

**SIMULACIÓN DEL FLUJO DE CARGA CONTENERIZADA MOVILIZADA
POR MEDIOS TERRESTRES QUE TIENE COMO ORIGEN Y DESTINO LA
SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL DE CARTAGENA**

**SIMULACIÓN DEL FLUJO DE CARGA CONTENERIZADA MOVILIZADA
POR MEDIOS TERRESTRES QUE TIENE COMO ORIGEN Y DESTINO LA
SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL DE CARTAGENA**

**EDGAR ENRIQUE ALCALA SALGUEDO
JUAN DAVID PORTO DOLUGAR**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2014

**SIMULACIÓN DEL FLUJO DE CARGA CONTENERIZADA MOVILIZADA
POR MEDIOS TERRESTRES QUE TIENE COMO ORIGEN Y DESTINO LA
SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL DE CARTAGENA**

**EDGAR ENRIQUE ALCALA SALGUEDO
JUAN DAVID PORTO DOLUGAR**

Trabajo de grado para optar por el título de Administrador Industrial

**ASESOR
JUAN CARLOS VERGARA SHMALBACH**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2014

Cartagena de Indias D.T. y C., 21 de Febrero del 2014

Señores:

COMITÉ DE GRADUACIÓN

Programa de Administración Industrial

Facultad de Ciencias Económicas

Universidad de Cartagena

Ciudad

Estimados señores,

Por medio de la presente, avalo la entrega del trabajo de grado titulado “SIMULACIÓN DEL FLUJO DE CARGA CONTENERIZADA MOVILIZADA POR MEDIOS TERRESTRES QUE TIENE COMO ORIGEN Y DESTINO LA SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL DE CARTAGENA”, elaborado por los estudiantes Edgar Enrique Alcalá Salgado, cuyo código es 0490910039, y Juan David Porto Dolugar, cuyo código es 0490910057.

En espera de su aprobación, cordialmente.

JUAN CARLOS VERGARA SCHMALBACH

Asesor

Docente – Investigador

Cartagena de Indias D.T. y C., 21 de Febrero del 2014

Señores:

COMITÉ DE GRADUACIÓN

Programa de Administración Industrial

Facultad de Ciencias Económicas

Universidad de Cartagena

Ciudad

Estimados señores,

A continuación presentamos a su consideración el proyecto de grado titulado "SIMULACIÓN DEL FLUJO DE CARGA CONTENERIZADA MOVILIZADA POR MEDIOS TERRESTRES QUE TIENE COMO ORIGEN Y DESTINO LA SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL DE CARTAGENA" para su estudio y evaluación inicial.

En espera de su aceptación, cordialmente.

EDGAR ENRIQUE ALCALÁ SALGUEDO
Cód. 0490910039

JUAN DAVID PORTO DOLUGAR
Cód. 0490910057

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias D.T. y C., 21 de febrero del 2014

DEDICATORIA

A Dios quién fue nuestra fuente de sabiduría y nos dio la fortaleza para poder culminar exitosamente esta meta.

A nuestras madres, hermanos, familiares y también a aquellas personas que hoy en día no nos acompañan.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, el hacedor de nuestros sueños, quién siempre estuvo con nosotros y nos ayudó a cumplir este logro tan significativo.

Sin duda alguna, agradecemos a nuestros padres y demás familiares por su apoyo incondicional durante esta etapa tan importante en nuestras vidas.

Queremos hacer una distinción especial a nuestro asesor de proyecto, el Ing. Juan Carlos Vergara Schmalbach, por su ardua colaboración durante la realización de este proyecto.

De igual manera hacemos extensivos nuestros más sinceros agradecimientos a todo el cuerpo docente y personal administrativo del programa de Administración Industrial, quienes contribuyeron a nuestra formación profesional.

Gracias.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
0. ANTEPROYECTO	16
0.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
0.2 JUSTIFICACIÓN.....	19
0.3 OBJETIVOS.....	21
0.3.1 <i>Objetivo general</i>	21
0.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	21
0.4 METODOLOGÍA	22
0.4.1 <i>Tipo de investigación</i>	22
0.4.2 <i>Fuentes de información</i>	23
0.4.2.1 Fuentes de información primaria.....	23
0.4.2.2 Fuentes de información secundaria	23
0.4.3 <i>Delimitación del problema</i>	23
0.4.3.1 Delimitación temporal.....	23
0.4.3.2 Delimitación espacial	24
0.4.4 <i>Operacionalización de las variables</i>	24
0.5 MARCO CONCEPTUAL	24
1. INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN DE LOS FLUJOS DE CARGA.....	27
1.1 LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS FLUJOS DE CARGA TERRESTRE EN LOS SISTEMAS LOGÍSTICOS	28
1.1.1 <i>La simulación en general y la simulación de flujos de carga</i>	28
1.1.2 <i>¿Cuáles son las características de un sistema logístico?</i>	31
1.1.3 <i>¿Cuáles son las etapas para simular un sistema logístico?</i>	32
1.2 LA SITUACIÓN DE LOS FLUJOS DE CARGA CONTENERIZADA EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.....	33
1.3 CONSIDERACIONES GENERALES A TENER EN CUENTA PARA LA SIMULACION DE FLUJOS DE CARGA.....	37
2. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	39
2.1 SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL DE CARTAGENA (SPRC)	39
2.2 ELEMENTOS PARA LA SIMULACIÓN	42
3. SIMULACIÓN DE CARGA CONTENERIZADA MOVILIZADA POR VIA TERRESTRE DESDE Y HACIA SPRC.	44
3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS REQUERIDOS POR EL MODELO	44

3.1.1 Capacidad del patio de contenedores	44
3.1.2 Tiempo de permanencia del contenedor	45
3.1.3 Frecuencia de buques.....	45
3.1.4 Cantidad de contenedores carga-descarga por buque.....	46
3.1.5 Tiempo de procesamiento por buque	49
3.1.6 Frecuencia de llegada de camiones	52
3.1.7 Proporción de movimientos por camión	53
3.1.8 Proporción de citas cumplidas.....	54
3.1.9 Tiempo de procesamiento de camiones.....	54
3.1.10 Capacidad de atención de módulos, muelle y puerta de acceso.....	55
3.1.11 Cantidad inicial de contenedores en patio y puerto exportador.....	56
3.2 DESARROLLO DEL MODELO	56
3.3 SIMULACIÓN EMPLEANDO PROMODEL	59
3.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	66
3.4.1 Resultados por entidad.....	67
3.4.2 Resultados de locaciones.....	69
3.4.3 Resultados de las variables.....	71
3.5 VALIDACIÓN DE LA SIMULACIÓN	72
4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO	75
4.1 ESCENARIO 1: INCREMENTO DEL FLUJO DE CAMIONES.....	75
4.2 ESCENARIO 2: INCREMENTO DE LA CARGA CONTENERIZADA MOVILIZADA POR BUQUES	78
4.3 ESCENARIO 3: INCREMENTO DEL FLUJO DE CAMIONES Y FLUJO DE CARGA MOVILIZADA POR BUQUES	80
5. CONCLUSIONES	83
6. RECOMENDACIONES.....	86
BIBLIOGRAFIA	87
ANEXOS.....	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Carga contenerizada movilizada en SPRC	17
Tabla 2. Operacionalización de las variables.....	24
Tabla 3. Tráfico portuario en la ciudad de Cartagena	33
Tabla 4. Carga internacional en la SPRC - Exportación	35
Tabla 5. Carga internacional en la SPRC - Importación	35
Tabla 6. Número de viajes de cargas del año 2004.....	36
Tabla 7. Proyección de carga transportada por carretera en Cartagena	36
Tabla 8. Proyección demanda potencial efectiva de camiones	37
Tabla 9. Equipos de SPRC	39
Tabla 10. Bodegas de SPRC	40
Tabla 11. Características de Muelles de SPRC	41
Tabla 12. Proporción tipo contenedores movilizados por buque en el año 2013	46
Tabla 13. Cálculo de cantidad de contenedores carga-descarga por buque	47
Tabla 14. Porcentaje cantidad de movimientos por camión.....	53
Tabla 15. Variables y constantes del modelo de simulación.....	58
Tabla 16. Proceso del modelo en ProModel	62
Tabla 17. Resultados por entidad	67
Tabla 18. Resultados de locaciones del modelo en ProModel	71
Tabla 19. Resultados de variables en ProModel.....	72
Tabla 20. Cálculo de variables reales de validación	72
Tabla 21. Validación de variables del modelo.....	73
Tabla 22. Incremento de flujo de camiones	75
Tabla 23. Análisis de sensibilidad de la variable frecuencia de llegada de camiones	76
Tabla 24. Incremento de la carga contenerizada movilizada por buques	78
Tabla 25. Análisis de sensibilidad de la variable cantidad de contenedores carga-descarga por buque	79
Tabla 26. Porcentajes de variación para cada variable dado un aumento de la cantidad de carga movilizada por buque.	79
Tabla 27. Incremento del flujo de camiones y del flujo de carga movilizada por buques	80
Tabla 28. Análisis de sensibilidad del incremento conjunto del flujo de camiones y de la carga movilizada por buques.....	81

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Estado de la malla vial de Cartagena de Indias D.T. y C.....	18
Ilustración 2. Esquema para el diseño de una red logística como un sistema ..	32
Ilustración 3. Vista superior de la SPRC	34
Ilustración 4. Infraestructura de la SPRC	42
Ilustración 5. Componentes básicos para simular un sistema	43
Ilustración 6. Densidad ajustada de frecuencia de buques	45
Ilustración 7. Prueba de ajuste para frecuencia de buques	46
Ilustración 8. Tipo de distribución para cantidad de contenedores carga por buque	47
Ilustración 9. Prueba de ajuste para cantidad de contenedores carga por buque	48
Ilustración 10. Densidad ajustada para contenedores carga por buque	48
Ilustración 11. Tipo de distribución de cantidad contenedores descargue por buque	49
Ilustración 12. Prueba de ajuste para cantidad de contenedores descargue por buque	49
Ilustración 13. Tipo de distribución para tiempos de cargue por buque	50
Ilustración 14. Prueba de ajuste para tiempos de cargue por buque	50
Ilustración 15. Densidad ajustada de los tiempos de cargue por buques	51
Ilustración 16. Tipo de distribución para tiempos de descargue por buque	51
Ilustración 17. Prueba de ajuste para tiempos de descargue por buque	51
Ilustración 18. Tipo de distribución para frecuencia de llegada de camiones ...	52
Ilustración 19. Prueba de ajuste para frecuencia de llegada de camiones	52
Ilustración 20. Densidad ajustada para frecuencia de llegada de camiones.....	53
Ilustración 21. Tipo de distribución para tiempos de procesamiento de camiones	54
Ilustración 22. Densidad ajustada para tiempos de procesamiento de camiones	55
Ilustración 23. Prueba de ajuste para tiempos de procesamiento de camiones	55
Ilustración 24. Descripción del modelo	57
Ilustración 25. Entidades del modelo en ProModel	60
Ilustración 26. Locaciones del modelo en ProModel.....	60
Ilustración 27. Distribución de usuario del modelo en ProModel.....	61
Ilustración 28. Variables del modelo en ProModel	64
Ilustración 29. Atributos del modelo en ProModel.....	64
Ilustración 30. Layout del modelo en ProModel	65
Ilustración 31. Llegadas del modelo en ProModel	66
Ilustración 32. Distribución porcentual del estado de la entidad	69
Ilustración 33. Distribución porcentual del tiempo de estado de las locaciones	70

Ilustración 34. Comportamiento del patio durante el tiempo simulado.....	74
Ilustración 35. Ruta del tamaño de la cola formada por un aumento de flujo de camiones	77
Ilustración 36. Comportamiento de la cantidad de contenedores albergados en la locación “patio” a través del tiempo simulado.	77
Ilustración 37. Comportamiento del patio con un incremento del 10 % en flujo de camiones y 25 % en carga-descarga de buques	82

INTRODUCCIÓN

Es de vital importancia el papel que cumplen los puertos en el desarrollo de una ciudad, debido a que son puntos conectores con el exterior que traen consigo actividades comerciales que benefician no sólo a la población local, sino a una nación completa. Sin embargo, de la operación de un puerto se desprenden gran cantidad de labores logísticas que deben ser llevadas a cabo, una de estas es la entrega de carga contenerizada a nivel externo o interno del país. Ahora bien, para la movilidad terrestre de la carga en contenedores de las terminales marítimas al interior de la ciudad o viceversa, se hace necesario que la ciudad posea un importante desarrollo de su infraestructura vial, que permita un flujo continuo de la carga contenerizada desde y hacia muchos puntos de ésta.

Debido a que se avecinan importantes cambios que afectarán a la ciudad de Cartagena, como los efectos que traerá consigo la ampliación del canal de Panamá, lo cual se traduce en un aumento del 40% de la capacidad de tránsito de mercancías por las vías marítimas que unen al Atlántico y al Pacífico,¹ además del rápido crecimiento de la carga que experimenta actualmente la ciudad, la cual alcanzó cifras récord para el cierre del 2012,² hacen que se cuestione si la ciudad estará preparada para afrontar nuevos retos en materia de transporte y movilidad por carretera. Es por ello, que el presente proyecto apoyado en las bases de la simulación de procesos y en conceptos de gestión logística, tiene como objeto construir un modelo de simulación del flujo de transporte de la carga contenerizada por medios terrestres desde y hacia Sociedad Portuaria Regional de Cartagena (SPRC), mediante el uso del programa de simulación ProModel, que permita evaluar el impacto ante un aumento del flujo de carga contenerizada.

A continuación el lector encontrará varios capítulos en los que se desarrollará el tema de la investigación; en primera instancia, se encuentra el capítulo cero que lleva por nombre anteproyecto en el que se define el problema a evaluar, se establecen las justificaciones valederas para la realización de dicho trabajo, se trazan unos objetivos a cumplir que orientarán la investigación, además se define la metodología a emplear, lo que incluye, precisar el tipo de investigación empleada, detallar las fuentes de información que se utilizaron, establecer la delimitación temporal, espacial y la operacionalización de las

¹ Editor Marco Trade News. (2012). Panorama colombiano ante la ampliación del canal de Panamá. Diario digital Marco Trade News.

² El Heraldo. (2013). Puerto de la Costa Caribe, con cifras récord en 2012. El Heraldo. Barranquilla.

variables contenidas en el proyecto, y por último se definen los conceptos a utilizar durante el tema de grado.

El capítulo uno presenta una introducción de la simulación de los flujos de carga, donde primeramente se mencionan las teorías que sirven de base para apoyar la investigación, luego se realiza una descripción general de la situación logística actual que vive la ciudad de Cartagena en materia de los flujos de carga contenerizada que se dan en SPRC, y se presentan las consideraciones a tener en cuenta para realizar una simulación de flujos de carga.

Dentro del capítulo dos, se realiza una caracterización del sistema a modelar, por lo que se detallan, las capacidades y otras variables de la infraestructura y maquinaria que posee la SPRC; consecutivamente, se definen y describen cada uno de los elementos en específico que contempla esta simulación.

Posteriormente, en el capítulo tres se realiza una descripción del modelo que va a representar el sistema simulado, esto contempla una descripción del proceso y las variables que interactúan en él, además se presenta el desarrollo de la simulación utilizando el software ProModel, los resultados obtenidos y la validación del modelo.

Luego, el capítulo cuatro se compone del análisis de sensibilidad del modelo, es decir, cómo responde el modelo ante un cambio en cierta variable, para lo cual se plantearon tres escenarios distintos.

Y por último, los capítulos cinco y seis corresponden a las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto, respectivamente.

0. ANTEPROYECTO

A continuación se presenta la información relevante de acuerdo a la estructura de la propuesta de grado, que marca el inicio del proyecto.

0.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cartagena de Indias D. T. y C. actualmente se debate entre ser una zona portuaria de alto tránsito de mercancía o una zona turística a nivel nacional e internacional donde ingresan cientos de miles de personas extranjeras anualmente. Estas condiciones se presentan en la ciudad, donde existen tres grandes terminales marítimas (Contecar, Sociedad Portuaria Regional de Cartagena –SPRC- y Muelles El Bosque) y una infraestructura turística, ambas ubicadas dentro del casco urbano. Si bien, el crecimiento de la actividad portuaria no solo ha tenido lugar en una zona totalmente rodeada por un entorno urbano incompatible con su funcionalidad, sino que también ha ido saturando el uso de las escasas vías que su ubicación geográfica permitieron expandir a un ritmo insatisfactorio (Goyeneche, 1998). Se puede mencionar que los retos de un puerto ubicado al interior de la ciudad ocasionan problemas de congestión vehicular y de crecimiento (Sánchez, 2005). Como también es visible que la ciudad actualmente está viviendo una situación caótica ocasionada por la desbordada congestión, que está afectando la conexión intermodal (Urriola, 2011).

Se podría empezar a hablar del impacto que tendría para la ciudad en materia de movilidad y flujo de transporte, la tendencia al incremento de la carga de contenedores que se viene sosteniendo a lo largo de los últimos años, puesto que Figueroa (2012) afirma que la carga contenerizada en Cartagena para el cierre de 2011 creció 17,37%, equivalentes a 1'794.507 contenedores (entre TEUs y FEUs) atendidos en los tres terminales más importantes de la ciudad. Es preciso decir, que Contecar y SPRC dominan el movimiento de contenedores en la ciudad con el 94,5% del total, esto es 978.818 contenedores entre enero y junio del 2012.

La Tabla 1 permite mostrar el volumen de carga contenerizada movilizadada entre enero y agosto del 2012, sólo para la SPRC.

Tabla 1. Carga contenerizada movilizada en SPRC

CONTENEDORES TEUs Y FEUs MOVILIZADOS EN SPRC					
Tráfico portuario	Llenos TEUs	Vacíos TEUs	Llenos FEUs	Vacíos FEUs	Total contenedores
Exportación	18.624	14.098	29.844	126.646	189.212
Importación	30.003	826	36.869	3.816	71.514
Tránsito internacional	184.166	32.009	203.750	47.122	467.047
Total contenedores	232.793	46.933	270.463	177.584	727.773

Fuente: Superintendencia de Puertos y Transportes. (2012). Informe acumulado de enero-agosto 2012. Movimiento de carga en los puertos marítimos colombianos. Bogotá.

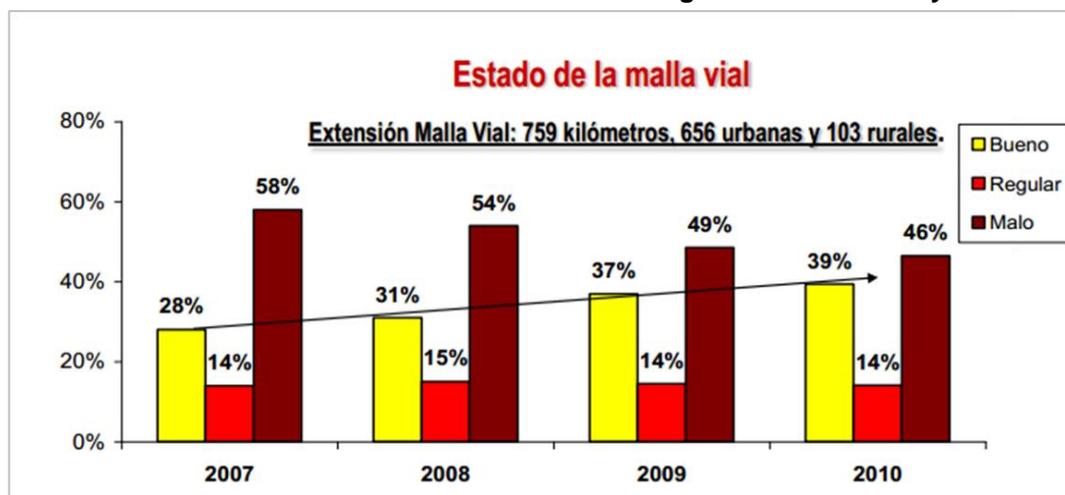
Es importante destacar que SPRC y Contecar reportaron una cifra récord en cuanto a la movilización de contenedores en el cierre del año 2012, alcanzando la cantidad de 2.018.389 contenedores (TEUs y FEUs), eso significa un incremento de 19,34% con respecto a 2011 (El Heraldo, 2013); además, estudios estiman que la carga proyectada para la ciudad de Cartagena en el 2025 abarcará un total de 19.840.283 contenedores, esto representa un incremento del 89,82% con respecto al 2012, por lo que se avecina una oleada de flujo de transporte para esta zona de la ciudad (Amézquita y Vergara, 2008).

Actualmente, el puerto de Cartagena cuenta con capacidad para atender barcos que cargan 14.000 contenedores y 170.000 toneladas de peso muerto, los más grandes que surcarán el Caribe tras la ampliación del Canal de Panamá (Figuroa, 2012). Sin duda alguna, la construcción del Tercer juego de esclusas del canal de Panamá que se estima estará listo para el primer semestre del 2015 con una inversión cerca de los 6 millones de dólares, supone nuevos retos para el puerto como requerimientos en infraestructura, la intensa competencia regional por el mercado y la necesidad de áreas para su expansión (Horton, citado en De la Vega, 2011), este último reto puede entrar en conflicto con distintos intereses de sectores aledaños a las terminales marítimas.

Es necesario resaltar que Cartagena presenta un problema de saturación, y uso inadecuado de la escasa malla vial y la falta de una dinámica movilización de la carga, evidenciando una notable desventaja competitiva de sus actuales muelles de carga ubicados en la bahía interna (Goyeneche, 1998); lo cual se puede evidenciar mediante la Ilustración 1 que hace parte de un estudio denominado “Información sobre calidad de vida en Cartagena, útil para el análisis de la ciudad y sus sectores”, para el proyecto

“Cartagena cómo vamos”, donde se muestra el estado de las vías entre 2007-2010.

Ilustración 1. Estado de la malla vial de Cartagena de Indias D.T. y C.



Fuente: Secretaria de Infraestructura. (2010). Proyecto cómo vamos.

Al igual que Cartagena, otras ciudades del país presentan problemas similares con respecto al flujo de transporte relacionado con los puertos, es el caso de Buenaventura que posee dificultades en la movilidad de la vía alterna interna. También, Barranquilla que presenta problemas en las vías que comunican a la Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla (Duran, 2012). Por otro lado, en el ámbito internacional varias ciudades de México como Veracruz y Altamira consideran el transporte carretero, hoy por hoy, como el eslabón más débil de las cadenas de carga (Martner, Pérez y Herrera, 2003).

Ahora bien, para el 2004 el número total de viajes diarios de carga fue de 1.247, cifra que fue proyectada hacia el 2025, rondando los 2.137 viajes, a esto añadiéndole las proyecciones sobre carga transportada por carretera, que para el 2017 será de 155.189 toneladas,³ lo que contribuirá a generar un tráfico vehicular y una situación de saturación que puede colapsar en cualquier momento.

Sumado a esto, Buelvas (2013) describe la problemática que arrastra consigo lo que es conocido como el corredor de cargas, uno de los tramos de vías de carga más importantes de la ciudad, el cual deja ver las debilidades que esconde el puerto de Cartagena; dicha problemática se relaciona con el alto índice de accidentalidad, y más que todo por falta de regulación del gobierno en esa zona, puesto que además de ser utilizado como zona de parqueo

³ Amézquita, J. y Vergara, J. (2008). Información proyecto ZILCA S.A. Cartagena: Amezco S.A.

informal por algunos vehículos, los camiones de carga circulan a altas velocidades y no existen puentes peatonales por el que transiten las personas, generándose situaciones esporádicas de congestión. En varias reuniones sostenidas entre varias entidades de la ciudad como la Andi, el DATT y Concesión Vial de Cartagena S.A., se expresó que el corredor vial está quedando corto para el nivel de movilidad y para el nivel de crecimiento empresarial que tiene la ciudad en la actualidad (Salazar, citado en Badrán, 2013).

Existen varias vías que integran directa o indirectamente el corredor de cargas, una de las vías directas es la avenida Crisanto Luque, la cual se está saturando rápidamente; hay otra vía que sirve de alternativa para el transporte de carga, la avenida de Buenos Aires, que actualmente tiene todos los usos posibles, dada su importancia en la movilidad hacia la SPRC, el Mercado de Bazurto y el Centro de la ciudad, por ella transitan toda clase de vehículos en todas las horas del día y de la noche, lo cual representa un peligro inminente para los particulares y el resto de la comunidad. También se ideó, el Corredor de Acceso Rápido a Cartagena, con el cual se espera que mejore el tránsito de transporte de carga por la ciudad (Garrido, 2013).

0.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el impacto de un aumento del volumen de la carga contenerizada (en operaciones de importación y exportación) que entra y sale de la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena por medios terrestres a través de un modelo de simulación?

0.2 JUSTIFICACIÓN

Es de gran importancia determinar el impacto de un incremento del flujo de cargas que entran y salen vía terrestre de la SPRC, en primer lugar, porque se tiene que el crecimiento económico del país está oscilando entre 4,5% y 4,8%,⁴ y el aprobado Tratado de Libre Comercio con diferentes naciones, trae consigo retos importantes para el desarrollo del país en materia de infraestructura vial, férrea, marítima y aérea,⁵ además de un mayor flujo de mercancías importadas desde otras naciones y un gran número de exportaciones hacia otros países. Dicha afirmación es sustentada en una variación de un 8,7% de las compras externas del país durante los primeros

⁴ Portafolio. (2012). Crecimiento económico en Colombia estaría entre 4,5% y 4,8%. Diario económico Portafolio, Bogotá.

⁵ El País. (2011). Los duros retos que deberá enfrentar Colombia en el TLC con Estados Unidos. Diario El País.

nueve meses del 2012 con respecto al mismo periodo del año 2011.⁶ Cabe resaltar el crecimiento de las ventas de los productos nacionales hacia otros países, informes del DANE muestran que durante los primeros nueve meses de 2012, se registraron exportaciones por valor de US\$44.696,8 millones, monto superior en US\$3.113,0 millones al observado en el mismo período del 2011, lo cual representó un incremento del 7,5%.

Sumado a esto, la operación actual del canal de Panamá sigue aumentando su capacidad de movilización de contenedores, durante el 2012 se dio un flujo de 7.000.000 de contenedores, ósea, un 5% más si se compara con la cifra de 2011 de aproximadamente 6.666.000 contenedores (Xinhua, 2012). Por ende, la inclusión de una tercera esclusa en el canal de Panamá cuya terminación está programada para 2015, generará un incremento de la carga movilizada. En respuesta, Cartagena se ha preparado para este gran reto presupuestando más de 500.000.000 de dólares destinados a la modernización de la capacidad del puerto, para estar a la vanguardia portuaria del Caribe; se espera preparar el resto de las instalaciones para recibir naves de hasta 14.000 TEUs de capacidad, para lo cual está ejecutando la segunda fase de su Plan Maestro de Desarrollo en el terminal marítimo de Contecar, y la tercera en el terminal de Manga (SPRC). Se planeó invertir más de \$290 millones en la ampliación de los muelles, la adquisición de cinco Grúas Pórtico Súper Post-Panamax de alta productividad; dos de las cuales fueron instaladas en SPRC al comenzar 2012, y las tres restantes en Contecar, entre otras inversiones necesarias para garantizar el cumplimiento de las labores propias de un puerto (SPRC, 2011).

Es imprescindible mencionar que este estudio a realizar es de vital importancia para Cartagena de Indias D.T. y C., pues permitirá realizar estimaciones acerca de la posible capacidad de la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena para atender el constante flujo de vehículos que transportan carga contenerizada desde y hacia las instalaciones de la organización, y aún más importante en qué punto dicha capacidad de atención se verá afectada por la tasa de llegadas de camiones.

Al mismo tiempo, la realización de este proyecto permitirá la aplicación de los conceptos vistos en el curso presencial de simulación de procesos, así como la implementación de las nociones técnicas en el manejo de software de simulación de procesos como ProModel, complementados en el conocimiento adquirido en temas de gestión logística y estadística, es decir, servirá como un indicador de calidad de los cursos presenciales que ofrece la carrera de

⁶ DANE. (2012). Importaciones y balanza comercial. Comunicado de prensa, 12 de diciembre. Bogotá.

Administración Industrial de la Universidad de Cartagena para toda la comunidad en general.

Por último, se ha optado por seleccionar la SPRC para realizar el estudio, puesto que es uno de los terminales marítimos más importantes de Colombia y actualmente se muestra como un auténtico centro logístico que une el Caribe con todo el mundo, a través de conexiones con más de 535 puertos en 136 países, servicios con las principales navieras (Paredes, 2010). En este sentido, se busca poner a prueba la capacidad de esta terminal ante un aumento del flujo de vehículos dirigidos desde y hacia dicho punto de referencia teniendo en cuenta que se encuentra ubicada en una zona urbana.

0.3 OBJETIVOS

0.3.1 Objetivo general

Evaluar el impacto de un aumento del flujo de carga contenerizada movilizadora por medios terrestres que tiene como origen y destino la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena, a través de un modelo de simulación.

0.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el funcionamiento general del sistema, a partir de la recolección de los datos primarios y secundarios, relacionados con el flujo de carga terrestre que ingresa y sale de la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena.
- Identificar las variables y constantes (incluidos sus comportamientos), entidades, atributos, procesos y relaciones que hacen parte del sistema.
- Construir el modelo propuesto.
- Simular el modelo construido empleando el software ProModel.
- Validar el modelo simulado.
- Interpretar los resultados, realizando pruebas sobre diferentes escenarios bajo un horizonte de tiempo de 5 años.

0.4 METODOLOGÍA

El presente proyecto propone la simulación del flujo de carga contenerizada movilizada por medios terrestres relacionada con la Sociedad Portuaria de Cartagena aplicando el concepto de Simulación de Eventos Discretos y contará de las siguientes fases de desarrollo (Vergara, J., Amézquita, J. y Maza, F., 2008):

Fase 1 - Definición del núcleo problema a estudiar: Se caracterizará el funcionamiento general del sistema y se determinará el funcionamiento de los elementos que hacen parte del sistema, a partir de la recolección de los datos primarios y secundarios, relacionados con el flujo de carga terrestre que ingresa y sale de la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena.

Fase 2 - Identificación de variables y establecimiento de sus relaciones: Se establecerán las variables y se identificarán sus relaciones. Este paso requerirá de conocer el valor de las variables mediante recolección de información en fuentes primarias o secundarias.

Fase 3 - Construcción y simulación del modelo: Se procederá a establecer el mapa completo de variables, constantes, entidades, atributos, procesos y relaciones que hacen parte del sistema desarrollado, empleando el software ProModel. El modelo creado necesitará ser validado con la realidad, mostrando congruencia con los resultados arrojados en la simulación.

Fase 4 - Interpretación de resultados: Como última fase, se analizarán los resultados y se realizarán pruebas sobre diferentes escenarios bajo un horizonte de tiempo de 5 años.

0.4.1 Tipo de investigación

Se establece que esta investigación es de tipo correlacional, así mismo como descriptiva y propositiva. Para la Universidad de Cartagena y el programa de Administración Industrial le resultará de vital importancia el éxito del propósito expuesto en el presente trabajo, a saber que los ojos de la comunidad educativa y el criterio de diferentes evaluadores estarán centrados en este. Dicha investigación se adapta a estos conceptos porque pretende establecer variables referidas al desempeño del sistema logístico de una organización y así poder identificar sus relaciones, estas variables son esenciales para la solución de problemas o el planteamiento de posibles mejoras al sistema, por ende se resalta su carácter propositivo; y por último representa la situación

actual de una organización frente una posible problemática a la vista, en un horizonte temporal de cinco años, lo cual le atribuye la forma descriptiva.

0.4.2 Fuentes de información

Antes de llevar a cabo el actual planteamiento, es necesario mencionar cuáles serán las fuentes de información que proporcionarán los datos, para ser analizados, verificados, validados y tomados como base para simular el flujo de carga contenerizada que entra y sale de la SPRC.

0.4.2.1 Fuentes de información primaria

Estas fuentes son las que se utilizará para modelar el sistema, entre estas se encuentran datos suministrados directamente por personal del área de Operaciones y el área de Mantenimiento de SPRC, en cuanto a capacidades, tasas de movimiento o velocidades de los equipos portuarios, bodegas, etc. También, se cuenta con un estudio realizado por un grupo investigador acerca de las proyecciones de la Zona de Actividad logística Zilca S.A., el cual abarca el estudio completo del puerto de la ciudad. La información obtenida de instituciones del Estado como el Ministerio de Transporte, La Superintendencia de Puertos y Transporte y El Banco de la República.

0.4.2.2 Fuentes de información secundaria

A pesar de que este tipo de fuentes no influyen directamente en el estudio, son de gran vitalidad para saber cuáles fueron los enfoques que se le dieron a trabajos que precedieron al presente y cuáles son los aspectos no abordados por los mismos, para que en el caso dado sean tocados en esta investigación. Dentro de fuentes de información secundarias hacen parte libros, artículos publicados, revistas electrónicas, periódicos, revistas especializadas, boletines informativos, monografías y entre otros documentos que abordan temas de simulación de diferentes sistemas de transporte.

0.4.3 Delimitación del problema

0.4.3.1 Delimitación temporal

La simulación del flujo de carga contenerizada movilizadas por medios terrestres que tiene como origen y destino la SPRC se realizará para un horizonte de proyección de 5 años, es decir, partiendo de datos históricos de 2012 hasta el 2017.

0.4.3.2 Delimitación espacial

El área de estudio para el desarrollo de esta investigación lo comprenden la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena, y las vías circundantes a este lugar.

0.4.4 Operacionalización de las variables

En la Tabla 2 se presentan las variables que se manejarán en el presente trabajo:

Tabla 2. Operacionalización de las variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO
MODELADO	Entidades	Equivalentes a los contenedores	Cuantitativa
	VARIABLES y Constantes	Número de contenedores, tiempos, número de vehículos	Cuantitativa/Cualitativa
	Atributos	VARIABLES del sistema relacionadas al tiempo de entrada y salida	Cuantitativa
SIMULACIÓN	Proyección de Variables	Proyección a 5 años de los datos	Cuantitativa
	Número de Corridas	Número de veces en que correrá el modelo	Cuantitativa
	Capacidad Máxima	Momento de ruptura del modelo proyectado	Cuantitativa

Fuente: Elaboración de los autores.

0.5 MARCO CONCEPTUAL

Contenedores: Estructuras que permiten transportar o albergar mercancía, se pueden mover por medios marítimos o terrestres. En este estudio se denomina contenedores a aquellas estructuras que poseen medidas de 20 pies (TEU) y de 40 pies (FEU) (Marí et. al, 2009).

TEU: Unidad de medida de capacidad de transporte marítimo equivalente a un contenedor de 20 pies (Freire y Gonzáles, 2009).

Súper Post-Panamax: Buques de carga contenerizada con 366 m de eslora, 49mde manga y 15,2m de calado (De la Vega, 2011).

Simulación: Es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital; estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo (Naylor, citado en Coss, 1993).

Sistema: Es una colección de variables que interactúan entre si dentro de ciertos límites para lograr un objetivo (Azarang y García, 1996)

Modelo: Es una representación de los objetos del sistema y refleja de manera sencilla las actividades en las cuales esos objetos se encuentran involucrados (Azarang y García, 1996).

Modelos dinámicos: Son modelos que representan sistemas que cambian a través del tiempo, por ejemplo, las operaciones de entrada y salida de camiones es un tipo de simulación dinámica (Herrera, 2001).

Modelos estocásticos: Son modelos que poseen componentes modelados como distribuciones de probabilidad, por ende tienen una o más variables de entrada aleatorias, estas variables de entrada generan variables de salida aleatorias (Herrera, 2001).

Pruebas piloto: Son simulaciones realizadas con el modelo, que tienen como finalidad incrementar la experiencia del modelador con la utilización del modelo diseñado y para observar en forma preliminar los resultados de salida del modelo, tanto cualitativa como cuantitativamente (Barceló, 2001).

Simulación de eventos discretos: Es una técnica de modelado dinámico basado en un modelo de eventos discretos, es decir, cambia solo en momentos especificados, están determinados por la ocurrencia de un evento, por ende el modelo ejecuta el proceso que desencadena dicho evento y avanza el tiempo correspondiente; luego el estado del sistema no cambia hasta que ocurra el siguiente evento y cuando este sucede se avanza el reloj del sistema en ese instante. Este tipo de simulación a su vez es estocástico (Calderón y Lario, 2007).

Cola: Para el presente modelo se denomina cola, al tramo del sistema que alberga camiones que esperan ser procesados; dicho tramo comprende la puerta de acceso a la terminal y la salida del lugar de espera de los camiones dentro de la SPRC. Sin embargo, la cola puede extenderse hacia otras vías del sector Manga.

Sistema logístico: Es un conjunto interrelacionado de recursos, procedimientos y métodos que permiten desarrollar la función logística (Tejada, 2001).

Validar el modelo: Se refiere a determinar si el modelo conceptual es una representación adecuada del sistema que se estudia. Es decir, si nuestro conocimiento del sistema se ha traducido en hipótesis de modelización que reproducen correctamente el comportamiento del sistema (Barceló, 2001).

Verificar el modelo: Es determinar que el programa de computador se comporta como es debido, es decir, la verificación comprueba que se ha realizado una traducción correcta del modelo conceptual a un programa de computador que trabaja correctamente (Barceló, 2001).

RTG (Rubber Tyred Granty): Es una grúa de patio o también denominada Trastainer, la RTG es la mejor opción a la hora de apilar contenedores, Se desplaza a través de pistas de rodadura que son líneas o vías designadas por el terminal marítimo, por donde se mueven entre los módulos para movilizar contenedores de un lugar a otro (Vega, s.f.).

Grúa pórtico Súper Post-Panamax: La grúa pórtico es un equipo portuario utilizado para la estiba y desestiba de contenedores del buque al muelle o viceversa, actualmente son las más sofisticadas en cuanto a grúas se trata. Son operadas desde una cabina localizada en su parte superior que se desplaza en conjunto con el equipo de cargue o descargue (Vega, s.f.).

Reach Stacker: Es una grúa móvil que cumple con la misma función del Trastainer en una terminal de contenedores, es decir, cargar y descargar contenedores de los camiones (Vega, s.f.).

Vía de salida camión: En el presente modelo representa la salida de los camiones de la terminal marítima. Para el sistema simulado esta locación no será un cuello de botella, debido a que no se tendrá en cuenta el tiempo de revisión de los camiones en la báscula de salida (como se da en la realidad), ya que dicho tiempo está incluido en los tiempos de procesamiento por camión, por lo cual es poco probable que se generen colas en la salida.

Cuello de botella: Se le denomina a aquella operación que tiene la capacidad efectiva más baja y que, por ende, limita la capacidad de todo el sistema (Krajewski y Ritzman, 2000). Para esta simulación el cuello de botella es la puerta de acceso a SPRC.

1. INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN DE LOS FLUJOS DE CARGA

Incuestionablemente, la simulación de transporte es un tema muy abordado a nivel actual, puesto que con dichos modelos se pueden llegar a evaluar y resolver muchos problemas operativos de eficiencia y efectividad de un sistema en los cuales el transporte es fundamental en el funcionamiento de tal (Gómez y Correa, 2011), como por ejemplo, la operación de carga por medio terrestre en un puerto marítimo o un puerto aéreo, la asignación de rutas de transporte y distribución en una empresa, el control del transporte masivo de una ciudad, etc.

Entonces, es preciso mencionar un estudio sobre simulación del subsistema de recepción y entrega de la Terminal Marítima de Contenedores de Barcelona, realizado por Martín (2008), que lleva por objetivo optimizar los procesos dados en dicho segmento del terminal, como lo es la reducción de los tiempos de espera y de servicio de los camiones de carga y los ferrocarriles, para de este modo contribuir a mantener un equilibrio entre los intereses del terminal y de los transportadores. En el modelo utilizó un programa de simulación de sistemas productivos denominado WITNESS, en el que una de las partes del proceso del modelo consiste en dividir el sistema de recepción y entrega en un subsistema que contempla el acceso terrestre a la terminal donde se simula un sistema de cola de los camiones que se encuentran en el exterior de la terminal hasta la entrada, y otro subsistema que contempla la entrada del camión a la terminal y de ahí a la salida. Los resultados de la simulación determinaron que no siempre hay productividad cuando se incrementan el número de accesos a la terminal, ya que al realizar cambios en un subsistema se generaba congestión en el otro, por ende se deben realizar mejoras en ambos subsistemas.

Es importante mencionar la investigación llevada a cabo por Centeno y Mendoza (2003), que planteo como objetivo desarrollar un modelo de asignación intermodal-multiproducto para las operaciones de carga terrestre, en el que se puedan tomar decisiones de optimización en el sistema carretero y ferroviario, si se realizan cambios en la infraestructura o variaciones de la demanda de carga que afecten el flujo de transporte. Este estudio se llevó a cabo bajo el uso de dos programas el ArcView y STAN, que permitieron simular los movimientos de autotransporte de carga y ferrocarril en la red de carretera y red férrea. Gracias a este modelo se pudieron estimar flujos vehiculares en arcos y ruta, junto con costos de transporte, caminos más cortos, y los corredores y vías férreas más importantes en función de los flujos transportados sobre ellas.

Como bases para el desarrollo de este proyecto, se resalta también el estudio realizado por García (2001) el cual planteó el desarrollo de un modelo de simulación de las operaciones de despegue y aterrizaje en el aeropuerto internacional de la ciudad de México para posteriormente realizar una serie de experimentos encaminados a obtener información en relación con el comportamiento del sistema, específicamente en el tamaño de la cola, los tiempos promedio de espera, el porcentaje de utilización de las pistas y las operaciones totales. Este trabajo utiliza como muestra las aeronaves que están en vuelo y solicitan permiso para aterrizar, así mismo aquellas que están en tierra y solicitan permiso para despegar. El software SIMNET II es utilizado como herramienta de simulación y para efectos de la misma se asume la particularidad de una sola pista o cola para ambas operaciones, aun así cuando los dos tipos de aeronaves se encuentren en pistas distintas, dicha cola se caracteriza por reunir la capacidad de dos pistas, destinadas para cada tarea respectivamente, además se le asigna al sistema una disciplina FIFO para atender a cada aeronave que esté esperando en entrar en la acción concerniente. La investigación concluye que se presentará un deterioro considerable de las operaciones del aeropuerto a pesar de la posibilidad de aumentar el número de operaciones diarias, también concluye que un diminuto aumento en la capacidad de las pistas traerá consigo una determinante disminución del tamaño de las colas y de los tiempos promedio de espera, a su vez demuestra que se puede dar un caso contrario a lo anterior, lo cual genera impactos negativos en el desempeño del sistema.

1.1 LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS FLUJOS DE CARGA TERRESTRE EN LOS SISTEMAS LOGÍSTICOS

La realización de simulaciones se ha convertido en una de las prácticas más recurridas en la actualidad, por ser una técnica flexible y de fácil aplicación, que permite ofrece predicciones de hechos futuros en el tiempo (Piera et. al., 2006), es por ello que debe hacerse un completo análisis de las concepciones y teorías sobre esta técnica, específicamente en el campo de los flujos de transporte, como también teniendo en cuenta las generalidades y conceptos que hacen parte de un sistema logístico.

1.1.1 La simulación en general y la simulación de flujos de carga

En el transcurso del tiempo, el área de la investigación y la tecnología han venido realizando nuevos aportes al conocimiento y a la manera de mejorar los métodos, procesos y procedimientos de los sistemas, es así como una de las herramientas más utilizadas en la actualidad hace presencia importante en este ámbito, como lo es la simulación. Coss (1993) menciona que la construcción de

modelos de simulación tuvo origen desde la época del renacimiento, modelos a escala de aviones o hechos como el planteamiento de un problema sobre la aguja de Buffon, fueron haciendo aproximaciones notables hacia esta técnica; sin embargo, el uso concreto de la palabra simulación como tal, fue dado en 1940, por los científicos Von Neuman y Ulam, quienes trabajaban durante la Segunda Guerra Mundial en el proyecto Monte Carlo, para la resolución de problemas de reacción nuclear cuyos costos experimentales serían muy altos.

Azarang y García (1996) definen la simulación como la realización de un modelo lógico-matemático de un sistema, de manera que se obtiene una reproducción o imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo. De hecho, la simulación puede ser ejecutada manualmente o por computadora, abarcando siempre la generación de una historia artificial de un sistema y su observación para obtener datos e inferencias relacionadas con las características operativas del sistema real (Banks, Carson y Nelson, 1996).

Es preciso saber que la simulación utiliza como base varios tipos de modelo; en primera instancia se encuentran aquellos que están en función del tiempo, estos son los estáticos que no varían con el tiempo, y los dinámicos, que representan a sistemas que cambian a través del tiempo. También, están los modelos en función de las características de sus variables, como lo son los de tipo continuo, donde las variables de estado cambian continuamente a través del tiempo, y los de tipo discreto, en el que la variable de estado cambia únicamente en momentos dados. Y por último, están aquellos en función de la incertidumbre, como los modelos determinísticos que no poseen variables aleatorias, y los estocásticos que tienen una o más variables de entrada aleatorias (Crosbie, 2000, citado en Calderón y Lario, 2007).

Piera (2006) destaca las ventajas que trae consigo la simulación, entre las cuales se pueden mencionar, que permiten evaluar estrategias de optimización sin alterar el sistema real, los tiempos pueden ser expandidos o comprimidos para poder observar ciertos fenómenos que se puedan generar en un instante de tiempo; se pueden analizar cuellos de botella, indicando el grado de utilización de los recursos; también permiten responder a preguntas esenciales en la mejora del rendimiento de sistemas complejos (como, ¿qué ocurriría si..?, ¿podrá ocurrir tal suceso?). Por otro lado, se presentan desventajas, puesto que construir modelos de simulación puede representar costos altos debido a la verificación y validación, ya que se puede requerir de gran cantidad de corridas o ensayos para conseguir resultados óptimos y fiables; sin embargo, la simulación sigue destacándose como una de las herramientas más importantes en la toma de decisiones (Piera et. al., 2006).

Ahora bien, es imprescindible de la simulación para poder realizar análisis sobre los flujos de carga. La compañía creadora de un reconocido software de simulación, ProModel Corporation (2012) afirma que la gran mayoría de herramientas como hojas de cálculo y paquetes de optimización no son suficientes para reproducir y resolver los problemas que se generan en dicho sistema, es decir, solo la simulación permite imitar la coordinación de los distintos actores que integran el sistema como lo es manipulación, transporte, carga y descarga.

Entre los diferentes métodos más utilizados para la simulación de los sistemas logísticos se encuentra la simulación de eventos discretos (SED). García (2011) menciona que la SED es un proceso que consiste en relacionar los diferentes eventos que pueden cambiar el estado de un sistema bajo estudio por medio de distribuciones de probabilidad y condiciones lógicas del problema que se esté analizando. Es por ello, que Gómez y Correa (2011) concluyen en su artículo, añadiendo que la simulación de eventos discretos permite analizar el desempeño del transporte y distribución de manera cuantitativa permitiendo medir cantidades movilizadas y distancias, así como eficacia en los procesos y utilización de recursos.

Precisamente, la herramienta ProModel actúa como un simulador de eventos discretos, diseñado para modelar el flujo y el proceso de transformación de partes discretas a través de un sistema productivo (entidades, piezas, materiales, etc.), sin embargo, también se pueden representar sistemas continuos, como lo es una cadena logística, convirtiendo materiales a granel (fluido, minerales, etc.) en unidades discretas como por ejemplo litros, barriles, contenedores, etc. Adicionalmente, ProModel está diseñado para modelar sistemas donde los eventos (arribo de un camión o pieza, fin de una tarea) ocurren en puntos distintos del tiempo (ProModel Corporation, 2012).

Sin duda alguna, cuando se habla de flujos de carga, se habla generalmente de vehículos de transporte aunque existan otros medios, estos precisamente hacen parte del tema a tratar en dicha investigación; en este sentido, el conjunto de estadísticas o medidas de comportamiento que se pueden extraer de una simulación para estos casos en específico serían: el grado de utilización de los vehículos, el tiempo total en cada uno de los estados (espera, movimiento con carga, sin carga), número de viajes efectuados, grado de congestión en cada uno de los caminos, tiempo de espera para el transporte, porcentaje de tiempo a máxima velocidad, etc. (Guasch, 2002).

Guasch (2002) describe las características más relevantes de los modelos de simulación de flujos de carga, en primera instancia menciona su complejidad, puesto que el comportamiento del sistema no suele ser lineal, y el rendimiento depende del buen control de las interacciones que se dan entre los distintos recursos que intervienen en las operaciones de carga/descarga de material (contenedores); en segundo lugar, el modelo debe recoger la dinámica de los distintos subsistemas del todo, debido a que el rendimiento global del sistema de transporte es sensible a las interacciones de los diferentes subsistemas; otro aspecto, es que los sistemas reales de transporte están sujetos al azar como los tiempos de tránsito o de carga y descarga; y por último, si no se detallan muy bien los modelos de simulación, se tiende a optar por decisiones conservadoras para evitar problemas por falta de medios logísticos de transporte, minimizando los beneficios que se pueden obtener.

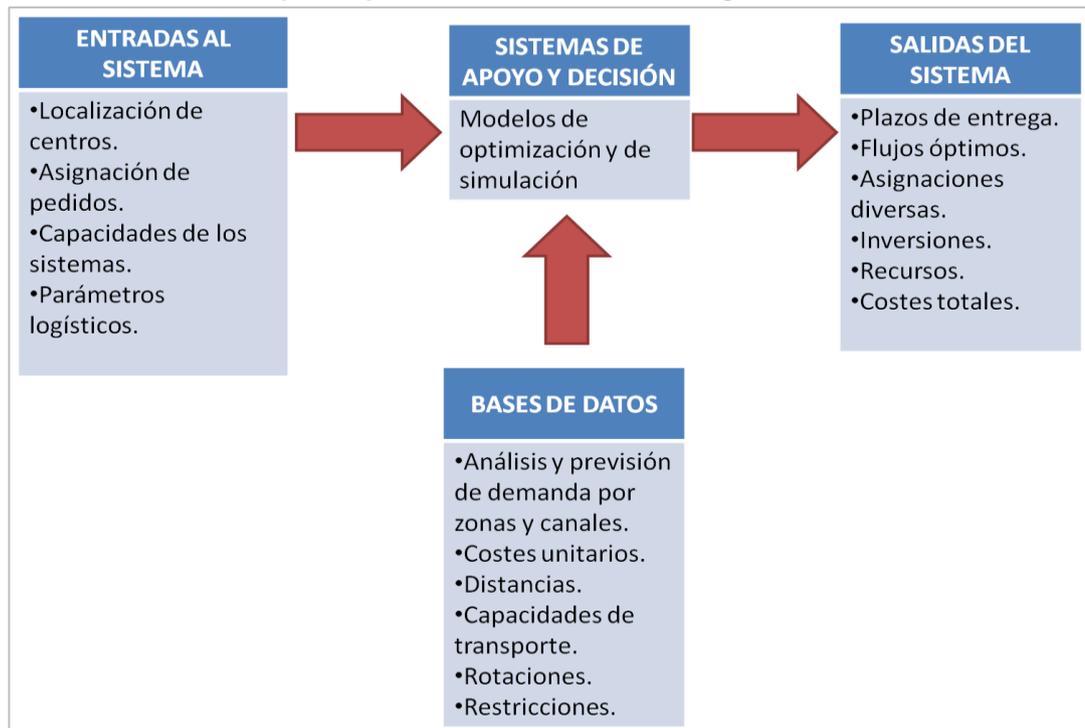
1.1.2 ¿Cuáles son las características de un sistema logístico?

En primera instancia, es preciso dar un concepto de lo que es un sistema logístico, según Tejada (2001) es un conjunto de medios, estructuras orgánicas, procedimientos y métodos que están interconectados permitiendo que los recursos logísticos interactúen de manera ordenada y de esta forma se puedan alcanzar los objetivos previstos.

Un sistema logístico debe estar bien definido, explicándose claramente sus componentes, por ende debe contemplar las siguientes características: determinación clara y precisa de la estructura que relacione cada una de las partes del sistema, es decir, esto incluye puntualizar las actividades logísticas, como lo es el procesamiento de pedidos, la gestión de inventarios, el transporte, el nivel de servicios al cliente, las compras, el almacenamiento, el procesamiento de las mercaderías y la gestión de la información; otra característica es el establecimiento preciso de los recursos para concretar la estructura; la identificación de los ciclos logísticos que se ejecutaran; la definición del gerenciamiento de la estructura y la adopción de un sistema de planeamiento y control (Casanovas y Cuatrecasas, 2003).

El sistema logístico es el soporte que hace posible que la mercancía o producto de la empresa llegue desde los proveedores (origen) hasta el consumidor (destino). Un sistema logístico es una combinación de flujo de información y flujo de materiales entre clientes y proveedores, este último integrado por el subsistema de compras y aprovisionamiento, de producción y de distribución física. Por ende, todo sistema logístico supone una estructura con entradas y salidas, como lo muestra la Ilustración 2 (Casanovas y Cuatrecasas, 2011).

Ilustración 2. Esquema para el diseño de una red logística como un sistema



Fuente: Casanovas y Cuatrecasas. (2011). Logística integral: Lean Supply Chain Management.

1.1.3 ¿Cuáles son las etapas para simular un sistema logístico?

Herrera (2001) plantea en su investigación once etapas o pasos a seguir para realizar la simulación de un sistema en general y las agrupa de la siguiente manera:

En la primera etapa menciona la formulación del problema como punto de partida del proceso de simulación, ya que este es el propósito de la simulación misma. No obstante, Gómez y García (2011) exponen que el primer paso para elaborar un sistema es la contextualización del mismo, es decir, plantear todas las características del sistema que se desee simular. Como segundo paso, plantea la conceptualización del modelo, donde se define qué características del sistema se simularán y cuáles no. Como complemento en el estudio de Gómez y García (2011) se especifica que los aspectos a definir del modelo son las variables de entrada y salida, parámetros, entidades, servidores, recursos, entre otros.

Siguiente a esta etapa, se hace una recolección y tratamiento de los datos tomados directamente del campo de estudio los cuales son necesarios para la construcción del modelo del sistema y el buen funcionamiento de la simulación. Continuando con la estructura, la cuarta etapa corresponde a la implementación del modelo en un software de simulación. En quinto lugar,

propone la elaboración de pruebas piloto para así adquirir conocimientos y corregir errores que permitan obtener resultados fieles al problema planteado. Siguiendo este orden de ideas, plantea que se debe validar y verificar el modelo; Barceló (2001) dice que validar es comprobar si el modelo de simulación se comporta como es debido, y que verificar es determinar si el modelo planteado está funcionando como se espera.

Como séptima etapa, plantea la definición de los elementos que se harán mediante la simulación, en esta fase resalta que se deben definir las condiciones bajo las cuales se realizará la simulación; luego, es necesario realizar simulaciones para obtener datos sobre el rendimiento del sistema.

Posteriormente, se realiza el análisis de los datos e inmediatamente se determina si es pertinente o no realizar modificaciones al modelo de simulación, y por último y no menos importante, se genera la presentación formal de los resultados obtenidos por todo el proceso en forma de un documento.

1.2 LA SITUACIÓN DE LOS FLUJOS DE CARGA CONTENERIZADA EN LA CIUDAD DE CARTAGENA

Como se ha mencionado en el resumen del presente proyecto, la ciudad de Cartagena y la SPRC se encuentran en un proceso de preparación ante el inminente crecimiento económico que se avecina, el cual será resultado de la expansión del canal de Panamá que trae consigo un aumento de carga contenerizada, circulando constantemente en la ciudad y en las instalaciones de la SPRC. Claramente, el tráfico de carga contenerizada en la ciudad de Cartagena ha ido aumentando conforme pasan los años, a continuación se mostrarán la cantidad en toneladas de carga que se ha movilizado en la ciudad de Cartagena desde el año 2006, según el Ministerio de Transporte de Colombia (ver Tabla 3).

Tabla 3. Tráfico portuario en la ciudad de Cartagena

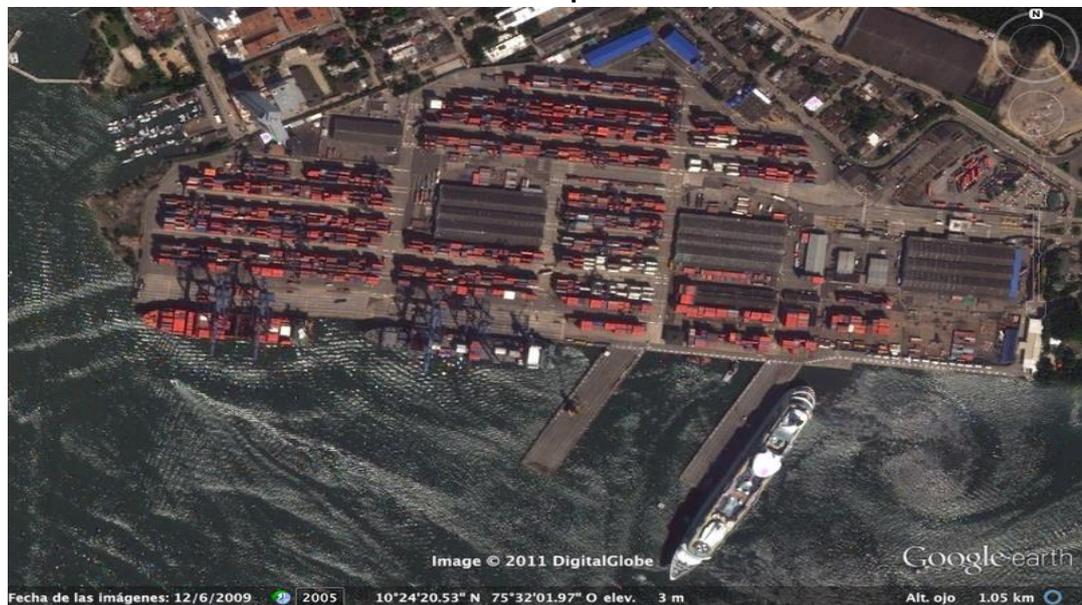
AÑO	TONELADAS
2006	16.392.632
2007	16.299.328
2008	20.000.703
2009	19.151.375
2010	24.452.510
2011	30.753.002

Fuente: Ministerio de transporte. (2011).

De las cifras anteriores es necesario resaltar que hubo una decaída en el total de toneladas trasportadas en 2009 comparado con el año anterior (2008) de un 4,25% y que a partir de ahí se ha venido recuperando; la última cifra correspondiente a 2011 refleja un total de 30.753.002 toneladas que se movilizaron por las vías de la ciudad. Otro punto a tener en cuenta es la infraestructura vial, la cual se caracteriza por su capacidad vehicular limitada y malos estados.

Ahora, elemento importante es la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena (SPRC), la cual es el actor principal de esta investigación. En la Ilustración 3 se muestra la ubicación de esta terminal marítima.

Ilustración 3. Vista superior de la SPRC



Fuente: Google Earth.

La SPRC cuenta con los equipos de última tecnología y máquinas de vanguardia que permiten el óptimo funcionamiento de todas las actividades logísticas que se llevan a cabo en su interior. Además, es capaz de recibir en sus muelles barcos de 5.500 TEUs, entre otros barcos como los buques Post-Panamax con un horario de atención de 24 horas-día durante los 365 días del año.

Durante el año 2011 se exportaron desde la SPRC un total de 1.306.383 toneladas en carga, mientras que paralelamente ingresaron desde diferentes países 1.583.035 toneladas en carga contenerizada. Como datos adicionales se tienen datos históricos de exportaciones e importaciones de carga en toneladas que tuvieron como origen y destino la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena (ver Tabla 4 y Tabla 5).

Tabla 4. Carga internacional en la SPRC - Exportación

AÑO	TOTAL	OTROS	CONTENEDORES	
			20'	40'
2006	1.756.781	597	834.475	921.710
2007	1.779.986	835	849.877	929.274
2008	1.770.601	11.328	772.427	986.846
2009	1.574.870	1.237	635.715	937.918
2010	1.355.255	352	505.826	849.077
2011	1.306.383	6.413	467.788	832.182

Fuente: Ministerio de Transporte. (2011).

Tabla 5. Carga internacional en la SPRC - Importación

AÑO	TOTAL	OTROS	CONTENEDORES	
			20'	40'
2006	1.775.950	10.150	960.187	805.613
2007	1.723.680	57.338	917.110	749.232
2008	1.912.694	27.510	910.563	974.621
2009	1.619.249	16.381	750.940	851.928
2010	1.589.512	3.998	779.639	805.875
2011	1.583.035	21.945	794.573	766.517

Fuente: Ministerio de Transporte. (2011).

Es de vital importancia conocer los datos históricos referentes a las importaciones y exportaciones que fluyen a través de la SPRC, ya que se puede analizar el grado de eficiencia y eficacia de los sistemas logísticos de la corporación, por otra parte se puede establecer juicios acerca de relación entre la mercancía que fluye de entrada y salida, y la cantidad de la misma que es movilizadada por vía terrestre para ser despachados o embarcados.

Del mismo modo, es preciso revelar las cifras referentes al flujo de camiones que transportan carga contenerizada desde y hacia el puerto de Cartagena del año 2004, teniendo en cuenta que este es uno de los aspectos más importantes del proyecto que permitirá hallar las proyecciones de carga por carretera (ver Tabla 6).

Además, se cuenta con un proyectado de la carga transportada por carretera en Cartagena desde el año 1994 (ver Tabla 7), así como también una proyección de la demanda potencial efectivo del número de viajes realizados desde el 2004 (ver Tabla 8), cabe resaltar que estos viajes no están discriminados por tipo de carga transportada, es decir, si es por importación, exportación o contenedor vacío.

Tabla 6. Número de viajes de cargas del año 2004

CIUDAD		CIFRAS AÑO			CIFRAS POR DÍA		
Destino	Origen	Viajes vacíos	Viajes cargados	Total viajes	Viajes vacíos	Viajes cargados	Total viajes
Bogotá	Cartagena	16.272	88.964	105.236	45	247	292
Cali	Cartagena	2.784	22.151	24.935	7	61	68
Medellín	Cartagena	18.968	43.840	62.808	52	121	173
Buenaventura	Cartagena	0	1.361	1.361	0	3	3
Cartagena	Bogotá	20.475	135.350	155.825	56	375	431
Cartagena	Cali	2.607	25.094	27.701	7	69	76
Cartagena	Medellín	8.078	65.872	73.950	22	182	204
Cartagena	Buenaventura	58	137	195	0	0	0
Total		69.242	382.769	452.011	189	1.058	1.247

Fuente: Amézquita J. y Vergara J. (2008). Información proyecto ZILCA S.A. Cartagena: Amezco S.A.

Tabla 7. Proyección de carga transportada por carretera en Cartagena

AÑO CALENDARIO	AÑO	POR CARRETERA (TON)	VARIACIÓN
1994	1	71.168,00	
1995	2	89.399,00	25,62%
1996	3	84.350,00	-5,65%
1997	4	77.674,00	-7,91%
1998	5	73.034,00	-5,97%
1999	6	100.284,00	37,31%
2000	7	84.018,00	-16,22%
2001	8	99.782,00	18,76%
2002	9	117.597,00	17,85%
2003	10	102.961,04	-12,45%
2004	11	107.079,00	4,00%
2005	12	112.781,14	5,33%
2006	13	116.315,18	3,13%
2007	14	119.849,21	3,04%
2008	15	123.383,25	2,95%
2009	16	126.917,29	2,86%
2010	17	130.451,33	2,78%
2011	18	133.985,36	2,71%
2012	19	137.519,40	2,64%
2013	20	141.053,44	2,57%

Fuente: Amézquita J. y Vergara J. (2008). Información proyecto ZILCA S.A. Cartagena: Amezco S.A.

Tabla 8. Proyección demanda potencial efectiva de camiones

AÑO	DEMANDA POTENCIAL	DEMANDA POTENCIAL EFECTIVA
2004	1.247	888
2005	1.313	935
2006	1.355	965
2007	1.396	994
2008	1.437	1.023
2009	1.478	1.053
2010	1.519	1.082
2011	1.560	1.111
2012	1.601	1.141
2013	1.643	1.170

Fuente: Amézquita J. y Vergara J. (2008). Información proyecto ZILCA S.A. Cartagena: Amezco S.A.

1.3 CONSIDERACIONES GENERALES A TENER EN CUENTA PARA LA SIMULACION DE FLUJOS DE CARGA

En un proyecto de simulación es muy importante la disponibilidad de los datos para lograr desarrollar el modelo, también de manera muy general es necesario tener un conocimiento claro del funcionamiento del sistema a simular, más teniendo en cuenta si es un sistema complejo, porque la información se puede encontrar repartida en diferentes actores de este. Cuando los datos que se obtienen no están presentados en un formato general que permita definir el modelo, se deberán efectuar hipótesis razonables para efectuar el estudio (Piera et. al., 2006).

De igual manera los datos disponibles deben de agruparse en algunos de los siguientes grupos relevantes que hacen parte de una simulación, como lo son: el estado, que es la condición que guarda un sistema bajo estudio en un momento determinado; la entidad, es la representación de los flujos de entrada a un sistema; los eventos, son los cambios en el estado actual del sistema; las localizaciones, son todos aquellos lugares en los que la pieza puede detenerse para ser transformada o esperar hacerlo; los recursos, son dispositivos necesarios para llevar a cabo una operación; los atributos, son características de una entidad; y las variables que son condiciones cuyos valores se crean y modifican por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas (García et. al., 2006).

Es importante destacar, que se debe contar con total acceso de la información necesaria para la definición y clasificación de los elementos que hacen parte de una simulación; esto es la caracterización del sistema real a simular, por

ejemplo, para este caso en concreto, tener un flujo del proceso productivo al interior de la terminal marítima, de esta manera se puede determinar los recursos, entidades, locaciones y vías que participan en el proceso, en otras palabras, saber cuántas grúas pórticos y RTG existen, cuántas posiciones de atraque o muelles hay, cuántas bodegas existen o la extensión del patio, cuántas vías de acceso tiene SPRC, cuántas básculas hay y por cuales procesos pasan los camiones cuando ingresan a la terminal en cada uno de los casos:

- Cuando llevan contenedores para exportación
- Cuando llevan contenedores vacíos para devolución
- Cuando pasan a recoger contenedores de importación

Por otro lado, se debe de disponer de las cifras y estadísticas referentes a las locaciones, entidades y recursos que van a interactuar en el modelo, es decir, para este caso en específico, los flujos de transporte terrestre de carga (en viajes o número de camiones) que entran y salen del terminal marítimo y el tiempo entre citas; los volúmenes de la carga contenerizada que llega y sale del terminal, y sus frecuencias de llegada, a su vez determinar la proporción de cuantos contenedores son carga en tránsito o hacen trasbordo; como también, los tiempos de procesamiento de los recursos como grúas pórticos, camiones rd, RTG, básculas, etc.; las velocidades de tránsito de los camiones dentro y fuera del terminal marítimo con o sin carga; las capacidades de los módulos o bodegas; tener bien definido las rutas por las cuales circularán los contenedores y recursos.

Además de esto sería importante saber si SPRC cuenta con estudios estadísticos acerca del tipo de distribución que poseen sus tiempos de procesamiento de los recursos o los tiempos entre llegadas de las entidades como contenedores y camiones; de no existir, se podrían calcular a partir de conjuntos de datos suministrados, mediante pruebas estadísticas o a través de la herramienta Stat:Fit de ProModel.

2. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Es necesario realizar una descripción completa y precisa del sistema a simular con el fin de construir un modelo válido, para ello es indispensable definir todos los elementos que hacen parte del sistema, los cuales deben tener una frontera clara; entonces, para este caso en particular, un sistema logístico puede dividirse en ciertos elementos relevantes para la construcción de lo que constituirá su modelo de simulación, entre ellos se tienen entidades, recursos, locaciones, llegadas, atributos y variables (García et. al., 2006).

2.1 SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL DE CARTAGENA (SPRC)

SPRC se define a sí misma como una organización dedicada a la prestación de servicios portuarios y logísticos que agregan valor y generan ventajas competitivas a los participantes del comercio internacional; la empresa visiona para 2017 un monto por concepto de ventas de \$600 millones de USD anuales.⁷ SPRC se encuentra denominada como el mejor puerto del Caribe, gracias a su alta competitividad y calidad en sus servicios (Figuroa, 2012).

Este puerto cuenta con una facultad de atender barcos de 5.000 TEUs y capacidad para movilizar 1'500.000 TEUs, además posee la infraestructura descrita en la Tabla 9.

Tabla 9. Equipos de SPRC

CANTIDAD	EQUIPO	CAPACIDAD POR UNIDAD (TON)
3	Grúas Pórtico Superpost-Panamax Twin 20	70
3	Grúas Pórtico Post-Panamax	50,6
3	Grúas Móvil	100
31	RTGs	40
6	Reach Stacker	45
3	Empty Container	9
81	Camiones	35
30	Plataformas de 45'	50
34	Plataformas de 40' Corner less	50
30	Plataformas de 40' Corner less	60
1	Montacargas 15500	7
9	Montacargas 6000 Diesel	3
2	Montacargas 6000 Eléctrico	3

⁷ SPRC. (2012). Información institucional: Quiénes somos. Página web <http://cisne.puertocartagena.com>

CANTIDAD	EQUIPO	CAPACIDAD POR UNIDAD (TON)
5	Montacargas 4500 Eléctrico	2,5
2	Montacargas 5000 Apilador Neveras	2,5
2	Plataforma Aérea	0,3
2	Llenadoras de Café a Granel	
1	Puente Grúa para manejo de vidrio	5

Fuente: SPRC. (2013).

El patio de la SPRC contiene bodegas (ver Tabla 10), que pueden albergar carga suelta y productos. Además de las bodegas también se encuentran los módulos; en donde se pueden almacenar tanto contenedores vacíos como llenos.

Tabla 10. Bodegas de SPRC

BODEGA NO. 1 DE IMPORTACIÓN:	
Área total:	8.224 M2
Cantidad de cubículos:	1.230 con capacidad para 2
Área adicional x estantería:	2.952 M2
Capacidad de pallets:	2.000 x 2 de alto
Capacidad CFS Whirlpool	26.120
Patio de Bodega No.1:	1.176 M2
Zona de vaciado:	30 TEUs de capacidad
BODEGA NO. 2 - EXPORTACIÓN DE CAFÉ	
Área total:	7.430 M2
Área útil para carga:	1.954 M2
Capacidad de lotes:	157 lotes de 275 sacos c/u
Capacidad de sacos:	43.000 sacos de 4 x alto
Capacidad de estibas:	1.720 estibas
Zona de llenado:	12 TEUs de capacidad
BODEGA NO. 3 - PRODUCTOS QUÍMICOS	
Área total:	2.052 M2
Área útil para carga:	1.872 M2
Cantidad de módulos:	No.1: Inflamables, venenos No.2: Corrosivos, irritantes No. 3: Cargas químicas varias
Patio de químicos:	1.284 estibas

Fuente: SPRC. (2013).

Tal y como lo muestra la Tabla 11, SPRC posee ocho muelles de atraque, de los cuales tres muelles son utilizados para recibir cruceros y el resto son utilizados para atender buques portacontenedores.

Tabla 11. Características de Muelles de SPRC

CARACTERÍSTICAS SEGÚN LA PROFUNDIDAD Y EL CALADO OPERACIONAL			
Muelle	Longitud (m)	Profundidad (ft)	Calado operacional (ft)
Muelle 1	200	20	19
Muelle 2	202	36	35
Muelle 3	182	36	35
Muelle 4	130	29	28
Muelle 5	202	39	38
Muelle 6	182	39	38
Muelle 7	270	44	43
Muelle 8	268	45	43

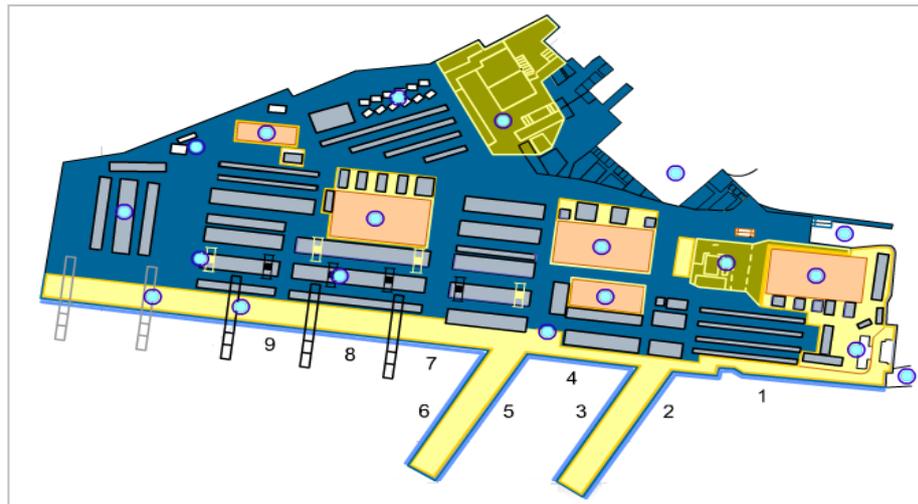
Fuente: SPRC. (2013).

Actualmente, SPRC ha planteado ampliar su infraestructura y adquirir equipos de súper estructura, para aumentar su actual capacidad hasta los 2.700.000 TEUs anuales, además se ha hecho extensión de los muelles marginales en 700 metros, ha adquirido dos grúas Súper Post-Panamax, diez grúas RTGs, entre otros elementos que harán competitiva a la SPRC frente a los retos que se avecinan (SPRC, 2011).

Entre otras cosas, su localización le permite conectarse con 595 puertos en 136 países, acercando así partes del mundo en concepto de tiempo y distancia, lo cual resulta atractivo para efectos de disminuir costos de transporte (SPRC, 2011). Esta aprovecha los canales naturales de Bocagrande y Bocachica para la entrada y salida de los buques del puerto, así mismo, adelanta la construcción de un nuevo canal sin restricciones denominado “El Varadero”, el cual servirá de apoyo ante el aumento de flujo de buques causado por la modernización del canal de Panamá (De la Vega, 2011).

La ilustración 4 muestra la ubicación de los muelles, bodegas y grúas pórtico.

Ilustración 4. Infraestructura de la SPRC



Fuente: SPRC. (2013).

2.2 ELEMENTOS PARA LA SIMULACIÓN

Como se mencionó previamente en el capítulo 1, un sistema logístico posee objetos e interacciones, que deben ser clasificadas para la creación de un modelo de simulación, para posteriormente observar las interacciones que entablan entre ellos. ProModel Corporation (2001) precisa que los modelos de simulación se ajustan al paradigma de locaciones, entidades, recursos, llegadas, variables y procesos (ver Ilustración 5).

En primera instancia, se definen las entidades, elementos del proceso que van a ser sujetas a transformación o resultado de algún proceso (ProModel Corporation, 2001). En este modelo de simulación, las entidades estarán representadas por los contenedores, los camiones y los buques. Es preciso reiterar, que para efectos de este estudio los contenedores contemplan las unidades de medida TEU y FEU, es decir, que los contenedores de 20 y 40 pies serán tomados como una única entidad (contenedor), y no habrá diferencia entre ambos.

ProModel Corporation (2001) las define como los lugares físicos fijos en el sistema donde ocurren las cosas, es decir, los lugares que conforman el medio ambiente de un proceso donde las entidades pueden detenerse para ser transformadas o esperar a hacerlo, no tienen acción ni movimiento, por ende su función básica es alojar a las entidades del proceso. Para el caso mencionado, las locaciones están constituidas por el muelle, el patio de contenedores, una zona de operaciones o módulo que contempla el procesamiento de los camiones, las vías carreteras, las vías marítimas y un puerto extranjero. Cabe resaltar que en el presente modelo no será necesario emplear recursos.

Del mismo modo, se debe realizar una descripción del proceso en ProModel, el cual permite interrelacionar las locaciones con las entidades, adecuado a los tiempos de operación del modelo (tiempo de cargue y descargue de contenedores por buque, tiempo de cargue y descargue de camiones). En este caso, el proceso básicamente consiste en conectar cada una de las entidades como camiones, buques y contenedores con las locaciones como muelle, vías, etc., y añadir los tiempos de procesamiento en estas últimas. La descripción detallada del proceso se llevará a cabo en el siguiente capítulo.

Y por último, se establecen las llegadas, permitiendo el ingreso de las entidades al sistema (ProModel Corporation, 2001). En el presente modelo las llegadas se representarán a través de la frecuencia de llegada de los buques, la frecuencia de llegada de los camiones, la cantidad inicial de contenedores en el patio y la cantidad inicial de contenedores en el extranjero.

Las variables definidas para el modelo se utilizarán para medir la cantidad de contenedores por tipo que son movilizados en muelle, al igual que la cantidad de camiones que son cargados con contenedores. En ocasiones es necesario definir atributos para calcular algunos valores de las variables; sin embargo, en el siguiente capítulo se describirán las variables a emplear en el modelo.



Fuente: Elaboración de los autores.

3. SIMULACIÓN DE CARGA CONTENERIZADA MOVILIZADA POR VIA TERRESTRE DESDE Y HACIA SPRC.

Para llevar a cabo la simulación del flujo de contenedores dentro y fuera de la terminal marítima SPRC se debe, en primera medida, establecer los datos (variables y constantes) que alimentarán el sistema simulado. En esta fase del proyecto, se captó información directa de la sociedad portuaria sobre tiempos de operación y capacidades, identificando los tipos de distribución estadística propias de un modelo de tipo estocástico. En segundo lugar, se procedió a diseñar el modelo adaptado al software ProModel, finalizando este capítulo con la simulación, validación y análisis de los resultados obtenidos. Para el cálculo de las distribuciones estadísticas se hará uso del software Stat: Fit, herramienta integrada al software ProModel.

3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS REQUERIDOS POR EL MODELO

Cada una de los datos descritos a continuación, fueron calculadas mediante información operativa del año 2013 suministrado directamente por SPRC.

3.1.1 Capacidad del patio de contenedores

La capacidad del patio (almacenamiento) condiciona la capacidad de las operaciones en el muelle, y a su vez dependerá de la superficie disponible, del factor de estiba y del tiempo de estancia de la carga. El patio de un puerto nunca estará al límite de su capacidad, dicha capacidad puede medirse de dos formas, la capacidad estática, que está vinculada directamente a la superficie disponible y a la altura de las estibas, por ende, representa la capacidad total del patio; y también se encuentra la capacidad dinámica, calculada en base a la capacidad estática y la estadía de cada contenedor dentro de la terminal.

En el modelo se optó por trabajar con la capacidad dinámica, dado que incluye la operatividad del almacenamiento, siendo más estratégica pensando en los movimientos que se tienen que hacer y en los espacios destinados para el movimiento de un contenedor. La capacidad dinámica de SPRC en el 2013 fue de 17.708 TEUs, y es manejada como una constante en el modelo. Sin embargo, es este estudio se estableció una capacidad dinámica neta que resulta de restarle el porcentaje promedio de la carga en tránsito representado en un 53 % y de la carga depot en un 10 %, ⁸ debido a que están cargas no serán tenidas en cuenta en el modelo ya que la primera no es movilizada por vía terrestre y la segunda son contenedores vacíos no activos. A su vez se

⁸ SPRC. (2013). Datos de Inventario de Sociedad Portuaria Regional de Cartagena. [Documento Excel]

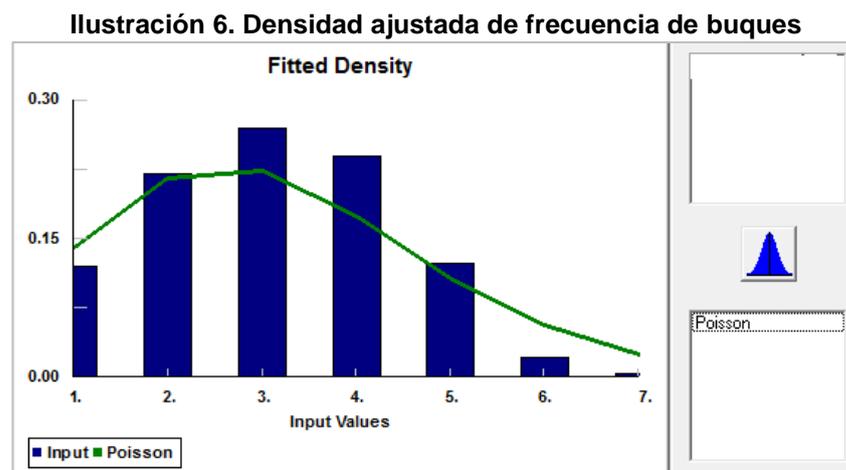
debe de agregar al modelo las cantidades iniciales de contenedores de importación y exportación que hay en el patio, obtenidas del inventario de cierre del 2013.

3.1.2 Tiempo de permanencia del contenedor

Esta variable representa el tiempo de permanencia del contenedor en el patio, es decir, el tiempo que espera un contenedor antes de que sea cargado a un buque o cargado a un camión, dicha variable se calculó como un promedio en días. Además, este tiempo de permanencia está clasificado en tiempo de permanencia en días para contenedores de importación y tiempo de permanencia para contenedores de exportación, ambos incluyen contenedores vacíos y llenos. Cabe destacar que esta variable será de gran utilidad para hacer las validaciones respectivas del modelo.⁹

3.1.3 Frecuencia de buques

La frecuencia de llegada de los buques a SPRC,¹⁰ se calculó como una distribución discreta de número de buques por día. La distribución de llegada entre buques arroja una tasa de llegada de 3.11 buques/día (es decir, por cada día llegan aproximadamente 3 buques), adecuada a una distribución Poisson (8), equivalente a una frecuencia de 8 horas promedio para la llegada de un buque. Tal y como se muestra en la Ilustración de densidad ajustada, los datos siguen un comportamiento tipo Poisson (ver Ilustración 6).



Fuente: Stat: Fit.

⁹ SPRC. (2013). Estadísticas operativas SPRC-Diciembre: Permanencia ctrs categoría-tipo. [Documento Excel]

¹⁰ SPRC. (2013). Consolidado estadísticas de productividad barco-SPRC. [Documento Excel]

A continuación se muestran los resultados de la prueba de ajuste.

Ilustración 7. Prueba de ajuste para frecuencia de buques

Poisson	
lamda	= 3.11062
Kolmogorov-Smirnov	
data points	226
ks stat	6.89e-002
alpha	5.e-002
ks stat(226,5.e-002)	8.96e-002
p-value	0.225
result	DO NOT REJECT

Fuente: Stat: Fit.

De la Ilustración 7 se puede observar que se emplearon 226 datos. La prueba Kolmogorov-Smirnov muestra un valor p de 0.225 permitiendo decir que no es válido rechazar la hipótesis de que los valores siguen este tipo de distribución.

3.1.4 Cantidad de contenedores carga-descarga por buque

Para determinar la cantidad de contenedores de importación y exportación que movilizan los buques fue necesario hallar los porcentajes de carga en tránsito y reestiba movilizadas por buque durante el 2013 (ver Tabla 12).

Tabla 12. Proporción tipo contenedores movilizadas por buque en el año 2013

% CONTENEDORES MOVILIZADOS AÑO 2013			
Tipo contenedor	% Llegadas de contenedor	% Cargue y descargue	
EXPO E IMPO	25%	48%	Descargue
		52%	Cargue
TS Y RBB	75%	TS:Tránsito RBB:Reestiba	
TOTAL	100%		

Fuente: SPRC (2013). Estadísticas Operativas Diciembre: Contenedores.

La carga en tránsito representa aquellos contenedores que llegan por buque y salen por buque, es decir, que realizan transbordo, mientras que la reestiba representa aquellos movimientos de reubicación de contenedores que se realizan al interior del buque.

La probabilidad de que un contenedor haga transbordo y de que a su vez sea un contenedor reubicado al interior del buque, representa un 75 %; dicha probabilidad debe de restársele al total de contenedores movilizadas por buque, y se obtiene el total de contenedores de importación y exportación movilizadas por buque. A su vez, se logró determinar el porcentaje de descarga

y carga que representan las importaciones y las exportaciones durante el año 2013, equivalentes a 48 % y 52 %, respectivamente. Dichos porcentajes se multiplican por el total de contenedores de importación y exportación movilizados por buque, y se obtiene el total de descarga por buque, y el total de carga por buque (ver Tabla 13).

Tabla 13. Cálculo de cantidad de contenedores carga-descarga por buque

FECHA	BUQUE	MUELLE	CANTIDAD TOTAL DE CONT.	CANT. DE CONT. (CARGUE Y DESCARGUE)	CANT. CONTENEDORES CARGUE	CANT. CONTENEDORES DESCARGUE
01/01/2013	1	8	1450	363	189	174
01/01/2013	2	7	1080	270	140	130
02/01/2013	3	7	501	125	65	60
02/01/2013	4	5	1100	275	143	132
02/01/2013	5	8	588	147	76	71
02/01/2013	6	7	635	159	83	76
03/01/2013	7	8	826	207	107	99
03/01/2013	8	7	618	155	80	74

Fuente: SPRC. (2013). Consolidado estadística productividad barco SPRC. [Documento Excel].

De esta manera se procedió a realizar una distribución tanto para la cantidad de contenedores que son cargados al buque y para aquellos que son descargados del buque. Se emplearon un total de 372 datos de las cantidades de cargue y descargue de contenedores a buque, los cuales fueron sometidos a análisis estadístico, donde se probaron aproximadamente 17 distribuciones continuas, siendo la distribución Log-Logística, la que describe de mejor manera el comportamiento de la variable (ver Ilustración 8).

Ilustración 8. Tipo de distribución para cantidad de contenedores carga por buque

distribution	rank	acceptance
LogLogistic(28.2, 3.56, 79.)	100	do not reject
Inverse Weibull(-219, 9.92, 3.19e-003)	49.4	do not reject
Pearson 5(1.08, 7.85, 795)	31.2	do not reject
Lognormal(23.7, 4.42, 0.47)	25.1	do not reject
Inverse Gaussian(20.6, 425, 96.4)	16.1	do not reject
Gamma(45.6, 2.43, 29.4)	4.08	do not reject
Beta(51., 385, 1.58, 6.34)	0.473	do not reject
Weibull(50.1, 1.48, 73.9)	0.337	reject
Pearson 6(51., 877, 1.94, 26.7)	2.88e-002	reject
Erlang(45.6, 2., 35.7)	5.86e-003	reject
Rayleigh(39.6, 64.1)	2.79e-004	reject
Exponential(51., 66.)	0.	reject
Pareto(51., 1.31)	0.	reject
Power Function(51., 394, 0.506)	0.	reject
Triangular(51., 386, 51.)	0.	reject
Uniform(51., 385)	0.	reject
Chi Squared(-992, 1.11e+003)	0.	reject

Fuente: Stat: Fit.

Ahora, una vez realizada la prueba de ajuste para la cantidad de contenedores cargados, se demuestra que el valor de p para ambas prueba es mayor que el

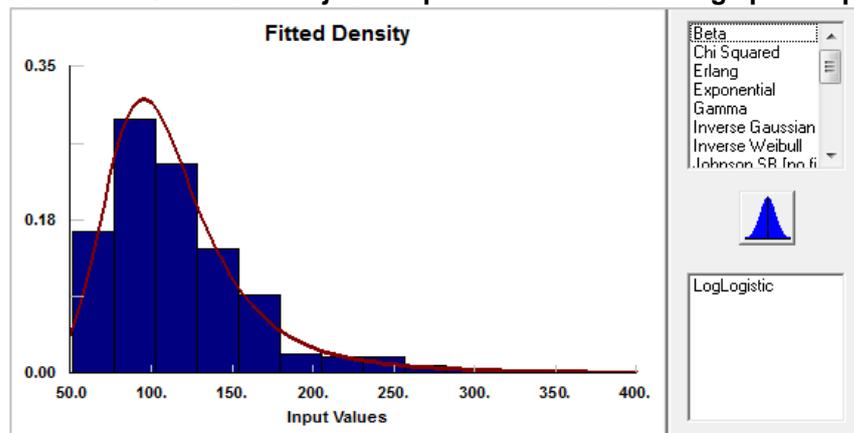
nivel de significancia, por ende, no se rechaza la hipótesis de que los datos tienen un comportamiento similar a una distribución Log-Logística (ver Ilustración 9). Así mismo, se puede ver la Ilustración 10 que muestra la densidad ajustada para la variable analizada.

Ilustración 9. Prueba de ajuste para cantidad de contenedores carga por buque

LogLogistic		
minimum	=	28.2096
p	=	3.55552
beta	=	78.9522
Kolmogorov-Smirnov		
data points		372
ks stat		2.96e-002
alpha		5.e-002
ks stat(372,5.e-002)		7.e-002
p-value		0.891
result		DO NOT REJECT
Anderson-Darling		
data points		372
ad stat		0.472
alpha		5.e-002
ad stat(5.e-002)		2.49
p-value		0.776
result		DO NOT REJECT

Fuente: Stat: Fit.

Ilustración 10. Densidad ajustada para contenedores carga por buque



Fuente: Stat: Fit.

Del mismo modo, la cantidad de contenedores descargados por buque sigue también una distribución Log-Logística (ver ilustración 11).

Ilustración 11. Tipo de distribución de cantidad contenedores descargue por buque

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
LogLogistic[26.2, 3.55, 72.7]	100	do not reject
Inverse Weibull[-200, 9.86, 3.47e-003]	55.5	do not reject
Lognormal[22.1, 4.34, 0.471]	29.	do not reject
Pearson 5[3.49, 7.38, 670]	28.	do not reject
Inverse Gaussian[19.2, 390, 88.8]	18.9	do not reject
Gamma[42.3, 2.42, 27.2]	4.76	do not reject
Weibull[46.6, 1.47, 67.9]	0.38	reject
Beta[47.4, 356, 1.48, 6.08]	9.9e-002	reject
Pearson 6[47.4, 5.85e+003, 1.8, 174]	3.78e-002	reject
Erlang[42.3, 2., 32.9]	9.73e-003	reject
Rayleigh[36.6, 59.1]	4.5e-004	reject
Exponential[47.4, 60.6]	0.	reject
Pareto[47.4, 1.32]	0.	reject
Power Function[47.4, 364, 0.502]	0.	reject
Triangular[47.3, 357, 47.4]	0.	reject
Uniform[47.4, 356]	0.	reject
Chi Squared[-837, 945]	0.	reject

Fuente: Stat: Fit.

En la Ilustración 12, se puede ver que para las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling, denotan claramente valores de p de 0.946 y 0.79 (para un $p > 0.05$), que están dentro de la zona de aceptación.

Ilustración 12. Prueba de ajuste para cantidad de contenedores descargue por buque

LogLogistic		
minimum	=	26.2327
p	=	3.547
beta	=	72.6793
Kolmogorov-Smirnov		
data points		372
ks stat		2.68e-002
alpha		5.e-002
ks stat(372,5.e-002)		7.e-002
p-value		0.946
result		DO NOT REJECT
Anderson-Darling		
data points		372
ad stat		0.458
alpha		5.e-002
ad stat(5.e-002)		2.49
p-value		0.79
result		DO NOT REJECT

Fuente: Stat: Fit.

3.1.5 Tiempo de procesamiento por buque

El tiempo de procesamiento de los buques, incluye tanto el tiempo de cargue como el tiempo de descargue de los contenedores. Esta variable está expresada en horas-buque. A dicho tiempo, también fue necesario restarle la proporción de tiempo de aquellos movimientos que pertenecen carga en tránsito y reestiba.

Ilustración 13. Tipo de distribución para tiempos de cargue por buque

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
LogLogistic(0.472, 3.77, 1.15)	99.3	do not reject
Pearson 5(4.46e-002, 9.16, 14.)	86.2	do not reject
Inverse Weibull(-3.39, 11., 0.206)	81.	do not reject
Lognormal(0.401, 0.203, 0.442)	65.5	do not reject
Pearson 6(0.68, 3.35, 4.1, 13.8)	54.7	do not reject
Inverse Gaussian(0.35, 7.13, 1.4)	41.7	do not reject
Gamma(0.629, 3.42, 0.329)	13.4	do not reject
Erlang(0.629, 3., 0.375)	2.61	do not reject
Beta(0.68, 5.46, 2.41, 8.24)	0.376	do not reject
Weibull(0.672, 1.79, 1.22)	9.01e-002	reject
Rayleigh(0.652, 0.903)	3.7e-003	reject

Fuente: Stat: Fit.

Mediante la Ilustración 13 se puede decir que la distribución que mejor se ajusta a los 372 datos ingresados es de tipo Log-logística. En la prueba de ajuste se puede observar que el valor p indica no rechazar la hipótesis de que los datos siguen este tipo de distribución (ver Ilustración 14).

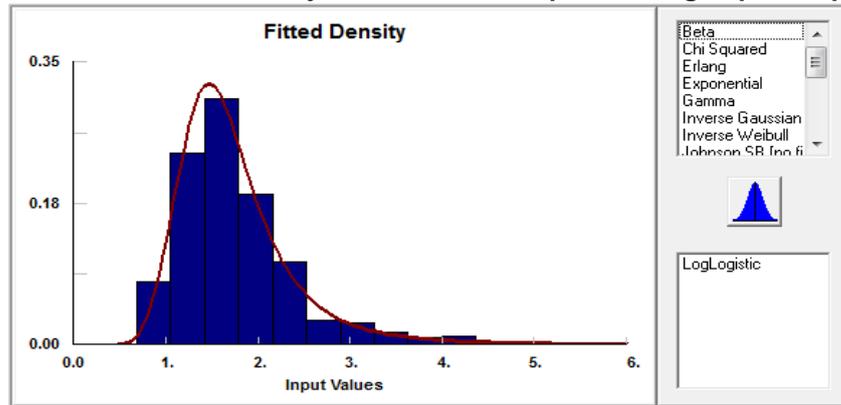
Ilustración 14. Prueba de ajuste para tiempos de cargue por buque

LogLogistic		
minimum	=	0.472105
p	=	3.77222
beta	=	1.15212
Kolmogorov-Smirnov		
data points		372
ks stat		3.16e-002
alpha		5.e-002
ks stat(372,5.e-002)		7.e-002
p-value		0.84
result		DO NOT REJECT
Anderson-Darling		
data points		372
ad stat		0.302
alpha		5.e-002
ad stat(5.e-002)		2.49
p-value		0.937
result		DO NOT REJECT

Fuente: Stat: Fit.

También es preciso apreciar la Ilustración 15 de ajuste de densidad para este tipo de distribución que representa los tiempos de procesamiento de los buques.

Ilustración 15. Densidad ajustada de los tiempos de carga por buques



Fuente: Stat: Fit.

Por otro lado, los datos referentes a los tiempos de descarga de contenedores siguen una distribución Log-Logística (ver Ilustración 16). En la Ilustración 17 se aprecia que los valores de p en las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling, al ser mayores que el nivel de significancia, con valores de 0.872 y 0.922, respectivamente, no se rechaza la hipótesis de partida.

Ilustración 16. Tipo de distribución para tiempos de descargue por buque

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
LogLogistic(0.436, 3.77, 1.06)	100	do not reject
Pearson 5(4.16e-002, 9.16, 12.9)	85.5	do not reject
Inverse Weibull(-3.13, 11., 0.224)	81.1	do not reject
Lognormal(0.371, 0.122, 0.443)	66.6	do not reject
Pearson 6(0.63, 3.2, 4.04, 14.)	53.6	do not reject
Inverse Gaussian(0.324, 6.56, 1.29)	43.1	do not reject
Gamma(0.583, 3.41, 0.304)	14.2	do not reject
Erlang(0.583, 3., 0.346)	3.09	do not reject
Beta(0.63, 5.04, 2.39, 8.21)	0.378	do not reject
Weibull(0.623, 1.78, 1.12)	0.105	reject

Fuente: Stat: Fit.

Ilustración 17. Prueba de ajuste para tiempos de descargue por buque

LogLogistic		
minimum	=	0.436412
p	=	3.76969
beta	=	1.0627
Kolmogorov-Smirnov		
data points		372
ks stat		3.04e-002
alpha		5.e-002
ks stat(372,5.e-002)		7.e-002
p-value		0.872
result		DO NOT REJECT
Anderson-Darling		
data points		372
ad stat		0.308
alpha		5.e-002
ad stat(5.e-002)		2.49
p-value		0.932
result		DO NOT REJECT

Fuente: Stat: Fit.

3.1.6 Frecuencia de llegada de camiones

Esta variable se expresa en minutos por camión. Mediante un registro histórico de llegada de camiones de dos meses,¹¹ se obtuvo que la distribución que mejor se ajusta es una tipo Poisson (ver Ilustración 18).

Ilustración 18. Tipo de distribución para frecuencia de llegada de camiones

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Poisson[5]	100	do not reject
Geometric[0.355]	1.46e-005	reject
Discrete Uniform[0., 10.]	0.	reject

Fuente: Stat:Fit.

Es preciso mencionar que se utilizaron 170 datos y la prueba arrojó un valor p de 0.0632 en la prueba Chi Cuadrada, y un 0.178 en la prueba Kolmogorov-Smirnov, lo que contribuye a no rechazar la hipótesis de que los datos siguen un tipo de distribución Poisson (ver Ilustración 19).

Ilustración 19. Prueba de ajuste para frecuencia de llegada de camiones

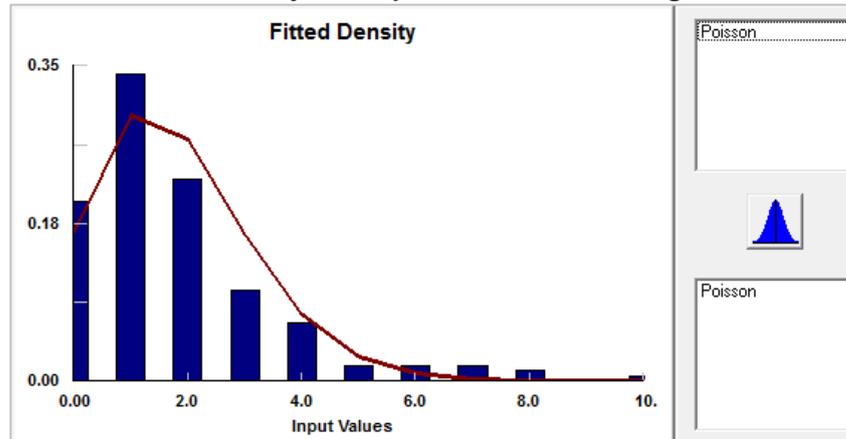
goodness of fit	
data points	170
estimates	maximum likelihood estimates
accuracy of fit	3.e-004
level of significance	5.e-002
Poisson	
lamda =	5
Chi Squared	
total classes	9
interval type	equal probable
net bins	5
chi**2	8.92
degrees of freedom	4
alpha	5.e-002
chi**2[4,5.e-002]	9.49
p-value	6.32e-002
result	DO NOT REJECT
Kolmogorov-Smirnov	
data points	170
ks stat	8.36e-002
alpha	5.e-002
ks stat[170,5.e-002]	0.103
p-value	0.178
result	DO NOT REJECT

Fuente: Stat: Fit.

Además, se tiene el comportamiento gráfico de los datos mediante la densidad ajustada de los mismos (ver Ilustración 20). Cabe decir que esta frecuencia de llegada pertenece a aquellos camiones que descargan o cargan un solo contenedor.

¹¹ SPRC. (2013). Tiempo de atención de camiones noviembre-diciembre. [Documento Excel]

Ilustración 20. Densidad ajustada para frecuencia de llegada de camiones.



Fuente: Stat: Fit.

3.1.7 Proporción de movimientos por camión

El número máximo de contenedores que puede movilizar un camión en un recorrido son cuatro (equivalente a dos contenedores por trayecto), donde un camión se le puede realizar desde un movimiento hasta cuatro movimientos. Un movimiento equivale al cargue o descargue de un solo contenedor.

En la Tabla 14 se muestra la probabilidad de movimientos que ejecutaron los camiones durante el 2013.

Tabla 14. Porcentaje cantidad de movimientos por camión

PROBABILIDAD DE QUE UN CAMIÓN REALICE X MOVIMIENTOS	
CANTIDAD DE MOVIMIENTOS	PROBABILIDAD
1	86,7%
2	12,5%
3	0,6%
4	0,2%

Fuente: SPRC. (2013). Tiempo de atención de camiones nov.-dic. [Documento Excel].

Debido al alto porcentaje (87%) que representa a los camiones que realizan un solo movimiento sea de cargue o descargue, se decidió trabajar con los datos correspondientes a los camiones que realizan un movimiento. Ahora bien, para determinar el porcentaje de cargue y descargue por camión, se tomará la misma probabilidad expresada en el apartado 3.1.4.

3.1.8 Proporción de citas cumplidas

Una cita es el tiempo que se le otorga a un camión para que este realice la operación para la cual fue asignado, ya sea de carga o descarga del contenedor. Las citas por lo general son de una hora. Si el camión no es procesado durante el tiempo que le fue asignado, no cumple la cita, y por lo tanto no ingresa al terminal y es penalizado. Para esto se determinó un porcentaje acumulado diario de dos meses del cumplimiento de la cita de los camiones, dicho porcentaje fue promediado.¹²

3.1.9 Tiempo de procesamiento de camiones

El tiempo de procesamiento de camiones está expresado en minutos. Dicho tiempo indica la duración del proceso de descargue o cargue del contenedor en el camión según sea el caso, además este tiempo incluye todos los procedimientos que se le realizan a los camiones a la salida del terminal, como por ejemplo, la revisión de seguridad física y el peso de la carga, no obstante se excluyen los tiempos de revisión en la puerta de acceso.¹³

Ahora bien, se ha procedido a determinar la distribución de 441 datos pertenecientes a camiones que realizan un solo movimiento. La distribución que mejor se ajusta es la Gaussiana Inversa (ver ilustración 21).

Ilustración 21. Tipo de distribución para tiempos de procesamiento de camiones

distribution	rank	acceptance
Inverse Gaussian(4.67, 58., 32.1)	60.	do not reject
Lognormal(6.21, 3.17, 0.725)	30.8	do not reject
Pearson 6(9., 86.3, 2.14, 7.58)	12.6	do not reject
Gamma(8.76, 1.68, 16.7)	12.2	do not reject
Weibull(8.91, 1.32, 30.3)	9.29	do not reject
Pearson 5(-0.419, 3.65, 100)	8.32	do not reject
Inverse Weibull(-14.1, 3.12, 2.57e-002)	4.92	do not reject
LogLogistic(9., 2.03, 20.8)	4.34	do not reject
Beta(9., 164, 1.38, 6.2)	0.304	reject
Erlang(8.76, 2., 14.)	4.6e-003	reject

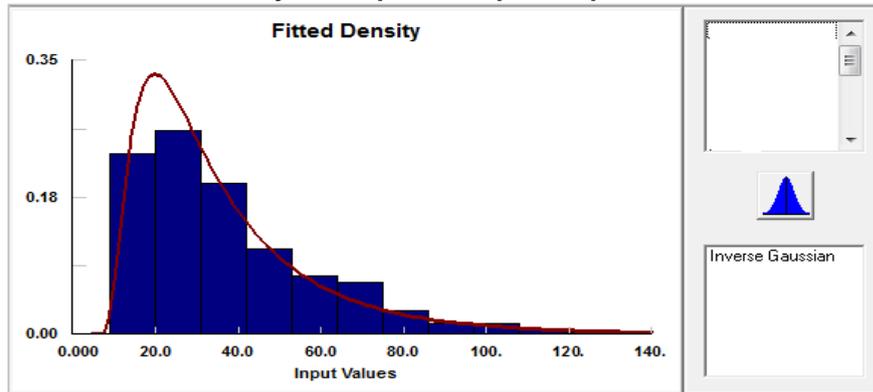
Fuente: Stat: Fit.

A su vez se puede apreciar la Ilustración 22 de densidad ajustada de la variable analizada, de esta manera se puede relacionar mejor y observar la forma que siguen los datos con respecto a esta distribución.

¹² SPRC. (2013). Tiempo de atención de camiones noviembre-diciembre. [Documento Excel]

¹³ SPRC. (2013). Tiempo de atención de camiones noviembre-diciembre. [Documento Excel].

Ilustración 22. Densidad ajustada para tiempos de procesamiento de camiones



Fuente: Stat: Fit.

Los resultados de la prueba descrita en la Ilustración 23, muestran que los valores p se encuentran dentro de la zona de aceptación para ambas pruebas, por ende, no se rechaza la hipótesis de que los datos tienen comportamiento de una distribución Gaussiana Inversa.

Ilustración 23. Prueba de ajuste para tiempos de procesamiento de camiones

Inverse Gaussian		
minimum	=	4.6712
alpha	=	58.0395
beta	=	32.0522
Kolmogorov-Smirnov		
data points		441
ks stat		4.99e-002
alpha		5.e-002
ks stat[441.5.e-002]		6.43e-002
p-value		0.216
result		DO NOT REJECT
Anderson-Darling		
data points		441
ad stat		0.887
alpha		5.e-002
ad stat[5.e-002]		2.49
p-value		0.422
result		DO NOT REJECT

Fuente: Stat: Fit.

3.1.10 Capacidad de atención de módulos, muelle y puerta de acceso

La capacidad de los muelles se medirá en buques y movimientos por hora, es decir, la cantidad de buques que puede atender y la cantidad de contenedores que pueden movilizar las grúas pórtico durante cada llegada. SPRC cuenta con cuatro muelles totales para operación de buques portacontenedores; sin embargo, los muelles cinco, siete y ocho, son aquellos que poseen mayor porcentaje de utilización, 22,36 %, 35,04 % y 38,75 % respectivamente, mientras que el muelle seis sólo tuvo una utilización del 6,85 % durante 2013, por lo cual, se decidió trabajar con tres muelles. Ahora bien, el muelle 5 tiene

una capacidad de 15 contenedores por hora, muelle 7 tiene una capacidad de 74 contenedores por hora y muelle 8 manejan una capacidad de 90 contenedores por hora, cabe resaltar que esta capacidad está relacionada con la ubicación de las grúas pórticos en los muelles; además esta debe de ajustarse a la proporción de contenedores de exportación e importación movilizados.

En este modelo los módulos equivalen a los equipos de operación en patio como grúas RTG, Reach Stacker y Empty Container para lo cual se halló un promedio de operación diario por equipo, debido a que no siempre el número total de estos equipos se encuentra activo durante la jornada de trabajo.¹⁴

En la puerta de acceso se encuentra un servidor con capacidad para dos camiones de exportación, en el cual se realiza el interchange, la inspección de seguridad física y la basculación, a su vez se encuentra otro servidor para camiones de importación en el que se realiza un breve chequeo. El número máximo de camiones que se pueden atender en una hora son 50 debido a la restricción de la puerta de acceso, mientras en cola puede haber hasta 12 camiones.

3.1.11 Cantidad inicial de contenedores en patio y puerto exportador

El modelo tiene en cuenta que la terminal de contenedores SPRC posee una cantidad determinada de contenedores de exportación e importación en el patio, esta cantidad se halló como un promedio de la cantidad reportada en diciembre del 2012.¹⁵ Además, fue necesario calcular un promedio del total de importaciones de contenedores vacíos y llenos que llegaron a SPRC durante 2013, con el fin de establecer la cantidad inicial de los puertos exportadores del sistema.¹⁶

El puerto exportador representa una locación extranjera donde los buques se cargan de contenedores que se van a importar a la terminal SPRC.

3.2 DESARROLLO DEL MODELO

Básicamente, el modelo operará bajo la premisa de ejecución de varios procesos en paralelo, donde van a existir unas llegadas terrestres

¹⁴ SPRC. (2013). Estadísticas de productividad RTGs. [Documento Excel]

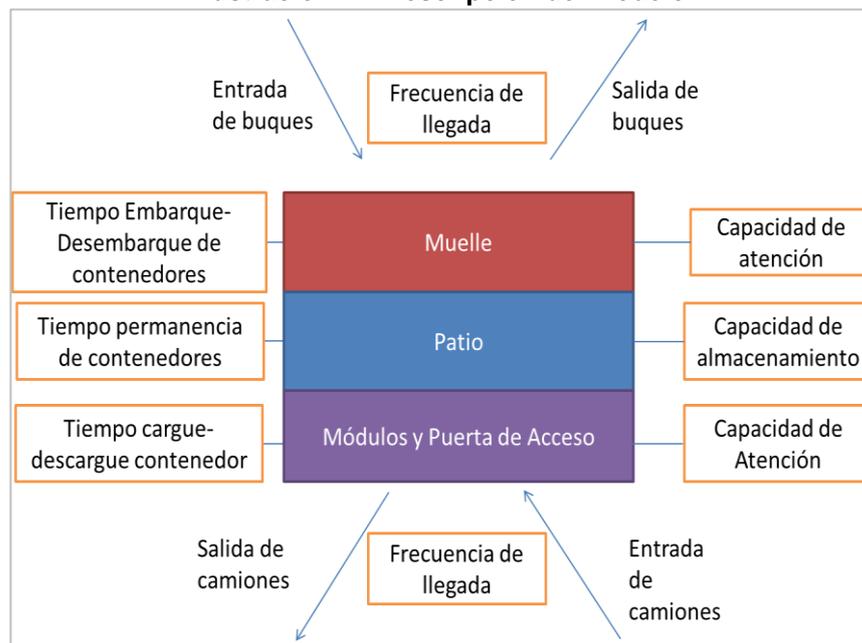
¹⁵ SPRC. (2013). Datos de Inventario de Sociedad Portuaria Regional de Cartagena. [Documento Excel]

¹⁶ Superintendencia de Puerto y Transporte. (2013). Informe consolidado Enero-Diciembre: Movimiento de carga en los puertos marítimos. Bogotá

representadas por los camiones de exportación e importación con una frecuencia determinada, ahora bien cuando los camiones de exportación llegan a la puerta de acceso, se les hace el proceso de interchange, la revisión de seguridad física y se pesan en las básculas, mientras que a los camiones de importación se les hace un breve proceso de identificación, y posteriormente son procesados en el módulo por los RTGs o Reach Stacker operativos con un tiempo de operación definido, es decir, estos camiones les descargarán o cargarán contenedores. Del mismo modo, se tendrán en cuenta unas llegadas de buques, los cuales descargarán contenedores de importación y cargarán contenedores de exportación. Los contenedores de importación se transportan desde el muelle al patio y en el módulo se carga a los camiones, los cuales salen del terminal portuario; mientras que los contenedores de exportación que lleguen por vía terrestre se van almacenando en el patio y se transportan al muelle para ser embarcados (ver Ilustración 24).

Al igual que los camiones, los barcos también tendrán unas frecuencias de llegadas, y unos tiempos de operación de cargue y descargue de contenedores. Los muelles, el patio y los módulos tendrán unas capacidades de almacenamiento y de atención definidas. Como se dijo anteriormente, los módulos representan los equipos como los Reach Stacker o las grúas RTG.

Ilustración 24. Descripción del modelo



Fuente: Elaboración de los autores.

Las variables y constantes que se van a utilizar en dicho modelo, y sus respectivos valores se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Variables y constantes del modelo de simulación

VARIABLE	TIPO	VALOR	UNIDAD
Capacidad del patio	Promedio	6.552	Contenedores
Capacidad de atención del muelle	Constante	Muelle= 3 buques Muelles= 1.074 contenedores / día	Muelle / # de buques # de contenedores / día
Cantidad inicial de contenedores en patio	Promedio	Exportación= 2.025 Importación=2.771	Contenedores
Puerta de acceso	Promedio	Servidor Interchange: 1,30 Seguridad física: 1,30 Báscula: 3	Minutos
Cantidad inicial de importaciones	Promedio	10.000	Contenedores
Capacidad de atención de módulos	Promedio	RTGs=27 Reach stacker=6 Empty Container=3	Equipo
Tiempo de permanencia de contenedores en patio	Promedio	Exportación= 7,12 Importación= 8,18	Días
Frecuencia de llegada de buque	Distribución	Poisson (8)	Horas / buque
Cantidad de contenedor carga-descarga por buque	Distribución	Carga: Log-Logística (28.2, 3.56, 79) Descarga: Log-Logística (26.2, 3.55, 72.7)	Contenedores / buque
Tiempo carga-descarga por buque	Distribución	Carga: Log-Logística (0.472, 3.77, 1.15) Descarga: Log-Logística (0.436,3.77,1.06)	Horas / contenedor
Frecuencia de llegada de camiones	Distribución	Poisson (5)	Minutos / camión
Proporción de citas cumplidas de camiones	Promedio	92,1 %	Porcentaje
Tiempo de procesamiento de camiones	Distribución	Gaussiana Inversa (4.67, 58, 32.1)	Minutos / camión

Fuente: Elaboración de los autores.

Del modelo se van a manejar los siguientes supuestos y consideraciones:

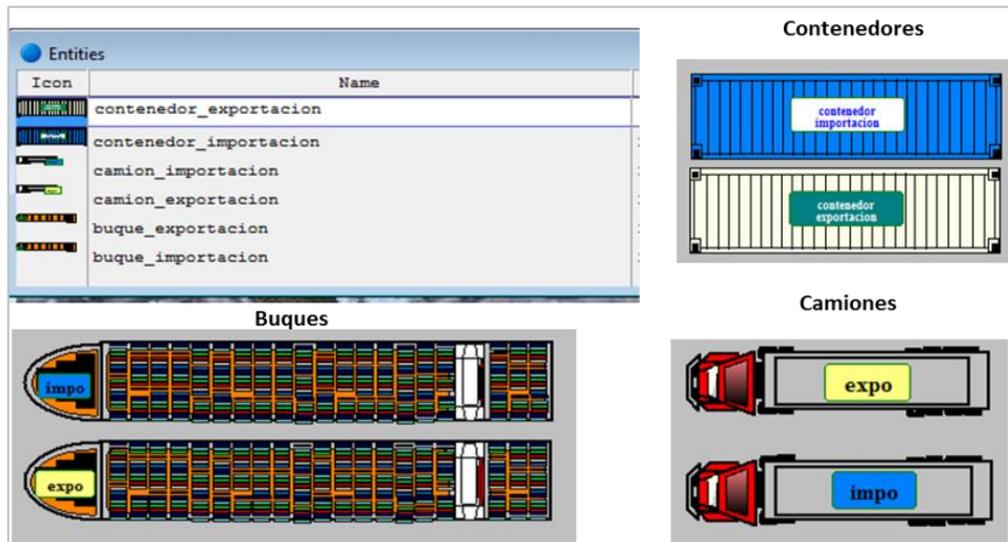
- La terminal marítima trabaja las 24 horas del día.
- Teniendo en cuenta que el 95 % de las llegadas de camiones se dan entre las 7:00 y las 19:00 horas, lo que equivale a decir que durante este horario se da el mayor movimiento de carga contenerizada por carretera, se tomará como tiempo de llegada de camiones desde las 7:00 hasta las 20:00 horas, añadiendo una hora de más para compensar las llegadas de camiones que se dan antes y después del horario pico, las cuales son escasas.
- La terminal SPRC posee una zona de espera donde por lo general aunque no siempre es así, primero llegan los camiones antes del inicio de su cita para esperar su turno, posteriormente estos salen de esta zona y se dirigen a la puerta de acceso; entonces, esta parte del sistema puede aplicarse al modelo a través de las llegadas en grupos de los camiones, queriendo decir que este grupo de camiones estaba acumulado debido a la espera en dicha zona.
- Los camiones que arriban al puerto se dirigen directamente a la puerta de acceso, lo que equivale a decir que los camiones están dentro del tiempo de su cita.

3.3 SIMULACIÓN EMPLEANDO PROMODEL

Es de gran importancia reiterar que la simulación que permitirá validar el modelo se realizará tomando como base las estadísticas de las operaciones generadas durante el año 2013. En primera instancia se definieron las entidades. Como se mencionó anteriormente (ver Capítulo 2), el modelo tendrá tres entidades generales: camiones, buques y los contenedores; sin embargo, para poder adaptar el modelo a ProModel fue necesario crear 3 entidades adicionales, con el fin de diferenciar los contenedores de importación y exportación, como se muestra en la Ilustración 25.

Por lo cual, se tienen unos camiones de exportación los cuales entran al sistema cargados con contenedores de exportación y salen vacíos, mientras los camiones de importación ingresan vacíos al sistema y salen cargados de un contenedor de importación. Los buques de importación descargan contenedores de importación a la terminal, y los buques de exportación cargan contenedores de exportación desde la terminal y salen del sistema.

Ilustración 25. Entidades del modelo en ProModel



Fuente: Elaboración de los autores.

En segundo lugar se tienen las locaciones, identificadas por el patio donde se almacenan los dos tipos de contenedores, el módulo que cuenta con 36 equipos operativos para atender los camiones, el muelle donde se procesan los buques con capacidad de atención de 5.370 contenedores cada cinco días, una vía de entrada de camiones y una de salida con capacidad infinita, una vía de entrada, y una vía de salida de buques con capacidad infinita, una puerta de acceso con tres carriles, de los cuales dos son para camiones de exportación y uno para camiones de importación un puerto extranjero con capacidad infinita, que representa el lugar donde se cargan los buques con contenedores de importación antes de atracar en SPRC (ver Ilustración 26).

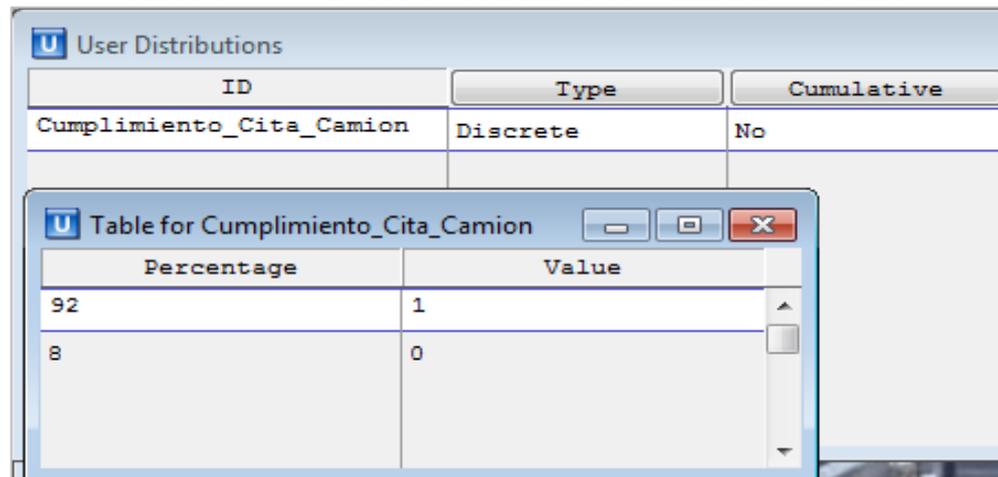
Ilustración 26. Locaciones del modelo en ProModel

Icon	Name	Cap.	Units	DTs...	Stats	Rules...
	patio	6552	1	None	Time Series	Oldest
	modulo	36	1	None	Time Series	Oldest
	entrada_buques	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest, FIFO
	salida_buques	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest, FIFO
	salida_camion	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest, FIFO
	muelle	5370	1	None	Time Series	Oldest
	puerto_extranjero	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest
	entrada_camion	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest, FIFO
	puerta_acceso_expo	1	2	None	Time Series	Oldest, FIFO, First
	puerta_acceso_expo.1	1	1	None	Time Series	Oldest, FIFO
	puerta_acceso_expo.2	1	1	None	Time Series	Oldest, FIFO
	puerta_acceso_impo	1	1	None	Time Series	Oldest, FIFO

Fuente: ProModel.

Se definió también una distribución de usuario discreta para las llegadas de los camiones tanto de importación como de exportación, dicha distribución representa la proporción del cumplimiento de citas del modelo. Dicha distribución considera que el 92 % de los camiones ingresarán al sistema, mientras que el 8 % restante de los camiones, no ingresarán al sistema (ver Ilustración 27).

Ilustración 27. Distribución de usuario del modelo en ProModel



Fuente: ProModel.

Siguiendo el orden de ideas, se procedió a diseñar el proceso del modelo (ver Tabla 16). En la parte izquierda de la Tabla 16 se encuentra la ventana del proceso, donde se describen la interacción de las entidades con la locación de entrada. Es conveniente mencionar que para las operaciones se hace uso de las distribuciones de probabilidad de los tiempos de procesamiento de buques y camiones mediante el comando WAIT; las distribuciones de probabilidad de cantidades de carga y descarga de buques mediante los comandos LOAD Y UNLOAD; la carga de un contenedor al camión a través del comando LOAD 1 y la descarga del contenedor se maneja mediante el comando SPLIT AS más la entidad contenedor de exportación; de la misma manera, se añaden condicionales IF-THEN para la distribución de usuario del ingreso de los camiones al sistema.

En la parte derecha de la Tabla 16 se encuentra la ventana de enrutamiento, que indica la locación de destino de la entidad y se denota a través de una regla de movimiento de la entidad, que para este caso puede ser un movimiento dado por una solicitud de carga, es decir, If Load Request, o un movimiento de la primera entidad disponible en la locación anterior, es decir, First Available.

Tabla 16. Proceso del modelo en ProModel

PROCESS			ROUTING				
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
camion_importacion	entrada_camion	Tiempo_entrada_camion_importacion = CLOCK(MIN)	1	camion_importacion	puerta_acceso	FIRST 1	
contenedor_importacion	patio		1	contenedor_importacion	Modulo	LOAD 1	INC cont_impo_mov_camion
camion_importacion	puerta_acceso	Tiempo_entrada_pacceso_camion_importacion = CLOCK(MIN) Tiempo_cola_camion_importacion = Tiempo_entrada_pacceso_camion_importacion - Tiempo_entrada_camion_importacion IF Cumplimiento_Cita_Camion() = 1 THEN { WAIT 1.5 MIN }	1	camion_importacion	Modulo	FIRST 1	
camion_importacion	modulo	WAIT ((4.67+IG(58., 32.1))-1.5) MIN LOAD 1 GRAPHIC 2	1	camion_importacion	salida_camion	FIRST 1	
camion_importacion	salida_camion		1	camion_importacion	EXIT	FIRST 1	
contenedor_importacion	puerto_extranjero		1	contenedor_importacion	entrada_buques	LOAD 1	
buque_importacion	entrada_buques	LOAD 500	1	buque_importacion	Muelle	FIRST 1	
buque_importacion	muelle	WAIT 0.436+1.06*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./3.77)HR cont_impo_mov_muelle = cont_impo_mov_muelle + 26.2+72.7*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./3.55) UNLOAD 26.2+72.7*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./3.55)	1	buque_importacion	salida_buques	FIRST 1	
buque_importacion	salida_buques	GRAPHIC 2	1	buque_importacion	EXIT	FIRST 1	
contenedor_exportacion	modulo		1	contenedor_importacion	Patio	FIRST 1	
contenedor_exportacion	patio		1	contenedor_exportacion	Muelle	LOAD 1	
buque_exportacion	entrada_buques		1	buque_exportacion	Muelle	FIRST 1	

PROCESS			ROUTING				
buque_exportacion	muelle	WAIT 0.472+1.15*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./3.77)HR cont_expo_mov_muelle = cont_expo_mov_muelle + 28.2+79.*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./3.56) LOAD 28.2+79.*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./3.56)	1	buque_exportacion	salida_buques	FIRST 1	
buque_exportacion	salida_buques	GRAPHIC 2	1	buque_exportacion	EXIT	FIRST 1	
contenedor_importacion	muelle		1	contenedor_importacion	Patio	FIRST 1	
camion_exportacion	entrada_camion	Tiempo_entrada_camion_exportacion = CLOCK (MIN)	1	camion_exportacion	puerta_acceso	FIRST 1	
camion_exportacion	puerta_acceso	Tiempo_entrada_pacceso_camion_exportacion = CLOCK(MIN) Tiempo_cola_camion_exportacion = Tiempo_entrada_pacceso_camion_exportacion - Tiempo_entrada_camion_exportacion IF Cumplimiento_Cita_Camion() = 1 THEN { WAIT 6 MIN }	1	camion_exportacion	Modulo	FIRST 1	
camion_exportacion	modulo	WAIT ((4.67+IG(58., 32.1))-6) MIN SPLIT 1 AS contenedor_exportacion GRAPHIC 2	1	camion_exportacion	salida_camion	FIRST 1	
camion_exportacion	salida_camion		1	camion_exportacion	EXIT	FIRST 1	
contenedor_exportacion	modulo	INC cont_expo_mov_camion	1	contenedor_exportacion	Patio	FIRST 1	

Fuente: Elaboración de los autores.

En ProModel se hace necesario crear variables que permitan medir ciertos procesos y de esta manera, poder validar el modelo con una fuente de información adicional. Para el presente modelo, fue necesario crear una variable que midiera la cantidad de contenedores que fueron movilizados en muelle tanto de importación como de exportación, así como el número de contenedores que fueron movilizados por los camiones y el tiempo de espera que estuvieron los camiones de importación en cola antes de ser procesados (ver Ilustración 28).

Ilustración 28. Variables del modelo en ProModel

Icon	ID	Type
Yes	cont_impo_mov_muelle	Integer
Yes	cont_expo_mov_muelle	Integer
Yes	cont_impo_mov_camion	Integer
Yes	cont_expo_mov_camion	Integer
Yes	Tiempo cola camion importacion	Integer
Yes	Tiempo cola camion exportacion	Integer

Fuente: ProModel.

También fue necesario crear unos atributos, similares a las variables, pero están ligados a entidades específicas. Entre estos atributos se consideró establecer el tiempo de entrada al sistema del camión de importación y del camión de exportación, al igual que el tiempo de entrada al módulo de las mismas entidades mencionadas anteriormente. Estos tiempos son necesarios para calcular el valor de la variable, tiempo de los camiones en cola (ver Ilustración 29).

Ilustración 29. Atributos del modelo en ProModel

Icon	ID	Type	Initial value
Yes	cont_impo_mov_muelle	Integer	0
Yes	cont_expo_mov_muelle	Integer	0
Yes	cont_impo_mov_camion	Integer	0
Yes	cont_expo_mov_camion	Integer	0
Yes	Tiempo cola camion importacion	Real	0
Yes	Tiempo cola camion exportacion	Real	0

Fuente: ProModel.

El layout o mapa del sistema se puede apreciar en la Ilustración 30.

Ilustración 30. Layout del modelo en ProModel



Fuente: Elaboración de los autores.

Por último, es indispensable configurar las llegadas que tendrán cada una de las entidades al sistema propuesto. En la Ilustración 31 se aprecia las cantidades iniciales o la cantidad que llegará (Qty Each) de las entidades en cada una de las locaciones, del mismo modo se definen la frecuencia en que las entidades llegarán al sistema (Ocurrences) y la frecuencia entre llegadas (Frequency).

Ilustración 31. Llegadas del modelo en ProModel

Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency
camion_importacion	entrada_camion	6	0	INF	P(30)
contenedor_importacion	patio	2025	0	1	0
buque_exportacion	entrada_buques	1	0	INF	P(8) HR
contenedor_exportacion	patio	2771	0	1	0
camion_exportacion	entrada_camion	6	0	INF	P(30)
contenedor_importacion	puerto_extranjero	10000	0	1	0
buque_importacion	entrada_buques	1	0	INF	P(8) HR

Fuente: ProModel.

En el Anexo 1 se puede apreciar un resumen completo de los datos ingresados a ProModel.

3.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Para la simulación se utilizó el software ProModel Professional, versión 8.6.1.996. El equipo utilizado fue un Lenovo con procesador Intel® Core™ i5-2300 CPU @ 2.80 Ghz, una memoria RAM de 4.00 GB y sistema operativo instalado Windows 7 Home Basic de 64 bits.

Como prueba piloto se utilizó un tiempo de corrida de 5 días y se realizaron 5 réplicas, en las cuales se encontraron valores de variables congruentes con la realidad del sistema simulado. Esta información se empleó para calcular una desviación estándar sobre una variable de salida y el error máximo esperado, datos necesarios para obtener el número de corridas totales que permitan validar el modelo. En dicha prueba piloto, se utilizó el valor de los cambios que obtuvo la variable contenedores de importación movilizados por camión durante cada corrida, generando una desviación estándar (S) de 153.04 y un error máximo de 121.02.

El número final de corridas o réplicas se obtuvo a través de la siguiente fórmula (Warpole et. al., 2007):

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} S}{e} \right)^2$$

Dónde:

n = Es el número de réplicas.

S = Es la desviación obtenida de la variable resultado en una muestra o corrida piloto preliminar de 5.

e = Es el error estándar máximo esperado, expresada en unidades de la variable de salida.

$Z_{(\alpha/2)}$ = Es el parámetro crítico para un nivel de confianza del 95%, igual a 1,95.

El número de réplicas obtenido fue de $6,08 \approx 7$ réplicas, cada una abarca una duración de 5 días de simulación del terminal portuario, es decir, que en total se realizaron 35 simulaciones sobre SPRC. El tiempo de duración de la simulación total o del total de corridas calculadas fue de 40 segundos con la máxima velocidad de simulación.

3.4.1 Resultados por entidad

Antes de proceder a describir los resultados se aclara que los datos presentados por la simulación fueron extraídos mediante una herramienta del software ProModel llamada, Output Viewer. En la Tabla 17 se presentan los resultados y la información referente a las entidades.

Tabla 17. Resultados por entidad

Entity Summary (Avg. Reps)							
Replication	Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Time In System (Min)	Average Time Waiting (Min)	Average Time In Operation (Min)	Average Time Blocked (Min)
Avg	contenedor exportacion	1.639,43	2.207,00	3.448,79	0,00	3.448,47	0,32
Avg	contenedor importacion	6.988,71	5.036,29	3.466,80	0,00	3.381,12	85,68
Avg	camion importacion	1.085,86	9,57	44,30	0,00	5,91	36,84
Avg	camion exportacion	1.075,43	8,00	44,63	0,00	5,45	37,09
Avg	buque exportacion	14,57	0,57	98,62	0,00	0,00	98,62
Avg	buque importacion	15,14	0,14	101,79	0,00	0,00	101,79

Fuente: Output Viewer.

Como se puede observar en la anterior Tabla 17, se encuentra información sobre todas las entidades del modelo (contenedor exportación, contenedor importación, camión de exportación, camión de importación, buque de exportación y buque de importación). En primer lugar, se aprecia el total de entidades que salieron del sistema una vez terminada la simulación (Total Exits) para la entidad contenedores de exportación fue 1.639 unidades, para los contenedores de importación fue de 6.989 unidades, entre camiones de exportación e importación salieron 1.086 y 1.075 unidades respectivamente y finalmente salieron del sistema 15 buques (cifra duplicada a propósito, debido a que se decidió utilizar dos tipos de buques distintos para reflejar los movimientos de importación y exportación por necesidades de ProModel).

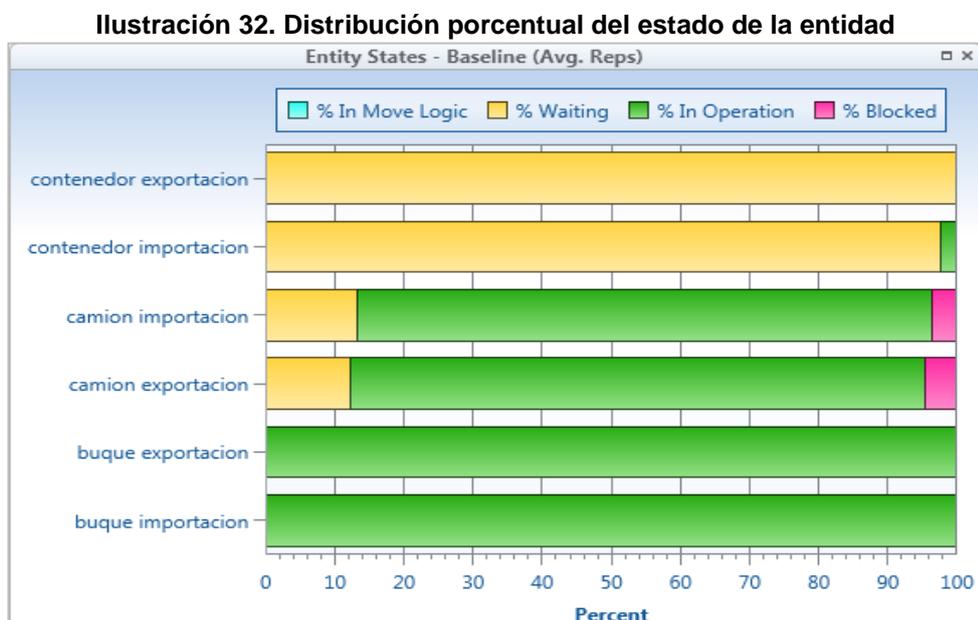
Como segundo punto de análisis, están las cantidades de cada entidad en el sistema una vez se terminó la corrida del modelo (Current Qty In System), encontrando en el sistema 2.207 contenedores para exportar y 5.036 contenedores de importación esperados por 10 camiones de importación, mientras 8 camiones de exportación eran atendidos en el módulo o en la puerta de acceso. Otro dato relevante que arroja el modelo sobre las entidades es el tiempo promedio que duran estas en el sistema (Avg Time In System), el contenedor con destino de exportación dura en promedio 3.449 \approx 57,4 horas en el sistema, así mismo, el contenedor importado le toma un lapso de 3.467 minutos \approx 60,7 horas en promedio en ser procesado en el puerto, los camiones que traen carga contenerizada para exportar e importar les toma en promedio 44,4 minutos en el sistema para completar sus citas y los buques permanecieron en promedio 100,2 minutos \approx 1,67 horas en el sistema simulado.

Es necesario destacar que los contenedores fueron las entidades que más esperaron en promedio para ser recogidas por otra entidad (véase la columna Avg Time Waiting), un contenedor de exportación espera en promedio 3.415 minutos \approx 56,9 horas ya sea para ser recogido por un buque o ser recogido por un tipo de camión; por otro lado, los camiones esperan 5,68 minutos por un contenedor y los buques no tienen tiempo de espera, esto puede ser resultado del largo tiempo de espera de los contenedores, que obligan al sistema a cargar las otras entidades (buques y camiones) con contenedores para equilibrar la operación de la locación patio.

El tiempo promedio de operación (Avg Time in Operation) fue 0,32 minutos para el contenedor de exportación y 85,68 minutos para el contenedor de importación, este último tiene mayor tiempo de operación debido a que este sufre un proceso de cargue de la locación puerto extranjero al buque de importación; siguiendo este orden, el camión de importación opera en promedio 36 minutos, mientras 37 minutos en promedio opera el camión de exportación y

finalmente un buque opera en promedio 100 minutos, estos son los tiempos que se toma cada entidad operando en las diferentes locaciones del modelo.

También es preciso aclarar que los porcentajes del tiempo en que las entidades están en movimiento (In MoveLogic) no se calcula, porque el modelo no contempla el tiempo de viaje entre una locación y otra, en espera (Waiting) los contenedores esperaron en promedio el 98,71% del tiempo de simulación, los camiones esperaron en promedio 12,77% y los buques no esperan para ser cargados debido a la alta espera de los contenedores para abordar sus entidades correspondientes, por ende, en operación (In Operation) permanecieron los navíos con el 100% de tiempo simulado y las únicas entidades que presentaron porcentaje de bloqueo en una locación (Blocked) fueron los camiones de importación y exportación con el 3,49% y 4,69% respectivamente (ver Ilustración 32).



Fuente: Output Viewer.

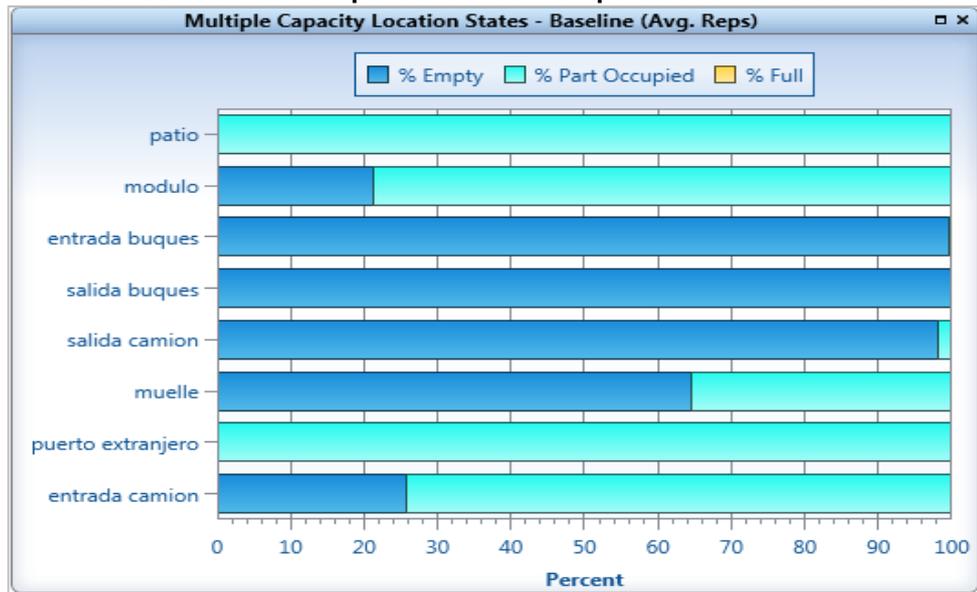
3.4.2 Resultados de locaciones

Del mismo modo se pueden apreciar los porcentajes de ocupación de las locaciones, donde se encuentran las categorías, vacía (Empty), parcialmente ocupada (PartOccupied) y llena (Full). El patio posee un porcentaje de tiempo de ocupación parcial de 100 %, lo que quiere decir que en todo momento se contaron contenedores en este lugar; por otro lado, el módulo pasa un 78,77 % del tiempo parcialmente ocupado, mientras que el 21,23 % restante lo pasa totalmente vacío; el muelle pasa un 35,46 % del tiempo parcialmente ocupado y el 64,54 % del tiempo pasa vacío. La entrada de los camiones se encuentra

parcialmente ocupada un 74,22 % del tiempo y el 25,78% del tiempo se encuentra vacío (ver Ilustración 33).

La tabla 18 contiene información con respecto a parámetros de un sistema de líneas de espera, dado un tiempo total programado de la simulación (Scheduled Time) de 120 horas, exceptuando la locación “entrada camión” la cual tiene un tiempo limitado por el horario de citas y una capacidad asignada a cada locación (Capacity), se obtuvo un total de entradas (Total Entries), promedio de unidades (Avg. contents) y tiempo promedio (Avg Time Per Entry) de las entidades que ingresaron a cada una de las locaciones. Entonces se puede empezar por mencionar que el porcentaje de utilización del patio tuvo un valor promedio de 73,20 %, el modulo tuvo un 27,43 %, la puerta de acceso se ve influenciada por la limitación de la entrada de camiones, se obtuvo un porcentaje de 44,04% y 28,10% para “puerta de acceso expo” y para “puerta de acceso impo”, mientras que el resto de locaciones registra valores muy bajos o cero debido a que poseen capacidades grandes o infinitas.

Ilustración 33. Distribución porcentual del tiempo de estado de las locaciones



Fuente: Output Viewer.

Siguiendo con el análisis de la Tabla 18, en el patio de contenedores se dio un total de entradas de 7.540 unidades de contenedores de los dos diferentes destinos (importación o exportación); ahora, dada la capacidad asignada de 6.552 contenedores, se obtuvo un máximo de 5.065 contenedores con destinos de importación y exportación durante toda la simulación, con un promedio de permanencia por entidad de 4.580 minutos equivalente a 76,3 horas. De la misma manera si se toma la locación modulo, se verá que hubo un flujo de 2.174 entidades, distribuidas entre contenedores de exportación e importación,

camiones de exportación y camiones de importación con un promedio de atención por entidad de 32,7 minutos; según su capacidad de atender 36 entidades a la vez se puede afirmar que en ningún momento dado se llegó al tope máximo de atención, aunque el promedio de unidades atendidas fue 10 entidades. La locación “muelle” a pesar de tener una capacidad para 5.370 entidades, no se debe mal interpretar, en el modelo esta capacidad se configura para definir también la locación muelle como una zona de espera para contenedores de importación y exportación, este tiene una utilización del 0,01% y un tiempo de espera promedio de 98,75 minutos.

Con respecto al cuello de botella del sistema, específicamente las puertas de acceso se tiene que durante toda la corrida del modelo se presentó una cola máxima de 12 camiones.

Tabla 18. Resultados de locaciones del modelo en ProModel

Location Summary (Avg. Reps)									
Replication	Name	Scheduled Time (Hr)	Capacity	Total Entries	Average Time Per Entry (Min)	Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
Avg	patio	120,00	6.552,00	7.540,00	4.579,86	4.795,77	5.064,71	4.814,71	73,20
Avg	modulo	120,00	36,00	2.173,86	32,70	9,87	23,29	12,57	27,43
Avg	entrada buques	120,00	999.999,00	30,43	0,93	0,00	2,00	0,57	0,00
Avg	salida buques	120,00	999.999,00	29,71	0,32	0,00	1,29	0,00	0,00
Avg	salida camion	120,00	999.999,00	1.085,86	0,13	0,02	2,00	0,00	0,00
Avg	muelle	120,00	5.370,00	29,86	98,75	0,41	2,29	0,14	0,01
Avg	puerto extranjero	120,00	999.999,00	10.000,00	4.271,57	5.932,74	10.000,00	2.357,14	0,59
Avg	entrada camion	90,28	999.999,00	2.178,86	7,80	3,14	12,57	3,43	0,00
Avg	puerta acceso expo.1	120,00	1,00	570,29	5,88	0,47	1,00	0,71	46,56
Avg	puerta acceso expo.2	120,00	1,00	511,00	5,85	0,42	1,00	0,71	41,53
Avg	puerta acceso expo	240,00	2,00	1.081,29	5,87	0,44	2,00	1,43	44,04
Avg	puerta acceso impo	120,00	1,00	1.094,14	1,85	0,28	1,00	0,14	28,10

Fuente: Output Viewer.

3.4.3 Resultados de las variables

Las variables contienen valores importantes para validar el modelo. Para este caso se cuantificó el número de contenedores que fueron movilizados en muelle, correspondiendo a un total de 3.363 contenedores (1.597,29 contenedores de importación y 1.765,43 contenedores de exportación), del mismo modo hubo movimiento terrestre de contenedores, registrándose 2.160 contenedores movilizados por camión (1.085 contenedores de importación y 1.075 contenedores de exportación movilizados). Y por último, se muestra el tiempo en cola promedio para ambos camiones en promedio es de 10,26 minutos (ver Tabla 19).

Tabla 19. Resultados de variables en ProModel

Variable Summary (Avg. Reps)							
Replication	Name	Total Changes	Average Time Per Change (Min)	Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Average Value
Avg	cont impo mov muelle	15,14	446,86	0,00	1.597,29	1.597,29	833,21
Avg	cont expo mov muelle	14,57	481,22	0,00	1.765,43	1.765,43	924,58
Avg	cont impo mov camion	1.085,86	6,62	0,00	1.085,86	1.085,86	512,71
Avg	cont expo mov camion	1.075,43	6,69	0,00	1.075,43	1.075,43	510,15
Avg	Tiempo cola camion importacion	1.094,14	6,57	0,00	24,71	9,14	9,93
Avg	Tiempo cola camion exportacion	1.081,29	6,65	0,00	23,00	8,71	10,59

Fuente: Output Viewer.

3.5 VALIDACIÓN DE LA SIMULACIÓN

Para la validación de la simulación se tuvieron en cuenta ciertas variables del sistema real, de las cuales se tienen absoluta certeza y fiabilidad. Dichas variables fueron elaboradas y comparadas con un margen de tiempo de 5 días.

Tabla 20. Cálculo de variables reales de validación

VARIABLE	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
Total carga contenerizada movilizadada en muelle por buque (contenedor)	2.639	761
Total carga contenerizada movilizadada en módulos por camión (contenedor)	2.235	226
Camiones procesados por día	470	63
Tiempo en cola de camiones (min)	12,5	2,5
Número de camiones en cola en la vía de entrada	10	2
Utilización del patio	0,75	0,05

Fuente: Elaboración de los autores.

Con respecto al cálculo de los valores reales, se hallaron intervalos para cada variable, teniendo en cuenta el promedio y su desviación estándar (ver Tabla 20). Hay que añadir que el total de carga contenerizada movilizadada por camión fue calculado como la suma de camiones aleatoria de un movimiento que fueron procesados cada 5 días durante el 2013; ahora bien, el total de carga contenerizada movilizadada en muelle se halló como una sumatoria aleatoria del número máximo de contenedores que descargaban y cargaban los buques cada 5 días durante el año 2013. El número de camiones en cola se calculó realizando un conteo diario del número de camiones pertenecientes a exportación e importación, mientras que el tiempo de espera de los camiones

antes de ser procesados en los módulos se calculó mediante cronometraje.¹⁷ Cabe decir que el valor de la utilización del patio se calculó a través de la capacidad utilizada de cada 5 días de los meses de noviembre y diciembre del 2013.

Tal y como puede apreciarse en la Tabla 21 los valores simulados de las variables se encuentran dentro del rango establecido para los valores reales.

Tabla 21. Validación de variables del modelo

VARIABLE	VALOR REAL	VALOR SIMULADO
Total carga contenerizada movilizada en módulos por camión	2.009-2.461 contenedores	2.161 contenedores
Total carga contenerizada movilizada en muelle por buque	1.878-3.400 contenedores	3.362 contenedores
Camiones procesados por día	407-533	432
Tiempo en cola de camiones	10-15 min	10,26 min
Número de camiones en cola en la vía de entrada	8-12	12
Utilización del patio	70-80 %	73,2 %

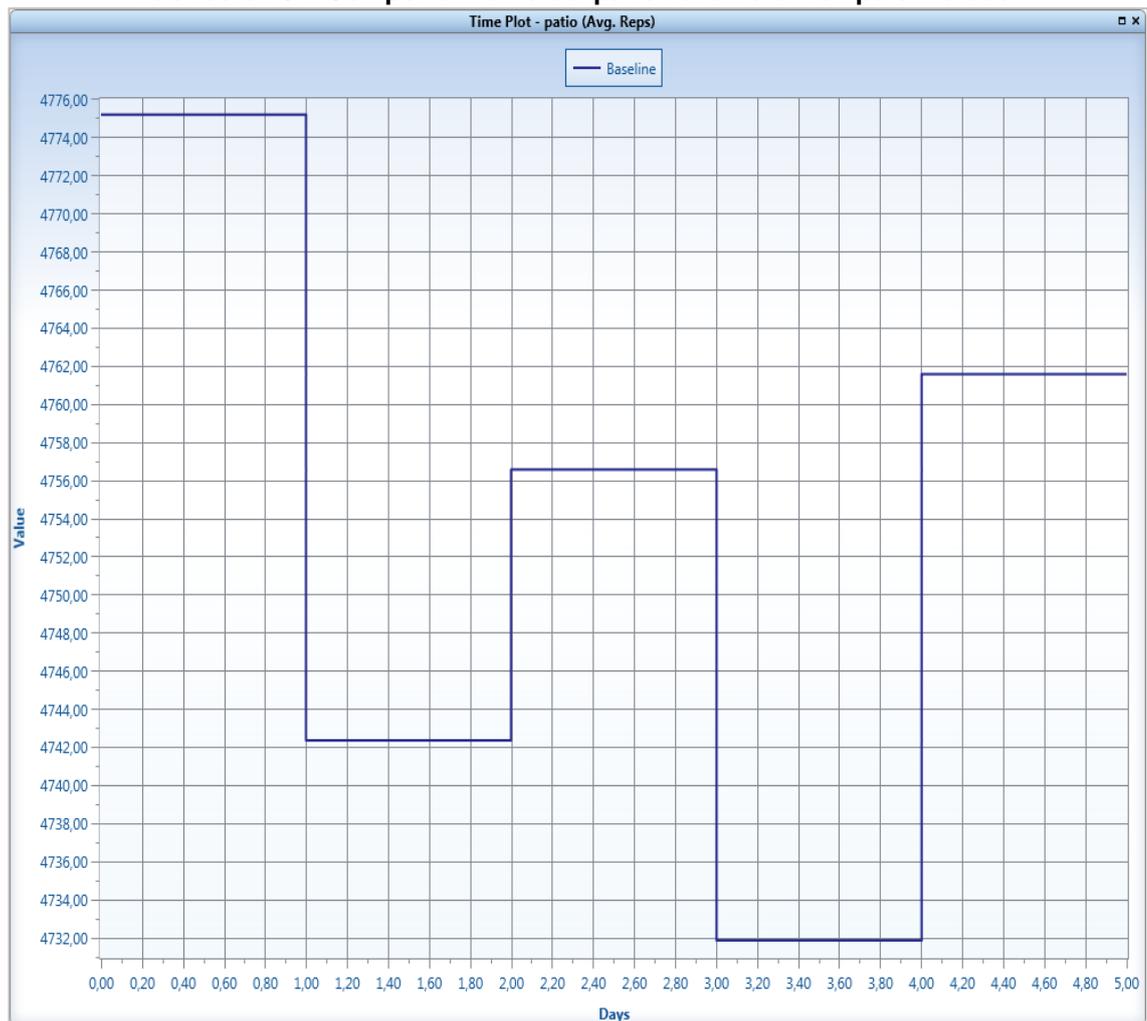
Fuente: Elaboración de los autores.

Por último, un dato relevante para completar de validar el modelo, es observar si los niveles de ocupación del patio se mantienen estables durante la simulación, ya que no es conveniente que el patio se encuentre operando al máximo de su capacidad y tampoco es beneficioso que esté totalmente vacío. Además, esto soportaría la premisa de que a las terminales marítimas les conviene que haya un flujo constante de contenedores, es decir, que haya tanto entradas como salidas de manera equilibrada y no un almacenamiento creciente.

El comportamiento del patio durante la simulación se puede apreciar en la Ilustración 34.

¹⁷ Serpomar S.A. (2013). Trazabilidad de la ruta cliente. [Documento Word].

Ilustración 34. Comportamiento del patio durante el tiempo simulado



Fuente: Output Viewer.

Entonces se puede observar que durante los cinco días el patio nunca llega al límite de su capacidad (6.552 contenedores), se puede ver que la variación más significativa se presentó durante el primer día de simulación, donde al inicio habían 4.775 contenedores y cerró con 4.742 contenedores, posteriormente este último valor se aumenta, en 15 contenedores, y el resto de días marca el mismo patrón sube y se aumenta el flujo de contenedores. Con esto queda demostrado que el patio se estabiliza durante el tiempo de simulación.

4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO

A continuación se procedió a realizar el análisis de sensibilidad del modelo teniendo como horizonte de proyección 5 años (2013-2019), pero partiendo desde el 2013 como año base. En este análisis, se muestra cómo cambia el sistema simulado cuando se modifican las variables que intervienen en él. Para la realización de dicho análisis se cuenta con información referente a un estudio realizado sobre el proyecto Zilca S.A., una Zona de Actividad Logística (ZAL) que se desarrollará en la ciudad de Cartagena, la cual está directamente relacionada con el funcionamiento de la terminal marítima SPRC.

4.1 ESCENARIO 1: INCREMENTO DEL FLUJO DE CAMIONES

Para hallar los porcentajes del incremento del flujo de camiones, representado en el modelo como la variable, frecuencia de llegadas por camión, se procedió a calcular la variación del proyectado de demanda efectiva de viajes de ida y vuelta de camiones con carga contenerizada, es decir, de camiones de importación y camiones de exportación (ver Tabla 22).¹⁸

Tabla 22. Incremento de flujo de camiones

AÑO	DEMANDA POTENCIAL	% INCREMENTO	VARIABLES MODIFICADAS
2013	1.643	0 %	1. Frecuencia de llegada camión importación
2015	1.807	10 %	2. Frecuencia de llegada camión de exportación
2017	1.917	16.6 %	3. Las demás variables del modelo permanecerán constantes
2019	1.972	20 %	

Fuente: Elaboración de los autores.

Cabe mencionar que sólo se hará modificación de la variable frecuencia de llegada de las entidades camiones de exportación y camiones de importación, por ende las demás variables como distribuciones de probabilidad, capacidades, distribuciones de usuario, etc. permanecerán constantes.

¹⁸ Amézquita J. y Vergara J. (2008). Información proyecto ZILCA S.A. Cartagena: Amezco S.A.

Tabla 23. Análisis de sensibilidad de la variable frecuencia de llegada de camiones

VARIABLE	VALOR 2013	INCREMENTO		
		10 %	16.6 %	20 %
Total carga contenerizada movilizada en módulos por camión (contenedores)	2.161	2.398	2.640	2.812
Total carga contenerizada movilizada en muelle por buque (contenedores)	3.362	3.474	3.432	3.464
Tamaño de cola de camiones en vía de entrada (# de camiones)	12	15	20	25
Tiempo en cola de camiones (min)	10,26	13,45	18,02	22,15
Utilización del patio (%)	73,2 %	71,57 %	72,09 %	73,59 %

Fuente: Elaboración de los autores.

Tal y como se puede apreciar en la anterior Tabla 23, el total de carga que se moviliza por camión es creciente durante cada periodo, y esto es lógico porque hay una mayor afluencia de camiones; por otro lado, la carga movilizada en muelle es variable, es decir, aumenta y disminuye en el proyectado, y esto es por el carácter aleatorio que poseen las distribuciones de cargue y descargue de contenedores por buque, teniendo en cuenta que esta variable no sufrió ninguna modificación. El tamaño en cola y el tiempo promedio en cola se aumenta debido a que el creciente flujo de camiones no es soportado por la cantidad de servidores en la puerta de acceso.

Como dato importante, se puede destacar que el mayor tamaño de la cola de camiones será de 25 camiones, equivalente a 425 metros, es decir, 0.43 km de vía carretera (teniendo en cuenta que un camión mide 17 metros aproximadamente). En la Ilustración 35 se puede apreciar el trayecto de la cola ante un incremento del 20 % en el flujo de camiones.

También se muestra el comportamiento del patio durante los incrementos subsecuentes al año base, donde es posible ver que en los dos primeros periodos es mayor la carga que sale que la carga entrante, por ende, hay rasgos de inestabilidad, y esto es porque están llegando mayor cantidad de camiones de importación, además de que el carácter aleatorio de la cantidad de contenedores que cargan los buques resulta mayor que el valor aleatorio de contenedores que estos descargan (ver Ilustración 36).

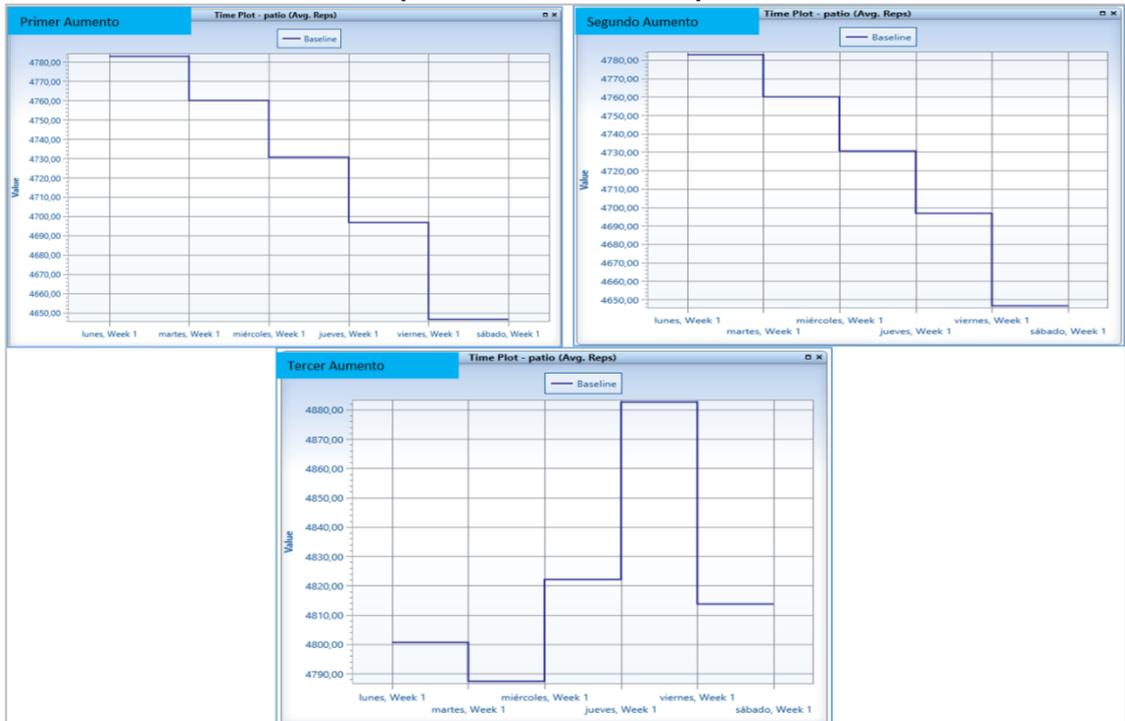
Ilustración 35. Ruta del tamaño de la cola formada por un aumento de flujo de camiones



Fuente. Elaboración de los autores.

Mientras que en el tercer incremento el porcentaje de utilización del patio aumentó 0,39 puntos porcentuales con respecto a 2013, esto significó que en cierto lapso de tiempo de la simulación fue mayor la entrada de contenedores que su salida, llegando a una cantidad máxima de 4.821 contenedores albergados (ver Ilustración 36).

Ilustración 36. Comportamiento de la cantidad de contenedores albergados en la locación “patio” a través del tiempo simulado.



Fuente: Output Viewer.

4.2 ESCENARIO 2: INCREMENTO DE LA CARGA CONTENERIZADA MOVILIZADA POR BUQUES

Para determinar el porcentaje de incremento de la carga contenerizada por barcos, representado en el modelo por las variables cantidad de contenedores cargue-descargue por barco, se basó en la proyección de demanda efectiva de carga contenerizada para el proyecto Zilca S.A (ver Tabla 24).¹⁹

Tabla 24. Incremento de la carga contenerizada movilizada por buques

AÑO	CONTENEDORES	% INCREMENTO	VARIABLES MODIFICADAS
2013	161.031	0 %	1. Cantidad de contenedores carga por buque 2. Cantidad de contenedores descarga por buque 3. Las demás variables del modelo permanecerán constantes
2015	201.390	25 %	
2017	247.085	53 %	
2019	298.114	85 %	

Fuente: Elaboración de los autores.

Es preciso recalcar que se hará modificación de la variable cantidad de contenedores cargue y descargue por buque, sin embargo, se debe tener en cuenta que al modificar las cantidades también se debe modificar el tiempo de carga y descarga debido a que ambos están directamente relacionados, el resto de variables del sistema permanecerán constantes.

En la Tabla 25 se puede evidenciar claramente que al modificar la variable cantidad de contenedores cargue y descargue por buque, el total de carga movilizada por vía terrestre se aumenta en sólo 14 unidades, por esto mismo el tamaño en cola de los camiones aumenta en solo la un camión, cambio relativamente pequeño para un aumento de la variable de carga movilizada por buques en un 25% con respecto a 2013. También se puede decir que tanto los tiempos de procesamiento de camiones como los tiempos en cola de los camiones varían en promedio 0,18 minutos. Del mismo modo los incrementos no afectaron en gran medida la utilización del patio, se obtuvo que durante los primeros dos periodos (2015 y 2017) la variable mencionada presentó un comportamiento decreciente, pero en 2019 la utilización del patio superó la del año base en un 1,68%, a pesar de dichas fluctuaciones esta variable supo mantenerse estable durante el tiempo proyectado. Cabe mencionar que la movilización de carga por buque en muelle se aumenta, y esto es más que evidente porque fue la variable que se sometió a incremento (ver tabla 26).

¹⁹ Amézquita J. y Vergara J. (2008). Información proyecto ZILCA S.A. Cartagena: Amezco S.A.

Entonces, queda claro que un cambio en la variable analizada no afecta el modelo significativamente, sobre todo que no afecta el total de carga movilizada por vía terrestre, siendo relativamente insensible ante el cambio.

Tabla 25. Análisis de sensibilidad de la variable cantidad de contenedores carga-descarga por buque

VARIABLE	VALOR 2013	INCREMENTO		
		25 %	53 %	85 %
Total carga contenerizada movilizada en módulos por camión (contenedores)	2.161	2.175	2.178	2.163
Total carga contenerizada movilizada en muelle por buque (contenedores)	3.362	4.442	4.941	4.551
Tamaño de cola de camiones en vía de entrada (# de camiones)	12	13	12	13
Tiempo en cola de camiones (min)	10,26	11,01	10,33	11,05
Utilización del patio (%)	73,2 %	71,72 %	72,02 %	74,43 %

Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 26. Porcentajes de variación para cada variable dado un aumento de la cantidad de carga movilizada por buque.

VARIABLE	VALOR 2013	INCREMENTO- %VARIACION						
		25%	%variacion	53%	%variacion	85%	%variacion	%variacion promedio
Total carga contenerizada movilizada en módulos por camión (contenedores)	2.161	2.175	0,65%	2.178	0,79%	2.163	0,09%	0,51%
Total carga contenerizada movilizada en muelle por buque (contenedores)	3.362	4.442	32,12%	4.941	46,97%	4.551	35,37%	38,15%
Tamaño de cola de camiones en vía de entrada (# de camiones)	12	13	8,33%	12	0%	13	8,33%	5,56%
Tiempo en cola de camiones (min)	10,26	11,01	7,31%	10,33	0,68%	11,05	7,70%	5,23%
Utilización del patio (%)	73,20%	71,72%	-2,02%	72,02%	-1,61%	74,43%	1,68%	-0,65%

Fuente: Elaboración de los autores

4.3 ESCENARIO 3: INCREMENTO DEL FLUJO DE CAMIONES Y FLUJO DE CARGA MOVILIZADA POR BUQUES

En este escenario se valoró cuál es el efecto sobre las variables de validación cuando hay un incremento en el flujo de camiones y en el flujo de carga movilizada por buques. Los datos que se utilizaran en este caso son los mismos que se utilizaron en los dos anteriores (ver Tabla 27).

Tabla 27. Incremento del flujo de camiones y del flujo de carga movilizada por buques

Año	Demanda Potencial	% Incremento	Contenedores	% Incremento	Variables modificadas
2013	1.643	0 %	161.031	0 %	1. Cantidad de contenedores cargue -descargue por buque. 2. Frecuencia de llegadas de camiones de importación-exportación. 3. Las demás variables y capacidades son constantes.
2015	1.807	10 %	201.390	25 %	
2017	1.917	16.6 %	247.085	53 %	
2019	1.972	20 %	298.114	85 %	

Fuente: Elaboración de los autores.

La Tabla 27 permite apreciar un aumento de la carga movilizada en los módulos del 11 %, 23 % y 30 %, para 2015, 2017 y 2019 respectivamente, debido al incremento del flujo de camiones durante la simulación, sin embargo, este mayor flujo hizo que se aumentara el tamaño de cola, el cual tuvo una variación del 25 % con respecto al primer año de proyección y hasta del 92 % en el último año proyectado; mientras, los tiempos de espera de los camiones antes de ingresar a la puerta de acceso de SPRC sufrieron incrementos del 33 %, 66 % y 95 % con respecto al año base. Es preciso resaltar que tanto el número de camiones en cola como el tiempo en cola de los mismos, quizás se aumentó en menor proporción que cuando se habló del primer escenario porque el modelo trabajado es estocástico. Por otro lado, la carga movilizada en muelle también se incrementó, reportando una variación del 54 % en el último periodo de proyección con respecto al 2013.

Es notorio ver que el porcentaje de utilización del patio disminuye en cada periodo proyectado, esto se explica porque hay mayor movilidad de ingreso y salida de contenedores tanto por vía marítima como por vía terrestre, lo que quiere decir que la carga contenerizada dura menos tiempo en esta locación.

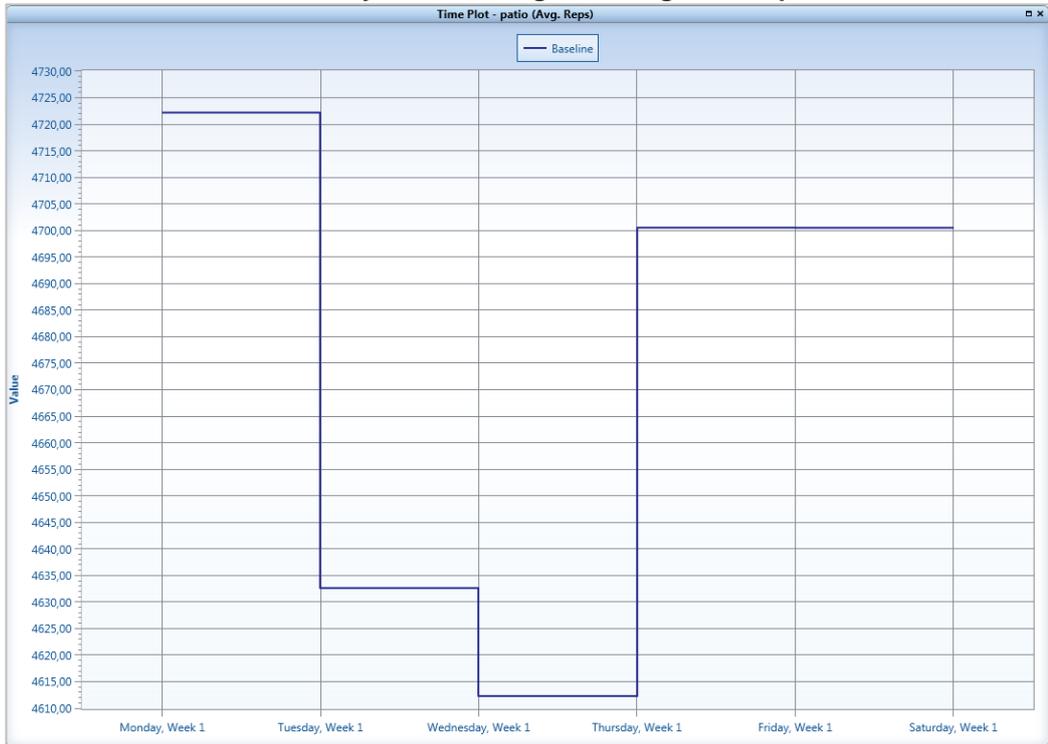
Tabla 28. Análisis de sensibilidad del incremento conjunto del flujo de camiones y de la carga movilizada por buques

VARIABLE	VALOR 2013	INCREMENTO- %VARIACION						
		10 % - 25 %	% variación	16,6 % - 53 %	% variación	20 % - 85 %	% variación	% variación media
Total carga contenerizada movilizada en módulos por camión (contenedores)	2.161	2.397	10,92 %	2.652	22,72 %	2.815	30,26 %	21,30 %
Total carga contenerizada movilizada en muelle por buque (contenedores)	3.362	4.115	22,40 %	5.135	52,74 %	5.163	53,57 %	42,90 %
Tamaño de cola de camiones en vía de entrada (# de camiones)	12	15	25,00 %	19	58%	23	91,67 %	58,33 %
Tiempo en cola de camiones (min)	10,26	13,69	33,43 %	17,04	66,08 %	20,03	95,22 %	64,91 %
Utilización del patio (%)	73,20%	71,06 %	-2,92 %	68,78%	-6,04%	64,68%	-11,64 %	-6,87 %

Fuente: Elaboración de los autores.

De este escenario se puede afirmar que la cantidad contenerizada movilizada por buque está directamente relacionada con la cantidad de contenedores movilizados por camión, dando muestras de que existe un equilibrio en el sistema (ver Ilustración 37); es claro que en ocasiones hubo mayor salida de contenedores que entradas, pero luego hubieron mayores llegadas que salidas, y posteriormente la proporción de entradas y salidas se mantiene. Sin embargo, se puede decir que el sistema se afectaría con respecto a su capacidad de atención de camiones en la puerta de acceso, por ende, se generaría congestión en las cercanías a la terminal.

Ilustración 37. Comportamiento del patio con un incremento del 10 % en flujo de camiones y 25 % en carga-descarga de buques



Fuente: Output Viewer.

5. CONCLUSIONES

Luego de definir el modelo y sus variables, seguido de su posterior construcción y simulación en el software ProModel, e interpretación de los resultados en anteriores secciones, el capítulo cinco estará dedicado a las conclusiones basadas en la simulación del modelo en su fase estable y en tres escenarios distintos que arrojaron resultados valiosos para la SPRC, la comunidad académica y los autores de la investigación.

Después de realizar la primera simulación y comprobar que el modelo simulado era estable, es decir, que presento comportamiento similar a los datos reales, se pudo observar que el porcentaje de utilización del patio se mantuvo dentro de los márgenes reales que manejan en la terminal marítima, describiendo de manera adecuada y precisa las variaciones de cantidades de contenedores entrantes y salientes de esta locación, las cuales están directamente relacionadas con las fluctuaciones de la frecuencia de llegada de camiones y del número de contenedores que un barco puede cargar y descargar en el puerto; por otra parte, el número de camiones en la cola localizada en la entrada de la SPRC no influye de manera negativa en el correcto funcionamiento del corredor de carga, ni en la movilidad vehicular de las zonas aledañas del barrio Manga, pues se mantienen dentro de las zonas de maniobras habituales de los camiones que llegan a cumplir citas. Adicionalmente, las colas de camiones generadas durante el año base de simulación, duran cada diez minutos, lapso que se considera adecuado para el descongestionamiento de las vías de entrada a las instalaciones de la terminal marítima; cabe decir que el número de muelles en operación es exactamente igual a la realidad, donde se atendieron un número considerable de buques, manteniendo así la operación del puerto en constante movimiento.

Ahora bien, como respuesta a la problemática planteada en este proyecto se concluye que el modelo demuestra que el sistema es muy sensible ante un incremento del flujo de la carga contenerizada movilizada por vía terrestre. Del mismo modo, dicho incremento no sería soportado por la capacidad de atención de la puerta de acceso, en otras palabras el número de servidores disponibles para atender los camiones de exportación e importación sería insuficiente.

Los resultados de la simulación de los tres escenarios independientes entre sí, permitieron realizar un análisis global del sistema. Se concluyó en el primer

escenario que se generaría un impacto traducido en un fenómeno de congestión vehicular, debido a que la máxima longitud de la cola de camiones sería de 0.43 km esto equivale a 25 camiones aproximadamente, lo que significa que la cola afectaría el flujo vehicular de una parte del sector de Manga, ratificando de esta manera que el sistema se ve más afectado por un aumento del flujo de carga que entra por vía terrestre que el flujo de carga que ingresa por navío. Además, este supuesto permitió establecer que la terminal marítima tendría un desequilibrio porque sería mayor la carga que sale que la que entra.

Por otro lado, en el segundo escenario donde se modificó el volumen de carga transportada por los buques, quedó demostrado que un aumento de la carga movilizada por buque no afectaría el sistema significativamente como se mencionó anteriormente, en este sentido, el flujo por vía carretera se mantendría en niveles estables, por ende no habría congestión vehicular. Esto quiere decir que no necesariamente un aumento de la carga marítima modificaría la frecuencia de llegada de camiones, debido a que un contenedor ya sea de importación o exportación puede permanecer en patio hasta 7,7 días en promedio (el promedio de espera un contenedor originalmente se estableció en 3.381 minutos o 2,35 días), lo que contribuiría a pensar que existen otras variables influyentes como la decisión del tiempo de recogida del contenedor por parte del agente importador, la legalización de la mercancía, el porcentaje de incumplimiento de la cita, etc.

Es preciso resaltar que ante un cambio en la frecuencia de llegada de camiones y en la carga contenerizada movilizada por buque, el modelo se vería afectado indiscutiblemente, ya que se generaría un gran incremento de la carga movilizada por tierra y por mar, y se aumentaría drásticamente el número de camiones en cola, como también el tiempo de permanencia de un camión en cola. Para este último escenario, se estudiaron aquellos elementos del sistema considerados como factores críticos que inciden drásticamente en el correcto funcionamiento del mismo, de este modo, es pertinente mencionar que la puerta de acceso es el elemento de la simulación que tiene el mayor porcentaje de utilización, dado un incremento del 10 % y 25 % de las variables de arribos de camiones y de carga-descarga de contenedores por buque respectivamente; el 49,28 % del tiempo de corrida se encuentra operando, al igual que las vías de acceso al puerto, que si bien no llegan a estar totalmente llenas, el 82,34 % del tiempo están parcialmente ocupadas. Para un incremento de un 16,6 % del flujo de camiones y un 53 % de llegadas de buques, la

utilización de la puerta de acceso es del 70 %, y pasa un 69 % del tiempo al máximo de su capacidad.

En síntesis, el flujo de carga aumenta mediante la fluctuación positiva en frecuencia de llegadas de camiones de exportación y el volumen de carga de los buques procesados en la SPRC, debido a esto se genera una cola de camiones en la vía de entrada la cual perdura en una proporción considerable de tiempo de corrida.

En conclusión, la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena desde un punto de vista tecnológico (equipos, software, mano de obra) posee la capacidad de atender el creciente flujo de contenedores que llegan a ella por vía marítima, pero en materia de infraestructura y específicamente en el ingreso de contenedores por camiones se vería rezagada, ya que ante un aumento del flujo de carga contenerizada que se movilizada por medios terrestres generarían altos tiempos de espera y aumentaría el número de unidades en cola, por lo cual se generaría una situación de caos vehicular en las zonas aledañas, además de afectar su productividad, disminuyendo el volumen de carga anual movilizado en este importante puerto de Colombia .

6. RECOMENDACIONES

Después de haber llegado a una serie de conclusiones en el capítulo anterior acerca de las fortalezas y debilidades de la SPRC, en este capítulo se procederá a cumplir uno de los objetivos más relevantes del presente proyecto como es recomendar alternativas para aumentar sus fortalezas y minimizar sus debilidades.

Realizar un estudio enfocado en la puerta de acceso que permita evaluar la posibilidad de realizar una configuración de los servidores que integran la entrada a la SPRC, ya que este es el principal cuello de botella del sistema, quizás una mejor configuración u orden de servidores logre minimizar el tiempo de atención. Ahora bien, se recomienda si es posible adelantar parte del procedimiento de alguno de los servidores (exceptuando báscula) en la zona de espera de la terminal SPRC, esto contribuiría a minimizar el tiempo en cola de los camiones.

Sería recomendable que SPRC lleve un registro consolidado de las estadísticas de las proporciones de cargue y descargue por cantidad de movimientos de los camiones, por ejemplo, para el caso de un camión que realiza dos movimientos en un solo viaje se tendrían tres posibilidades, la primera que un camión le carguen y le descarguen un contenedor, la segunda que le descarguen dos contenedores y la tercera que le carguen dos contenedores, de esta manera saber cuál es la probabilidad exacta de cada movimiento permitirá incluir el total de población de camiones que transportan carga contenerizada, lo que supone construir un modelo más completo del sistema. Una forma de descongestionar la terminal marítima SPRC podría ser creando una alianza estratégica con alguna Zona de Actividad Logística, de tal manera que se puede destinar un porcentaje de la carga movilizadora tanto por vía terrestre como por vía marítima a esta locación.

Otra recomendación estaría enfocada a ampliar las variables del modelo teniendo en cuenta el flujo vehicular particular de la zona y las horas-pico, con el fin de ajustar las capacidades de las vías de acceso y salida de la terminal marítima, de esta manera se tendrían unas restricciones que cambiarían la estructura del modelo y se tendría otro punto de vista del funcionamiento del sistema.

BIBLIOGRAFIA

- Amézquita, J. y Vergara, J. (2008). Información proyecto ZILCA S.A. Cartagena: Amezco S.A.
- Azarang, M. y García, E. (1996). Simulación y análisis de modelos estocásticos. (p.63). México D.F.: McGraw-Hill.
- Banks, J., Carson J., y Nelson B. (1996). Discrete-Event System Simulation 2ed. USA: Prentice-Hall.
- Barceló, J. (2001). Simulación de sistemas discretos. (p. 182). Madrid: Isdefe
- Buelvas, D. (2013). Continúan parqueos en zonas prohibidas en el corredor de cargas. El Universal. Cartagena.
- Calderón, L. y Lario, F. (2007). Simulación de cadenas de suministro: Nuevas aplicaciones y áreas de desarrollo. Información tecnológica 18(1), 138.
- Casanovas, A. y Cuatrecasas, L. (2003). Logística empresarial: Gestión integral de la información y material en la empresa. (p. 18-19). Barcelona: Gestión 2000.
- Casanovas, A. y Cuatrecasas, L. (2011). Logística integral: Lean Supply Chain Management. (p.24-26). Barcelona: Profit Editorial.
- Centeno, A. y Mendoza, A. (2003). Modelo de asignación intermodal multiproducto para las operaciones de carga por autotransporte y ferrocarril. (p. 5-6, 101-102). Querétaro.
- Coss, R. (2003). Simulación: Un enfoque práctico. (p. 12). México D.F.: Editorial Limusa
- De la Vega, R. (2011). El Varadero un nuevo canal para la bahía. Revista Pórtico, 12(15), 26–35.
- Duran, J. (2012). Control y vigilancia para la facilitación de la cadena logística en el TLC. Trabajo presentado en el Primer Foro de Puertos y Contenedores ANDI, Julio, Bogotá.
- El Heraldo. (2013). Puerto de la Costa Caribe, con cifras récord en 2012. El Heraldo. Barranquilla.

Figuerola, G. (2011). Cartagena, una historia de posición estratégica. Revista Pórtico. Cartagena.

Figuerola, H. (2012). Cartagena mueve más contenedores. El Universal. Cartagena.

Figuerola, H. (2012). Crece la carga en tránsito. El Universal, p. 1. Cartagena.
Freire, M. y Gonzales, F. (2009). Tráfico marítimo y economía global. (p. 81-82). España: Netbiblo

García, D., García, H. y Cárdenas, L. Simulación y análisis de sistemas con ProModel. (p.1-10). México D.F.: Pearson Educación

Gómez, R. y Correa, A. (2011). Análisis del transporte y distribución de materiales de construcción utilizando simulación discreta en 3D. Boletín de ciencias de la tierra 30, 42-50. Medellín.

Goyeneche, F. (1998). Cartagena: Ciudad puerto y el ordenamiento territorial. (p. 27, 32). Cartagena.

Guasch, A. (2002). Modelado y simulación: Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios. (p 255-257). Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.

Herrera, A. (2001). Simulación de operaciones aeroportuarias: El caso de despegues y aterrizajes en el aeropuerto internacional de Ciudad de México. (p. 4-12, 75-76). Querétaro.

Krajewski, L. y Ritzman, L. (2000). Administración de operaciones: Estrategia y análisis. (p.319). México D.F.: Pearson Educación

Marí, R., de Souza, A., Martín, J. y Rodrigo, J. (2009). El transporte de contenedores: terminales, operatividad y casuística. (p.15-29). Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.

Martín, E. (2008). Simulación del subsistema de recepción y entrega de la terminal marítima de contenedores de Barcelona. Publicaciones de la Universidad Politécnica de Barcelona. (Caps. 4-6). Barcelona.

Martner, C., Pérez, J., y Herrera, A. (2003). Diagnóstico general sobre la plataforma logística de transporte de carga en México. (p. 65-72). Querétaro.

Ministerio de Transporte (2011). Transporte en cifras (versión 2011). Bogotá: Oficina asesora de planeación.

Paredes, Y. (2010). Logística portuaria. Superintendencia de Puertos y Transportes (p. 54). Bogotá.

Pérez, G. (2005). La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia. Documentos de trabajo sobre economía regional. Banco de la República. (p 48-53). Cartagena

Piera, M., Guasch, T., Casanovas, J. y Ramos, J. (2006). Cómo mejorar la logística de su empresa mediante la simulación. (p.12-13). Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Promodel Corporation. (2012). Página web de la organización: www.promodel.com.mx.

Proyecto Cartagena cómo vamos. (2012). Información sobre calidad de vida en Cartagena, para el análisis de la ciudad y sus sectores. UTB et.al. Cartagena.

Sánchez, B. (2005). El futuro de las relaciones puerto ciudad (p. 49). Coruña.

SPRC, (s.f.). Información institucional. Recuperado el 6 marzo de 2013, de <http://flamenco.puertocartagena.com/opadmco.nsf/vstRefLinkDoc/78103EFC8088B3C7052573B50053B7AF>.

SPRC, (s.f.). Infraestructura. Recuperado el 6 marzo de 2013, de <http://flamenco.puertocartagena.com/opadmco.nsf/vstRefLinkDoc/9A05CC0162827D35052573B10078B7A1>.

SPRC. (2011). En Cartagena se desarrolla el HUB del Caribe. Revista Pórtico, 12(15), 20–25.

Superintendencia de Puertos y Transportes. (2012). Informe acumulado de enero-agosto 2012. Movimiento de carga en los puertos marítimos colombianos. Bogotá

Tejada, C. (2001). Ideas orientadoras sobre el sistema logístico del componente Ejército del teatro de operaciones. Military Review, noviembre-diciembre, 44-45.

Urriola, C. (2011). Es preciso romper los moldes del comercio latinoamericano. Revista Pórtico, 12(15), 7–11.

Vega, A, (s.f.). Manual de Equipos en Puerto. Recuperado el 7 marzo de 2013, de <http://mundoportuario.files.wordpress.com/2009/08/manual-equipos.pdf>

Vergara, J., Amézquita, J. y Maza, F. (2008). Diseño y análisis de escenarios a partir de la caracterización de las cadenas productivas mediante modelos de redes. (p.73). Revista Panorama Económico. Universidad de Cartagena. Cartagena.

Walpole, R., Myers, R., Myers, S. y Ye, K. (2007). Probability and Statistics for Engineers and Scientists. New Jersey: Pearson Education

Xinhua. (2012). Tráfico de contenedores en puertos panameños crece sólo 5% en 2012. Revista América economía.


```

*****
*                               Processing                               *
*****

buque_importacion salida_buques GRAPHIC 2 1 buque_importacion salida_buques FIRST 1
contenedor_exportacion modulo 1 buque_importacion EXIT FIRST 1
contenedor_exportacion patio 1 contenedor_exportacion patio FIRST 1
buque_exportacion entrada_buques 1 contenedor_exportacion muelle LOAD 1
buque_exportacion muelle 1 buque_exportacion muelle FIRST 1
cont_expo_mov_muelle = cont_expo_mov_muelle + 28.2+79.*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./3.77)HR
LOAD 28.2+79.*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./3.56)

buque_exportacion salida_buques GRAPHIC 2 1 buque_exportacion salida_buques FIRST 1
contenedor_importacion muelle 1 buque_exportacion EXIT FIRST 1
camion_exportacion entrada_camion Tiempo_entrada_camion_exportacion = CLOCK (MIN) 1 contenedor_importacion patio FIRST 1
camion_exportacion puerta_acceso_expo Tiempo_entrada_pacceso_camion_exportacion = CLOCK(MIN) 1 camion_exportacion puerta_acceso_expo FIRST 1
Tiempo cola_camion_exportacion = Tiempo_entrada_pacceso_camion_exportacion - Tiempo_entrada_camion_exportacion

IF Cumplimiento_Cita_Camion() = 1 THEN
{
WAIT 6.37 MIN
}

camion_exportacion modulo 1 camion_exportacion modulo FIRST 1
WAIT ((4.67+IG(58., 32.1))-6.37)MIN
SPLIT 1 AS contenedor_exportacion
GRAPHIC 2

camion_exportacion salida_camion 1 camion_exportacion salida_camion FIRST 1
contenedor_exportacion modulo 1 camion_exportacion EXIT FIRST 1
INC cont_expo_mov_camion 1 contenedor_exportacion patio FIRST 1

```

```

*****
*                               Arrivals                               *
*****

Entity Location Qty Each First Time Occurrences Frequency
-----
camion_importacion entrada_camion 6 0 INF P(30)
contenedor_importacion patio 2025 0 1 0
buque_exportacion entrada_buques 1 0 INF P(8) HR
contenedor_exportacion patio 2771 0 1 0
camion_exportacion entrada_camion 6 0 INF P(30)
contenedor_importacion puerto_extranjero 10000 0 1 0
buque_importacion entrada_buques 1 0 INF P(8) HR

```

```

*****
*                               Shift Assignments                       *
*****

Locations... Resources... Calendar File... Priorities... Disable Logi
-----
entrada_camion C:\Users\Juan Porto\Desktop\c. 99,99,99,99 No

```

```

*****
*                               Attributes                               *
*****

ID Type Classification
-----
Tiempo_entrada_camion_importac Real Entity
Tiempo_entrada_pacceso_camion_ Real Entity
Tiempo_entrada_camion_exportac Real Entity
Tiempo_entrada_pacceso_camion_ Real Entity

```

```

*****
*                               Variables (global)                       *
*****

ID Type Initial value Stats
-----
cont_impo_mov_muelle Integer 0 Time Series
cont_expo_mov_muelle Integer 0 Time Series
cont_impo_mov_camion Integer 0 Time Series
cont_expo_mov_camion Integer 0 Time Series
Tiempo cola_camion_importacion Integer 0 Time Series
Tiempo cola_camion_exportacion Integer 0 Time Series

```

```

*****
*                               User Distributions                       *
*****

ID Type Cumulative Percentage value
-----
Cumplimiento_Cita_Camion Discrete No 92 1
8 0

```