.pe,
sharely.cardenas@pucp.pe
Meléndez², Perú, davidm_m@hotmail.com

Abstract— This research arises from the need in the care of the ships of a port terminal in Pilot Plan PELS (Programming Early Landing Ship). Our research was conducted in order to increase productivity and reliability of scheduled Ships Fixed Route jobs, using formal models for optimal decision making; thus avoiding non-user satisfaction and misuse of available resources while streamlining operations, reducing time and costs of information processing. The methodology used was based on operations research (Definition of the problem, model formulation, obtaining model solution from, and model validation) also for model construction heuristic or approximate methods were used, which are efficient procedures to find good solutions but not necessarily be optimal; in these methods, the speed of the process is as important as the quality of the solution obtained.

The results show that it was feasible to develop a system capable of simulating a heuristic allocation, load leveling pier produced in the adjustment algorithm allows greater attention ships raising levels of customer satisfaction, along the model offers a fast and reliable response. With the model the utilization rate of the springs from 48% to 57%, which impacted directly on the profits with improved 17.09% increase.

Keywords— Allocation of ships, heuristic model.

Resumen – La presente investigación surge ante la necesidad que existe en la atención de las naves de un terminal portuario en el Plan Piloto PAAN (Programación Anticipada de Arribo de Naves). Nuestra investigación se realizó con la finalidad de incrementar la productividad y confiabilidad de trabajos programados de las Naves de Itinerario Fijo, haciendo uso de modelos formales para una óptima toma de decisiones; evitando así, la no satisfacción de los usuarios y el mal uso de los recursos disponibles, al mismo tiempo agilizar operaciones, reduciendo tiempo y costos de procesamiento de información. La metodología utilizada fue basada en la investigación de operaciones (Definición del problema, Formulación del modelo, Obtención de una solución a partir del modelo y Validación del modelo), además para la construcción del modelo se usó métodos heurísticos o aproximados, los cuales son procedimientos eficientes para encontrar buenas soluciones aunque no necesariamente sean óptimas; en estos métodos, la rapidez del proceso es tan importante como la calidad de la solución obtenida.

Los resultados muestran que fue viable el desarrollo de un sistema capaz de simular una asignación heurística, la nivelación de cargas en los muelles producida en el algoritmo de reajuste permite una mayor atención de naves elevando los niveles de satisfacción de clientes, además el modelo ofrece una respuesta ágil y confiable. Con el modelo se incrementó la tasa de utilización de los muelles de 48% a 57%, lo cual impactó directamente en la utilidades con una mejora de 17.09%.

Palabras clave -- Asignación de buques, modelos heurísticos.

I. INTRODUCCIÓN

Los puertos peruanos son un centro neurálgico y vital en la economía del país, considerando que el Perú importa el 50% de lo que consume y que esto ingresa por puertos; siendo que el 90% de nuestras transacciones comerciales con el mundo se hace vía marítima y en Lima se moviliza el 75% de la carga total nacional.

Las condiciones por las que atraviesa la economía mundial presionan a los puertos para que modernicen su infraestructura y mejoren la productividad de sus instalaciones, ello sumado a la competitividad que deben ofrecer para ganar mercados.

El puerto en estudio tiene una fuerte debilidad al no haber ampliado la infraestructura de los muelles; para poder así, dar un uniforme y mejor servicio a los buques modernos, dado que en las operaciones de los buques se trata de optimizar el uso de los amarraderos, haciendo uso de buques de mayores medidas tanto de su eslora (largo del buque) como en sus calados (profundidad); por otro lado es meritorio y necesario mencionar que el puerto en estudio viene mejorando su servicio, superando cada año el record del año precedente en lo que respecta a movilización de contenedores incluso sobrepasando el millón (1'000,000) de TEU s. En el último año movilizó 1'285,00 TEU's liderando de esta manera los puertos de la costa oeste de Sudamérica; esto muy posiblemente sea el reflejo de la implementación de medidas para la optimización de operaciones dentro del puerto en cuanto a la atención a naves, y en los terminales de almacenamiento siguiendo lineamientos de mejores prácticas aplicadas en puertos importantes a nivel mundial como son los sistemas integrados de información y comunicación dentro del puerto (SIOP , SIOP-RF , SPARCS , entre otros), y a la vez cabe señalar la adquisición de nuevas maquinarias y últimamente la adquisición de grúas pórtico de muelle y grúas de patio.

No obstante las mejoras del sistema portuario de ninguna manera debería recaer solamente en el administrador portuario, sino de igual manera son partícipes la Región, la cual debería proveer mejoras en las rutas de acceso al puerto,

y a su vez los usuarios del terminal portuario, los cuales a su vez deberían modernizar sus infraestructuras y equipos para garantizar un trabajo con una productividad óptima y constante, sin inconvenientes que se presentan en la actualidad como son las paralizaciones por la escasez de camiones para movilizar la descarga o la planificaciones de embarque de contenedores de último momento. Por ende el terminal portuario en estudio viene implementando un programa piloto para el atraque anticipado de naves de itinerario fijo, PAAN, esto de acuerdo a tendencias mundiales, dado que sistemas similares vienen funcionando en puertos importantes de Asia y Europa que marcan la pauta en el comercio mundial; las naves de itinerario fijo tienen ventanas de tiempo confirmadas para sus operaciones; de esta manera, tanto el terminal portuario como el agente de la nave puede prever con anticipación su planificación y optimizar las operaciones para atender el embarque o descarga de mercadería y servicios que requerirá la nave.

La actual asignación de amarraderos del programa piloto PAAN se viene realizando con una anticipación de 3 meses y de manera manual, lo cual implica un alto grado de dificultad no solo por la gran cantidad de datos que se manejan sino también porque el convenio PAAN permite rectificaciones (sujetas a la disposición de amarraderos y al visto bueno de la oficina de Tráfico del Puerto). De continuar sin el uso de un modelo formal es muy probable que la empresa afronte en un periodo de corto plazo desventajas competitivas, dado que no se tomaron medidas correctivas para el manejo de un gran y dinámico número de datos provocando malestar entre los clientes por demoras en el procesamiento de datos.

Por lo tanto, en esta investigación se brinda una solución para afrontar el reto de este nuevo plan piloto, evitando un futuro conflicto en el manejo de datos, desarrollando un modelo formal de programación dinámica basado en un modelo heurístico para la asignación de estos buques de itinerario fijo, teniendo como función objetivo la maximización de la suma de tiempos en muelle de estos buques de itinerarios dejando mayores márgenes o ventanas de tiempo para la atención de buques Tramp (modalidad de fletamento); aportando de esta manera al desarrollo del Puerto para el manejo de una información exacta y oportuna, facilitando la gestión de la empresa y su desarrollo.

II. SITUACION INICIAL

La actual asignación de amarraderos del programa piloto PAAN, tal como se mencionó anteriormente, se realiza con una anticipación de 3 meses y de manera manual (en archivos de cálculo), lo cual implica un alto grado de complejidad, no solo por la gran cantidad de datos que se manejan sino también porque es necesario realizar un plan dinámico, dado que el convenio PAAN permite rectificaciones en el tiempo esperado de atraque y desatraque las naves.

Actualmente la programación de buque-amarradero no se realiza mediante un modelo de optimización o un algoritmo formal de secuenciación. El proceso comienza cuando el cliente (línea de buques) mediante el uso de la plataforma web realiza una reserva de atraque en puerto, donde especifica las dimensiones del buque (eslora, calado y manga), tipo de nave, tiempo esperado de atraque y tiempo en puerto, observe la Tabla I.

Tabla I
Base de datos de solicitud de atraque de nave en muelle

Plan	ETA	ETD	NAVE	CAL	ESL	MAN
1184	02/11/2014 06:00	04/11/2014 02:00	NYK JOANNA	33	210	30.1
1297	02/11/2014 12:00	03/11/2014 16:00	MAPOCHO	33	168	27.2
1295	02/11/2014 12:00	03/11/2014 12:00	MOL UNIVERSE E	33	178	28.24
1247	03/11/2014 12:00	05/11/2014 04:00	MARUBA VICTORY	33.15	210.9	32.26
1106	04/11/2014 01:00	05/11/2014 13:00	HERMANN HESSE	35	176.9	27.4
1273	04/11/2014 06:00	05/11/2014 11:00	ITAJAI EXPRESS	36	207.5	29.8
1185	04/11/2014 09:00	06/11/2014 09:00	NYK CLARA	34	210	30.1
1138	04/11/2014 18:00	06/11/2014 08:00	CAP BRETON	33	210.0	30.2
1311	04/11/2014 20:00	05/11/2014 20:00	CSAV RIO LONTUE	33	207.4	29.8
1322	05/11/2014 07:00	06/11/2014 07:00	APL COLIMA	25	166.1	25
1136	06/11/2014 06:00	08/11/2014 23:00	CAP PASADO	36	221.6	29.8
1347	06/11/2014 07:00	07/11/2014 07:00	ESTHER SCHULTE	32	210.0	30.2
1165	06/11/2014 07:00	08/11/2014 01:00	CSAV MEXICO	33	207.9	32.24
1159	06/11/2014 12:00	07/11/2014 06:00	LIBRA CHILE	33	184.1	25.3
1238	06/11/2014 12:00	09/11/2014 05:00	MARUBA PARANA	33	175.4	27.7

Programación:

Posteriormente el administrador portuario descarga la data en una hoja de cálculo y procede a la asignación de buque a amarradero aplicando el principio de primero en llegar primero en ser asignado, FIFO, siempre y cuando las dimensiones del buque seleccionado (eslora y calado) no sobrepasen las dimensiones del muelle donde debe ser asignado por este principio; en el caso que las dimensiones del buque no cumplan con los requerimientos de eslora y calado, la nave deberá ser asignada al siguiente muelle hasta cumplir con las restricciones de medidas. Si las dimensiones de la nave a asignar cumplen con las medidas de un solo muelle en específico, y éste muelle se encuentra ocupado, la nave deberá esperar.

Una nave solo puede ser asignada a un muelle, es decir, una vez que la nave atraca en un muelle, solo desatracará cuando termine su servicio en muelle.

Un muelle solo puede atender a una nave por intervalo de tiempo. En nuestro análisis de los datos, se observó que este principio muchas veces no es respetado, siendo la causa la complejidad de la programación en una hoja de cálculo, dado que no se puede ver el nivel de carga por muelle en tiempo real, y por consiguiente se programa distintas naves a un mismo muelle en el mismo intervalo de tiempo, lo cual genera quejas e insatisfacción en los clientes. En la tabla II podemos observar el formato de asignación de nave a muelle, así también se observa un error típico en el plan 1184 y el plan 1295, los cuales se cruzan en el amarradero 5A entre el 02 y 03 de noviembre. La presencia de este error es del 12% del total de naves a asignar.

Mediante el análisis de la data de asignación de dos años, se observó que en promedio el 12% de la asignación total de naves a asignar, es asignación errada por causa de sobrecargar el uso del muelle en más de una nave en un solo intervalo de tiempo.

Tabla II
Asignación de nave a muelle

Plan	ETA	ETD	CAL	ESL	MAN	Muelle
1184	02/11/2014 06:00	04/11/2014 02:00	33	210	30.1	5A
1297	02/11/2014 12:00	03/11/2014 16:00	33	168	27.2	5B
1295	02/11/2014 12:00	03/11/2014 12:00	33	178	28.24	5A

Recursos:

Los recursos disponibles para el proyecto PAAN son el muelle 2 y el muelle 5, que contienen 6 amarraderos, teniendo en cuenta que el puerto de estudio cuenta con 15 amarraderos para la atención de naves de carga general (02 amarraderos en el muelle 2 y 04 amarraderos en el muelle 5). En la figura 1 se puede observar los amarraderos para el proyecto PAAN.



Figura 1 Amarraderos pertenecientes al proyecto PAAN.

En la Tabla III se muestran las características de los amarraderos:

Tabla III
Dimensiones de los muelles

Muelle	Eslora (metros)	Calado (pies)
M2A	195	33
M2B	195	33
M5A	180	36
M5B	220	36
M5D	225	36
M5E	192	36

III. SITUACION MEJORADA

En la actualidad el terminal portuario de estudio, en su plan piloto PAAN, se encuentra recibiendo la información de los itinerarios de las naves de itinerario fijo por parte de los distintos agentes navieros; sin lograr satisfactoriamente organizar esta información y sin usar una propuesta de programación óptima de los itinerarios concordante con los recursos con los que cuenta el puerto. Nuestra investigación propone un modelo para la correcta asignación de naves/amarraderos, mediante un modelo formal, buscando la óptima utilización de los recursos (muelles y tiempo), y posteriormente se determina una propuesta de redistribución para alcanzar a la demanda no cubierta, realizando arreglos en determinado margen los tiempos de arribo (ETA¹) y zarpe (ETD²) de las naves, para buscar satisfacer la demanda con el recurso actual. Caso contrario la línea naviera al observar que no disponemos reiteradamente capacidad de atención a sus buques, podría optar por no desembarcar en el puerto del Callao, pudiéndola realizar en el puerto de Paita u otros puertos, o lo que sería peor, atracar en un puerto fuera del País. Actualmente solo el 5% no es atendido por capacidad (con mal uso de los recursos) de los muelles, no obstante si hablásemos de atender justo a tiempo, solo se atiende al 78% según lo observado en los registros de asignación, lo cual genera pérdidas en promedio de \$ 300 por hora buque en mar. Sabemos que el costo de la naviera por buque, desde que atraca hasta que desatraca está en un rango de \$18,750 hasta los \$40,250 dependiendo del tipo de buque, del tipo de carga y de los días en muelle.

Por lo mencionado, para el presente caso es necesario definir las prioridades de las naves que van a programarse, debe seguir algún criterio de optimización, como el costo de operación, el tiempo de cambio, o la importancia de los clientes.

El modelo propuesto tiene como input los itinerarios de llegadas de las naves por parte de las líneas navieras; la programación debe de regirse por Políticas, Limitaciones y los Recursos con los que cuenta el puerto; y así el modelo logrará brindar una programación lógica favorable. La metodología de elaboración del modelo se observa en la figura 2.

¹ ETA – [Estimated Time of Arrival] Tiempo estimado de llegada
² ETD – [Estimated Time of Departure] Tiempo estimado de salida



Figura 2 Esquema de elaboración del modelo de asignación de buques.

PROGRAMACIÓN

Los elementos necesarios para una adecuada programación en la asignación de nave-amarradero se observa en la figura 2. El formato de las solicitudes se observan en la Tabla 1, los recursos se visualizan en la figura 1, y las limitaciones del plan PAAN en la tabla III. A continuación se explica la programación y la secuencia que propone nuestro modelo.

A. Políticas

Identificando el servicio brindado por el terminal portuario, y su fundamento en la “Programación de la Demanda de los Clientes (naves de Línea)”, desarrollamos políticas de reservaciones. Normamos las siguientes políticas:

1) *Regla de servicio FIFO (first in first out)*: la nave con la fecha más próxima en anunciar su llegada, es la nave que se le programará primero en muelle, siendo ésta la idea central del algoritmo de aplicación, debido a que todos los clientes del sistema portuario poseen un trato igualitario y no de exclusividad de arribo. Esta conclusión surge de un razonamiento simple el cual consiste:

- Si por atender exclusivamente a un buque Panamax Class antes que un buque de primera Generación, y siendo el buque de primera Generación el que llegó primero, incurriríamos en los siguientes problemas: a) Una mala Captación de la perspectiva que tiene el cliente sobre la calidad de servicio, las cuales afectarían a las dimensiones de credibilidad (honestidad al asignar), confiabilidad (desempeñar el servicio prometido), comprensión del cliente, seguridad (incertidumbre) y respuesta por parte del terminal portuario. b) La línea naviera al observar un trato no igualitario en sus buques, podría optar por no desembarcar en el puerto de estudio, pudiéndola realizar en el puerto de Paita u otros puertos, o lo que sería peor, fuera del País.
- Los costos adicionales que incurra el buque por esperar arribar a muelle, son costos que están dentro de los rangos de costos, que las centrales de las Navieras manejan. Por lo tanto que un buque grande espere y sus costos de operación sean mayores a los de un buque pequeño, no lo tomamos como factor principal en la asignación. Tomaremos como mayor factor de asignación su orden de llegada de los barcos, es decir FIFO.

2) *Muelles activos*: Con la finalidad de mantener los muelles siempre activos se le asignarán a las naves los muelles que hayan sido desocupados más próximos a la llegada de la nave. Esto reduce el tiempo de no utilización de los muelles lo cual genera menos desperdicio del recurso.

3) *Optimizar*: Para buscar optimizar los recursos disponibles, en caso de que una nave pueda atracar en más de un muelle, esta atracará en el muelle que se ajuste mejor a las características de la nave, es decir de entre los muelles posibles, se le asignará el muelle con el largo más justo al de la nave o la profundidad más justa al de la nave. Esto significa a la vez de que si la nave es capaz de atracar en 2 muelles siendo estos de diferentes dimensiones, esta atracará al muelle de largo más justo al de la nave, reservando el muelle de mayores dimensiones para una nave de mayores dimensiones, dado que se aprovecharían mejor los recursos, generando mayores ganancias hacia el puerto.

4) *Supuestos*: Además para nuestra abstracción trabajaremos con los siguientes supuestos:

- Los muelles y en general el puerto están disponibles en todo el periodo de planificación.
- Los muelles no pueden dar servicio más allá de sus límites ya establecidos.
- No se permite interrupción de operaciones de las naves.
- No se permite cancelación, una vez iniciadas las operaciones de las naves.
- Los muelles pueden estar desocupados.
- Las restricciones tecnológicas son conocidas e inmutables.

B. Secuencia

La secuencia se analizará y realizará en el siguiente ítem “Formulación del Modelo”, buscando una programación de naves automatizada y posteriormente un arreglo de la distribución realizando pequeños ajustes tanto en los tiempos de llegada, como en los tiempos de salida de las naves limitando la variación de los tiempos en un tiempo máximo de veinticuatro (24) horas.

FORMULACIÓN DEL MODELO

VARIABLES

Para iniciar con la formulación del modelo definiremos las variables con las que trabajaremos:

- Muelle.Calado[J] : Esta variable se define como el calado de cada muelle [J] ingresado a la programación.
- Muelle.Eslora[J]: Esta variable se define como la eslora de cada muelle [J] ingresado a la programación.
- Muelle.ETD[J]: Esta variable es un artificio utilizado para poder comparar los tiempos de salida de las naves con el estado (ocupado o desocupado) del muelle.

- N: es el número de naves que se programa durante el periodo.
- Tinitial: Es un dato de tiempo, el que indica el inicio el periodo de programación.
- Tfinal: Es un dato de tiempo, el que indica el final el periodo de programación.
- Nplan[i]: Es el dato que interrelaciona la nave con el anuncio de llegada al puerto (dado a que con el nombre de la nave no basta porque esta puede llegar en más de una oportunidad al puerto).
- Nave.Nombre[i]: atributo de nombre de la nave.
- Nave.Eslora[i]: atributo de dimensión (largo) de la nave.
- Nave.Calado[i]: atributo de dimensión (profundidad) de la nave.
- Nave.ETA[i]: dato de la fecha de arribo de la nave (ETA Tiempo estimo de atraque).
- Nave.ETD[i]: dato de la fecha de zarpe de la nave (ETD Tiempo estimado de zarpe).
- Naves.ToMI: Contador de naves asignadas a muelles imaginarios
- Min.Eslora[i]: variable que es utilizada como punto de comparación para lograr hallar la eslora mínima de un conjunto de muelles.
- Nave.Muelle.index[i]: Es el número [J] del muelle que se le asigna a la nave para su recalada.
- Min.Time[i]: variable que es utilizada como punto de comparación para lograr hallar el tiempo ocioso mínimo de un conjunto de muelles.
- Dif.Eslora[J]: Variable que sirve para comparar las diferencias de dimensión de eslora (largo) entre una nave y un conjunto de muelles.
- Dif.Calado[J]: Variable que sirve para comparar las diferencias de dimensión de calado (profundidad) entre una nave y un conjunto de muelles.
- Dif.Tiempo[J]: Variable que sirve para comparar las diferencias de tiempo (ETA[i]-ETD[J]) entre el tiempo de llegada de una nave y el tiempo en el que se desocupo cada muelle de un conjunto de muelles.

ALGORITMO DE ASIGNACION DE BUQUES

Iniciaremos desarrollando un algoritmo capaz de devolver una asignación de buques/muelles para un determinado periodo de tiempo, programación la cual al contar con una lógica adquirida mediante la investigación se considera una buena asignación (buscando la óptima). El algoritmo propuesto solo es válido para aquellos buques que se encuentran en el rango de dimensiones de eslora, calado y manga, el algoritmo sigue la siguiente lógica:

Paso 1: El programa deberá cargar los datos de los muelles. Cantidad de muelles a utilizar y sus atributos como la eslora (Muelle.Eslora[J]) y el calado (Muelle.Calado[J]), de los muelles destinados para el proyecto; en nuestra propuesta hemos adherido 6 muelles imaginarios extras para lograr

observar la demanda real y actual y al mismo tiempo lograr apreciar los conflictos existentes.

Paso 2: Paso siguiente el programa requiere el ingreso del número total de naves a ingresar (N), los límites de tiempo para la asignación, tanto el Tiempo Inicial del Periodo (Tinitial) como el tiempo final de la asignación (Tfinal).

Paso 3: El sistema cargará las naves en orden cronológico con respecto al anuncio de su llegada (ETA[i]) con sus respectivos datos de una base de datos previamente ingresada.

Paso 4: Asumiremos como hipótesis que al inicio de la programación todos los muelles se encuentran desocupados (ETD[J] = Tinitial).

Paso 5: Luego, se analizará la posibilidad de atracar una nave en cada uno de los muelle, teniendo en cuenta las características de estas y las restricciones de la infraestructura actual (Muelle.Calado[J], Muelle.Eslora[J]), y por supuesto el hecho de su estado como ocupado o desocupado de cada muelle (Nave.ETA[i] - Muelle.ETD[J]).

Paso 6: Daremos preferencia de atracar en los muelles 2A y 2B a buques que vengan con calado menor de 33 pies y por supuesto que sus esloras le permitan un amarre bueno y seguro.

Paso 7: Otro punto que tomamos en cuenta es el afán de hacer un mejor uso del recurso por medio de iteraciones buscamos, de entre los posibles muelles en los que puede atracar la nave, que los naves atraquen en muelles con el calado y la eslora más justa a estos con el objeto de reservar los muelles de grandes dimensiones para los buques de grandes dimensiones

Paso 8: Además el tiempo juega un papel importante dado a que si en un buque luego de las 2 primeras restricciones (eslora y calado) le es indiferente atracar en un muelle o en otro este buscará el muelle desocupado cuyo momento en que cambio de estado de ocupado a desocupado sea el más próximo a la fecha de arribo del buque (ETA[i]), esto es para que el muelle permanezca el mayor tiempo operativo, y a la vez lograr ventanas de tiempo libre en los otros muelles para tener la oportunidad de atender a buques que no pertenezcan a este proyecto (buques TRAMP).

Paso 9: Continuar hasta terminar con el total de la lista de buques para el respectivo periodo seleccionado

Para una mayor referencia se presenta en las figuras 3 y 4 el algoritmo con la lógica empleada (el algoritmo se presenta como una sub-rutina dado que en un proceso posterior se requerida de este).

Una vez efectuado el algoritmo se observa (según pruebas realizadas) que en ciertos momentos la demanda de buques sobrepasa a los recursos con los que se goza en el puerto por cuanto se aprecian congestiones y en muchos casos existirán buques que posiblemente no logren atracar a muelle en el tiempo requerido. Se ha realizado un análisis para medir la frecuencia de los buques, con lo cual se halló las proporciones de servicio, con lo cual obtuvimos la prioridad de atención para los buques de mayor tamaño.

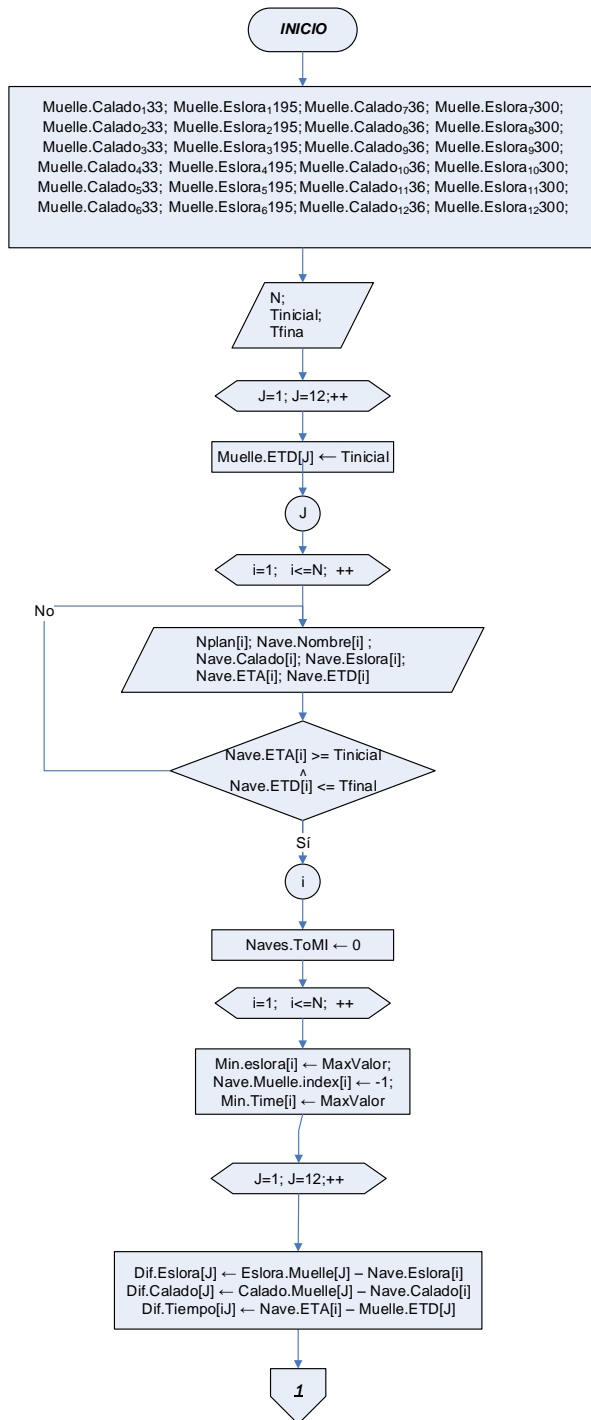


Figura 3 Algoritmo Solución Parte I.

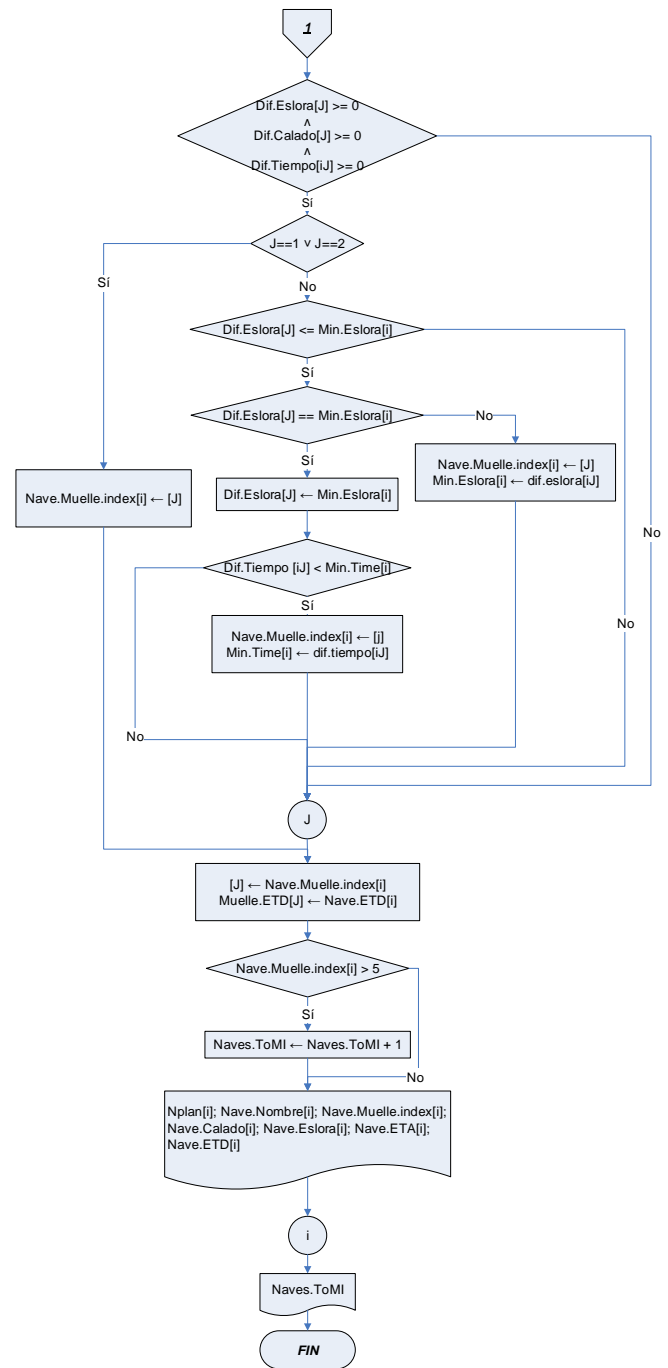


Figura 4 Algoritmo Solución Parte II.

Luego de observar que aún existen naves sin poder programar a tiempo, buscamos una solución a esta nueva problemática, donde se propuso trabajar con el tiempo de arribo y zarpe sin hacer variar sus tiempos totales de trabajo. Para esto se acordó en variar las horas en inicio de las operaciones de los buques en máximo de +/-24 horas, en nuestra propuesta dejaremos abierta esta opción para buscar la mejor opción en cuanto a propuestas de programación, esta

será una variable que será ingresada a la programación, variable que en nuestro algoritmo aparece con el nombre de “Lim.variación”, y realizar múltiples iteraciones del algoritmo de asignación de buques/muelles anteriormente presentado (figuras 3 y 4), y posteriormente ir comparándolos, y seleccionar el algoritmo que muestra una solución más cercana al óptimo.

Al realizar las posibles soluciones nos enfrentamos con un número demasiado grande de iteraciones, la cual incrementa el tiempo de respuesta, por consiguiente se optó por realizar una muestra de un número predeterminado de iteraciones (30,000) y estas iteraciones modificarán las horas de inicio de operaciones de los buques dentro del límite anteriormente seleccionado, de manera aleatoria por cada buque, tanto positivamente como negativamente. La lógica para el arreglo en la variación aleatoria de las horas de inicio de operaciones de los buques se muestra a continuación en las subrutinas: “Variación” (figura 5) y “Arreglo Aleatorio” (figura 6).

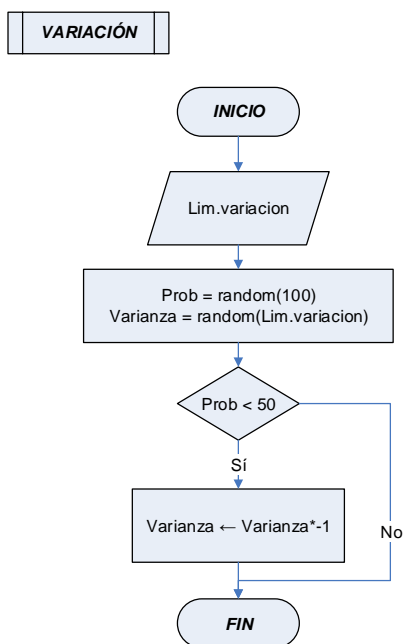


Figura 5 Algoritmo Sub-Rutina Variación.

En esta sub-rutina (figura 5) se realiza el trabajo de generar aleatoriamente las horas de variación, positiva o negativa, que serán aumentadas para cada nave.

En el proceso siguiente (figura 6) se observa el mecanismo empleado para el aumento de en las horas (+/-) teniendo en cuenta que el arreglo de las variaciones de las horas no produzca que en ningún caso alguna de las naves salga del límite de tiempo inicial (Tinicial) anteriormente asignado para la programación.

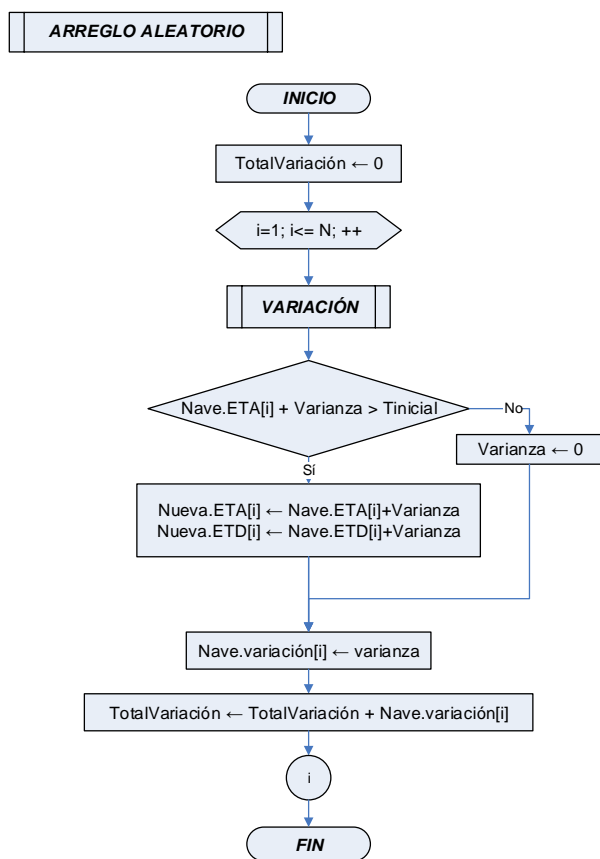


Figura 6 Sub-Rutina Arreglo Aleatorio.

Una vez efectuado los arreglos aleatorios en los tiempos de las naves, se procede a efectuar el algoritmo de solución presentado al inicio de la formulación del modelo (figuras 3 y 4, en este caso empleado como una sub-rutina) con el cual se generaría nuevas propuestas de solución.

Posteriormente se procede a la comparación de las propuestas, paso en el cual se toma como parámetros de comparación el número de buques que no lograron ocupar muelles reales (Condición $Nave.ToMI < Aux.NavesToMI$), seleccionando el menor tiempo de ellos, y en caso de que estos sean iguales se procedería a comparar el total de las horas de variación de los buques buscando que estas fueran las mínimas posibles, y que estas naves mantenga su itinerario original (Condición $TotalVariación < Aux.TotalVariación$). La lógica de esta condición se observa en la figura 7.

En el siguiente paso, se procederá a reemplazar los tiempos de arribo de la nave, almacenando la mejor solución para la comparación con la siguiente propuesta producto de la siguiente iteración. Observe la figura 8.

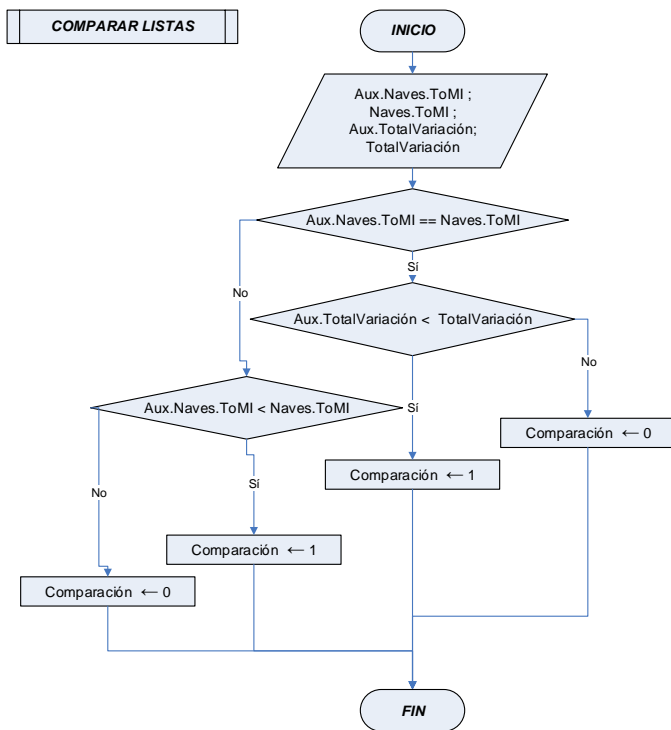


Figura 7 Algoritmo Sub-Rutina Comparar Listas.

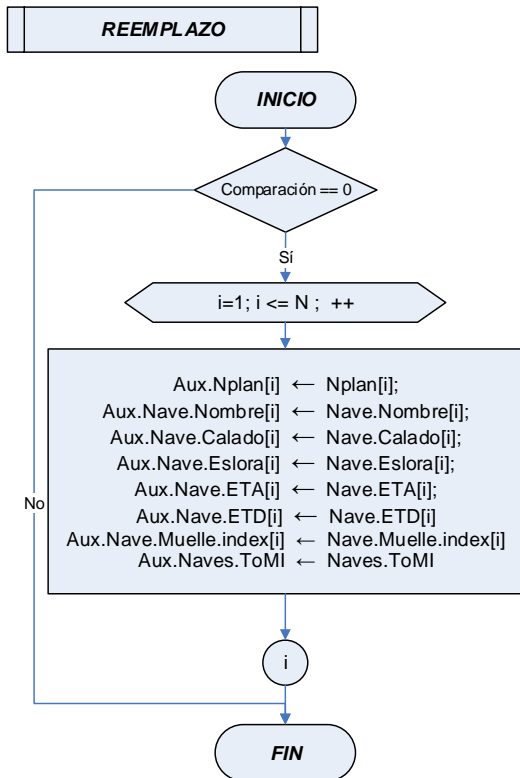


Figura 8 Algoritmo Sub-Rutina Reemplazo.

Como paso final, en la figura 9 se muestra el algoritmo de reporte del resultado del modelo propuesto.

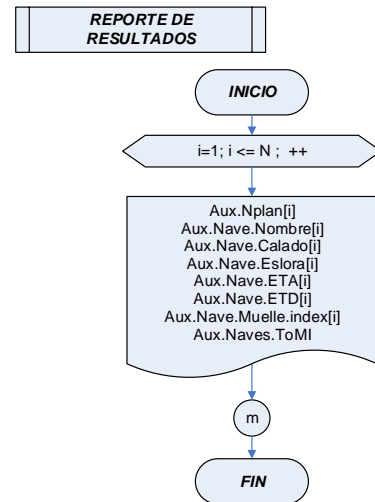


Figura 9 Algoritmo Sub-Rutina Reporte de Resultados.

Los procesos descritos anteriormente se integran a un algoritmo maestro, figura 10, con el cual se realiza el reajuste de las naves y se espera llegar a un a respuesta mejorada siempre en busca de la utilización óptima de los recursos del Puerto. Esto se da en un número de 30,000 iteraciones.



Figura 10 Algoritmo Reajuste.

Como se observa en la figura 10 para la ejecución del algoritmo se necesitó las sub-rutinas complementarias como son la del almacenaje de la propuesta original, el algoritmo para almacenar la solución inicial se muestra en la figura 11. Para futuras comparaciones y observar la mejora entre la propuesta original y la propuesta final se trabajó con la subrutina “Lista Auxiliar” (figura 12), la cual es necesaria para la operatividad del algoritmo Global (figura 10: Reajuste).

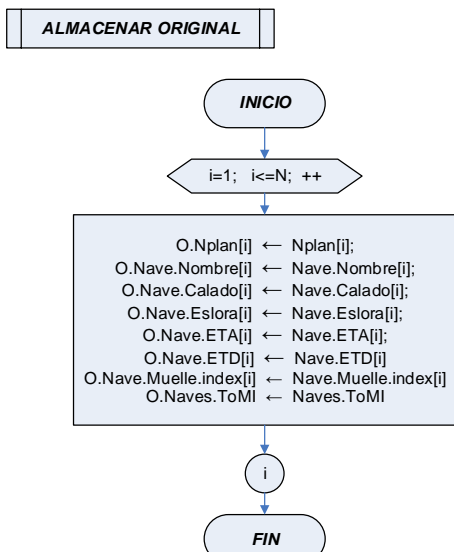


Figura 11 Algoritmo Sub-Rutina Almacenar Original.

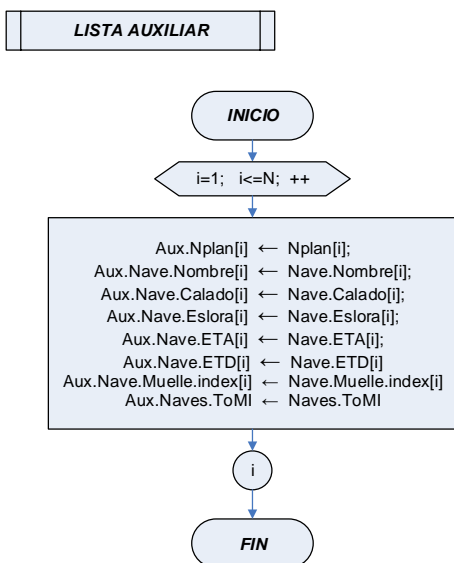


Figura 12 Algoritmo Sub-Rutina Lista Auxiliar.

INTERFACE DE SOLUCIÓN

Se elaboró una plataforma desarrollada en Visual C#, la base y diseño de este programa son los algoritmos arriba descritos, además de hacer uso de los datos del itinerario de

las naves de itinerario fijo del terminal portuario en estudio. En la figura 13 se observa la interface del modelo propuesto.

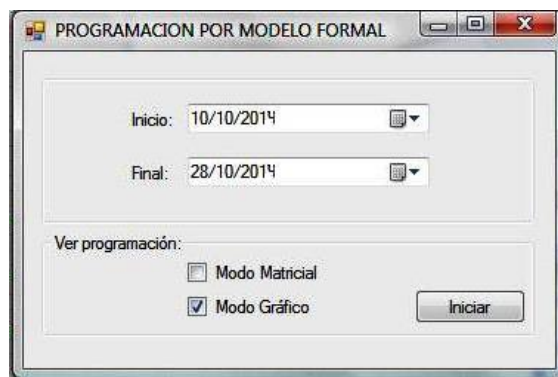


Figura 13 Interface: Menú de solución.

En este módulo se puede obtener de forma matricial: donde indica el nombre de la nave, tiempo esperado de embarque ETA, tiempo esperado de desembarque y el muelle asignado. El programa también de manera grafica la asignación de los buques, empleando un nivel de carga por amarradero. En la tabla IV y en la figura 14 se muestra el reporte de asignación.

Tabla IV ASIGANCION ANTICIPADA

NOMBRE NAVE	ETA	ETD	MA1	MA2	M5A	M5B	M5D	M5E
APL MANAGUA	13/10/2014 01:12	14/10/2014 18:12	X					
NORASIA ALYA	13/10/2014 02:12	14/10/2014 20:12					X	
RHL AGLITAS	13/10/2014 02:12	14/10/2014 14:12			X			
NYK CLARA	13/10/2014 04:12	15/10/2014 18:12				X		
TORGE S	15/10/2014 01:12	16/10/2014 06:12					X	
RHL AQUA	15/10/2014 20:12	17/10/2014 08:12	X					

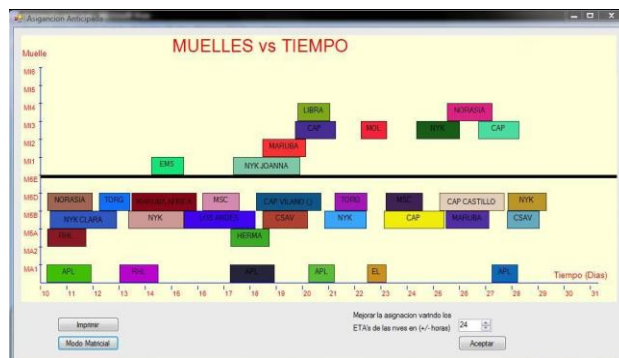


Figura 14 Reporte Gráfico Asignación Anticipada.

VALIDACIÓN DEL MODELO

Para la validación del modelo, se simularon escenarios donde se modificaba el tiempo esperado de atraque, luego se tomó muestras de las programaciones realizadas manualmente

contrastándolas con programaciones alternativas resultantes de la aplicación del modelo desarrollado; finalmente mediante una prueba estadística se determinó la significancia de la diferencia entre los métodos. No obstante haciendo una prueba validación del modelo con distintos datos de entrada y distintas variaciones de horas, se observó un periodo estable en la asignación obtenida, después de las 24 horas de variación, el resultado de asignación no tiende a cambiar significativamente, esto se comprobó mediante un análisis de medias.

IV. RESULTADOS

Se observa la deficiencia en la programación manual con la cual se trabajaba, dado que no se toman en cuenta las horas de arribo y zarpe de las naves (solo toma en cuenta el tiempo de operación), por cuanto en realidad el método actual puede considerarse tan solo una asignación de muelles, más no una programación adecuada.

El modelo heurístico propuesto se enfoca a simular escenarios de asignación más cercana al óptimo, tomando en cuenta los estados de los muelles como ocupado y desocupado, en un principio se logra mostrar la situación real, del muelle, la congestión por cual atravesó en determinado momento, y lo que posiblemente atravesaría en el futuro.

En la tabla V se presentan las estadísticas para contrastar los datos obtenidos en una corrida de 10 días de atención.

Tabla V
Total del Naves

	Sin Asignar	M02A	M02B	M05A	M05B	M05D	M05E
Programación actual	26	5	7	5	0	3	3
Programación Propuesta Inicial	20	6	3	12	0	7	1
Programación Propuesta Mejorada	16	7	3	13	0	8	2

Observamos un aumento considerable de naves atracadas en muelle, y las naves sin asignar van disminuyendo de 26 naves en la programación actual, 20 según la Programación Propuesta Inicial a 16 naves según la Programación Propuesta Mejorada. En la tabla VI se presentan las horas de aprovechamiento en muelle.

Tabla VI
Total de horas ocupadas por Naves

	Sin Asignar	M02A	M02B	M05A	M05B	M05D	M05E
Programación actual	967.48	257.98	165	153	0	142	110.98
Programación Propuesta Inicial	880.5	162.98	96	312.98	0	294.98	49
Programación Propuesta Mejorada	773.47	198.98	84	359	0	300	81

Se aprecia que la programación propuesta mejora las horas de las naves en los muelles, se distribuye de mejor manera dado a que en la programación actual. Se observó que asignaron buques de eslora mayor de 200 m. a los muelles 2A

(cuya eslora es de 182.80 m.) lo cual evidencia una seria falla de asignación, dado consigo problemas de seguridad; lo cual evidencia una fortaleza de nuestra propuesta, dado que las restricciones establecidas evitan que estos conflictos ocurran.

Además se aprecia una disminución general del tiempo insatisfecho de las naves que no lograron atracar a ningún muelle.

V. CONCLUSIONES

Se elaboró un modelo formal para determinar la programación/asignación de los buques/muelles de itinerario fijo suscritos al Plan Piloto PAAN en el Terminal Portuario.

El uso del sistema propuesto incrementa la productividad de la mano de obra en el área de la oficina de Tráfico del terminal portuario. La nivelación de cargas horas de trabajo, que produce automáticamente el programa, permite una atención de mayor número de naves.

Se desarrolló un sistema capaz de simular una asignación heurística, donde es posible observar las probables problemáticas debidas a la demanda vs. la infraestructura del puerto. La implementación del sistema propuesto permitirá disponer de información oportuna y confiable

Se demostró la viabilidad técnica de elaborar un algoritmo de asignación-secuenciación de buques/amarraderos mediante principios y mezcla de algoritmos heurísticos de asignación y secuenciación. Esta unión de principios mejoró la calidad de respuesta del algoritmo propuesto. Con el uso de los algoritmos no se concluye que es la asignación óptima, no obstante es una asignación cercana al óptimo y mejor que la asignación actual, dado que se tiene una mejor tasa de utilización por amarradero.

REFERENCIAS

- [1] M. Pinedo, *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*, New York, Stern School of Business, Springer, 2008.
- [2] M. Pinedo, *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*, New York, 2005.
- [3] P. Brucker, *Scheduling Algorithms*, New York, Springer, 2007.
- [4] R. Kenneth Baker y D. Trietsch, *Principles of Sequencing and Scheduling*, Wiley, 2013.
- [5] S. Russell, y P. Norvig, *Inteligencia Artificial. Un enfoque moderno*. Madrid, Pearson Educación S.A., 2004.
- [6] Escuela Nacional de Aduanas, *Operativa de comercio exterior*, Manual base, Lima-Perú, 2001.
- [7] CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), *Indicadores de productividad para la Industria Portuaria*. Aplicación en América Latina y el Caribe, 2006

Authorization and Disclaimer

Authors, Jonatán Edward Rojas Polo, David Melendez Medina and Sharely Cardenas Robles, authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.