

# **REDISEÑO DE OPERACIONES PORTUARIAS EMPLEANDO SIMULACION DE EVENTOS DISCRETOS**

**Eduardo Carbajal López**

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, ecarbajal@pucp.pe

## **RESUMEN**

El nivel de crecimiento del flujo de barcos que arriban a los terminales portuarios marítimos y de río en el Perú se mantiene en los últimos años en alrededor de 25% de incremento anual. Este aumento de flujo genera problemas operativos dado que la infraestructura existente en los terminales portuarios no ha sido diseñada de forma idónea para atender la demanda que hoy en día se requiere. De forma particular el principal problema se concentra en los terminales portuarios de río en la región amazónica peruana donde se concentra la mayor parte del nivel de flujo de barcos. Se evidencia en el principal puerto de la región colas de espera de días para que las embarcaciones puedan atracar en los amarraderos y descargar. La presente investigación busca analizar el problema de la capacidad existente y recursos limitantes para rediseñar el proceso de atención y la distribución de recursos en este terminal. Se empleará la simulación de eventos discretos para evaluar posibles rediseños del proceso de atención a los barcos y medir el impacto en los tiempos de espera de las embarcaciones y sus niveles de utilización.

**Palabras clave:** Simulación de eventos discretos, Variables aleatorias, Transportes, Operaciones portuarias, Rediseño de procesos.

## **ABSTRACT**

The level of growth in the flow of boats arriving at maritime and river port terminals in Peru is maintained in the past few years in around 25% of annual increase. This increased flow generates operational problems given that the existing infrastructure at the port terminals has not been designed in a suitable way to meet the demand that today is required. The main problem is concentrated in the river port terminals in the peruvian amazon region where the greatest part of the level of flow of vessels is concentrated. It is evidenced in the main port of the region that ships wait for entire days or even weeks to dock at the moorings and download their cargo. This research seeks to analyze the problem of the existing capacity and resources limitations to redesign the care process and the distribution of resources in this terminal. The use of the discrete-event simulation to evaluate possible redesigns of the process of attention to the boats and measure the impact on the time-outs for the boats and their levels of usage.

**Keywords:** Discrete-event Simulation, Random variables, Transporters, Port operations, Process Redesign

## **1. INTRODUCCIÓN**

La actividad portuaria en el Perú en el año 2012 ha registrado un crecimiento de 18.83% en la recepción y despacho de embarcaciones. Entre enero y abril de dicho año las terminales portuarias reportaron la salida de 10,231 barcos. Dentro de las actividades portuarias son los puertos de ríos los que manejan un volumen más alto de embarcaciones, con un promedio de 681 embarcaciones mensuales versus los 534 promedio que se reciben y

despachan en puertos marítimos. Dentro del conjunto de puertos de río, las terminales portuarias de la región amazónica son las más activas. La terminal portuaria de la ciudad de Iquitos por citar un ejemplo recibe y despacha el 30,3% del total de barcos movilizados a nivel nacional, por encima del principal puerto marítimo del país que es el de la Provincia Constitucional del Callao que movilizó el año pasado el 22,4% de la actividad portuaria.

El alto flujo de barcos en los terminales de la región amazónica, genera niveles de congestión elevados en los amarraderos y colas de espera de varios días para poder atracar y descargar la carga. El sistema de atención en los terminales emplea amarraderos y un número fijo de grúas para atender tanto a las operaciones de carga como de descarga de los barcos. El principal factor correlacionado con el tiempo de atención de estos barcos en los amarraderos es la cantidad de carga que depende de las dimensiones del barco, comúnmente denominado el tamaño de eslora. En los puertos de río los barcos se clasifican por las siguientes clase de eslora: menor a 20 metros, entre 20 a 36 metros, entre 36 a 50 metros y de 50 a 75 metros. Un barco de clase de eslora mayor usualmente lleva volúmenes de carga considerablemente mayores y por sus dimensiones es en muchos casos necesario atenderlo de forma prioritaria en los amarraderos con más de una grúa, de forma que se pueda reducir el tiempo de carga y descarga. Esta política no siempre se da, pues en las actividades cotidianas en los terminales portuarios de río generalmente los barcos de atienden en orden simple de arribo, teniéndose en muchos casos tan solo una grúa disponible por cada amarradero.

El presente trabajo busca plantear soluciones a la problemática en un terminal portuario de la región amazónica. En este terminal las condiciones actuales son que se cuenta con tres amarraderos disponibles. No existe espacio disponible en las inmediaciones para considerar la construcción de un amarradero adicional, por lo que se buscarán soluciones que permitan redistribuir las grúas y establecer políticas de administración de colas por prioridades por tipo de eslora. Se empleará la simulación de eventos discretos como herramienta para construir modelos propuestos de mejora en los que se medirán los indicadores clave de operación. A partir de los resultados se obtendrá una recomendación implementable para solucionar la problemática descrita. Se incluye en el desarrollo del proyecto también el uso de optimización basada en simulación para determinar el dimensionamiento óptimo de recursos en cada amarradero, tomando como criterio de selección óptima al tiempo de espera de los barcos en cada escenario simulado.

## **2. ANÁLISIS DE DATOS**

Se parte del análisis de la información de los arribos de barcos al terminal portuario en los últimos años. La información se ha dividido de acuerdo a la clase de eslora. La información se presenta detallada a nivel mensual en la Tabla 1. Dado que el objetivo es comparar posteriormente a través de diferentes modelos con soluciones alternativas el desempeño del muelle, se opta por reproducir exactamente estas cantidades de arribo en cada modelo, por lo que no constituirán variables aleatorias discretas de números de arribos sino que se empleará una distribución Poisson no estacionaria para distribuir el flujo mensual de arribos de forma proporcional en cada intervalo mensual. La justificación de la clasificación mensual se basa en el resultados de pruebas ANOVA donde se verifica que el mes genera diferencias significativas en el volumen de arribos mensuales de barcos.

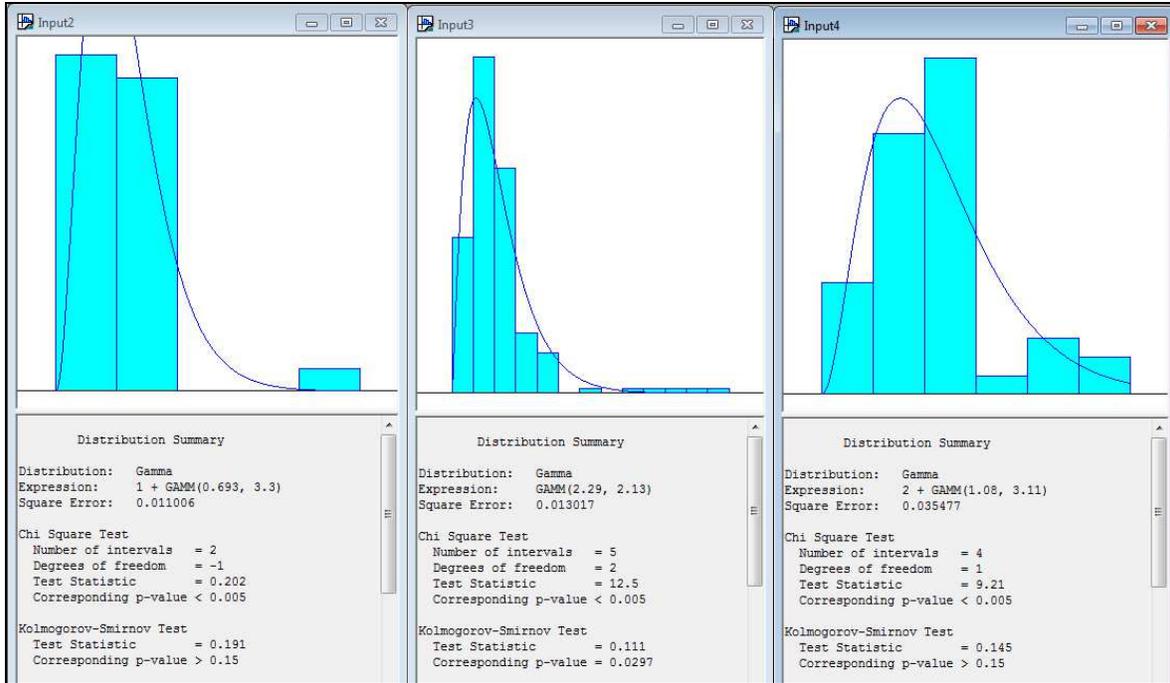
**Tabla 1: Arribos mensuales de barcos por clase de eslora**

Año	2008				2009				2010				2011			
	De 20 a 36 Mts.	De 36 a 50 Mts.	De 50 a 75 Mts.	Menores a 20 Mts.	De 20 a 36 Mts.	De 36 a 50 Mts.	De 50 a 75 Mts.	Menores a 20 Mts.	De 20 a 36 Mts.	De 36 a 50 Mts.	De 50 a 75 Mts.	Menores a 20 Mts.	De 20 a 36 Mts.	De 36 a 50 Mts.	De 50 a 75 Mts.	Menores a 20 Mts.
ENERO	1	2	8	10	18	20	43	47	21	43	51	61	40	81	68	89
FEBRERO	1	3	5	6	27	24	44	39	25	45	51	59	32	63	68	78
MARZO	1	3	5	7	31	20	45	58	27	55	55	70	42	81	64	89
ABRIL	1	1	7	8	18	25	51	38	36	48	53	60	37	64	65	79
MAYO	2	2	10	8	25	22	49	50	40	33	57	63	40	47	63	52
JUNIO	1	1	10	4	30	20	38	51	31	30	49	48	37	35	53	65
JULIO		2	11	9	33	24	47	62	26	16	34	43	44	56	57	66
AGOSTO	14	13	22	24	39	21	42	52	27	52	57	64	35	72	73	59
SEPTIEMBRE	24	33	32	44	0	0	0	0	27	62	52	58	28	63	74	70
OCTUBRE	28	31	36	64	0	0	0	0	32	70	70	69	41	71	72	86
NOVIEMBRE	26	35	39	68	0	0	0	0	37	47	63	60	50	70	78	88
DICIEMBRE	30	37	48	49	15	34	29	38	40	71	73	78	58	74	85	101

Teniendo este primer dato de entrada al modelo, el otro dato relevante es el del tiempo de atención de las naves. Se obtiene la base de datos de registros manuales de permanencia de las embarcaciones en el muelle. Dicha permanencia es calculada en los registros manuales como simplemente la diferencia entre el tiempo de arribo de la nave hasta la salida de la nave tras ser cargada nuevamente. La atención en el muelle es de 24 horas por lo que no existen tiempo muertos previsible ni barcos a los que se les suspende la atención ni durante el proceso de descarga ni tampoco durante el proceso de carga.

En este caso se toma como dato de entrada al modelo el tiempo de permanencia. Se divide el registro total de observaciones y se genera un muestreo estratificado cuyo criterio es el de la muestra por tamaño del estrato, es decir se toma una cantidad de muestras proporcional a los datos de permanencia clasificados por tamaño de eslora. Determinado el tamaño de muestra adecuado se procede a recopilar la información descartando los datos espúreos. Se consideran como espúreos registros con nombres erróneos de los barcos y con el fin de eliminar casos atípicos se emplean intervalos intercuartiles para eliminar los outliers en la información. Se completan las muestras en caso de eliminar registros y con esta información se procede a realizar pruebas de bondad de ajuste sobre los datos para seleccionar la distribución de probabilidad de la variable aleatoria que mejor representa el tiempo de permanencia por cada clase de eslora. En el análisis se considera un nivel de significancia de 5%. El análisis es realizado empleando el Input Analyzer de Rockwell Arena, considerando como criterio de selección de la mejor alternativa al mínimo error cuadrático. Las distribuciones seleccionadas se detallan en la Figura 1.

**Figura 1: Pruebas de bondad de ajuste para tiempos de permanencia en muelle**



El resto de parámetros del modelo serán datos determinísticos, dentro de los que se incluyen la cantidad de grúas por muelle en el modelo de la situación actual y los tiempos de traslado adicionales al de permanencia.

### 3. MODELOS DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

Para el diseño de los modelos de simulación de eventos descritos se empleó el Rockwell Arena v13.9. A continuación se detallan las características de cada modelo propuesto.

#### MODELO 1

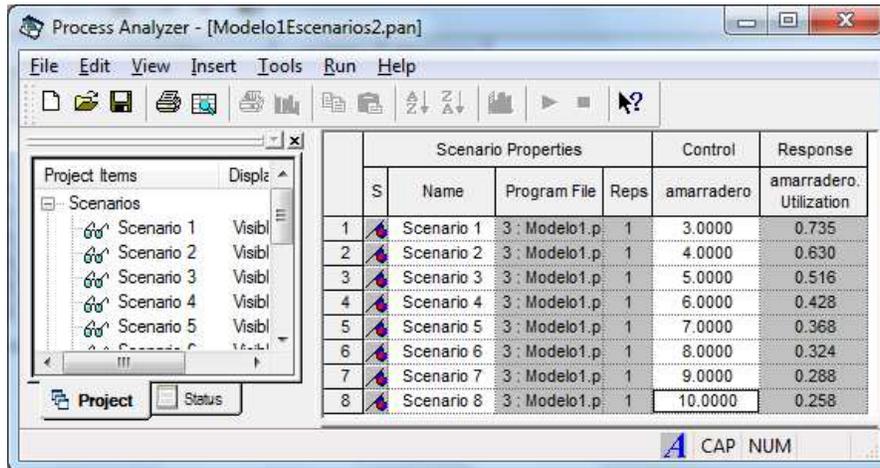
El primer modelo denominado Modelo 1: Situación Actual replica en función de los arribos históricos de naves por clase de eslora la atención desde el arribo a los amarraderos hasta el zarpe. Para el desarrollo de este modelo además de la cantidad de arribos revisado en la sección anterior se toma una muestra del tiempo de permanencia del nave en el puerto a partir de la información histórica por nave por clase de eslora. Las variables empleadas en este primero modelo obtenidas a partir del análisis de datos previo se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2: Distribuciones de tiempo de servicio por clase de eslora**

Clase de eslora	Distribución (días)
20 a menos	ERLA(1.36, 3)
20 a 36	GAMM(2.29, 2.13)
36 a 50	GAMM(0.693, 3.3)
50 a 75	2 + GAMM(1.08, 3.11)

El indicador principal en el primer modelo es la utilización actual de los amarraderos, aunque también se incluye el tiempo de espera en cola de los barcos. En este modelo se evalúa la respuesta de los indicadores de servicio probando diferentes escenarios considerando una mayor cantidad de amarraderos, con el fin de verificar la criticidad de la limitante de servicio en la atención.

Los diferentes escenarios de la simulación son ejecutados con el complemento *Process Analyzer* del *Rockwell Arena*, donde se evalúa el desempeño del modelo para diferentes números de amarraderos, empezando por la cantidad actual disponible de tres amarraderos. Los resultados se observan en la Figura 2.



**Figura 2: Análisis de escenarios Modelo 1**

La utilización actual en función del arribo histórico de naves es de 73.5%. Dependiendo del nivel de utilización deseado de acuerdo a estándares operativos podría ser recomendable incrementar más amarraderos de manera que se distribuya mejor la carga de trabajo. Dado que existe una limitante de infraestructura deben evaluarse otras posibles formas de reducir los tiempos de cola. En función de esta necesidad se plantea un segundo modelo.

## MODELO 2

El segundo modelo denominado **Modelo 2: Simulación Carga Bultos** tiene como objetivo el poder determinar el peso adecuado de agrupamiento de los bultos que son cargados en las naves. Este modelo se basa en la misma lógica del Modelo 1, pero se modifica la forma como se calcula el tiempo de carga de las naves.

Se consideran las capacidades de carga de las naves de acuerdo a la clasificación por clase de eslora como se ve en la Tabla 3. Las naves dependiendo también de la clase de eslora pueden movilizar sus bultos utilizando uno o varias grúas como se ve en la misma Tabla 3.

**Tabla 3: Capacidad y cantidad de grúas por tipo de nave**

Clase de eslora	Capacidad	Cantidad grúas
75 a mas	1680	3
50 a 75	900	3
36 a 50	480	2
20 a 36	200	2
20 a menos	100	1

El modelo prueba diferentes agrupamientos de peso de bultos desde 1 tonelada hasta 8 toneladas como máximo pues ese es el límite de maniobrabilidad de carga en el muelle. Dependiendo de dicho peso los bultos tienen un tiempo variable de carga individual que se detalla en la Tabla 4.

**Tabla 4: Tiempo de carga por peso de bulto**

<b>Bulto</b> (tonelada)	<b>Tiempos</b> (minutos)
1 a 4	5
5 y 6	10
7 y 8	12

A partir de dichas variables en el Modelo 2 se estima el tiempo de carga de las naves por clase de eslora según la fórmula siguiente:

$$\text{Tiempo de carga} = \frac{\text{Capacidad}}{\text{Peso Bulto}} * \frac{\text{Tiempo carga unitario}}{\text{Número de grúas}}$$

Variando el tamaño de bulto para evaluar todos los escenarios descritos se puede determinar el peso óptimo en función de indicadores operativos como el tiempo de espera o tamaño de cola en el muelle. Se presentan los resultados de los diferentes escenarios simulados del Modelo 2. En cada escenario se empleó un diferente peso de agrupamiento de bultos desde bultos de 1 tonelada hasta bultos de 8 toneladas. Para cada caso se presenta en la Figura 3 los resultados de:

- Utilización (*amarradero.Utilization*)
- Tamaño promedio de cola de naves en el muelle (*colamuelle.NumberInQueue*)
- Tiempos máximo de cola de naves en el muelle (*colamuelle.WaitingTime – Primera columna*)
- Tiempos promedio de cola de naves en el muelle (*colamuelle.WaitingTime – Segunda columna*)

Scenario Properties				Control	Responses			
S	Name	Program File	Reps	bulto	amarradero.Utilization	colamuelle.NumberInQ	colamuelle.WaitingTime	colamuelle.WaitingTime
1	Scenario 1	1 : Modelo2.p	1	1.0000	0.860	847.633	364.305	152.901
2	Scenario 2	1 : Modelo2.p	1	2.0000	0.670	124.093	72.905	22.964
3	Scenario 3	1 : Modelo2.p	1	3.0000	0.481	49.007	29.985	9.388
4	Scenario 4	1 : Modelo2.p	1	4.0000	0.360	35.605	23.478	7.012
5	Scenario 5	1 : Modelo2.p	1	5.0000	0.565	55.494	32.537	10.772
6	Scenario 6	1 : Modelo2.p	1	6.0000	0.481	49.007	29.985	9.388
7	Scenario 7	1 : Modelo2.p	1	7.0000	0.494	50.380	29.937	9.595
8	Scenario 8	1 : Modelo2.p	1	8.0000	0.432	42.726	28.174	8.414

Double-click here to add a new scenario.

Max colamuelle.WaitingTime(Queue Tally in Modelo2.p) **A** NUM

**Figura 3: Análisis de escenarios Modelo 2**

En la Figura 3 se puede observar que el mejor desempeño del sistema de carga en el muelle se obtiene cuando el agrupamiento de los bultos es de 4 toneladas. En dicho caso se obtiene el mínimo valor tanto del tiempo como del tamaño en cola de las naves en el muelle, así como también la mínima utilización.

### MODELO 3

Se presenta un tercer modelo, denominado Modelo 3: Simulación Carga Bultos con Atención Preferente, en el cual se mantiene la lógica del modelo previo (Modelo2), pero se modifican las siguientes condiciones:

- Se emplean tres amarraderos.
- El primer amarradero atiende de forma preferente a las naves de clase de eslora de 50 a más metros. Este amarradero contará con 5 grúas. En caso no existan naves de esta clase de eslora en espera, este amarradero podrá atender naves de otra clase de eslora.
- El segundo y tercer amarradero tendrán 3 grúas cada uno. Atenderán el resto de naves de otras clases de eslora.

Se considera en este modelo las mismas condiciones respecto a los tiempos de carga y capacidades de las naves por clase de eslora tal y como está detallado en el Modelo 2. Se mantiene también la forma de calcular el tiempo de carga en función de la capacidad de la nave, el peso del bulto, tiempo de carga unitario y el número de grúas, en función del amarradero que atenderá a la nave.

En los resultados de este modelo se presenta también el pronóstico de operación del muelle en un horizonte de tiempo de cinco y diez años. Se consideran para dichos escenarios la cantidad de naves proyectadas mensualmente indicada en la Tabla 5.

**Tabla 5: Flujo histórico de naves por clase de eslora mensual proyectado**

Año	en 5 años				en 10 años				
	Clase de eslora	De 20 a 36 Mts.	De 36 a 50 Mts.	De 50 a 75 Mts.	Menores a 20 Mts.	De 20 a 36 Mts.	De 36 a 50 Mts.	De 50 a 75 Mts.	Menores a 20 Mts.
ENERO		73	81	118	60	86	121	212	0
FEBRERO		56	81	104	48	67	121	186	0
MARZO		73	76	118	62	86	114	212	0
ABRIL		57	77	105	55	68	116	188	0
MAYO		42	75	69	60	50	112	124	0
JUNIO		31	63	86.3	55	37	95	155	0
JULIO		50	68	87.6	65	60	102	157	0
AGOSTO		64	87	78.3	52	77	130	141	0
SEPTIEMBRE		56	88	92.9	42	67	132	167	0
OCTUBRE		64	85	114	61	76	129	205	0
NOVIEMBRE		63	92	117	74	75	139	210	0
DICIEMBRE		66	101	134	86	79	152	241	0

Se presentan los resultados de la simulación de los diferentes escenarios para el Modelo 3. En la Figura 4 se presentan los resultados de:

Naves de Clase de Eslora menor a 50

- Utilización Amarradero (amarradero.Utilization)
- Tiempo máximo de cola de naves en el muelle (colamuelle.WaitingTime – Primera columna)
- Tiempo promedio de cola de naves en el muelle (colamuelle.WaitingTime – Segunda columna)
- Tamaño promedio de cola de naves en el muelle (colamuelle.NumberInQueue)

Naves de Clase de Eslora mayor a 50

- Utilización Amarradero (amarraderoG.Utilization)
- Tiempo máximo de cola de naves en el muelle (colamuellegrandes.WaitingTime – Primera columna)
- Tiempo promedio de cola de naves en el muelle (colamuellegrandes.WaitingTime – Segunda columna)
- Tamaño promedio de cola de naves en el muelle (colamuellegrandes.NumberInQueue)

Scenario Properties				Control	Responses							
S	Name	Program File	Reps	bulto	amarradero.Utilization	colamuelle.WaitingTim	colamuelle.WaitingTim	colamuelle.NumberInQ	amarraderoG.Utilization	colamuellegrandes.Wa	colamuellegrandes.Wa	colamuellegrandes.Nu
1	Scenario 1	3 : Modelo4.p	1	1.0000	0.555	32.778	11.194	39.092	0.551	7.472	1.372	4.015
2	Scenario 2	3 : Modelo4.p	1	2.0000	0.281	17.025	5.776	19.884	0.278	3.388	0.675	1.987
3	Scenario 3	3 : Modelo4.p	1	3.0000	0.187	11.350	3.851	13.256	0.186	2.245	0.450	1.325
4	Scenario 4	3 : Modelo4.p	1	4.0000	0.141	8.513	2.888	9.942	0.139	1.684	0.338	0.994
5	Scenario 5	3 : Modelo4.p	1	5.0000	0.225	13.620	4.621	15.908	0.223	2.694	0.540	1.590
6	Scenario 6	3 : Modelo4.p	1	6.0000	0.187	11.350	3.851	13.256	0.186	2.245	0.450	1.325
7	Scenario 7	3 : Modelo4.p	1	7.0000	0.193	11.675	3.961	13.635	0.191	2.310	0.463	1.363
8	Scenario 8	3 : Modelo4.p	1	8.0000	0.169	10.215	3.466	11.931	0.167	2.021	0.405	1.192

**Figura 4: Análisis de escenarios Modelo 3**

En la figura 4 se puede observar que el mejor desempeño del sistema de carga en el muelle se obtiene cuando el agrupamiento de los bultos es de 4 toneladas. En dicho caso se obtiene el mínimo valor del tamaño promedio de la cola de espera de naves esperando por un amarradero disponible, y se minimiza el tiempo de espera en cola. También se observa que en este caso se obtiene los mínimos valores posibles de utilización de los amarraderos.

Se presentan también resultados esperados de este modelo propuesto a mediano plazo (5 años) y largo plazo (10 años) en las Figuras 5 y 6 respectivamente.

Scenario Properties				Control	Responses							
S	Name	Program File	Reps	bulto	amarradero.Utilization	colamuelle.WaitingTime	colamuelle.WaitingTime	colamuelle.NumberInQueue	amarraderoG.Utilization	colamuellegrandes.WaitingTime	colamuellegrandes.WaitingTime	colamuellegrandes.Number
1	Scenario 1	2 : Modelo5.p	1	1.0000	1.000	68.986	36.283	225.119	1.000	6.750	2.228	11.923
2	Scenario 2	2 : Modelo5.p	1	2.0000	0.529	22.187	9.905	61.386	0.528	4.375	1.047	5.742
3	Scenario 3	2 : Modelo5.p	1	3.0000	0.353	14.792	6.603	40.924	0.352	2.917	0.698	3.828
4	Scenario 4	2 : Modelo5.p	1	4.0000	0.265	11.094	4.953	30.693	0.264	2.187	0.524	2.871
5	Scenario 5	2 : Modelo5.p	1	5.0000	0.423	17.750	7.924	49.109	0.422	3.500	0.838	4.594
6	Scenario 6	2 : Modelo5.p	1	6.0000	0.353	14.792	6.603	40.924	0.352	2.917	0.698	3.828
7	Scenario 7	2 : Modelo5.p	1	7.0000	0.363	15.214	6.792	42.093	0.362	3.000	0.718	3.937
8	Scenario 8	2 : Modelo5.p	1	8.0000	0.317	13.312	5.943	36.831	0.317	2.625	0.628	3.445

**Figura 5: Resultados pronosticados a mediano plazo (5 años)**

Los bultos de 4 toneladas se mantienen como la mejor alternativa en términos de utilización y tiempos de espera de cola. Si se compara contra el resultado inicial se observa un incremento de 14.1% a 26.5% en el nivel de utilización de los amarraderos regulares y de 13.9% a 26.4% en el amarradero preferente para naves de clase de eslora 50 a más.

Scenario Properties				Control	Responses								
S	Name	Program File	Reps	bulto	amarradero. Utilization	colamuelle. W aitingTime	colamuelle. W aitingTime	colamuelle. N umberInQueue	amarraderoG .Utilization	colamuellegr andes. W aitin	colamuellegr andes. W aitin	colamuellegr andes. Numb	
1	Scenario 1	2 : Modelo6.p	1	1.0000	0.730	28.194	13.858	79.736	0.730	18.806	5.278	38.297	
2	Scenario 2	2 : Modelo6.p	1	2.0000	0.365	14.097	6.929	39.868	0.365	8.403	2.639	19.148	
3	Scenario 3	2 : Modelo6.p	1	3.0000	0.243	9.398	4.619	26.579	0.243	5.602	1.759	12.766	
4	Scenario 4	2 : Modelo6.p	1	4.0000	0.183	7.049	3.464	19.934	0.182	4.201	1.319	9.574	
5	Scenario 5	2 : Modelo6.p	1	5.0000	0.292	11.278	5.543	31.894	0.292	6.722	2.111	15.319	
6	Scenario 6	2 : Modelo6.p	1	6.0000	0.243	9.398	4.619	26.579	0.243	5.602	1.759	12.766	
7	Scenario 7	2 : Modelo6.p	1	7.0000	0.250	9.667	4.751	27.338	0.250	5.762	1.809	13.130	
8	Scenario 8	2 : Modelo6.p	1	8.0000	0.219	8.458	4.157	23.921	0.219	5.042	1.583	11.489	

Figura 6: Resultados pronosticados a largo plazo (10 años)

En la Figura 6 se observa los resultados con la carga estimado al largo plazo. En un periodo de 10 años se observa que comparando contra el resultado inicial se observa un incremento de 14.1% a 18.3% en el nivel de utilización de los amarraderos regulares y de 13.9% a 18.2% en el amarradero preferente para naves de clase de eslora 50 a más. Las utilizaciones son menores a las del mediano plazo pues en el escenario a diez años no se consideran naves de la clase más pequeña.

#### 4. CONCLUSIONES

El nivel de utilización actual de los amarraderos disponibles en el muelle es de 73.5%, considerando la carga de trabajo histórica replicada entre los años 2008 a 2010. Respecto al dimensionamiento de peso de los bultos los resultados muestran que el tamaño óptimo de diseño es de bultos de cuatro toneladas. Con dicho peso se reducen tanto los tiempos como tamaños de cola a un nivel mínimo.

Se verifica que el modelo propuesto donde se incrementan el número de grúas y se maneja un sistema de atención preferente a las naves con clase de eslora 50+ permite reducir los tiempos de espera en cola y las utilizaciones del muelle. Se verifica la viabilidad a mediano y largo plazo de la propuesta la verificarse que en los pronósticos de flujo de nave a 5 y 10 años se siguen manteniendo indicadores aceptables de tiempos de espera de las naves en el muelle.

#### 5. REFERENCIAS

Altiok, T. (2007). "Simulation Modeling and Analysis with Arena" *Academic Press*  
 Banks, J, Barry, N., Carson, J. y Nicol, D.. (2004). "Discrete-Event System Simulation". Cuarta edición. *Editorial Prentice Hall International*.  
 Kelton, David, Sadowwski, D. y Sadowwski, R. (2010). "Simulation with Arena" *Editorial McGraw-Hill*  
 Rosseti, M.D. (2010). "Simulation Modeling and Arena", 3<sup>rd</sup> edition, *Wiley & Sons United States of America*