

# **Programación de la producción bajo ambiente de colaboración en la cadena de suministro**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de

**Magister en Gerencia de Operaciones**  
(Modalidad de investigación)

Diego Armando Ortiz Vargas

Director:  
Jairo Rafael Montoya Torres, Ph.D

Presentado públicamente el día 14 de febrero de 2012

Jurado:  
Jose Fernando Jiménez, Pontificia Universidad Javeriana  
Edgar Gutierrez, Universidad de La Sabana

Universidad de La Sabana  
Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas  
Chía, Colombia  
2012

## DEDICATORIA

Primero, quiero agradecer infinitamente a Dios por darme siempre fuerzas, ganas y empuje necesario para hacer posible este gran objetivo en lo personal y profesional.

Segundo, quisiera agradecer a mi familia quienes siempre estuvieron pendientes y dándome fuerzas y ánimo hacer posible este logro. Gracias a sus consejos y estructura de valores siempre trabajé humildemente. En especial a mi abuela Miriam y tía Betty, a pesar que partieron de este mundo este año, sé que desde lo más alto ustedes me siguen apoyando incondicionalmente. Su partida de este mundo me dio más fuerzas y empuje para seguir aprendiendo y fortaleciéndome.

Querida Nelly Vargas, madre de mi alma, a ti también te ofrezco este importante logro. A ti te ofrezco todo este proceso vivido y todo lo que he conseguido hasta el momento y lo que vendrá. Gracias por darme siempre fuerzas, capacidad e inteligencia para seguir avanzando en mi vida, seguir aprendiendo, seguir cosechando triunfos, seguir motivado y deseoso de que te sientas orgulloso de mí.

Este logro también me ayudaron a alcanzarlos mis amigos, personas que me rodean y que quiero mucho y actuales compañeros de trabajo y maestría, quienes con sus voces de aliento siempre me inyectaron motivación por conseguir este logro. Por último y no siendo menos importante, infinitas gracias al Dr. Jairo Rafael Montoya Torres porque de él aprendí muchísimo y por ser el eje principal en materializar este proyecto de investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	4
1.2 PLAN DE LECTURA.....	5
<b>2. COLABORACIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO.....</b>	<b>7</b>
2.1 CONCEPTO DE CADENA DE SUMINISTRO.....	7
2.2 COLABORACIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO.....	8
2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA ARQUITECTURA COLABORATIVA EN UNA CADENA DE SUMINISTRO.....	10
2.3.1 Cadena de suministro colaborativa.....	10
2.3.2 Estado de la aplicación de la estrategia de colaboración en la cadena de suministro: brecha entre la teoría y la práctica.....	11
2.3.3 Elementos para establecer una arquitectura de colaboración en una cadena de suministro.....	12
Intercambio de información.....	13
Efecto látigo ( <i>Bullwhip Effect</i> ).....	14
Sincronización de las decisiones.....	15
Alineación de incentivos.....	15
Rendimiento del sistema de colaboración.....	15
Congruencia de objetivos.....	16
Intercambio de recursos.....	16
2.4 PRÁCTICAS COLABORATIVAS EN LA CADENA DE SUMINISTRO.....	16
2.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	18
<b>3. DINÁMICA DE LAS CADENA DE SUMINISTRO COLABORATIVAS.....</b>	<b>19</b>
3.1 TIPOS DE CONFIGURACIÓN DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO COLABORATIVAS.....	20
3.2 IMPACTO QUE GENERA EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN EL RENDIMIENTO DE UNA CADENA DE SUMINISTRO DIÁDICA.....	24
3.3 IMPACTO QUE GENERA LA ESTRATEGIA DE COLABORACIÓN EN LOS NIVELES DE DECISIÓN DE UNA CADENA DE SUMINISTRO DIÁDICA.....	29
3.4 HERRAMIENTAS DE SOLUCIÓN EMPLEADAS PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS ESTUDIADOS EN UNA CADENA DE SUMINISTRO DIÁDICA.....	30
3.5 SOCIOS CONSIDERADOS PARTA ESTUDIAR UNA CADENA DE SUMINISTRO DIÁDICA.....	32
3.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	35
<b>4. MODELAMIENTO DE LA CADENA LOGÍSTICA DIÁDICA BAJO ESTUDIO.....</b>	<b>37</b>
4.1 CADENA LOGÍSTICA DIÁDICA BAJO ESTUDIO.....	37
4.1.1 Breve revisión de la literatura del problema flowshop híbrido.....	39
4.1.2 Formulación matemática del problema flowshop híbrido bajo estudio.....	40
4.2 ESCENARIOS DE COLABORACIÓN.....	42
4.2.1 Escenario de colaboración total.....	43
4.2.2 Escenario de colaboración nulo.....	43
4.2.3 Escenario de colaboración parcial.....	44

4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	47
4.3.1 Diseño experimental para el escenario de colaboración total.....	47
4.3.2 Diseño experimental para el escenario de colaboración nulo.....	47
4.3.3 Diseño experimental para el escenario de colaboración parcial.....	48
4.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	49
<b>5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS DE COLABORACIÓN.....</b>	<b>50</b>
5.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESCENARIO DE COLABORACIÓN NULO.....	50
5.1.1 Análisis de la tabla ANOVA del escenario de colaboración nulo.....	50
5.1.2 Comparación entre las distribuciones de llegada de los trabajos al sistema en el escenario de colaboración nulo.....	50
5.1.3 Comparación entre los pesos asignados a la función objetivo en el escenario de colaboración nulo.....	52
5.1.4 Comparación entre el factor ReglaProgramación, Media y NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo.....	56
5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESCENARIO DE COLABORACIÓN PARCIAL.....	62
5.2.1 Análisis de la tabla ANOVA del escenario de colaboración parcial.....	62
5.2.2 Comparación entre las distribuciones de llegada de los trabajos al sistema en el escenario de colaboración parcial.....	62
5.2.3 Comparación entre los pesos asignados a la función objetivo en el escenario de colaboración parcial.....	63
5.2.4 Comparación entre el factor ReglaProgramación, Media y NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial.....	66
5.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESCENARIO DE COLABORACIÓN NULO Y PARCIAL.....	71
5.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS DE COLABORACIÓN NULO, PARCIAL Y TOTAL.....	76
5.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	77
<b>6. CONCLUSIONES GENERALES Y PERSPECTIVAS.....</b>	<b>79</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO E.....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO F.....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXO G.....</b>	<b>152</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Arquitectura de colaboración de la cadena de suministro.....	<b>13</b>
<b>Figura 2.</b> Niveles de decisión en producción (Paternina, 2002).....	<b>20</b>
<b>Figura 3.</b> Estructura simplificada de una cadena de suministro.....	<b>37</b>
<b>Figura 4.</b> Estructura de la cadena logística objeto de estudio.....	<b>37</b>
<b>Figura 5.</b> Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración nulo.....	<b>51</b>
<b>Figura 6.</b> Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración nulo.....	<b>53</b>
<b>Figura 7.</b> Tiempo Total de Flujo Vs. Número de trabajos, con Media 3,5 y 10; discriminadas por distribución en el escenario de colaboración nulo.....	<b>54</b>
<b>Figura 8.</b> Tardanza Total Vs. Número de trabajos, con Media 3,5 y 10; discriminadas por distribución en el escenario de colaboración nulo.....	<b>55</b>
<b>Figura 9.</b> Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-Media en el escenario de colaboración nulo.....	<b>57</b>
<b>Figura 10.</b> Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo.....	<b>58</b>
<b>Figura 11.</b> Tiempo Total de Flujo + Tardanza Total Vs. Número de trabajos, con Media 3,5 y 10; discriminadas por distribución en el escenario de colaboración nulo.....	<b>61</b>
<b>Figura 12.</b> Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración parcial.....	<b>63</b>
<b>Figura 13.</b> Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración parcial.....	<b>64</b>
<b>Figura 14.</b> Tiempo Total de Flujo Vs. Número de trabajos, con Media 3,5 y 10; discriminadas por distribución en el escenario de colaboración parcial.....	<b>64</b>
<b>Figura 15.</b> Tardanza total Vs. Número de trabajos, con Media 3,5 y 10; discriminadas por distribución en el escenario de colaboración parcial.....	<b>65</b>
<b>Figura 16.</b> Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-Media en el escenario de colaboración parcial.....	<b>67</b>
<b>Figura 17.</b> Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial.....	<b>68</b>
<b>Figura 18.</b> Tiempo Total de Flujo + Tardanza Total Vs. Número de trabajos, con Media 3,5 y 10; discriminadas por distribución en el escenario de colaboración parcial.....	<b>70</b>
<b>Figura 19.</b> Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades-NúmeroEntidades en la comparación del escenario de colaboración nulo y parcial; Tiempo Total de Flujo.....	<b>75</b>
<b>Figura 20.</b> Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades-NúmeroEntidades en la comparación del escenario de colaboración nulo y parcial; Tardanza Total.....	<b>75</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Términos comúnmente usados en la literatura en relación al concepto de colaboración en la cadena de suministro.....	9
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de la literatura basada en las estructuras de la cadena de suministro.....	21
<b>Tabla 3.</b> Tipo de información compartida en una cadena de suministro de tipo diádica.....	27
<b>Tabla 4.</b> Impacto del intercambio de información en los niveles de decisión de una cadena de suministro diádica.....	29
<b>Tabla 5.</b> Herramientas de solución utilizadas para resolver los modelos de cadena de suministro diádica.....	31
<b>Tabla 6.</b> Socios considerados para estudiar una cadena de suministro diádica.....	33
<b>Tabla 7.</b> Diseño experimental para el escenario de colaboración total.....	47
<b>Tabla 8.</b> Diseño experimental para el escenario de colaboración nulo.....	48
<b>Tabla 9.</b> Diseño experimental para el escenario de colaboración parcial.....	48
<b>Tabla 10.</b> Estadísticas del factor DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración nulo.....	51
<b>Tabla 11.</b> Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración nulo.....	51
<b>Tabla 12.</b> Estadísticas del factor PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración nulo...	52
<b>Tabla 13.</b> Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración nulo.....	53
<b>Tabla 14.</b> Estadísticas del factor Media en el escenario de colaboración nulo.....	56
<b>Tabla 15.</b> Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-Media en el escenario de colaboración nulo.....	56
<b>Tabla 16.</b> Estadísticas del factor NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo.	57
<b>Tabla 17.</b> Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo.....	58
<b>Tabla 18.</b> Resultados de los Contrastes de Scheffé realizados a las estrategias de programación en el escenario de colaboración nulo, con Media 3 y distintas instancias de trabajos procesados.....	59
<b>Tabla 19.</b> Estadísticas del factor DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración parcial.....	62
<b>Tabla 20.</b> Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración parcial.....	63
<b>Tabla 21.</b> Estadísticas del factor PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración parcial.....	63
<b>Tabla 22.</b> Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración parcial.....	64
<b>Tabla 23.</b> Estadísticas del factor Media en el escenario de colaboración parcial.....	66
<b>Tabla 24.</b> Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-Media en el escenario de colaboración parcial.....	67
<b>Tabla 25.</b> Estadísticas del factor NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial.....	67
<b>Tabla 26.</b> Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial.....	68
<b>Tabla 27.</b> Resultados de los Contrastes de Scheffé realizados a las estrategias de	

programación del escenario de colaboración parcial, con Media 3 y distintas instancias de trabajos procesados.....	69
<b>Tabla 28.</b> Resultados de Contrastes de Scheffé realizados a las estrategias de programación de operaciones de los escenarios de colaboración nulo y parcial, con Media 3 y distintos niveles del factor NúmeroEntidades.....	71

## RESUMEN

Diseñar e implementar estrategias de colaboración a lo largo de la cadena logística implica el alcance de un mejor rendimiento a nivel local y global de los miembros que la conforman. Esta investigación permite estudiar el impacto que genera intercambiar información en los indicadores de productividad de una cadena logística conformada por un proveedor y un fabricante bajo tres ambientes de colaboración -total, parcial y nula- e identificar en cuál de estos ambientes el rendimiento de la cadena logística bajo estudio es el mejor. El sistema puede modelarse como un flowshop híbrido trabajando bajo la filosofía make-to-order. Las funciones objetivo son el tiempo total de flujo y la tardanza total de las órdenes. El problema es formalizado empleando un modelo de programación matemática y se proponen algoritmos de secuenciación para su resolución. Estos métodos de solución son analizados a través de experimentos computacionales y simulaciones. Los resultados experimentales mostraron que si los miembros de la cadena logística estudiada no adoptan estrategias de colaboración, el desempeño global alcanzado no es óptimo (escenario de colaboración nulo). Las reglas de programación MDD\_SPT y SLK2\_SPT, del escenario de colaboración parcial, generaron mejores resultados que la mejor regla del escenario de colaboración nulo, excepto para instancias de 50 trabajos. Las reglas SLK1\_SPT y EDD\_SPT del escenario de colaboración parcial no generaron mejores rendimientos que la SPT\_SPT, puesto que su manera de procesar la información no permitió alcanzar buenos rendimientos. La regla del escenario de colaboración total *General Shifting Bottleneck Routine* generó mejores resultados que las mejores reglas del escenario de colaboración nulo y parcial.

**Palabras clave:** Programación de operaciones en la cadena logística, información compartida, tiempo total de flujo, tardanza total.

## ABSTRACT

Design and implement collaborative strategies along the supply chain involve the scope of a better global and local performance in members within it. This research is to study the impact that exchange information on the productivity indicators of a chain formed by a supplier and a manufacturer under three collaborative environments –total, partial and zero- and identify which of these environments the supply chain has the best performance. We consider a hybrid flow shop scheduling problem with two identical machines for each member. The system can be modeled as a hybrid flow shop working under the philosophy make-to-order. The objective functions are the total flow time and total tardiness. The problem is formalized using mathematical programming model and proposes sequencing algorithms for resolution. These solution methods are analyzed through computational experiments and simulations. The experimental results showed that if members of the supply chain studied not adopt collaborative strategies, the global performance is not optima (zero collaborative environment). Scheduling rules MDD\_SPT and SLK2\_SPT of partial collaborative environment generated better results than the best rule of zero collaborative environment, except for instance of 50 jobs. The scheduling rules EDD\_SPY and SLK1\_SPT of partial collaborative environment did not generate better performances than the SPT\_SPT, as their

way of processing information is not possible to achieve good performances. *General Shifting Bottleneck Routine*, the scheduling rule of total collaborative environment generated better results than the best rules of the zero and partial collaborative environments.

**Keywords:** Supply chain scheduling, information sharing, total flow time, total tardiness.

## 1. INTRODUCCIÓN

La cadena de suministro cubre todos los procesos que relacionan las empresas cliente-proveedor para llevar productos terminados a los consumidores finales a partir de las materias primas (Paulraj, 2002). A través de la gestión, se integra, coordina y sincroniza el proceso de toma de decisiones en los eslabones de la cadena logística, aportando cada vez mejores beneficios económicos en sus procesos funcionales, por ejemplo: disminución de los niveles y costos de inventarios, optimización en compras y, cumplimientos de órdenes de pedidos (Arns et al., 2002; Sahay, 2003; Gibson et al., 2005).

Los mercados cada vez más exigen costos bajos, alta calidad de productos y tiempos de entrega más cortos, objetivos que están en riesgo si alguno o varios miembros de la cadena logística no están coordinados y sincronizados entre sí. Los negocios inmersos en la cadena deben tomar iniciativas proactivas para satisfacer a sus clientes y aumentar su competitividad en el mercado global, como por ejemplo: diseñar e implementar estrategias de colaboración en la planeación, proyección conjunta de la demanda, reaprovisionamiento y, adaptación de objetivos y metas entre los negocios, entre otros aspectos (Danese, 2006; Roh et al. 2010).

Por consiguiente, las compañías están implementando estrategias de colaboración de manera tal que se puedan aprovechar los recursos y el conocimiento de los proveedores y clientes y, se coordinen e integren tanto el flujo de productos como la información a lo largo de la cadena de suministro (Verwaal y Hesselmanns, 2004; Caridi et al. 2005; Lejeune y Yakova, 2005). Implementar estrategias conjuntas por parte de los miembros de la cadena logística debe generar como resultado la entrega de productos de alta calidad, a un precio correcto y en el lugar correcto. Lograr lo anterior, implica que proveedores, fabricantes y vendedores apliquen constantemente reingeniería en sus procesos funcionales (Birendra et al. 2007; Roh et al. 2010).

El desempeño de una cadena de suministro depende fuertemente de la colaboración de sus miembros que la integran (Sepúlveda y Frein, 2008). Por estas razones la colaboración como estrategia para aumentar la eficiencia, productividad y competitividad en la cadena de suministro está cada vez siendo más considerada para aumentar la dinámica de los negocios y aumentar y mantener su competitividad en el mercado global.

Según Simatupang y Sridharan (2002) la colaboración en una cadena de suministro se entiende como la adecuada combinación de relaciones, armonización, ajuste, alineación, de un número de elementos como acciones, objetivos, decisiones, fondos e intercambio y conocimiento de la información para el logro de las metas globales. Si se integran los miembros de la cadena, se obtendrán soluciones integrales que eventualmente disminuyen los costos, niveles de inventarios y tiempos de respuesta y, aumentan el servicio al cliente, la calidad del producto e ingresos (Bowersox, 1990; Buzzell y Ortmeier, 1995; Corbett et al. 1999; Simatupang et al., 2002; Li et al. 2006; Birendra et al. 2007). La aplicación de la estrategia de colaboración ha cambiado el paradigma tradicional de negociación entre los miembros de la cadena logística para conseguir

materias primas y componentes a un precio más bajo e incrementar los márgenes de ganancias de todos los miembros que conforman la cadena logística (Simatupang y Sridharan, 2008).

En la literatura existen varios estudios que demuestran que compartir información y coordinar las acciones entre los actores de la cadena logística son estrategias que permiten tomar mejores decisiones en cuanto a la planeación de la producción, abastecimiento y capacidad, optimizando de esta manera el desempeño global de la cadena logística (Huang et al., 2003; Rodríguez-Verjan y Montoya-Torres, 2009; Núñez-Muñoz y Montoya-Torres 2009).

La planeación y programación de operaciones en la cadena de suministro resulta ser una actividad muy compleja, su impacto abarca desde las entrañas de la empresa hasta toda la cadena de suministro brindando productos de alta calidad con precios bajos, disminuyendo los niveles y costos de inventarios y, alcanzar altos niveles de rendimiento en las indicadores de los negocios. Para lograr soluciones globales más eficientes, las compañías están integrando y coordinando cada vez más sus procesos de planeación y programación de las operaciones (Cao et al. 2010).

Intuitivamente, se puede pensar que establecer vínculos de colaboración y coordinación entre los actores de una cadena logística, concretados a través de la información compartida, puede ayudar a mejorar los indicadores globales de la cadena. Si bien esto podría ser facilitado por el avance en tecnologías apoyadas en la Internet y en códigos de barras o RFID -identificación por radiofrecuencia-, los altos costos de implementación no siempre lo justifican (Montoya-Torres, 2011). Por otro lado, también ha sido demostrado en la literatura (ver Montoya-Torres, 2011) que compartir información no siempre ayuda a mejorar los indicadores globales de una cadena logística. Por consiguiente, se hace necesario saber tanto qué información compartir y como cuál es el impacto de compartir esa información. En este contexto, el objetivo de este proyecto de investigación es cuantificar el impacto de estrategias de colaboración en una cadena logística conformada por un proveedor y un fabricante a nivel de la programación de la producción.

Esta investigación estudia el contexto dinámico de programación de operaciones en una cadena de suministro diádica siguiendo la metodología desarrollada por Chang y Lee (2003) y, Rodríguez-Verjan y Montoya-Torres (2009) y, estudia el contexto estático trabajado por Sepúlveda y Frein (2008). A diferencia de estos trabajos, en esta investigación se agrega complejidad al problema puesto que se trabajan  $k$  recursos en paralelo y se optimizan varios objetivos al tiempo -Tiempo Total de Flujo y Tardanza Total-.

## **1.1 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA**

El objetivo principal es estudiar el impacto en los indicadores de productividad generado por el intercambio de información bajo diversos ambientes de colaboración en una cadena logística. Esto se hará a través del análisis de varias reglas de programación de la producción con el fin de determinar qué escenario de colaboración y qué regla de secuenciación de los trabajos permite mejorar los indicadores locales y globales de los miembros que conforman la cadena logística bajo estudio.

Entre el conjunto de enfoques de investigación usados en la gerencia de operaciones, la metodología de investigación empleada en este estudio consiste en el desarrollo de un modelo

cuantitativo y analítico, es decir, se desarrolla un modelo cuantitativo para estudiar las relaciones casuales entre las variables de control que varían de acuerdo a un dominio específico y las variables de rendimiento (Bertrand y Fransoo, 2002). Como se señaló en (Meredith et al 1989) los modelos cuantitativos se basan en supuestos que explican -parte de- el comportamiento de los procesos operativos de la vida real o que pueden capturar -parte de- los problemas presentados en la toma de decisiones que enfrentan en la vida real los gerentes de los procesos operativos.

Es importante destacar que las relaciones casuales entre las variables descritas significa que un cambio de valor  $\alpha$  en una variable dará lugar al cambio en la función ( $\alpha$ ) y en otra variable. Cuantitativo quiere decir que en la medida en que las variables dependientes cambian es porque ocurre un cambio específico en la variable independiente. Por consiguiente, los modelos pueden predecir el estado futuro de los procesos modelados en lugar de limitarse a explicar las observaciones formuladas.

Acorde con la terminología introducida por (Meredith et al., 1989) el enfoque de esta investigación es axiomático puesto que la principal razón es obtener soluciones dentro del contexto en que es formulado el modelo y asegurar que dichas soluciones provienen de la estructura del problema. Por lo tanto, la intención de este estudio es generar conocimiento sobre el comportamiento de ciertas variables dependientes -métricas de rendimiento- a través de la modificación de ciertas variables de control -variables independientes-. Como enfoque de investigación de tipo axiomático, el propósito de este estudio es entender los procesos que son modelados y su interés radica en desarrollar políticas, estrategias y acciones para mejorar los resultados disponibles en la literatura para encontrar una solución óptima a un nuevo problema o comparar varias estrategias con un problema específico.

Como herramienta de investigación se usan métodos formales de investigación de operaciones y ciencias de la administración tales como procesos de optimización -programación matemática- y experimentos computacionales. Al igual que el desarrollo de modelos clásicos de investigación de operaciones para estructurar el problema bajo estudio y poder establecer las conclusiones con base en los resultados obtenidos se siguen los pasos tradicionales propuestos por Mitroff et al. (1974): conceptualización del problema, modelamiento del problema, solución del modelo y aplicación computacional. Para validar el modelo propuesto se realizaron experimentos computacionales para un conjunto extenso de datos para inferir el comportamiento del sistema.

### **1.3 PLAN DE LECTURA**

Este documento está organizado de la siguiente manera. El capítulo 2 presenta los conceptos importantes tanto sobre la definición de la cadena logística como sobre la colaboración y cooperación. Este análisis se focaliza en caracterizar los elementos principales para implementar una arquitectura de colaboración eficiente y efectiva en la cadena logística a estudiar.

El capítulo 3 describe en detalle la configuración de cadena logística seleccionada en esta investigación. Como se podrá observar más adelante, el análisis de la programación de operaciones en la configuración diádica seleccionada corresponde a un sistema de tipo flowshop híbrido. Por consiguiente, el capítulo 4 presenta una breve revisión de la literatura sobre este aspecto, las reglas

de despacho a estudiar y el diseño experimental de los escenarios de colaboración considerados en este estudio. En el capítulo 5 se analizan los resultados obtenidos y el capítulo 6 presenta las conclusiones y algunas perspectivas del trabajo.

## 2. COLABORACIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Este capítulo presenta el marco teórico sobre la estrategia de colaboración en la cadena de suministro. Esto incluye los siguientes aspectos: concepto de cadena de suministro, teoría de la colaboración en la cadena de suministro, concepto de cadena de suministro colaborativa, elementos del modelo de colaboración de la cadena de suministro a estudiar, ejemplos de la industria donde se ha aplicado la estrategia de colaboración y, la dinámica de las cadenas de suministro colaborativas. Este capítulo concluye con la selección de la configuración de cadena de suministro a estudiar, características y, herramientas de solución del problema.

### 2.1 CONCEPTO DE CADENA DE SUMINISTRO

En la literatura existen numerosos estudios que han definido el término *Supply Chain* y *Supply Chain Management* (Chang y Lee, 2003; Montoya-Torres et al., 2007). Estas definiciones han sido asociadas con actividades logísticas, planeación y control de materiales y, el flujo de información dentro o fuera de las compañías inmersas dentro de la cadena de suministro (Croom et. al., 2000). Con el ánimo de esclarecer el enfoque de este estudio respecto a las cadenas de suministro, a continuación se citan algunas definiciones encontradas en la literatura relacionadas con este término:

- El *Supply Chain Council* establece que el término “*Supply Chain*” abarca esfuerzos direccionados a producir y entregar un producto terminado desde el proveedor del proveedor hasta el consumidor del consumidor<sup>1</sup>.
- *Supply Chain Management* es la integración de todos los procesos de negocio desde el usuario final hasta el proveedor original y que provee productos, servicios e información que añaden valor para el consumidor<sup>2</sup>.
- Companys (2005) la define como una red de organizaciones interrelacionadas que intervienen en diferentes fases del proceso productivo a través de actividades que añaden valor desde el punto de vista del cliente, bien o servicio.
- Gómez (2005) la considera como una red de empresas integradas por relaciones verticales y horizontales. Las relaciones verticales son aquellas que unen empresas en un mismo eslabón de la cadena y el nivel horizontal corresponde al grado de proximidad con el cliente final.
- Fiala (2005) y Stadtler (2005) la entienden como un sistema confirmado por proveedores, manufactureros, distribuidores, vendedores al por menor y, clientes finales, donde el flujo financiero, material e información y demás participantes se conectan en ambos sentidos de forma que se satisfaga la demanda de los clientes y se incremente la competitividad de las compañías inmersas en ella.

---

<sup>1</sup> “Supply Chain encompasses every effort involved in producing and delivering a final product from the supplier’s supplier to the customer’s customer”, citado en Paulraj (2002).

<sup>2</sup> “Supply chain management is the integration of business processes from end-user through original suppliers

<sup>2</sup> “Supply chain management is the integration of business processes from end-user through original suppliers that provides products, services and information that add value for customers”, Lambert et al. (1998).

- Naso et al. (2007) la declaran como una red dinámica de centros de producción parcialmente independientes de acuerdos a colaborar para lograr objetivos individuales y colectivos.

Se percibe que el concepto de cadena de suministro está compuesto por diferentes elementos que con el tiempo se va estructurando su definición de forma que abarque las actividades logísticas y los efectos positivos que una adecuada gestión causa en cada una de las compañías que la integran. En síntesis, este concepto abarca actividades relacionadas con el flujo de información y transformación de bienes desde la consecución y transformación de la materia prima hasta el producto terminado, siendo éste enviado a mayoristas y minoristas para su entrega final al cliente satisfaciendo sus necesidades. Inclusive, últimamente, este concepto integra el término colaboración para el logro de objetivos individuales y colectivos entre miembros de la cadena.

## **2.2 COLABORACIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO**

En la literatura existen trabajos que describen los efectos causados luego de implementar la estrategia de colaboración en los miembros que conforman la cadena de suministro (Narus y Anderson, 1996; Hogarth, 1999; Lambert et al., 1999; Phillips et al., 2000; Barrat y Oliveira, 2001; Chopra y Meindl, 2001; Lothair, 2001; Norbridge, 2001; Simatupang y Sridharan, 2001; Sahay, 2003; Attaran y Attaran, 2007; Cannella y Ciancimino, 2010). De igual forma, estos estudios proveen una variedad de definiciones asociadas al término de “colaboración” en la cadena de suministro detallando aquellos factores que coadyuvan a que se generen prácticas efectivas de colaboración entre los miembros e impactar significativamente en el rendimiento de la cadena. A continuación se evidencia cronológicamente algunas definiciones empleadas por varios investigadores:

- Narus y Anderson (1996) definen colaboración para describir la cooperación entre compañías independientes pero relacionadas entre sí, las cuales comparten sus capacidades y requerimientos más importantes que provienen de los clientes.
- Hogarth (1999) y Phillips et al. (2000) la definen como un tipo de relación inter-organizacional en la cual participan miembros que están de acuerdo en invertir en recursos, alcanzar metas comunes, compartir información y responsabilidades y, tomar decisiones y resolver los problemas a través de sinergias.
- Barrat y Oliveira (2001) especifican que la colaboración se basa en la confianza mutua, apertura de nuevos mercados, riesgos y beneficios compartidos que den una mayor ventaja competitiva de lo que sería trabajar sin la colaboración.
- Seifert (2003) determina que colaborar implica lograr un objetivo común a través de esfuerzos compartidos transformando las soluciones óptimas de los distintos eslabones de la cadena de suministro en una solución integral.
- Cannella y Ciancimino (2010) establecen que la colaboración consiste en la transformación de soluciones sub-óptimas individuales hacia una solución integral compartiendo información de la demanda e información operacional.

Dada la variedad de definiciones se evidencia que este concepto ha tenido un proceso evolutivo en su estructura y filosofía con el paso de los años. Para dejar claro cuál es el alcance de la

colaboración Bäckstrand (2007) en su investigación asocia los diferentes sinónimos usados en la literatura con relación a este término (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Términos comúnmente usados en la literatura en relación al concepto de colaboración en la cadena de suministro

Terminología	Sinónimos
Colaboración	Asociación, relación, relaciones de alianza, cooperación
Cooperación	Colaboración, apoyo, ayuda, ayuda mutua
Interacción	Contacto, interfaz, relación, comunicación
Integración	Incorporación, asimilación
Alianza	Asociación, pacto, tratado, coalición, unión, agrupación
Asociación	Empresas conjuntas
Relación	Asociación, conexión, afiliación, enlace

Fuente: Adaptado de Bäckstrand (2007)

El propósito de colaborar significa alcanzar metas y objetivos comunes para crear más ventaja competitiva y más rendimientos que si los miembros de la cadena estuvieran trabajando solos (Malone y Crowston 1994, Simatupang y Sridharan 2005).

Según Kaipia (2007), existen mecanismos diseñados para lograr una adecuada implementación de la estrategia de colaboración a lo largo de la cadena de suministro. Estos mecanismos buscan una interacción efectiva entre personas, procesos y entidades que trabajan en conjunto para alcanzar metas y objetivos comunes. Un mecanismo de colaboración consiste en: (i) los miembros deben definir quién obtiene la información, (ii) el tipo de información que se necesita, (iii) de dónde se obtiene la información -proveedor, fabricante, distribuidor, detallista, cliente final- y (iv) cómo será procesada la información de tal manera que sirva para coordinar y sincronizar los procesos de cada compañía.

Según Anand y Mendelson (1997), la capacidad de colaboración entre los miembros de la cadena se ve afectada por dos factores principales: (i) intercambio de información y (ii) la trascendencia de las decisiones que tomen los miembros a lo largo de la cadena. No cabe duda que colaborar implica cierto grado de cooperación, asociación y conformación de alianzas estratégicas entre los miembros de la cadena. En consecuencia, adoptar la estrategia de colaboración a lo largo de la cadena también hace que los fabricantes establezcan cercanas y largas relaciones con sus proveedores y clientes, quienes dependen de otros negocios donde se comparte libremente información, trabajan juntos tratando de resolver un problema en común, diseñan e innovan conjuntamente nuevos productos y hacen que sus procesos se vuelvan inter-dependientes para causar un efecto positivo en el rendimiento de la cadena logística (Spekman et al. 1998).

Según Soosay et al. (2008) existen varios tipos de colaboración:

- Alianzas estratégicas: Relaciones entre empresas a largo plazo en el que dos o más miembros comparten recursos, conocimientos y capacidades con el objetivo de mejorar su posición competitiva.
- Empresas conjuntas: Las compañías buscan a menudo nuevos mercados y proporcionan en conjunto bienes y/o servicios, estrategias de marketing y capacidad financiera.

- Acuerdos de cooperación: Organizaciones buscan acuerdos de cooperación en un entorno competitivo con otras organizaciones en respuesta al cambio repentino de la tecnología para ampliar sus capacidades de abastecimiento y consolidar las estrategias de organización.
- Integración virtual: Esfuerzo de colaboración temporal bien acoplado entre entidades independientes -proveedores, clientes, competidores- que están unidos por la tecnología de las telecomunicaciones. Una de las herramientas que puede dar soporte a la sincronización y colaboración que deben lograr los miembros de la cadena de suministro es el internet (Attaran y Attaran, 2007).
- Integración vertical, horizontal y lateral: Simatupang y Sridharan (2002) y Barrat (2004) propusieron una integración vertical y horizontal como estrategia de colaboración en una cadena de suministro. La integración lateral combina los beneficios y capacidades de intercambio tanto de la integración vertical y horizontal.

Más y más compañías inmersas en la cadena de suministro están colaborando, ya sea para aumentar la dinámica global de sus negocios, por la diversidad de los mercados, ser más competitivos en cuanto a precios y/o la innovación de productos (Thomas y Griffin, 1996; Erenguc et al., 1999; Kolisch, 2000; Shapiro, 2001; Chen, 2004; Schneeweiss y Zimmer, 2004; Chen y Vairaktarakis, 2005; Chen y Pundoor, 2006; Kaczmarczyk et al., 2006; Chen y Hall, 2007; Arshinder et al., 2008; Soosay et al., 2008; Van der Vaart y Van Donk, 2008).

## **2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA ARQUITECTURA COLABORATIVA EN UNA CADENA DE SUMINISTRO**

### **2.3.1 Cadena de suministro colaborativa**

En la literatura se encuentran varios estudios que describen el concepto de cadena de suministro colaborativa. Producto de esta revisión, a continuación se citan algunas definiciones consideradas importantes para determinar la filosofía de una cadena de suministro colaborativa:

- Bowersox et al. (2003) establecen que una cadena de suministro colaborativa sugiere que dos o más de sus miembros se comprometen a mantener y alinear sus procesos con los objetivos estratégicos usando su núcleo de competencias para encarar nuevos desafíos.
- Spekman et al. (1998), Simatupang y Sridharan (2005) y Sheu et al. (2006) entienden por cadena de suministro colaborativa si dos o más compañías autónomas establecen relaciones a largo plazo, trabajan muy de cerca y, establecen metas comunes para planear y ejecutar operaciones dentro de la cadena consiguiendo más beneficios de los que puedan conseguir si actuaran independientemente.
- Ellram y Hendrick (1995), Lambert et al. (1999), Mentzer et al. (2000), Stank et al. (2001), Golicic et al. (2003), Manthou et al. (2004), Sheu et al. (2006) y, Simatupang y Sridharan (2008) determinan que una cadena de suministro colaborativa implica establecer relaciones a largo plazo entre compañías inmersa en la cadena, establecer metas comunes, trabajar muy de cerca para alcanzar beneficios mutuos que son más grandes que si las empresas trabajaran independientemente.

- Angeles y Nath (2001), Green y Inman (2005), Holweg et al. (2005), Sepúlveda y Frein (2008) y Liu (2009) están de acuerdo en que los esfuerzos colaborativos en la cadena de suministro incluye la coordinación de las decisiones, coordinación de prácticas *Just-In-Time*, desarrollo e innovación de productos, intercambio de información relacionada con pronósticos de demanda y entregas programadas, estrategias y objetivos.

Si se integran los miembros de la cadena, se obtendrán soluciones integrales que eventualmente disminuyen los costos, niveles de inventarios y tiempos de respuesta y, aumentan el servicio al cliente, la calidad del producto e ingresos (Bowersox, 1990; Buzzell y Ortmeier, 1995; Corbett et al., 1999; Li et al., 2006; Birendra et al., 2007). Simatupang y Sridharan (2008) ratifica el anterior postulado al concluir que la aplicación de la estrategia de colaboración en la cadena de suministro ha cambiado el paradigma tradicional de negociación de las compañías en cuanto a conseguir materiales a un precio más bajo e incrementar sus márgenes de ganancias.

El objetivo de la colaboración es la eliminación de ineficiencias, por ejemplo, el efecto látigo - *Bullwhip Effect*- se produce por la falta de coordinación en la cadena de suministro (Lee et al., 1997a; Holweg et al., 2005; Danese, 2006). Para alcanzar objetivos estratégicos en conjunto se deben formular e implementar estrategias claras y efectivas teniendo en cuenta elementos claves para crear y mantener la colaboración (Simatupang y Sridharan, 2008).

### **2.3.2 Estado de la aplicación de la estrategia de colaboración en la cadena de suministro: brecha entre la teoría y la práctica**

A pesar de conocerse los beneficios que trae consigo implementar la estrategia de colaboración y el potencial impacto positivo causado en las medidas globales de desempeño de los miembros de la cadena, la estrategia de colaboración en la realidad ha sido difícil de implementar. No todos los miembros adoptan la estrategia de colaboración y en consecuencia no comparten sus recursos e información para identificar y satisfacer las necesidades de sus clientes haciendo que el desempeño global alcanzado no sea el óptimo (Narus y Anderson, 1996; Spekman et al., 1998; Holweg et al., 2005; Green y Inman, 2005; Sheu et al., 2006; Simatupang y Sridharan, 2008).

Varios son los factores que han creado barreras al momento de implementar la estrategia de colaboración en la cadena. Por ejemplo, la falta de tecnología, confianza, claridad en su aplicación y decidir con quién colaborar, la falta de entendimiento de los principios o elementos de colaboración, diferencias entre las metas y objetivos, sistemas inadecuados de información y resistencia al cambio por parte de los miembros que la conforman (Ireland y Bruce, 2000; Barrat y Oliveira, 2001; Mentzer et al., 2001; Barrat, 2002; Fawcett y Magnan, 2002; Sabath y Fontanella, 2002; McCarthy y Golocic, 2002; Moberg et al., 2003).

Simchi-Levi (2000) y Shapiro (2001) establecen que el intercambio de información también hace parte de las barreras que se presentan al momento de implementar la estrategia de colaboración en la cadena. El primer problema es la abundancia de información que se intercambia lo cual afecta el proceso de toma de decisiones. El segundo problema es la confusión sobre cómo usar exactamente cada tipo de información intercambiada entre los miembros de la cadena. El problema se ha agudizado en los últimos años debido al avance tecnológico de la información el cual ofrece un

mayor acceso a los datos e incrementándose la cantidad de datos disponibles lo cual afecta el proceso de toma de decisiones.

Entre los miembros que conforman la cadena logística existe confusión en cómo integrar interna y externamente las operaciones con vendedores y clientes y, cómo las compañías obtienen beneficios de la información disponible para alcanzar cierto grado de colaboración entre ellos (Stadtler, 2005). Por ejemplo, existe el caso del intercambio electrónico de datos (*Electronic Data Interchange, EDI*): algunas compañías están satisfechas con el mejoramiento en la calidad de la información, mientras que otras no (Gavirneni et al., 1999).

Por otra parte, Sahay (2003) realizó una investigación en varias industrias de la India: química, automovilística, servicios de ingeniería y bienes de consumo duradero. Los resultados demostraron que el nivel de participación del cliente y proveedor con el fabricante difiere en cada uno de los sectores objeto de estudio. Además se evidenció que los clientes tienen un nivel de participación alto cuando se trata de compartir información para bajar la incertidumbre de demanda y desarrollar nuevos productos. Los proveedores tienen un nivel de participación alto cuando se trata de compartir información para mejorar la logística del transporte y la administración de los niveles de inventario. La investigación además revela que cerca del 50 % de las compañías encuestadas generan poca colaboración en su cadena de suministro en aspectos como administración de la demanda e inventarios y, desarrollo de nuevos productos.

A pesar de estos inconvenientes, existen iniciativas para fomentar la colaboración entre los miembros de la cadena logística tales como colaboración, planeación, pronóstico y reaprovisionamiento -CPFR; *Collaboration, Planning, Forecasting and Replenishment*-. CPFR ofrece pautas de múltiples etapas sobre cómo implementar prácticas de colaboración en la cadena de suministro (Barrat y Oliveira, 2001). Más adelante se exponen casos exitosos de compañías que han implementado la estrategia de colaboración.

### **2.3.3 Elementos para establecer una arquitectura de colaboración en una cadena de suministro**

Respondiendo a la necesidad de diseñar mecanismos que brinden un mayor soporte al momento de implementar la estrategia de colaboración, en esta sección se establece una arquitectura de colaboración conformada por varios elementos para que los miembros de la cadena armonicen, coordinen y sincronicen los procesos de toma de decisiones; establezcan metas, indicadores y objetivos comunes de tal manera que se conviertan en foco de buenas prácticas de colaboración y puedan integrarse para mejorar el rendimiento global de la cadena.

Barrat (2004) desarrolló una arquitectura de colaboración la cual está compuesta por cuatro elementos: (i) cultura colaborativa, (ii) confianza interna y externa, (iii) mutualidad y (iv) comunicación y su comprensión. Posterior a este estudio, Simatupang y Sridharan (2005, 2008) desarrollaron y fortalecieron la arquitectura de colaboración para el entendimiento del fenómeno de interacción entre los diferentes miembros de una cadena de suministro e interorganizacional, estableciendo los siguientes elementos: (i) rendimiento del sistema de colaboración, (ii) intercambio de información, (iii) sincronización de las decisiones, (iv) alineación de incentivos y (v) innovación en los procesos de la cadena de suministro.

Sepúlveda y Frein (2008) establecieron una arquitectura de colaboración basada en elementos que le permiten a los miembros de la cadena obtener ventajas competitivas e incrementar sus beneficios: (i) perímetro de la toma de decisiones, (ii) intercambio de información de la demanda y de la toma de decisiones.

Cao et al. (2010) extrajeron de la literatura conceptos claves como sistemas de información, cadena de suministro, operaciones, marketing y la estrategia, utilizándolos como base para diseñar la arquitectura de colaboración. Los siete elementos son: (i) intercambio de información, (ii) metas congruentes, (iii) sincronización de las decisiones, (iv) alineación de incentivos, (v) intercambio de recursos, (vi) comunicación colaborativa y (vii) creación común del conocimiento.

Los resultados de la revisión literaria evidencian que los modelos de colaboración que se han diseñado están compuestas por seis elementos claves de manera que (Ortiz-Vargas y Montoya-Torres, 2011) proponen una arquitectura de colaboración basados en aquellos elementos esenciales que caracterizan la cadena logística a estudiar en esta investigación. A continuación se presenta el modelo de colaboración (ver Figura 1):

**Figura 1.** Arquitectura de colaboración de la cadena de suministro



- **Intercambio de información**

En la literatura existen varios estudios que esclarecen las ventajas y desventajas de compartir información entre los miembros de la cadena de suministro. Sin embargo, las cadenas de suministro innovadoras están examinando el valor de intercambiar información. Los beneficios se presentan en función de la reducción de los costos, niveles de inventarios y transacciones y, mejoran el nivel de servicio ofrecido al cliente (Li et al., 2006).

El intercambio de información es la medida en que un miembro de la cadena de suministro comparte una variedad de ideas, procedimientos y planes relevantes, exactos, completos y confidenciales, con otros socios de la cadena (Angeles y Nath, 2001; Elofson y Robinson, 2007). El intercambio de información les permite a los miembros capturar, almacenar y proveerse de información necesaria para asegurar la toma efectiva de decisiones

considerando la relevancia, exactitud, transparencia, oportunidad y fiabilidad de la información (Simatupang y Sridharan, 2002; Simatupang et al. 2002).

El intercambio de información es catalogado como un punto neurálgico (Chopra y Meindl, 2007), un ingrediente esencial (Min et al., 2005) y como un requisito clave (Sheu et al., 2006) en una cadena de suministro colaborativa. Cualitativamente se listan cuatro beneficios de compartir información en una cadena logística: (i) establecer un contrato claro, (ii) responder rápidamente a las variaciones del mercado, (iii) facilitar la coordinación entre los miembros de la cadena y, (iv) reducir los comportamientos oportunistas.

La transparencia de la información compartida es el medio efectivo para reducir la incertidumbre, causante del problema de la distorsión de la información en una cadena de suministro, más conocido como el efecto látigo (Angeles y Nath, 2001).

Se asume que la información que se comparte entre los miembros de una cadena de suministro es veraz, a menos que cada miembro verifique la autenticidad de la información que comparta otro miembro ya sea fabricante y/o vendedor, y se determine que la información divulgada es parcial o totalmente falsa para el beneficio propio del miembro que la divulgó. Esta distorsión en la información puede reducir el nivel o puede parar en definitivo el intercambio de información entre los miembros de la cadena aumentando significativamente el efecto látigo dentro de la cadena de suministro (Mishra et al., 2007). La asimetría de la información es una de las fuentes más poderosas del efecto látigo (Fiala, 2005).

### **Efecto látigo (*Bullwhip Effect*)**

Se denomina efecto látigo al aumento de la variabilidad de la demanda en cada una de los miembros de la cadena de suministro (Lee et al., 1997a, 1997b; Chen et al., 2000a, 2000b; Holweg et al., 2005; Danese, 2006). Ellos identificaron cinco causas para generar el efecto látigo dentro de la cadena: el uso de la previsión de la demanda, la escasez de la oferta, los plazos de entrega, pedidos por lotes y, las variaciones de los precios.

Chopra y Meindl (2007) determinaron que el efecto látigo incrementa los costos de: manufactura, inventario, tiempos de reaprovisionamiento, transporte y, recibir y enviar mercancías. Así mismo afecta el nivel de disponibilidad del producto y más desabastecimiento a lo largo de la cadena y, las relaciones entre compañías inmersas en la cadena de suministro.

El efecto látigo amplifica la desalineación de la oferta y la demanda donde las órdenes de los miembros de la cadena de suministro aguas arriba (proveedor, por ejemplo) tienden a exagerar los verdaderos patrones de demanda del cliente final. Es por ende que se debe compartir información precisa y oportuna sobre la demanda del cliente final entre los miembros de la cadena de suministro (Lee et al., 1997a; Min, 2000).

A nivel del tipo de información compartida, Li et al. (2006) desarrollaron una clasificación sistemática de las estrategias de intercambio de información basadas en el nivel transaccional, operacional y estratégico: (i) a nivel transaccional la información a compartir se refiere a

cantidades de pedido, precios, ventas, fichas de productos, calidad y especificaciones de entrega, etc., (ii) a nivel operacional la información a compartir se refiere a niveles de inventario, costos y horarios, las capacidades de producción y transporte, tiempos de entrega y envíos, etc., y (iii) a nivel estratégico la información a compartir se refiere a los puntos de información-venta, la demanda en tiempo real, la comprensión de las tendencias del mercado, aspectos que más valoran los clientes, los diseños de productos, entre otros.

- **Sincronización de las decisiones**

Busca principalmente la coordinación de la planeación y ejecución de las operaciones entre los miembros de la cadena logística para optimizar sus beneficios (Simatupang et al., 2002; 2005). La planificación ayuda a las compañías a determinar de mejor manera el uso de sus recursos para lograr objetivos comunes. Existen varias formas de planear las decisiones en la cadena de suministro tales como: Planeación de la estrategia de operaciones, administración de la demanda, planeación y programación de la producción, contratación y, distribución. La planeación conjunta es usualmente usada para alinear a los miembros y coordinar las decisiones en cuanto a reabastecimiento, inventarios, colocación y entrega de las ordenes (Cao et al., 2010).

- **Alineación de incentivos**

Se refiere al proceso de compartir costos, riesgos y beneficios a través de los miembros de la cadena de suministro (Simatupang y Sridharan 2002; 2005). Las asociaciones exitosas requieren que los participantes compartan las ganancias y las pérdidas de manera equitativa por lo que los resultados de la colaboración son cuantitativamente beneficiosos para todos (Manthou et al., 2004). Se necesita de un mecanismo para alinear los incentivos y compartir equitativamente las ganancias las cuales son proporcionales a la inversión, riesgo, esfuerzo, experiencia, etc. (Lee y Whang, 2001). Un plan de incentivos eficaz significa que los miembros de la cadena alinean sus decisiones individuales con el objetivo común de mejorar los beneficios totales (Simatupang y Sridharan, 2008). La alineación de incentivos motiva a los miembros a actuar de manera coherente con los objetivos generales tales como la divulgación de información relevante (Simatupang y Sridharan, 2005).

- **Rendimiento del sistema de colaboración**

Se refiere al proceso de elaboración y aplicación de indicadores, objetivos y resultados que guían a los miembros de la cadena para evaluar y mejorar el rendimiento individual y general. El rendimiento del sistema de colaboración está compuesto por métricas, objetivos, metas específicas con periodos específicos de cumplimiento y, retroalimentación del proceso. Los objetivos colaborativos reflejan los factores de competitividad que pueden ser alcanzados si los miembros de la cadena trabajan con la estrategia de colaboración (Simatupang y Sridharan, 2008).

- **Congruencia de objetivos**

Es la medida en la cual los asociados a la cadena perciben que sus propios objetivos se realizaron mediante la realización de los objetivos globales de la cadena de suministro

(Angeles y Nath, 2001). La congruencia en los objetivos significa que los socios de la cadena de suministro sienten que sus objetivos coinciden plenamente con los de la cadena de suministro y en caso de disparidad creen que sus objetivos se pueden lograr como resultado directo de trabajar en pro de los objetivos de la cadena de suministro (Lejeune y Yakova, 2005). La congruencia implica que la cadena de suministro colaborativa requiere un grado de comprensión mutua y el acuerdo a través de los atributos empresa, valores, creencias y prácticas (Cao et al., 2010).

- **Intercambio de recursos**

Es el proceso de aprovechar las capacidades, los activos y la inversión con los socios de la cadena de suministro (Cao et al., 2010). Los recursos que se comparten entre los socios de la cadena de suministro incluyen los activos físicos, tales como la fabricación de equipos, instalaciones y tecnología (Harland et al., 2004). Una colaboración sostenible requiere de inversiones mutuas y sustanciales de recursos (Cao et al., 2010). Las inversiones financieras y no financieras incluyendo tiempo, dinero, capacitación, actualizaciones tecnológicas, y otros recursos necesarios deben ser recíprocas para mantener una colaboración eficaz (Lambert et al., 1999).

En virtud de lo anterior, estos elementos son claves para diseñar un modelo de colaboración entre los miembros de la cadena de suministro. Sin embargo, otros autores establecen que elementos como: comunicación colaborativa, creación conjunta del conocimiento e innovación en los procesos, también son elementos importantes para generar, mantener y fortalecer el modelo de colaboración a lo largo de la cadena de suministro (Croxtton et al., 2001; Malhotra et al., 2005; Goffin et al., 2006; Simatupang y Sridharan, 2008).

## **2.4 PRÁCTICAS COLABORATIVAS EN LA CADENA DE SUMINISTRO**

Las prácticas colaborativas que a continuación se exponen han alcanzado los resultados esperados gracias a los mecanismos que ofrece la CPFR -*Collaboration, Planning, Forecasting and Replenishment*- (Ortiz-Vargas y Montoya-Torres, 2011). CPFR es un conjunto de procesos de negocio que ayudan a eliminar la incertidumbre de la oferta y demanda mejorando la comunicación y/o colaboración entre los socios de la cadena de suministro (Attaran y Attaran, 2007). Acorde con la *Voluntary Interindustry Commerce Solutions*<sup>3</sup> -VICS-, la estrategia CPFR proporciona una estructura de colaboración en cuatro etapas: planeación, pronóstico de la demanda y la oferta, ejecución y análisis (VICS 2004).

Varias industrias están aplicando prácticas colaborativas en su cadena logística gracias a los mecanismos que brinda la CPFR. Por ejemplo, *Wal-Mart* intercambia información con sus proveedores para mejorar la coordinación en su cadena de suministro y tiene una iniciativa conjunta con *Procter and Gamble (P&G)* en la que pronostica las ventas de (*P&G*) en las tiendas *Wal-Mart*

---

<sup>3</sup> VICS, the Voluntary Interindustry Commerce Solutions Association, has worked to improve the efficiency and effectiveness of the entire supply chain. VICS pioneered the implementation of a cross-industry standard, Quick Response (QR) that simplified the flow of product and information in the retail industry for retailers and suppliers alike.

y luego planifican conjuntamente las estrategias de reposición. Esta estrategia de colaboración asegura que no hay diferencia entre lo que *Wall-Mart* planea vender y lo que (*P&G*) planea producir (Chopra y Meindl, 2001).

*Heineken* (USA) a finales de 1995 decidió implementar un sistema de gestión de la cadena de suministro para reducir el tiempo de entrega con sus distribuidores, que normalmente estaba de 10 a 12 semanas, a un tiempo de entrega de cuatro a seis semanas. *Heineken* aplicó la estrategia de colaboración conectando clientes, vendedores y proveedores a su red logística. Con esta aplicación *Heineken* puede hacer pronósticos de pedidos y reposición en tiempo real con sus distribuidores. A través de la estrategia CPFR los distribuidores pueden acceder y consultar sus pronósticos de ventas y, modificar y presentar sus pedidos en línea. El sistema ha ayudado a *Heineken* a reducir los tiempos de ciclo de tres meses a cuatro semanas. Entre otros beneficios logrados está la reducción de costos de adquisición, menor nivel de inventario y productos que cumplen con los requerimientos de los consumidores (Lothair, 2001).

*Dell Computer* vende computadoras directamente a los clientes y trabaja bajo un sistema de producción *make-to-order*, es decir, comienza el montaje después de haber recibido un pedido por parte del cliente. Una de las herramientas que da soporte a la colaboración y sincronización para asegurar los estándares de calidad de sus productos, requerimientos y lograr la satisfacción de sus clientes, es el internet. *Dell* gestiona efectivamente su capacidad logística a nivel mundial y evita fluctuaciones innecesarias compartiendo información con sus proveedores referentes a la demanda y niveles reales de inventario de los componentes (Simatupang y Sridharan, 2001; Lothair, 2001).

*Colgate-Palmolive* en 1995 inició la búsqueda para mejorar sus operaciones a través de la planificación colaborativa con sus filiales aguas abajo. Con la plataforma “*mySAP Supply Chain Management*” la compañía proporcionó un acceso instantáneo y en tiempo real de la información con sus proveedores. Dicha información contenía previsiones de la demanda, planes de producción e indicadores claves tales como los niveles de inventario y las tasas de cumplimiento. Esto contribuyó a importantes ganancias en eficiencia a lo largo de su cadena de suministro (Norbridge, 2001).

Otras experiencias colaborativas se encuentran en la literatura como el caso de los constructores de automóviles quienes emplean estrategias de producción sincrónica con sus proveedores para mejorar los indicadores de recepción de componentes y control de sus inventarios (Benyoucef, 2001). Los restaurantes *McDonald's* comparten información con sus proveedores para asegurar los estándares de calidad de sus productos y satisfacción de sus clientes (Montoya-Torres y Rodríguez-Verjan, 2009). *Benetton* recibe de manera electrónica información sobre las órdenes de compra y de las ventas provenientes de cientos de agentes localizados en todo el mundo (Simatupang y Sridharan, 2001).

## 2.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

En este capítulo se abordó el concepto de cadena de suministro, colaboración y tipos de colaboración y, cadena de suministro colaborativa para determinar el enfoque de la investigación.

No cabe duda que el concepto de cadena de suministro ha evolucionado a medida que pasan los años, inclusive se ha considerado el término “colaboración” y descrito sus efectos en la cadena de suministro. Naso et al. (2007) en su definición considera la “colaboración” como estrategia para el logro de objetivos individuales y colectivos entre miembros de la cadena.

Se estableció una arquitectura de colaboración compuesta por varios elementos que ayudan a generar, mantener y mejorar la colaboración entre los miembros de la cadena de suministro, por ejemplo, intercambio de información, sincronización de las decisiones, alineación de incentivos, rendimiento del sistema de colaboración, congruencia de objetivos, intercambio de recursos, comunicación colaborativa, creación común del conocimiento e innovación en los procesos de la cadena de suministro. Para crear colaboración, los miembros de la cadena deben tener en cuenta estos elementos permitiéndole a la cadena estar coordinada en cuanto a las decisiones que se tomen y alcance de los objetivos globales e individuales.

Uno de los elementos de la arquitectura de colaboración más estudiados por los investigadores es el intercambio de información. Los beneficios se traducen en reducir costos, niveles de inventarios y transacciones y, mejoran el nivel de servicio ofrecido al cliente (Li et al., 2006). La transparencia de la información compartida es el medio efectivo para reducir la incertidumbre, causante del problema de la distorsión de la información en una cadena de suministro, más conocido como el efecto látigo (Angeles y Nath, 2001). La asimetría de la información es una de las fuentes más poderosas del efecto látigo (Fiala, 2005). Por ende, es importante que la información que se comparta entre los miembros de la cadena de suministro sea veraz de tal manera que se reduzcan las consecuencias del efecto látigo.

Finalmente, se presentan experiencias de varias industrias que han implementado la estrategia de colaboración en su cadena de suministro y las barreras que han impedido que sea implementada adecuadamente. Uno de estos factores es la falta de comprensión de lo que implica colaborar en la cadena de suministro, con quién colaborar, qué tipo de alianza establecer o qué tipo de información compartir (Ireland y Bruce, 2000; Sahay, 2003; Barrat, 2004; Simatupang y Sridharan, 2008).

A partir de lo anterior, en el siguiente capítulo se presentará una revisión de la literatura respecto al impacto que genera el intercambio de información de la producción a lo largo de la cadena de suministro. Se clasifica la literatura de las cadenas de suministro de acuerdo a las distintas configuraciones existentes en la literatura, luego se selecciona la configuración de cadena de suministro objeto de estudio y con base en lo anterior, se clasifica la literatura de acuerdo al tipo de información compartida, el impacto que genera el intercambio de la información en los niveles de decisión, las herramientas con las que se han resuelto los problemas estudiados y los miembros de la cadena que han sido analizados por los investigadores.

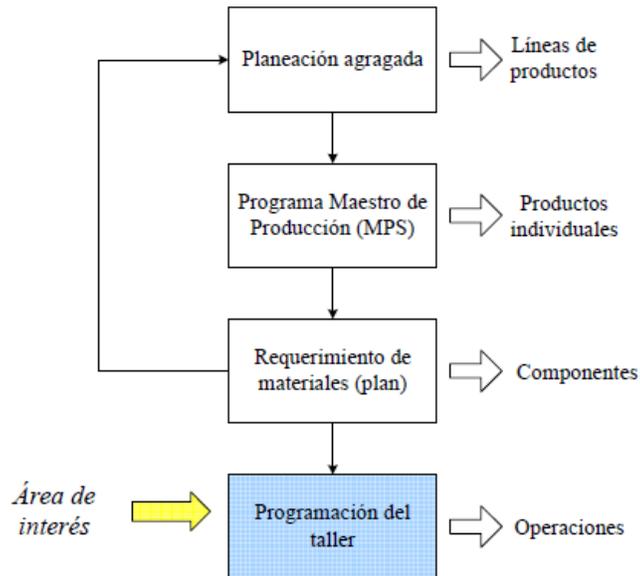
### **3. DINÁMICA DE LAS CADENA DE SUMINISTRO COLABORATIVAS**

Estudios demuestran que compartir información y coordinar las acciones de los miembros de la cadena permiten tomar mejores decisiones en la planeación y programación de la producción, abastecimiento y capacidad, optimizando el desempeño global de la cadena de suministro (Huang et al. 2003). En la cadena de suministro la planeación y programación de operaciones resulta ser una actividad muy compleja y su impacto abarca desde los procesos internos de la empresa hasta toda la cadena. Sus efectos se traducen en brindar productos de alta calidad a precios bajos, disminuir los niveles y costos de inventarios y, alcanzar altos niveles de rendimiento en los indicadores de los negocios. Por consiguiente, para lograr soluciones globales más eficientes las compañías están integrando y coordinando cada vez más sus procesos de planeación y programación a lo largo de la cadena logística (Cao et al. 2010).

A nivel de la planeación de la producción, la evolución del mercado induce a la necesidad de manejar grandes volúmenes de información y manejar la incertidumbre de los datos disponibles - capacidad, demanda, niveles de producción, etc.- (Montoya-Torres, 2002). En efecto, hoy en día las condiciones de competencia en el mercado hacen que incluso la información acerca de un futuro cercano sea poco fiable y prácticamente desconocida para un horizonte más lejano. Si la información no fiable es tomada en cuenta se pueden crear malos funcionamientos a nivel de la planta -no cumplimiento de las fechas de entrega, ruptura de inventario, sub-utilización de la capacidad, etc.- (Montoya-Torres, *ibid*). Así pues y como se evidencia en la Figura 2, la programación de operaciones requiere cierto nivel de gestión operativa coherente con los otros niveles de decisión dentro del sistema productivo.

La información necesaria para una buena toma de decisiones en un instante dado -sobre el sistema y la demanda-, además de ser fiables, deben ser conocidas lo más pronto posible con el fin de programar de la mejor manera posible las operaciones de fabricación y poder despachar el producto al cliente en el tiempo estipulado. Estas decisiones a nivel de la programación de la planta se hacen de forma dinámica (Montoya-Torres et al., 2007). Por estas razones, esta investigación estudia el impacto que genera una adecuada programación de la producción en el rendimiento de la cadena logística a estudiar.

**Figura 2.** Niveles de decisión en producción (Paternina, 2002)



Fuente: Tomado de (Montoya-Torres et al., 2007)

### 3.1 TIPOS DE CONFIGURACIÓN DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO COLABORATIVAS

El estado del arte de la dinámica de las cadenas de suministro colaborativas se presenta como sigue: Inicialmente se mostrarán los resultados producto de la clasificación de la literatura basada en las estructuras de la cadena de suministro. Una vez seleccionada la estructura de interés -diádica-, se mostrarán los resultados de la clasificación de la literatura de acuerdo al tipo de información compartida. Después, se mostrarán los resultados de la clasificación de la literatura de acuerdo al impacto del intercambio de información en los niveles de decisión. Posteriormente, se mostrarán los resultados de la clasificación de la literatura con base en las herramientas de solución de los diversos problemas tratados y, finalmente, se mostrarán los resultados producto de la clasificación de los miembros objeto de estudio. Estas clasificaciones tienen la particularidad de hacerse bajo la configuración diádica de una cadena de suministro.

Lo anterior conduce a estructurar el problema a estudiar teniendo en cuenta el tipo de configuración, la filosofía de trabajo e intercambio de información de los escenarios de colaboración, el tipo de información a intercambiar, quienes serán los miembros objeto de estudio de la cadena diádica y, por último, escoger la herramienta de solución adecuada para la obtención de los resultados para alcanzar el objetivo principal de la presente investigación.

La clasificación que se muestra a continuación es una actualización de la metodología propuesta por Huang et al. (2003) quien realizó una revisión de la literatura en relación el efecto que genera compartir información de la producción en el rendimiento de la cadena logística.

Desde que se conoce que una cadena de suministro es una red compleja conformada por varios miembros ha nacido el interés de estudiarla desde diferentes perspectivas: Serial, divergente, diádica, convergente y red, para hacer más fácil su análisis.

- Serial (*Serial*): Está conformada por un minorista, un distribuidor, un fabricante y un proveedor.
- Divergente (*Divergent*): Un proveedor o manufacturero provee de inventario a varias entidades [distribuidor(es) o minorista(s)].
- Diádica (*Dyadic*): Un comprador y un vendedor.
- Convergente (*Convergent*): Varios materiales y componentes proveídos por los proveedores y son ensamblados por el manufacturero. Esta configuración trabaja con el BOM -*Bill of Material*-.
- Red (*Network*): Combinación de la forma convergente y divergente.

En el estudio realizado por Huang et al. (2003) fueron revisados y analizados 69 artículos. En este proyecto de investigación se adicionan 66 investigaciones que se han trabajado desde el año 2003 hasta nuestros días. Además, se encontraron varios artículos que datan de antes del 2003 y que no fueron considerados por Huang et al. (*ibid*) -ver Tabla 2-.

**Tabla 2.** Clasificación de la literatura basada en las estructuras de la cadena de suministro

	Serial	Divergente	Diádica	Convergente	Red
Agnetis et al. (2001)		X			
Agnetis et al. (2006)		X			
Amaro y Barbosa-Póvoa (2008)				X	
Anderson et al. (2000)	X				
Aviv (2001)			X		
Aviv y Federgruen (1998)		X			
Axsäter (2000)		X			
Banerjee et al. (2001)		X			
Barbarosoglu y Ozgur (1999)					X
Beamon y Chen (2001)		X		X	
Birendra et al. (2007)			X		
Bourland et al. (1996)			X		
Boute et al. (2008)			X		
Cachon (1999a)		X			
Cachon (1999b)		X			
Cachon y Fisher (2000)		X			
Cachon y Lariviere (2001)			X		
Cachon y Zipkin (1999)			X		
Caggiano et al. (2007)					X
Chan y Chan (2009)					X
Chang y Lee (2003)			X		
Chauhan et al. (2007)		X			
Chen (1998)	X				

---

Chen (1999)	X				
Chen y Hall (2007)		X			
Chen y Pundoor (2006)		X			
Chen et al. (2000a)	X				
Chen et al. (2000b)			X		
Chen et al. (2001)		X			
Chen et al. (2008)		X			
Cheng y Kovalyov (2001)		X			
Cheung y Lee (2002)		X			
Chiang y Feng (2007)		X			
Chu y Lee (2006)			X		
Closs et al. (1998)		X			
Cohen (2000)			X		
de Kok (2000)		X			
de Souza et al. (2000)	X				
DeCroix y Mookerjee (1997)			X		
Demirli y Yimer (2008)					X
Disney et al. (1997)	X				
Dobson y Pinker (2000)			X		
Ettl et al. (2000)					X
Fleisch y Powell (2001)	X			X	
Fox et al. (2000)				X	
Fu y Iplani (2004)			X		
Fu et al. (2000)	X				
Ganeshan et al. (2001)		X		X	
Gaonkar y Viswanadham (2001)					X
Gavirneni (2001)		X			
Gavirneni (2002)			X		
Gavirneni (2006)			X		
Gavirneni et al. (1999)			X		
Giard y Mendy (2008)				X	
Gibert y Ballou (1999)	X				
Gjerdrum et al. (2001)		X		X	
Gomez-Gasquet et al. (2010)					X
Gupta et al. (2009)		X			
Hall y Liu (2010)		X			
Hall y Potts (2003)					X
Helo (2000)	X				
Homberger (2010)				X	
Hong-Minh et al. (2000)	X				
Huang y Iravani (2005)		X			
Iida y Zipkin (2010)			X		

---



Sarmah et al. (2007)		X		
Sawik (2009)				X
Selvarajah y Steiner (2006)				X
Selvarajah y Steiner (2009)				
Sepúlveda y Frein (2008)	X		X	
Sharafali y Co (2000)			X	
Sucky (2009)	X			X
Swaminathan et al. (1997)				X
Tan (1999)		X		X
Thonemann (2002)		X		
Towill (1996)	X			
Towill et al. (1992)	X			
Tsung (2000)			X	
Wang y Cheng (2009)	X			
Wang et al. (2005)			X	
Wei y Krajewski (2000)				X
Weng (1999)		X		
Wikner et al. (1991)	X			
Wu y Meixell (1998)				X
Xu et al. (2001)			X	
Yimer y Demirli (2010)				X
Yu et al. (2001)			X	
Zhanq (2006)		X		
Zhao y Xie (2002)		X		
Zhao et al. (2001)		X		
Zhu et al. (2010)			X	
Zimmer (2002)			X	

Huang et al. (2003) sostuvieron que la estructura diádica es la más estudiada porque la descripción de modelo analítico y su simplicidad permiten obtener un análisis matemático más completo que las demás configuraciones. Desde que se descubrió que la configuración diádica se podía extender a la configuración divergente la literatura en esta configuración comenzó a crecer. Existe menos literatura en la configuración convergente y red debido a que no se obtiene el mismo grado de profundidad en el análisis respecto de la configuración diádica. Por su grado de complejidad, la configuración convergente y red son usualmente analizadas a través de la simulación.

Con base en las razones expuestas anteriormente, la configuración de interés para este estudio obedece a la configuración diádica la cual permite estudiar el intercambio de información entre dos miembros de una cadena logística a nivel de programación de la producción.

### **3.2 IMPACTO QUE GENERA EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN EL RENDIMIENTO DE UNA CADENA DE SUMINISTRO DIÁDICA**

Una vez seleccionada la configuración diádica se clasifica la literatura con base en el tipo de información de producción compartida entre los miembros de una cadena diádica. Esta clasificación se enmarca dentro de seis categorías: producto, proceso, inventario, recurso, orden y planeación.

En la Tabla 3 se evidencia que solo se ha desarrollado una investigación en la que se ha compartido información relacionada con la estructura de producto y capacidad. Existe un número considerado de estudios en los que se ha intercambiado información de tres tipos: (i) inventarios, (ii) orden y, (iii) planeación. Respecto a estos dos últimos tipos, el 3 % de los investigadores han estudiado la planeación colaborativa compartiendo la fecha de entrega de los trabajos, el 7 % de los investigadores se ha enfocado en compartir la secuencia en que se deben programar los trabajos y, el 2 % de los investigadores se ha interesado en compartir información relacionada con la capacidad de los recursos.

De acuerdo con lo anterior, la cadena diádica será estudiada bajo distintos escenarios de colaboración en los que se comparta porcentualmente información relacionada con la fecha de llegada, los tiempos de procesamiento y las fechas de entrega de los trabajos, así como compartir información de capacidad de los recursos. Considerando estos aspectos, se construirá la filosofía de los escenarios de colaboración que de apertura para que bajo un proceso conjunto de toma de decisiones se establezcan objetivos comunes y la secuencia en que deben ser procesados los trabajos para aumentar el rendimiento de la cadena.

A continuación se explican brevemente cada uno de los elementos considerados en el intercambio de información de la producción (ver Tabla 3):

- Información del producto: Describe las características de los productos manufacturados en la cadena logística y sus procesos de producción. Ejemplo de ello es el BOM -*Bill of Material*- lo cual genera un impacto significativo en la estructura de costo y en la planeación de la producción del fabricante. Compartir los componentes del producto permite establecer estrategias que reducen los costos de producción y los tiempos de ciclo del producto (Lee y Sasser, 1995; Brown et al., 2000).
- Información de proceso: Describe las características de los procesos de negocio para generar valor en la cadena y satisfacer la demanda de los clientes. Básicamente son de tres tipos: Ordenar, producir y enviar. Ordenar significa transferir la orden al proveedor y termina cuando el proveedor acepta la orden. Producir significa agregarle valor a los materiales de entrada y transformarlos en producto terminado y, enviar es entregar los productos por parte de proveedor al cliente (Huang et al., 2003).
- Información de inventario: Compartir información sobre los niveles de inventarios permite mejorar la toma de decisiones en cuanto a niveles de inventarios de seguridad (Ng et al., 2001), reaprovisionamiento de la orden (Hong-Minh et al., 2000) y cantidades de envío en una cadena de suministro (Cheung y Lee, 2000; Gavirneni, 2002).
- Información de recurso: Tiene dos aspectos: (i) Capacidad y (ii) variación de la capacidad. La variación de la capacidad es definida como el número de productos o procesos que una unidad de recurso puede soportar. La capacidad está asociada con la habilidad de satisfacer la demanda de los clientes (Gaonkar y Viswanadham, 2001; Kim et al., 2002).

- Información de la orden: Se refiere a la cantidad de pedidos, fechas de entrega, tamaño de lote, tiempos de procesamiento. Esta es una estrategia para reducir el efecto látigo y los costos totales de la cadena de suministro (de Souza et al., 2000; Hong-Minh et al., 2000; Lee et al., 2000).
- Información de planeación: Incluye los pronósticos de demanda y programación de las órdenes de producción (Huang et al., 2003).

**Tabla 3.** Tipo de información compartida en una cadena de suministro de tipo diádica

Producto	Proceso					Inventario		Recurso	Orden			Planeación											
Estructura de producto	Plazo de realización del material	Variación del plazo de ejecución	Plazo de ejecución de la orden	Costo del proceso	Calidad	Envío	Costos de configuración	Nivel de inventario	Costo de mantener	Acumulación de costos	Nivel de servicio	Capacidad	Variación de la capacidad	Demanda	Variación de la demanda	Tamaño de lote	Fecha de entrega	Correlación de la demanda	Pronóstico de demanda	Programación de la orden	Modelo de pronóstico	Horizonte de planeación	
Aviv (2001)								X						X									
Birendra et al. (2007)																				X			
Bourland et al. (1996)														X									
Boute et al. (2008)								X												X			
Cachon y Lariviere (2001)												X								X			
Cachon y Zipkin (1999)						X		X	X											X			
Chang y Lee (2003)						X																X	
Chen et al. (2000b)																		X					
Chu y Lee (2006)																				X			
Cohen (2000)								X						X									
DeCroix y Mookerjee (1997)								X												X			
Dobson y Pinker (2000)		X									X												
Fu y Piplani (2004)								X			X												
Gavirneni (2002)								X						X	X								
Gavirneni (2006)								X						X	X								
Gavirneni et al. (1996)								X						X	X								
Iida y Zipkin (2010)																				X			
Karaesmen et al. (2002)														X									
Kulp et al. (2004)								X						X									
Lau y Lau (2001)														X								X	
Lee et al. (2000)								X						X	X								

---

Leng y Parlar (2009)	X	X			X			
Li et al. (2009)								X
Ming-hui y Cheng-xiu (2005)					X			
Rie y Hiroshi (2005)			X					X
Rodríguez-Verjan y Montoya-Torres (2009)						X	X	
Sahin y Powell (2005)		X	X		X			X
Sahin et al. (2008)					X	X		
Sarmah et al. (2007)					X			
Sepúlveda y Frein (2008)					X			X
Sharafali y Co (2000)					X			
Tsung (2000)		X						
Wang et al. (2005)	X			X		X		
Xu et al. (2001)				X				X
Yu et al. (2001)				X				
Zhu et al. (2010)		X	X			X		X
Zimmer (2002)	X				X			

---

### 3.3 IMPACTO QUE GENERA LA ESTRATEGIA DE COLABORACIÓN EN LOS NIVELES DE DECISIÓN DE UNA CADENA DE SUMINISTRO DIÁDICA

Respecto a la Tabla 4, para muchos investigadores ha nacido el interés de resolver el problema de a nivel operacional en lo concerniente al envío y reaprovisionamiento de la orden. Este último aspecto, la literatura lo direcciona a que una entidad de negocio inmersa dentro de la cadena cumpla con un pedido intercambiando algún tipo de información. El problema del envío se refiere al transbordo de la carga. No se perciben trabajos en los que la adopción de la estrategia de colaboración haya impactado en el nivel estratégico de la cadena logística diádica.

En el nivel táctico se han adelantado varios trabajos en la parte de planeación de la producción y distribución, de los cuales el 16 % de los investigadores se ha enfocado en la planeación y programación de la producción y, solo el 2 % de los investigadores se ha interesado en estudiar el impacto que genera el intercambio de la capacidad de los recursos entre los miembros de la cadena. Como se ha mencionado anteriormente, este estudio se direcciona al nivel táctico de programación de operaciones dada la importancia que esta genera en el rendimiento de la cadena de suministros.

**Tabla 4.** Impacto del intercambio de información en los niveles de decisión de una cadena de suministro diádica

	Estratégico	Táctico	Operativo
	Localización de planta	Stock de seguridad Planeación de la producción/distribución Externalización del servicio Capacidad de recursos Inventarios	Envío Reaprovisionamiento de la orden
Aviv (2001)			X
Birendra et al. (2007)		X	
Bourland et al. (1996)			X
Boute et al. (2008)	X		X
Cachon y Lariviere (2001)			X
Cachon y Zipkin (1999)			X
Chang y Lee (2003)			X
Chen et al. (2000b)			X
Chu y Lee (2006)		X	X
Cohen (2000)			X
DeCroix y Mookerjee (1997)			X
Dobson y Pinker (2000)			X
Fu y Piplani (2004)			X
Gavirneni (2002)			X
Gavirneni (2006)			X
Gavirneni et al. (1996)			X

Iida y Zipkin (2010)				X
Karaesmen et al. (2002)				X
Kulp et al. (2004)	X			X
Lau y Lau (2001)				X
Lee et al. (2000)			X	X
Leng y Parlar (2009)	X		X	
Li et al. (2009)				X
Ming-hui y Cheng-xiu (2005)	X			
Rie y Hiroshi (2005)				X
Rodríguez-Verjan y Montoya-Torres (2009)				X
Sahin y Powell (2005)				X
Sahin et al. (2008)	X			X
Sarmah et al. (2007)				X
Sepúlveda y Frein (2008)				X
Sharafali y Co (2000)				X
Tsung (2000)				X
Wang et al. (2005)				X
Xu et al. (2001)				X
Yu et al. (2001)				X
Zhu et al. (2010)			X	X
Zimmer (2002)				X

### 3.4 HERRAMIENTAS DE SOLUCIÓN EMPLEADAS PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS ESTUDIADOS EN UNA CADENA DE SUMINISTRO DIÁDICA

En la Tabla 5 se evidencia el interés de varios investigadores en definir y resolver el problema bajo el enfoque analítico. Bajo este enfoque las propiedades de la cadena de suministro modelada se derivan de las teorías matemáticas tales como probabilidad, cálculo y modelos matemáticos, los cuales son métodos usados para entender el comportamiento del modelo y los efectos del intercambio de información (Lee et al. 2000). El 3 % de los investigadores dedicados a estudiar la configuración diádica han resuelto y analizado el problema empleando la simulación de eventos discretos y, el 5 % de los investigadores se han interesado por resolverlo por programación entera mixta.

Siendo consecuente con lo anterior, se diseñarán escenarios de colaboración a nivel de programación de la producción en un contexto dinámico de tal manera que se pueda emplear la simulación de eventos discretos para entender el comportamiento del modelo y los efectos de compartir información en el rendimiento de la cadena logística diádica. Así mismo se diseñará un escenario de colaboración a nivel de programación de la producción de naturaleza estática donde se pueda considerar la solución del problema empleando programación entera mixta.

A continuación se explican brevemente cada una de las herramientas de solución utilizadas para resolver los modelos de cadena logística diádica:

- El modelo analítico se basan en teorías matemáticas tales como probabilidad, cálculo y modelos matemáticos. Lo anterior para entender el comportamiento del modelo y los efectos de intercambiar información (Lee et al., 2000).
- Programación entera mixta: Es una técnica muy conocida por la comunidad investigativa en investigación de operaciones (Gaonkar y Viswanadham, 2001).
- Enfoque de simulación: Son programas computacionales que simulan las operaciones de una cadena de suministro (Coyle, 1996; Towill, 1996; Swaminathan et al., 1998).

Una de las herramientas más populares es la dinámica de sistemas la cual fue originada por Forrester (1961) quien estudió el comportamiento dinámico de la industria. La simulación de eventos discretos es otro modelos de simulación más populares (Beamon y Chen, 2001). Los sistemas multi-agentes es una extensión de la inteligencia artificial (Wooldridge, 2002).

**Tabla 5.** Herramientas de solución utilizadas para resolver los modelos de cadena de suministro diádica

	Análítico	Programación entera mixta	Dinámica de sistemas	Modelamiento basado en agentes y simulación	Simulación de eventos discretos
Aviv (2001)	X				
Birendra et al. (2007)			X		
Bourland et al. (1996)	X				
Boute et al. (2008)			X		
Cachon y Lariviere (2001)	X				
Cachon y Zipkin (1999)				X	
Chang y Lee (2003)	X				
Chen et al. (2000b)	X				
Chu y Lee (2006)				X	
Cohen (2000)	X				
DeCroix y Mookerjee (1997)	X				
Dobson y Pinker (2000)	X				
Fu y Piplani (2004)	X				
Gavirneni (2002)	X				
Gavirneni (2006)					X
Gavirneni et al. (1996)	X				
Iida y Zipkin (2010)				X	
Karaesmen et al. (2002)	X				
Kulp et al. (2004)	X				
Lau y Lau (2001)	X				
Lee et al. (2000)	X				
Leng y Parlar (2009)	X				

Li et al. (2009)	X			
Ming-hui y Cheng-xiu (2005)	X			
Rie y Hiroshi (2005)	X			
Rodríguez-Verjan y Montoya-Torres (2009)				X
Sahin y Powell (2005)		X	X	
Sahin et al. (2008)				X
Sarmah et al. (2007)				X
Sepúlveda y Frein (2008)		X		
Sharafali y Co (2000)	X			
Tsung (2000)	X			
Wang et al. (2005)				X
Xu et al. (2001)	X			
Yu et al. (2001)	X			
Zhu et al. (2010)				X
Zimmer (2002)	X			

### 3.5 SOCIOS CONSIDERADOS PARTA ESTUDIAR UNA CADENA DE SUMINISTRO DIÁDICA

En la Tabla 6 se observa que el 30 % de las investigaciones se han enfocado en estudiar el comportamiento de compartir información entre un proveedor-un minorista y, un 35 % con un fabricante-un minorista. La cadena logística conformada por un proveedor-un fabricante se ha estudiado en un 18 %. Conforman un bajo porcentaje aquellos estudios en los que se ha estudiado cadenas logísticas conformadas por: un proveedor-un distribuidor, un almacén-un minorista, un fabricante-un vendedor y un minorista-un vendedor. Una de las razones por la que se decide que esta investigación estudiará el impacto que genera el intercambio de información entre un proveedor y un fabricante es que en la literatura la configuración diádica se evidencia que han sido estudiados en un 18 %. En el siguiente capítulo se exponen otras razones de esta decisión.

Aquellos estudios que han trabajado la configuración diádica han considerado un recurso en ambos eslabones y desde que se descubrió que la configuración diádica se podía extender a la configuración divergente la literatura en esta configuración comenzó a crecer, es decir, una máquina en el primer eslabón y varios recursos en paralelo en el segundo eslabón. A diferencia de estas investigaciones, este estudio considera que ambos eslabones tengan  $k$  recursos en paralelo yendo en la dirección de ampliar la frontera del conocimiento en esta área específica de la gerencia de operaciones.

**Tabla 6.** Socios considerados para estudiar una cadena de suministro diádica

	Proveedor-fabricante	Proveedor-Minorista	Proveedor-Distribuidor	Fabricante-Minorista	Almacén-Minorista	Fabricante-Distribuidor	Fabricante-Vendedor	Minorista-Vendedor
Aviv (2001)		X						
Birendra et al. (2007)				X				
Bourland et al. (1996)					X			
Boute et al. (2008)				X				
Cachon and Lariviere (2001)	X							
Cachon and Zipkin (1999)		X						
Chang and Lee (2003)						X		
Chen et al. (2000b)				X				
Chu and Lee (2006)								X
Cohen (2000)				X				
DeCroix and Mookerjee (1997)		X						
Dobson and Pinker (2000)							X	
Fu and Piplani (2004)			X					
Gavirneni (2002)		X						
Gavirneni (2006)		X						
Gavirneni et al. (1996)		X						
Iida and Zipkin (2010)		X						
Karaesmen et al. (2002)	X							
Kulp et al. (2004)				X				
Lau and Lau (2001)				X				
Lee et al. (2000)				X				
Leng and Parlar (2009)				X				
Li et al. (2009)				X				
Ming-hui and Cheng-xiu (2005)		X						
Rie and Hiroshi (2005)		X						
Rodríguez-Verjan and Montoya-Torres (2009)	X							
Sahin and Powell (2005)							X	
Sahin et al. (2008)							X	
Sarmah et al. (2007)				X				
Sepúlveda and Frein (2008)	X							
Sharafali and Co (2000)		X						
Tsung (2000)	X							
Wang et al. (2005)				X				

Xu et al. (2001)		X
Yu et al. (2001)		X
Zhu et al. (2010)	X	
Zimmer (2002)	X	

Al proporcionar un análisis matemático más completo que las demás configuraciones, la configuración diádica ha despertado el interés de varios investigadores siendo Bourland et al. (1996) los primeros investigadores en trabajar este tipo de configuración compartiendo información de la producción dentro de una cadena de suministro.

A diferencia de las configuraciones diádica como: un fabricante–un minorista y un proveedor–un minorista las cuales que han atraído una atención considerable en varios investigadores, la configuración diádica de tipo: un proveedor–un fabricante también ha despertado el interés de varios de ellos.

Una vez declarados los elementos que caracterizarán la cadena de suministro diádica a estudiar, a continuación se presenta una síntesis de los trabajos que se focalizaron en estudiar el impacto de la planeación y programación colaborativa en el rendimiento de una cadena de suministro diádica. Además, sirven para establecer el marco metodológico de esta investigación.

Chang y Lee (2003) estudiaron una cadena logística diádica para medir el impacto de la estrategias de colaboración en la programación de la producción conformada por un fabricante-un distribuidor para lograr un desempeño ideal del sistema. Consideraron dos escenarios logísticos para cuantificar el impacto a nivel local. El primer escenario, consideraron que el tomador de decisiones fue el fabricante y en el segundo escenario el tomador de decisiones fue el distribuidor. Consideraron el procesamiento de varias órdenes del mismo producto. Cada miembro de la cadena logística tiene una máquina y se minimizó el tiempo de terminación del programa (*makespan*) y el retraso máximo (*Lmax*). Para cada uno de los escenarios se diseñó una regla de despacho que permitiera resolver el problema de programación bajo el contexto dinámico. Concluyeron que, cuando se toma decisiones a nivel local, sin tener en cuenta las consecuencias a todo el sistema, esto puede dar lugar a ineficiencias.

Sepúlveda y Frein (2008) analizaron una cadena logística diádica compuesta por un proveedor-un fabricante. Se enfocaron en estudiar el problema de programación de la producción en un contexto estático y presentar el valor de la coordinación considerando dos escenarios de colaboración con diferentes niveles de demanda. El sistema se caracteriza por procesar órdenes de un único producto. Para el primer escenario de colaboración cada miembro de la cadena tiene una máquina y se busca minimizar el Tiempo de terminación del programa *-makespan-* y la Tardanza Total *-Tardiness-*. Para el segundo escenario de colaboración consideraron una configuración serial presentando características similares al juego de la cerveza *-Beer Game-*. Concluyeron que si los miembros quieren reducir el impacto de información incierta, una coordinación global entre miembros de la cadena logística siempre dará mejores resultados que si las compañías trabajan sin la estrategia de colaboración.

Rodríguez-Verjan y Montoya-Torres (2009) analizaron una cadena logística diádica con un proveedor-un fabricante. Estudiaron el problema de programación de la producción bajo un contexto dinámico y analizaron el impacto de compartir información bajo ciertos niveles de colaboración en los indicadores locales y globales de los miembros de la cadena teniendo en cuenta varias reglas de despacho como: SPT (*Shortest Processing Time*), FIFO (*First In, First Out*) y LPT (*Longest Processing Time*) para el escenario de colaboración nulo y reglas de despacho como MSSPT (*Modified Shifted Shortest Processing Time*) y  $SPT-\alpha$  (*Shortest Processing Time alfa*) para el escenario de colaboración parcial. El sistema procesa varias órdenes de un único producto. Concluyeron que si el primer eslabón toma una mala decisión y define una secuenciación que no mejora los indicadores de desempeño, las consecuencias se verán reflejadas en el nivel global ya que no importa cuán eficaz sea la programación que elija un eslabón pues no se podrán corregir los errores cometidos de manera significativa.

Esta investigación estudia el contexto dinámico de programación de operaciones en una cadena de suministro diádica siguiendo la metodología desarrollada por Chang y Lee (2003) y, Rodríguez-Verjan y Montoya-Torres (2009) y, estudia el contexto estático trabajado por Sepúlveda y Frein (2008). A diferencia de estos trabajos, en esta investigación se agrega complejidad al problema puesto que se trabajan  $k$  recursos en paralelo y se optimizan varios objetivos al tiempo -Tiempo Total de Flujo y Tardanza Total-. Como este estudio se realizará a nivel operativo en la programación de la producción de la cadena de suministro diádica, el sistema a estudiar sigue conceptos de la teoría de programación de operaciones (*Scheduling Theory*) y se caracteriza por ser de tipo flowshop híbrido o flexible.

### 3.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

El desempeño global de la cadena de suministro se puede optimizar intercambiando información y coordinando las acciones de los miembros que la conforman a nivel de planeación y programación de la producción, abastecimiento y capacidad (Huang et al. 2003). La información necesaria para tomar la mejor decisión en un instante dado debe ser fiable y conocida con anterioridad con el fin de establecer la mejor secuencia en que serán procesados los trabajos y poder entregarle al cliente el producto en el tiempo estipulado (Montoya-Torres et al., 2007).

Los efectos de una adecuada planeación y programación en la cadena de suministro permiten brindar productos de alta calidad a precios bajos, disminuir los niveles y costos de inventarios y, alcanzar altos niveles de rendimiento en los indicadores de los negocios. Por consiguiente, para lograr soluciones globales más eficientes las compañías están integrando y coordinando cada vez más sus procesos de planeación y programación a lo largo de la cadena logística (Cao et al. 2010). Estas razones y otras explicadas en este capítulo llevaron a estudiar el impacto que genera el intercambio de la información de la producción a nivel de la programación de la producción como un factor determinante para mejorar el rendimiento de la cadena de suministro.

Para establecer las características del sistema a modelar inicialmente se clasificó la literatura con base en las distintas configuraciones de cadena de suministro estudiadas, luego se seleccionó la configuración de cadena de suministro diádica y para esta configuración seleccionada se clasificó la literatura de acuerdo al tipo de información compartida, el impacto de la información compartida en

los niveles de decisión, las herramientas de solución a los problemas estudiados y los miembros que han sido estudiados bajo esta configuración.

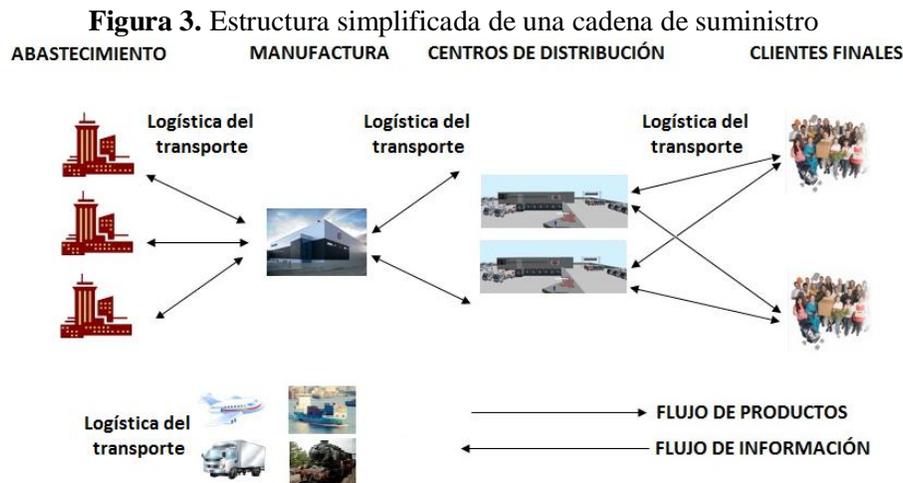
Esta investigación sigue la metodología desarrollada por Chang y Lee (2003) y, Rodríguez-Verjan y Montoya-Torres (2009) y, Sepúlveda y Frein (2008). Dado que este estudio se realizará a nivel operativo en la programación de la producción de la cadena de suministro diádica, el sistema a estudiar sigue conceptos de la teoría de programación de operaciones (*Scheduling Theory*) y se caracteriza por ser de tipo flowshop híbrido o flexible. En el siguiente capítulo se entrará en detalle sobre el modelamiento de la cadena logística diádica bajo estudio.

#### 4. MODELAMIENTO DE LA CADENA LOGÍSTICA DIÁDICA BAJO ESTUDIO

Este capítulo presenta el modelamiento de la cadena de suministro diádica a estudiar. En particular, se presentan cuáles serán los miembros considerados dentro de la cadena de suministro diádica, el modelo conceptual del problema de programación de operaciones, así como un modelo matemático del sistema y las reglas de programación de la producción. El capítulo termina con la presentación del diseño experimental de los escenarios de colaboración considerados.

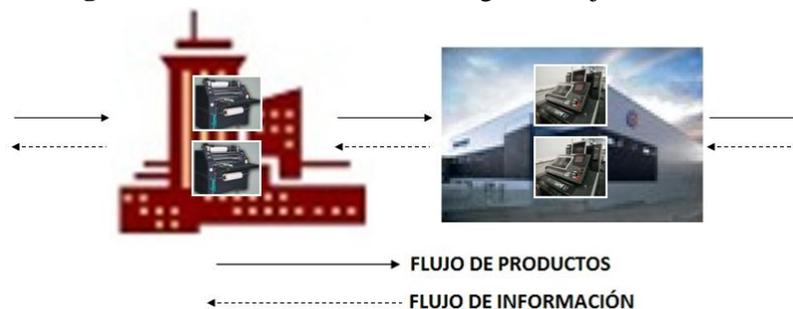
##### 4.1 CADENA LOGÍSTICA DIÁDICA BAJO ESTUDIO

En general, una cadena de suministro está conformada por varios fabricantes, transportadores, almacenes y distribuidores (ver Figura 3). Todos estos miembros están interconectados, tanto a nivel del flujo de productos y/o servicios, como a nivel del flujo financiero e información: las salidas de uno(s) son las entradas de otro(s).



En el capítulo anterior se presentaron los distintos tipos de configuración de cadenas de suministro según han sido caracterizadas en la literatura. A partir de esta clasificación, se decide estudiar la cadena diádica -dos miembros- conformada por un proveedor y un fabricante. Por lo tanto, esta investigación se desarrolla dentro del marco de una cadena logística diádica con un fabricante-un proveedor tal como se muestra en la Figura 4.

**Figura 4.** Estructura de la cadena logística objeto de estudio



La presente investigación se focaliza en el nivel operativo del proceso de toma de decisiones, más precisamente en la programación de la producción. Se ha escogido analizar el impacto de estrategias de colaboración entre dos miembros de una cadena logística debido a:

- Su importancia como factor de eficiencia en costos y tiempos para la entrega oportuna de los productos y servicios de la cadena a sus clientes y su impacto en el rendimiento de la cadena de suministro.
- La importancia del proveedor como miembro proveedor de la materia prima e insumos necesarios para la planeación y programación de la producción.
- La producción y venta de bienes es el fundamento de la existencia de las empresas manufactureras por lo que optimizar el uso de sus recursos a través de la programación de operaciones le permitirá a las compañías ofrecer productos de alta calidad a precios bajos y alcanzar altos niveles de rendimiento en sus indicadores (Cao et al. 2010).
- El mayor impacto que genera el efecto látigo *-Bullwhip Effect-* lo absorben el proveedor y el fabricante. Considerarlos en el estudio se podrán diseñar estrategias de colaboración que permitan disminuir los efectos causados por este fenómeno.

Como se dijo anteriormente, en esta investigación se considera la relación de colaboración entre dos miembros de una cadena de suministro diádica conformada por un proveedor y un fabricante. El fabricante le ordena un tipo de producto al proveedor. El análisis se realizará bajo un ambiente de producción por pedido *-make-to-order-*, en el cual el proveedor recibe los trabajos y éste debe programar sus recursos de tal manera que pueda cumplir a tiempo con los pedidos demandados por el fabricante. Por consiguiente, no existen inventarios de productos terminados. Esta configuración es empleada por *Dell* y *HP* para la venta de computadores por internet (Sepúlveda y Frein, 2008).

El proceso de toma de decisiones y el análisis de la cadena logística se centra en la estación cuello de botella de la línea de producción del proveedor y del fabricante la cual está compuesta por dos máquinas idénticas en paralelo, como se ilustró previamente en la Figura 4.

Formalmente, existe un conjunto de  $n$  trabajos a ser procesados por dos eslabones -miembros- en serie. Cada eslabón tiene dos máquinas idénticas en paralelo. Cada trabajo es procesado por una sola máquina -aplica para ambos eslabones-. Todos los trabajos tienen la misma importancia. No se considera la interrupción de un trabajo en ejecución. Se considera un solo periodo de estudio en el cual deben procesarse los  $n$  trabajos. Todas las máquinas están disponibles en el instante de tiempo cero. Las fechas de entrega  $d_j$  de los trabajos son dadas a conocer por parte del cliente al fabricante. Cada trabajo tiene una fecha de llegada al sistema  $r_j$  - disponibilidad del trabajo  $j$  en el sistema- y se programan los trabajos en un contexto dinámico y estático. El tiempo de transporte entre el proveedor y el fabricante es insignificante por lo que se incluye en el valor de  $p_{j1}$  puesto que el interés principal de la presente investigación recae en el análisis de la relación de colaboración entre el proveedor y el fabricante. La función objetivo del problema flowshop híbrido a estudiar es multi-objetivo que consiste en dos objetivos, a saber: Tiempo Total de Flujo (*Total Flow Time*) y Tardanza Total (*Tardiness*). Puesto que nuestro interés está en la programación de la producción, el escenario descrito de dos eslabones cada uno con dos máquinas se conoce en la literatura como sistema de taller en serie flexible o híbrido (flowshop híbrido).

La literatura sobre la programación de operaciones en configuraciones de tipo flowshop híbrido es abundante (T'kindt y Billaut 2002; Ruiz y Vásquez-Rodríguez, 2010; Ribas et al., 2010). A continuación se hace una breve revisión de los principales conceptos relevantes para nuestra investigación.

#### 4.1.1 Breve revisión de la literatura del problema flowshop híbrido

Puesto que el presente estudio se realizará a nivel operativo en la programación de la producción de la cadena de suministro diádica, la descripción formal -matemática- del problema a estudiar obedece a los conceptos de la teoría de programación de operaciones (*Scheduling Theory*). Según dichos conceptos, la configuración del sistema bajo estudio (ver Figura 4) se conoce como flowshop híbrido o flexible.

En la realidad, el problema flowshop híbrido o flexible se encuentra en varias clases de industrias como la electrónica, papel, vidrio, textil, metales, llantas, farmacéutica, plástica, fertilizantes, cervecera, refinación del petróleo (Sherali et al., 1990; Wittrock, 1985, 1988; Kadipasaoglu et al., 1997; Liu y Chang, 2000; Grabowski y Pempera, 2000; Jin et al., 2002). Otras industrias como la del concreto, la manufactura de películas fotográficas; en áreas del servicio como en la ingeniería civil, arquitecturas de servicio de internet y sistemas de manipulación de contenedores (Guinet, 1991; Tsubone et al., 1993; Dror y Mullaserif, 1996; Aghezzaf y Landeghem, 2002; Allahverdi y Al-Anzi, 2006; Chen et al., 2006 y 2007). Por su campo de aplicación, este problema ha atraído la atención de varios investigadores dada su complejidad y su relevancia en los procesos productivos de la industria (Paul, 1979; Ruiz y Vásquez-Rodríguez, *ibid*; Ribas et al., *ibid*).

Para mayor conocimiento de las generalidades, clasificación y notaciones -configuración, características y función objetivo- que se trataran en la revisión de la literatura del problema flowshop híbrido de tipo  $FH2$  y  $FH_m$  consultar los trabajos realizados por Ruiz y Vásquez-Rodríguez (*ibid*) y Ribas et al. (*ibid*).

Según la notación estándar en teoría de programación de operaciones estudiada por los anteriores trabajos y por Graham et al. (1979) y, T'kindt y Billaut (*ibid*), el problema a estudiar se conoce como  $FH2, ((PM^{(k)})_{k=1}^2 | r_j, d_j | \alpha F + (1 - \alpha)T$ . La notación  $((PM^{(k)})_{k=1}^2 | r_j, d_j |$  obedece a que los resultados del trabajo de Ruiz y Vásquez-Rodríguez (2010) arrojaron que el 31.6 % de la literatura relacionada con el problema flowshop híbrido se ha estudiado de dos estaciones y el 25.1 % de la literatura ha estudiado el problema flowshop híbrido con dos estaciones y k recursos idénticos en paralelo. Lo anterior evidencia un campo para trabajar este tipo de características de las máquinas. Además, poco se ha trabajado conociendo la fecha de llegada ( $r_j$ ) y la fecha de entrega ( $d_j$ ) de los trabajos. Si los miembros de la cadena logística diádica intercambian este tipo de información podrán establecer en conjunto la secuencia en que se deben programar los trabajos. Los resultados de la clasificación respecto al tipo de información compartida en una cadena de suministro de tipo diádica arrojó que el 7 % de las investigaciones ha estudiado el impacto que produce el intercambio de este tipo de información.

Por otro lado, al establecer la secuencia en que se deben procesar los trabajos por parte de los miembros se está hablando de planeación colaborativa. Solo el 3 % de las investigaciones ha

trabajado este aspecto. La carencia de una adecuada estrategia de planeación, coordinación y sincronización de las decisiones entre los miembros que conforman la cadena logística, entre otras ineficiencias logísticas, impacta negativamente en la productividad y competitividad de las compañías (Chan et al. 2006).

Las anteriores razones permitirán construir la filosofía de cada escenario de colaboración donde se comparta información relacionada con la orden: fecha de llegada, tiempos de procesamiento y fechas de entrega con el propósito de identificar a qué nivel de colaboración se impacta más en el rendimiento de la cadena. Así mismo, se articula estos aspectos al modelo de colaboración de la cadena de suministro diádica en cuanto a sincronización de las decisiones, alineación de incentivos e intercambio de recursos. Este aspecto se analizará en las siguientes secciones.

Con respecto a las funciones objetivo seleccionadas, se busca aumentar los niveles de servicio y el logro de las metas globales por parte de los miembros que conforman la cadena. Para considerar estos criterios de minimización se tuvo en cuenta el estado actual de la literatura presentada por (T'kindt y Billaut 2002; Ruiz y Vásquez-Rodríguez, 2010; Ribas et al., 2010). Se escogió pues minimizar el Tiempo Total de Flujo ( $\sum F_j$ ) dado que ayuda a disminuir los tiempos en cola de los trabajos que serán procesados, tiempo de espera y los retrasos de los trabajos (Kadipasaoglu et al., 1997). También se seleccionó minimizar la Tardanza Total ( $\sum T_j$ ) puesto que permite aumentar el nivel de servicio de los miembros que conforman la cadena logística a estudiar. La construcción conjunta de estos criterios por parte de los miembros de la cadena apunta al modelo de colaboración de la cadena de suministro diádica en cuanto a sincronización de las decisiones, alineación de incentivos, rendimiento del sistema de colaboración y congruencia de objetivos.

#### **4.1.2 Formulación matemática del problema flowshop híbrido bajo estudio**

Se plantea el modelo matemático del problema flowshop híbrido bajo estudio con el propósito de ilustrar el comportamiento del problema desde un punto de vista matemático y entender las relaciones entre las variables de control y las variables de rendimiento del problema.

En la literatura existen modelos matemáticos del problema flowshop híbrido para dos eslabones y dos máquinas en paralelo, sin embargo, los supuestos, restricciones y función objetivo que caracterizan dichos sistemas son muy distintos a las que se presentan en este estudio. Es el caso de los modelos matemáticos desarrollados por Salvador (1973), Gupta et al. (1997), Dessouky et al. (1998), Lee y Kim (2004), Haouari et al. (2006), Jungwattanakit et al. (2009) y, Choi y Lee (2009). El modelo matemático que caracteriza, desde un punto de vista matemático, el comportamiento del problema a estudiar en esta investigación parte del modelo desarrollado por Riane et al. (1997) el cual fue formulado bajo un contexto estático pero adaptado a las necesidades del problema a estudiar en esta investigación.

En este orden de ideas, la siguiente formulación matemática considera un problema flowshop híbrido con  $k$  estaciones y cada estación  $l$  contiene  $M^{(l)}$  máquinas idénticas en paralelo -este modelo es genérico para  $m \geq 2$ . El propósito es minimizar la suma del Tiempo Total de Flujo y la Tardanza Total. La formulación matemática del sistema a estudiar presenta los siguientes supuestos y restricciones:

- Todos los trabajos son independientes y tienen una fecha de llegada  $r_j$
- Las estaciones cuentan con suficiente capacidad para contener y gestionar los trabajos en proceso (WIP), generados durante la ejecución de todos los trabajos.
- Una máquina puede procesar solamente un trabajo a la vez y cada trabajo puede ser procesado por una sola máquina en cualquier instante de tiempo.
- Todas las máquinas están disponibles en el instante cero para procesar cualquier trabajo que se tenga en dicho instante.
- Para todos los trabajos, el tiempo de procesamiento en cada estación es conocido y determinístico.
- Los tiempos de configuración son independientes de la secuencia y están incluidos dentro del tiempo de procesamiento de los trabajos de cada estación.
- Los tiempos de transporte entre un eslabón y otro son insignificantes. Los tiempos de transporte están considerados dentro de los tiempos de procesamiento.
- No se permiten interrupciones de los trabajos.

De acuerdo a las condiciones anteriormente descritas, a continuación se presenta el modelo matemático:

Índices y parámetros

$r_i$  = tiempo de arribo del trabajo  $i$  al sistema

$d_i$  = tiempo de entrega del trabajo  $i$

$n$  = número de trabajos a procesarse

$M^{(l)}$  = número de máquinas en la estación  $l$ ;  $l = 1, \dots, k$

$p_i^{(l)}$  = tiempo de procesamiento del trabajo  $i$ ;  $i = 1, \dots, n$  en la estación  $l = 1, \dots, k$

$HV$  = escalar escogido a ser mayor que el tiempo de terminación de cualquier sol. factible

$\alpha \in [0, 1]$ : peso asignado a cada criterio de rendimiento de la función objetivo

VARIABLES DE DECISIÓN

$X_{i,j,u,v} = 1$  si el trabajo  $i$  es procesado en la posición  $j$  en la máquina  $M_u$  de la estación  $v$ ;

0 en otro caso; donde;  $i, j = 1, \dots, n$ ;  $u = 1, \dots, M^{(v)}$ ;  $v = 1, \dots, k$

$C_i^{(l)}$  = Tiempo de terminación del trabajo  $i$  en la estación  $l$

$T_i$  = Tardanza del trabajo  $i$

$T$  = Suma de las tardanzas de todos los trabajos

$F_i$  = Tiempo de Flujo del trabajo  $i$

$F$  = Suma del tiempo de flujo de todos los trabajos

Función objetivo

$$F.O. (\min) = \alpha F + (1 - \alpha) T \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{m=1}^{M^{(v)}} \sum_{l=1}^n X_{i,l,m,v} = 1; \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad \forall v = 1, \dots, k \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{i,l,m,v} \leq 1; \quad \forall m = 1, \dots, M^{(v)}; \quad \forall v = 1, \dots, k; \quad \forall l = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$C_i^{(v)} \geq \sum_{l=1}^u \sum_{j=1}^n [p_j^{(v)} * X_{j,l,m,v} + (X_{i,u,m,v} - 1) * HV] \quad (4)$$

$$\forall m = 1, \dots, M^{(v)}; \quad \forall v = 1, \dots, k; \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad \forall u = 1, \dots, n$$

$$C_i^{(v)} \geq C_i^{(v-1)} + p_i^{(v)}; \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad \forall v = 1, \dots, k \quad (5)$$

$$C_i^0 = r_i; \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$T_i = C_i^{(k)} - d_i; \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$T_i \geq 0; \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \quad (9)$$

$$F_i = C_i^{(k)} - r_i; \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$F = \sum_{i=1}^n F_i \quad (11)$$

$$X_{i,j,u,v} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall u, \forall v \quad (12)$$

La función objetivo (1) minimiza la suma de los tiempos de flujo y la suma de las tardanzas de todos los trabajos que ingresan al sistema. La importancia de cada objetivo está determinada por un peso. Cuando  $\alpha = 1$  se busca minimizar solo la suma de los tiempos de flujo de todos los trabajos. Cuando  $\alpha = 0$  se busca minimizar solo la suma de las tardanzas de todos los trabajos. La restricción (2) expresa que todos los trabajos tienen que ser procesados en todas las estaciones -eslabones-. La restricción (3) implica que a lo sumo puede haber un trabajo en cualquier posición de cualquier máquina. El tiempo de terminación de cada trabajo en cada máquina está representado en las restricciones (4) y (5). La restricción (6) solo aplica para la estación 1 -proveedor-, la cual asegura que cualquier trabajo no puede empezar su procesamiento en la estación 1 antes de su fecha de llegada. Las restricciones (7) y (8) determinan el valor correcto de la tardanza de los trabajos. La restricción (9) asegura la mínima suma de las tardanzas de todos los trabajos. La restricción (10) establece el tiempo de flujo de cada trabajo dentro del sistema. La restricción (11) asegura la mínima suma de los tiempos de flujo de todos los trabajos. La restricción (12) asegura que las variables de decisión sean binarias.

## 4.2 ESCENARIOS DE COLABORACIÓN

En esta sección se presenta en detalle los escenarios de colaboración considerados en este estudio: colaboración total, nula y parcial.

#### 4.2.1 Escenario de colaboración total

Es un escenario ideal donde está disponible toda la información desde el instante cero, es decir, tanto el proveedor como el fabricante conocen perfectamente la demanda así como la información relacionada con cada uno de los trabajos que tienen que procesar. Existe perfecta confianza entre los miembros de la cadena logística a estudiar, saben cómo procesar toda la información que se comparte para alcanzar el rendimiento esperado y cuentan con todos los recursos tecnológicos para conocer y compartir la información.

Este escenario de colaboración es de naturaleza estática. El modelo matemático del problema a estudiar fue programado en *Xpress*. Sin embargo, le número de variables es limitada -hasta 100 variables de decisión- puesto que fue programado en una versión estudiantil.

El modelo matemático que caracteriza el sistema bajo estudio contiene: número de trabajos a ser programados, posición de la máquina  $k$  de la estación  $m$  en la que se ejecutará cada trabajo ( $k=m=1,2$ ). Por ejemplo: si se desea programar 5 trabajos en total serían 100 variables de decisión (5 trabajos\*5 posiciones en las que se puede ejecutar dicho trabajo\*2 máquinas/estación\*2estaciones = 100 variables). Si se desean programar 10, 50, 100, 150 trabajos el total de variables de decisión serían 400, 10.000, 40.000, 90.000, respectivamente. Nótese como crece exponencialmente el número de variables de decisión haciendo altamente complejo el problema lo cual dificulta el tiempo de respuesta de la solución siendo conocido en la literatura de tipo *NP – hard* (Gupta 1988).

Para obtener los resultados del escenario de colaboración total, se decide utilizar el software de programación de operaciones LEKIN -*Scheduling software*- desarrollado por Michael Pinedo y su equipo de expertos en sistemas. Se usó la heurística *General SB Routine* diseñada por LEKIN cuyo algoritmo sigue los siguientes pasos: (i) determinar la estación cuello de botella, (ii) establecer la secuencia en que serán procesados los trabajos en la estación cuello de botella, (iii) re-optimizar localmente y, (iv) re-optimizar globalmente.

#### 4.2.2 Escenario de colaboración nulo

Es el otro extremo del escenario de colaboración total, predomina la desconfianza y no poseen la tecnología para conocer y compartir la información. Es de naturaleza dinámica. No existe ningún tipo de colaboración entre los miembros que conforman la cadena logística, es decir, el proveedor no conoce ningún tipo de información sobre el futuro. Estos algoritmos toman las decisiones de ejecución basados en la información disponible en el instante en que la máquina se libera sin considerar futuras llegadas (Montoya-Torres et al. 2006). Las reglas de despacho a estudiar en este escenario son:

- **FIFO (*First In-First Out*):** Se organizan los trabajos según su fecha de llegada al sistema, es decir, se ejecutan primero aquellos trabajos con menor  $r_j$ . En caso de tener ciertos trabajos el mismo valor de  $r_j$ , se ejecuta aquel trabajo con menor tiempo de proceso  $d_j$ .
- **SPT (*Shortest Processing Time*):** Se organizan los trabajos según su tiempo de proceso  $p_j$  de manera creciente, es decir, se trabaja primero aquél trabajo cuyo tiempo de proceso es menor.

En caso de presentarse múltiples trabajos con el mismo valor de  $p_j$ , se trabaja aquel con el menor valor de  $r_j$ .

Kadipasaoglu et al. (1997) y, Braglia y Petroni (1999) en sus estudios consideraron la regla de despacho LPT (*Longest Processing Time*), sin embargo, a medida que se incrementaba el número de trabajos a ser procesadas en el sistema dicha regla generaba peores resultados que las demás causando un detrimento en los objetivos analizados. Por esta razón, en este escenario de colaboración no se estudiará esta regla de despacho.

#### 4.2.3 Escenario de colaboración parcial

Como su nombre lo indica, es el escenario intermedio entre el escenario de colaboración nulo y parcial. Existe cierto grado de confianza entre los miembros de la cadena logística a estudiar. En este escenario se prueban distintas reglas de despacho con el propósito de dar a entender la desconfianza de la información y la manera cómo comparten y procesan la información los miembros de la cadena para obtener un buen rendimiento individual y global.

Es de naturaleza dinámica. El proveedor tiene cierta información sobre los nuevos trabajos que le llegarán en el futuro lo cual le permite administrar sus recursos teniendo en cuenta la información disponible. Particularmente, en un instante de tiempo dado, la información que tiene el proveedor está asociada con la orden –fecha de llegada, tiempos de procesamiento y fecha de entrega- pero no está en capacidad de determinar qué trabajos serán ordenados después de ese instante de tiempo. El proveedor sólo conocerá los tiempos de procesamiento en el instante de llegada de los trabajos. Por consiguiente, el proveedor y el fabricante deben definir estrategias para el ordenamiento de los trabajos bajo este contexto. Se prevé que el fabricante procese los trabajos en la medida que le vayan llegando los trabajos terminados en el primer eslabón (FIFO) u ordenándolos de acuerdo al menor tiempo de procesamiento del trabajo en el segundo eslabón (SPT).

Revisando la literatura realizada por Ruiz y Vásquez-Rodríguez, 2010; Ribas et al., 2010, las reglas de despacho estudiadas por Kadipasaoglu et al. (1997), Braglia y Petroni (1999) y Jayamohan y Rajendran (2000) pueden ser adaptadas a la filosofía del escenario de colaboración parcial. Ellos estudiaron dos miembros con  $k$  recursos idénticos en paralelo y optimizaron varias funciones objetivos. Se seleccionaron aquellas reglas que minimizan el Tiempo Total de Flujo y la Tardanza Total. Las siguientes son las reglas a estudiar en el escenario de colaboración parcial:

- EDD (*Earliest Due Date*): Se organizan los trabajos según su fecha de entrega, es decir, se ejecutan primero aquellos con menor  $d_j$ . En caso de tener varios trabajos el mismo valor  $d_j$ , se ejecuta aquel trabajo con menor tiempo de llegada  $r_j$ .

*Paso 1:* Diga número de trabajos  $n$  a procesar

*Paso 2:* Diga número de eslabones  $k$  que tiene el sistema. ( $k=2$ )

*Paso 3:* Diga número de máquinas  $M_k$  en el eslabón  $k$ . ( $M_k = 2$ )

*Paso 4:* Para cada trabajo  $j$  ( $j=1, \dots, n$ ) especifique:

Fecha de llegada  $r_j$  de la orden al sistema

Fecha de entrega  $d_j$  del trabajo  $j$ .

*Paso 5:* Ordene los trabajos disponibles (que hayan llegado) en una lista “L” empleando la regla de despacho EDD, es decir, por orden creciente de  $d_j$  para las fechas de entrega de los trabajos ( $d_{[1]} \leq d_{[2]} \leq d_{[3]} \leq \dots \leq d_{[n]}$ ). Desempatar por el menor tiempo de llegada. Si persiste el empate escoger cualquiera.

*Paso 6:* A cada instante  $t$  en que una máquina esté disponible, seleccione el trabajo  $i$  en la primera posición de la lista L (aquel con  $d_{[1]}$ ).

*Paso 7:* Sea  $r_x$  la fecha de llegada de la siguiente tarea (es decir,  $r_x = \min r_j \mid r_j \geq t$ ), si existe. Si  $d_{[1]} \leq d_{[x]}$ , entonces programe la tarea en la posición [1] de la lista L en la máquina al instante  $t$ . Si no, espere hasta que  $t = r_x$ . Si no hay más tareas por llegar, entonces programe los trabajos según la regla EDD.

- **MDD (Modified Due Date):** Esta regla es un híbrido entre dos reglas de despacho. La primera es la regla DD (*Due Date*) estudiada por Kadipasaoglu et al. (*ibid*) y, Braglia y Petroni (*ibid*) definida como:  $d_i = r_i + \max\{p_{j1}, p_{j2}\} * k$ , donde ( $k=5$ ). La segunda es la regla MDD (*Modified Due Date*) estudiada por Jayamohan y Rajendran (*ibid*) y, Tang et al. (2005) definida como: La secuencia de los trabajos se establece en orden ascendente de  $MDD_i$ . Donde  $MDD_i = \max (TNOW + P_{j1}, d_j)$ ; *TNOW* es el tiempo actual de procesamiento. De acuerdo a lo anterior, la MDD se define como sigue;  $MDD: TNOW + (P_{j1} + P_{j2}) * K$ , donde ( $K=50$ ). Para determinar el valor del factor  $K$  se realizaron experimentos computacionales y que los resultados este en función de mejorar el rendimiento de la cadena logística bajo estudio (ver Anexo A).

*Paso 1:* Diga número de trabajos  $n$  a procesar

*Paso 2:* Diga número de eslabones  $k$  que tiene el sistema. ( $k=2$ )

*Paso 3:* Diga número de máquinas  $M_k$  en el eslabón  $k$ . ( $M_k = 2$ )

*Paso 4:* Para cada trabajo  $j$  ( $j=1, \dots, n$ ) especifique:

Fecha de llegada  $r_j$  de la orden al sistema

Fecha de entrega  $d_j$  del trabajo  $j$

Especifique el factor  $K=50$

*Paso 5:* Para cada trabajo  $j$  ( $j=1, \dots, n$ ), cuando *TNOW* sea igual a la fecha de llegada de la orden.

Especifique  $P_{j1}$  y  $P_{j2}$

Calcule  $MDD = TNOW + (P_{j1} + P_{j2}) * K$

*Paso 6:* Ordene los trabajos según orden creciente a  $MDD$ . A cada instante  $t$  en que la máquina esté disponible, seleccione el trabajo  $j$  con el menor  $MDD$ .

*Paso 7:* Sean  $t$  un instante en que la(s) máquina(s) se libera(n), existan trabajos en la lista L y  $r_x$  la fecha de llegada de la siguiente tarea (es decir,  $r_x = \min r_j \mid r_j \geq t$ ). El trabajo  $x$  (trabajo que llega al instante  $r_x$ ) se programa primero que el trabajo  $j$  (trabajo *primero* en la lista L) si:  $MDD_x = TNOW + (P_{x1} + P_{x2}) * K \leq MDD_j = TNOW + (P_{j1} + P_{j2}) * K$ . Si no, espere

hasta que  $t = r_x$  para volver a tomar la decisión. Si no, programe el trabajo candidato en la lista L.

Paso 8: Si no llegan más trabajos después del tiempo  $t$ , entonces programe las tareas de la lista L según la regla MDD.

- SLK: La regla de despacho SLK se define como sigue: La secuencia de los trabajos se establece orden ascendente de  $S_i$ ; Donde  $S_i = d_j - \max (P_{j1}, P_{j2}) - TNOW$ .

*Paso 1:* Diga número de trabajos  $n$  a procesar

*Paso 2:* Diga número de eslabones  $k$  que tiene el sistema. ( $k=2$ )

*Paso 3:* Diga número de máquinas  $M_k$  en el eslabón  $k$ . ( $M_k = 2$ )

*Paso 4:* Para cada trabajo  $j$  ( $j=1, \dots, n$ ) especifique:

Fecha de llegada  $r_j$  de la orden al sistema

Fecha de entrega  $d_j$  del trabajo  $j$ .

*Paso 5:* Para cada trabajo  $j$  ( $j=1, \dots, n$ ), cuando TNOW sea igual a la fecha de llegada de la orden.

Especifique  $d_j$ ,  $P_{j1}$  y  $P_{j2}$

Calcule  $S_i = d_j - \max (P_{j1}, P_{j2}) - TNOW$

*Paso 6:* Ordenar de manera ascendente los trabajos en una lista "L" según  $S_i$ . Si existe empate escoger por el menor tiempo de llegada.

*Paso 7:* A cada instante TNOW en que la(s) máquina(s) estén disponibles, seleccione el trabajo  $i$  con el mayor  $S_i$

*Paso 8:* Sea  $r_x$  la fecha de llegada de la siguiente tarea (es decir,  $r_x = \min r_j \mid r_j \geq t$ ), si existe. Si  $S_i \leq S_x$ , entonces programe la tarea  $i$  en la máquina al instante  $t$ . Si no, espere hasta que  $t = r_x$ . Si no hay más tareas por llegar, entonces programe los trabajos según  $S_i$  ascendente.

- SLK\_modificada: Se modifica la regla de despacho según la filosofía del escenario de colaboración parcial. La regla SLK\_modificada trabaja así:  $S_i = d_j - P_{j1} - TNOW$ .

*Paso 1:* Diga número de trabajos  $n$  a procesar

*Paso 2:* Diga número de eslabones  $k$  que tiene el sistema. ( $k=2$ )

*Paso 3:* Diga número de máquinas  $M_k$  en el eslabón  $k$ . ( $M_k = 2$ )

*Paso 4:* Para cada trabajo  $j$  ( $j=1, \dots, n$ ) especifique:

Fecha de llegada  $r_j$  de la orden al sistema

Fecha de entrega  $d_j$  del trabajo  $j$ .

*Paso 5:* Para cada trabajo  $j$  ( $j=1, \dots, n$ ), cuando TNOW sea igual a la fecha de llegada de la orden.

Especifique  $d_j$  y  $P_{j1}$

Calcule  $S_i = d_j - P_{j1} - TNOW$

*Paso 6:* Ordenar de manera ascendente los trabajos en una lista “L” según  $S_i$ . Si existe empate escoger por el menor tiempo de llegada.

*Paso 7:* A cada instante TNOW en que la(s) máquina(s) estén disponibles, seleccione el trabajo  $i$  con el mayor  $S_i$

*Paso 8:* Sea  $r_x$  la fecha de llegada de la siguiente tarea (es decir,  $r_x = \min r_j \mid r_j \geq t$ ), si existe. Si  $S_i \leq S_x$ , entonces programe la tarea  $i$  en la máquina al instante  $t$ . Si no, espere hasta que  $t = r_x$ . Si no hay más tareas por llegar, entonces programe los trabajos según  $S_i$  ascendente.

### 4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Las reglas de programación de la producción de los escenarios de colaboración nulo y parcial se simularon con el software de eventos discretos ARENA® versión estudiantil 13,9<sup>4</sup>. Los modelos de simulación se han implementado en un computador personal con procesador Intel® Core™2 Duo T6400 (2.00 GHz; 3 Gb de memoria RAM).

El diseño experimental planteado en esta investigación está inspirado en el trabajo de Montoya-Torres et al. (2007). Cada trabajo tiene como atributo la fecha de llegada, tiempos de procesamiento del proveedor y fabricante y fecha de entrega, así como se calculó el tamaño muestral de cada nivel de tratamiento de los escenarios de colaboración (ver Anexo B).

#### 4.3.1 Diseño experimental para el escenario de colaboración total

Para este escenario se ha desarrollado un diseño factorial completo con 11 repeticiones por cada nivel de tratamiento lo que indica obtener un total de 594 instancias ( $11 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2$ ) (ver Tabla 7).

**Tabla 7.** Diseño experimental para el escenario de colaboración total

Factores	Niveles	Número de niveles
Reglas de programación de tareas	<i>General SB Routine</i>	1
Variabilidad en la llegada de las entidades	Exponencial, Normal, Constante	3
Parámetros de las distribuciones de llegada	3, 5, 10	3
Peso a asignar a los criterios de la función objetivo	0.2 y 0.8; 0.5 y 0.5; 0.8 y 0.2	3
Números máximo de entidades $n$	10, 50	2

El software LEKIN está en capacidad de programar hasta 50 trabajos, por lo que a diferencia de los escenarios de colaboración nulo y parcial, en este escenario solo se evaluarán dos niveles del factor Números máximo de entidades  $n$  -10 y 50 trabajos-.

#### 4.3.2 Diseño experimental para el escenario de colaboración nulo

Las estrategias de programación de operaciones a emplear en la cadena logística a estudiar surgen de la combinación de las reglas de despacho que corresponden a los algoritmos típicamente utilizados en la literatura -FIFO y SPT-. Por ejemplo: si se estudia la estrategia de programación

<sup>4</sup> ARENA®, una marca registrada de Rockwell Software, Inc.

FIFO\_SPT significa que el primer eslabón -proveedor- procesará los trabajos siguiendo la regla FIFO y el segundo eslabón -fabricante- procesará los trabajos siguiendo la regla SPT. Para este escenario se ha desarrollado un diseño factorial completo con 11 repeticiones por cada nivel de tratamiento lo que indica obtener un total de 4752 instancias ( $11 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 4$ ) (ver Tabla 8).

**Tabla 8.** Diseño experimental para el escenario de colaboración nulo

Factores	Niveles	Número de niveles
Reglas de programación de tareas	FIFO_FIFO; FIFO_SPT; SPT_FIFO; SPT_SPT;	4
Variabilidad en la llegada de las entidades	Exponencial, Normal, Constante	3
Parámetros de las distribuciones de llegada	3, 5, 10	3
Peso a asignar a los criterios de la función objetivo	0.2 y 0.8; 0.5 y 0.5; 0.8 y 0.2	3
Números máximo de entidades $n$	10, 50, 100, 150	4

#### 4.3.3 Diseño experimental para el escenario de colaboración parcial

Las reglas de programación utilizadas para el primer eslabón son los algoritmos descritos en la filosofía de trabajo del escenario de colaboración parcial. La regla de programación utilizada para el segundo eslabón es la SPT. Cabe anotar que en la siguiente tabla, la regla de despacho denominada SLK1 es la SLK\_adaptada y la regla de despacho SLK2 es la SLK estudiada por Kadipasaoglu et al. (1997). Para este escenario se ha desarrollado un diseño factorial completo con 11 repeticiones por cada nivel de tratamiento lo que indica obtener un total de 4752 instancias ( $11 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 4$ ) (ver Tabla 9).

**Tabla 9.** Diseño experimental para el escenario de colaboración parcial

Factores	Niveles	Número de niveles
Reglas de programación de tareas	EDD_SPT; MDD_SPT; SLK1_SPT; SLK2_SPT	4
Variabilidad en la llegada de las entidades	Exponencial, Normal, Constante	3
Parámetros de las distribuciones de llegada	3, 5, 10	3
Peso a asignar a los criterios de la función objetivo	0.2 y 0.8; 0.5 y 0.5; 0.8 y 0.2	3
Números máximo de entidades $n$	10, 50, 100, 150	4

Nótese que en el factor Regla de programación de tareas no se consideró la regla de despacho FIFO para el segundo eslabón. Si se desarrolla un diseño factorial completo con 11 repeticiones por cada nivel de tratamiento con la regla FIFO en el segundo eslabón se deben obtener 9504 instancias ( $11 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 4$ ). Esto significa el doble de instancias a realizar en el escenario de colaboración nulo lo cual aumenta significativamente el tiempo invertido para obtener los resultados en este escenario de colaboración (ver Anexo B). Además, la regla de despacho SPT obtiene mejores resultados que la regla FIFO (Montoya-Torres y Rodríguez-Verjan, 2009).

Aun exponiendo lo anterior, se realizaron experimentos computacionales que demuestran que cuando el segundo eslabón emplea la regla SPT la cadena logística diádica alcanza mejores resultados que cuando usa la regla FIFO (ver Anexo C; Tabla C.1.).

#### 4.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Esta investigación se desarrolla dentro del marco de una cadena logística diádica con un fabricante-un proveedor y se focaliza en el nivel operativo del proceso de toma decisiones, más precisamente en la programación de la producción. Dado lo anterior, la descripción formal del problema a estudiar obedece a los conceptos de la teoría de programación de operaciones y su configuración es conocida como flowshop híbrido o flexible.

Se hace una revisión de la literatura y según la notación estándar en teoría de programación de operaciones el sistema a estudiar tiene por notación  $FH2, ((PM^{(k)})_{k=1}^2 | r_j, d_j | \alpha F + (1 - \alpha)T$ . Seguidamente, se presentó formalmente el modelo matemático del problema, las reglas de despacho a estudiar, las herramientas a través de las cuales se obtendrán los resultados y el diseño experimental de cada escenario de colaboración. En el siguiente capítulo, se identificarán aquellos factores que afectan o no el rendimiento global de la cadena logística a estudiar, cuál de las estrategias de programación de operaciones genera el mayor impacto positivo en el rendimiento global de la cadena y se estudiará el efecto que produce la estrategia de colaboración en el rendimiento global de la cadena.

## **5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS DE COLABORACIÓN**

En esta sección se presenta el análisis comparativo de los resultados de cada escenario de colaboración propuesto en esta investigación. Así mismo, se compara el rendimiento de la cadena logística bajo estudio considerando las distintas estrategias de programación de operaciones<sup>5</sup>. Además, se analizan aquellos factores en los que se presenta y no se presentan interacciones con las estrategias de programación de operaciones. Para sustentar estadísticamente las conclusiones realizadas en este capítulo se utilizó el software SPSS 19.0 que permitirán construir los Contrastes de Scheffé y pruebas *post hoc* para el análisis de cada aspecto<sup>6</sup>.

### **5.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESCENARIO DE COLABORACIÓN NULO**

Se analiza el rendimiento del sistema según las estrategias de programación (FIFO\_FIFO, FIFO\_SPT, SPT\_FIFO y SPT\_SPT) para el escenario donde no se comparte información. El Anexo D contiene los resultados estadísticos (ANOVA y pruebas *post hoc*) que dan soporte al análisis y conclusiones que se construya en esta sección.

#### **5.1.1 Análisis de la tabla ANOVA del escenario de colaboración nulo**

Factores como la distribución de llegada de los trabajos, media de las distribuciones, pesos asignados a los criterios de la función objetivo y número de trabajos procesados en la cadena logística bajo estudio no generan efecto alguno para hacer cambiar la filosofía de ordenamiento, procesamiento y despacho de los trabajos de las estrategias de programación de operaciones utilizadas por la cadena logística estudiada.

No existe interacción entre los factores ReglaProgramación\*DistribuciónLlegadaEntidades y ReglaProgramación\*PesoCriteriosFO, sin embargo, sí existe interacción entre los factores ReglaProgramación\*Media\*NúmeroEntidades (ver Anexo D; Tabla D.1). De esta manera se desarrollará el análisis de los resultados del escenario de colaboración nulo.

#### **5.1.2 Comparación entre las distribuciones de llegada de los trabajos al sistema en el escenario de colaboración nulo**

Los resultados generados por las distribuciones de llegada de los trabajos al sistema se muestran a continuación.

---

<sup>5</sup> Las estrategias de programación de operaciones están conformadas por las distintas combinaciones de reglas de despacho que cada miembro de la cadena usará para optimizar el rendimiento global de la cadena. Estas reglas de despacho fueron descritas en cada escenario de colaboración. Por ejemplo: En el escenario de colaboración nulo una estrategia de programación de operaciones es la SPT\_SPT.

<sup>6</sup> Para la ejecución del diseño experimental, los factores descritos en el capítulo anterior se ingresaron en SPSS 19 de la siguiente manera: el factor “Reglas de programación de tareas” se denominó “ReglaProgramación”; el factor “Variabilidad en la llegada de las entidades” se denominó “DistribuciónLlegadaEntidades”; el factor “Parámetros de las distribuciones de llegada” se denominó “Media”; el factor “Peso a asignar a los criterios de la función objetivo” se denominó “PesoCriteriosFO” y el factor “Número máximo de entidades  $n$ ” se denominó “NúmeroEntidades”. Respecto a estos factores, en este capítulo se emplearán los términos que fueron llamados en el SPSS 19.

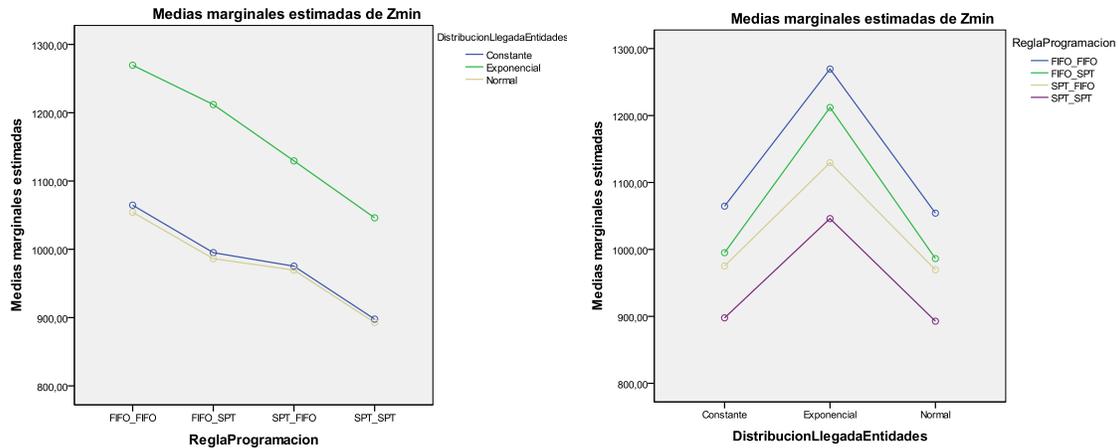
**Tabla 10.** Estadísticas del factor DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración nulo

DistribucionLlegadaEntidades	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Constante	983,177	12,532	958,608	1007,747
Exponencial	1164,265	12,532	1139,696	1188,835
Normal	975,685	12,532	951,115	1000,254

**Tabla 11.** Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración nulo

ReglaProgramacion	DistribucionLlegadaEntidades	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
FIFO_FIFO	Constante	1064,598	25,064	1015,459	1113,738
	Exponencial	1269,507	25,064	1220,368	1318,646
	Normal	1054,190	25,064	1005,051	1103,330
FIFO_SPT	Constante	995,085	25,064	945,946	1044,224
	Exponencial	1212,002	25,064	1162,863	1261,141
	Normal	986,299	25,064	937,160	1035,438
SPT_FIFO	Constante	975,264	25,064	926,125	1024,403
	Exponencial	1129,499	25,064	1080,360	1178,638
	Normal	969,483	25,064	920,343	1018,622
SPT_SPT	Constante	897,762	25,064	848,622	946,901
	Exponencial	1046,053	25,064	996,914	1095,192
	Normal	892,767	25,064	843,628	941,907

**Figura 5.** Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración nulo



En la Tabla 10, Tabla 11 y Figura 5 se observa que la función objetivo es mayor cuando la tasa de llegada de los trabajos al sistema sigue una distribución Exponencial seguida de la distribución Constante y la distribución Normal, siendo esta última la que genera el menor valor para la función objetivo. Este efecto se evidencia en cada una de las estrategias de programación estudiadas en este escenario de colaboración. Lo anterior explica el resultado mostrado por la tabla ANOVA en la que con una significancia del 65.6 % se comprueba que no existe interacción entre los factores ReglaProgramación y DistribuciónLlegadaEntidades. Conclusiones similares se presentaron en el trabajo de Montoya-Torres y Rodríguez-Verjan (2009) en el que se observó que el flujo global es

mayor cuando existe alta variabilidad en la demanda en la cadena logística bajo estudio, es decir, cuando se emplea la distribución exponencial.

La función objetivo es mayor cuando la llegada de los trabajos al sistema sigue una distribución Exponencial. Esto se produce porque en un mismo instante de tiempo cabe la posibilidad que llegue más de un trabajo y si los recursos están ocupados los trabajos experimentan un tiempo de espera mayor que si su llegada sigue una distribución Normal o Constante; otra de las causas es que se producen tiempos cortos entre la llegada de un trabajo y otro causando el aumento del tiempo de espera y por ende el valor de la función objetivo.

Los resultados arrojados por la distribución Normal y Constante son similares y en momentos logran resultados en común, sin embargo, la distribución Normal genera el menor valor promedio en la función objetivo lo cual se debe a que en ocasiones, con esta distribución, el tiempo entre llegada de los trabajos es un poco más grande, por lo menos en una unidad de tiempo, que cuando los trabajos siguen una distribución Constante.

Existe diferencia estadísticamente significativa entre la distribución Exponencial y las distribuciones Normal y Constante, mientras que entre estas dos últimas no existe diferencia estadísticamente significativa. Además de observarse descriptivamente en la Tabla 10, Tabla 11 y Figura 5 los resultados de los Contrastes de Scheffé realizados, las pruebas *post hoc* para el factor DistribuciónLlegadaEntidades soportan las anteriores conclusiones (ver Anexo D; Tabla D.2).

Descriptivamente, la estrategia de programación de operaciones que mejor genera rendimiento en la cadena logística estudiada es la SPT\_SPT seguida de la SPT\_FIFO, FIFO\_SPT y FIFO\_FIFO. Esta última, es la estrategia que genera el peor rendimiento del sistema. Más adelante se realizan comparaciones entre estas estrategias de programación de operaciones para corroborar este aspecto. Resultados similares fueron demostrados en el trabajo realizado por Montoya-Torres y Rodríguez-Verjan (2009) en el que se comprueba que la regla de despacho SPT siempre dominará la secuenciación dada por la regla FIFO. Así mismo, esta afirmación había sido propuesta inicialmente por Phipps (1956).

### 5.1.3 Comparación entre los pesos asignados a la función objetivo en el escenario de colaboración nulo

Los resultados de los pesos asignados a los criterios de la función objetivo de la cadena logística estudiada se muestran a continuación.

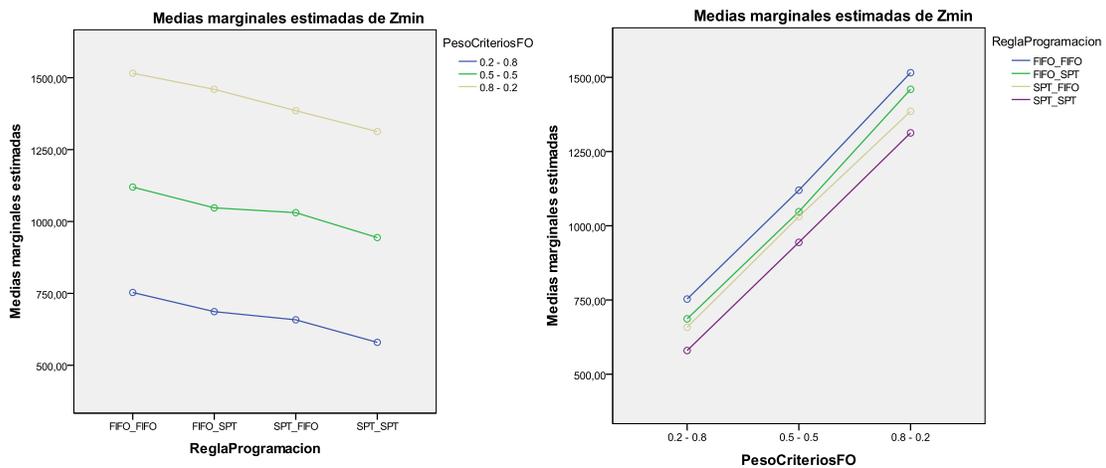
**Tabla 12.** Estadísticas del factor PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración nulo

PesoCriteriosFO	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0.2 - 0.8	669,311	12,532	644,742	693,881
0.5 - 0.5	1035,477	12,532	1010,907	1060,046
0.8 - 0.2	1418,340	12,532	1393,770	1442,909

**Tabla 13.** Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración nulo

ReglaProgramacion	PesoCriteriosFO	Media	Error tip.	Intervalo de confianza 95%	
				Limite inferior	Limite superior
FIFO_FIFO	0.2 - 0.8	753,106	25,064	703,966	802,245
	0.5 - 0.5	1119,663	25,064	1070,524	1168,802
	0.8 - 0.2	1515,527	25,064	1466,388	1564,666
FIFO_SPT	0.2 - 0.8	686,427	25,064	637,288	735,566
	0.5 - 0.5	1047,371	25,064	998,232	1096,510
	0.8 - 0.2	1459,588	25,064	1410,449	1508,728
SPT_FIFO	0.2 - 0.8	658,058	25,064	608,918	707,197
	0.5 - 0.5	1030,761	25,064	981,622	1079,900
	0.8 - 0.2	1385,427	25,064	1336,288	1434,566
SPT_SPT	0.2 - 0.8	579,655	25,064	530,515	628,794
	0.5 - 0.5	944,111	25,064	894,972	993,250
	0.8 - 0.2	1312,816	25,064	1263,677	1361,955

**Figura 6.** Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración nulo

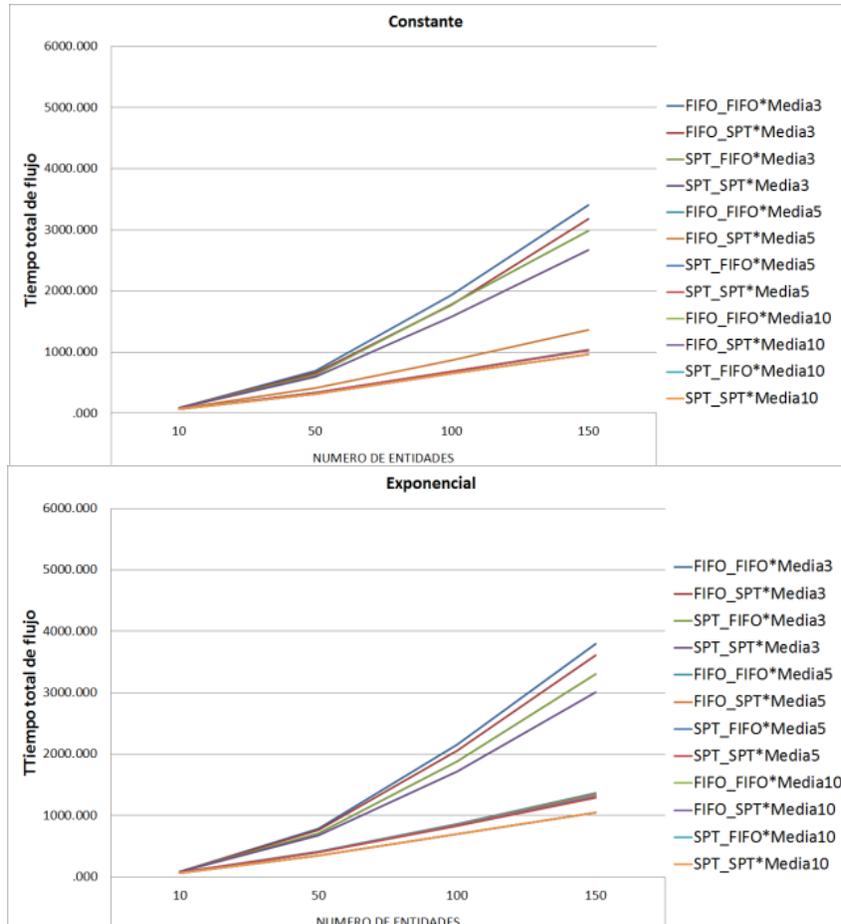


En la Tabla 12, Tabla 13 y Figura 6 se observa que a mayor peso asignado al criterio Tiempo Total de Flujo -0.8- el valor que toma la función objetivo es mayor, caso contrario sucede cuando a este criterio se le asigna un menor peso -0.2-. La filosofía de ordenamiento, operación y despacho de los trabajos de las estrategias de programación de operaciones empleadas por la cadena logística bajo estudio no se verá afectada por los pesos asignados a los criterios de la función objetivo. Lo anterior explica el resultado mostrado por la tabla ANOVA en la que con una significancia del 92.9 % se comprueba que no existe interacción entre los factores ReglaProgramación y PesoCriteriosFO.

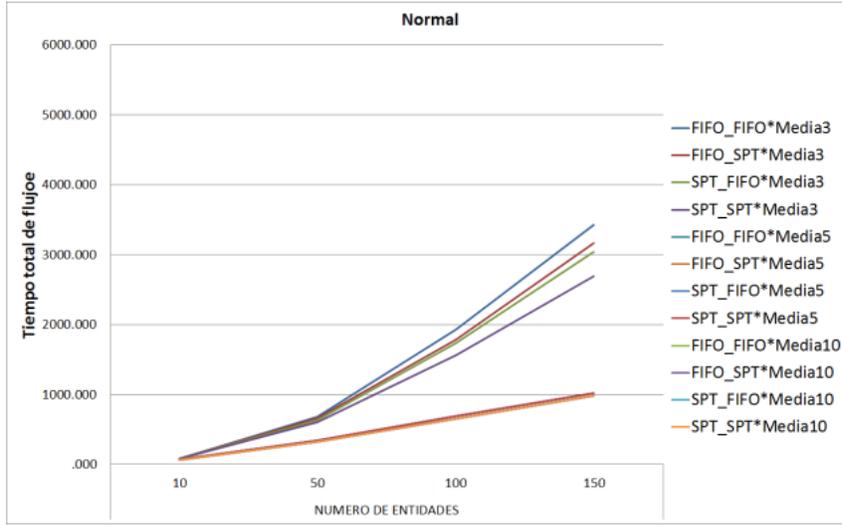
La función objetivo está constituida por dos criterios a minimizar: Tiempo Total de Flujo y Tardanza Total. El primero es el de mayor magnitud dentro de la función objetivo el cual consta de la suma de varias etapas que experimentan los trabajos dentro del sistema que va desde el momento en que llega el trabajo, luego el tiempo que espera en ser procesado y la suma de los tiempos de procesamiento del proveedor y el fabricante. El segundo criterio es el de menor magnitud puesto que es la diferencia positiva entre el tiempo de terminación del trabajo y su fecha de entrega (ver Figura 7 y Figura 8).

Las pruebas *post hoc* determinan que existe diferencia estadísticamente significativa entre los distintos pesos asignados a los criterios de la función objetivo (ver Anexo D; Tabla D.3). En conclusión, a menor peso asignado al criterio Tiempo Total de Flujo la función objetivo tomará un menor valor, sin embargo, es importante establecer un equilibrio entre el indicador de productividad y el nivel de servicio de las compañías inmersas en la cadena logística y así optimizar el rendimiento global de la cadena logística.

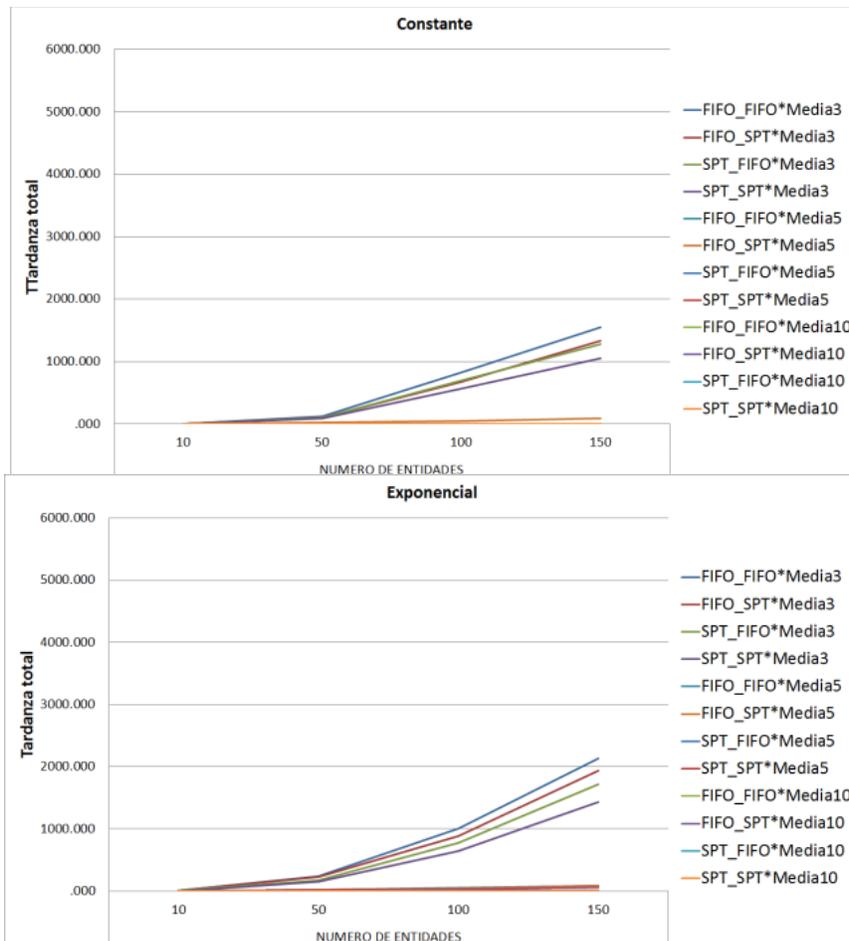
**Figura 7.** Tiempo Total de Flujo Vs. Número de trabajos, con Media 3,5 y 10; discriminadas por distribución en el escenario de colaboración nulo



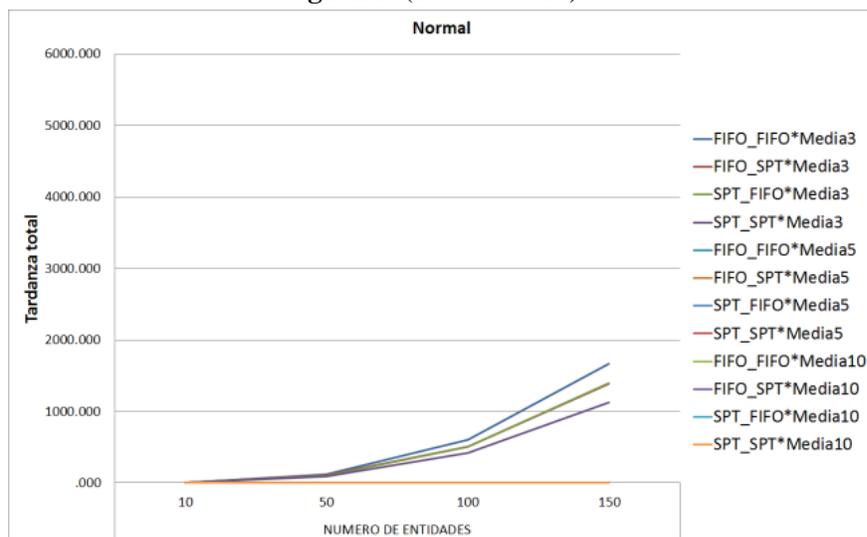
**Figura 7. (Continuación)**



**Figura 8. Tardanza Total Vs. Número de trabajos, con Media 3,5 y 10; discriminadas por distribución en el escenario de colaboración nulo**



**Figura 8. (Continuación)**



**5.1.4 Comparación entre el factor ReglaProgramación, Media y NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo**

Los resultados de las tasas de llegada -factor Media- de los trabajos a la cadena logística estudiada se muestran a continuación.

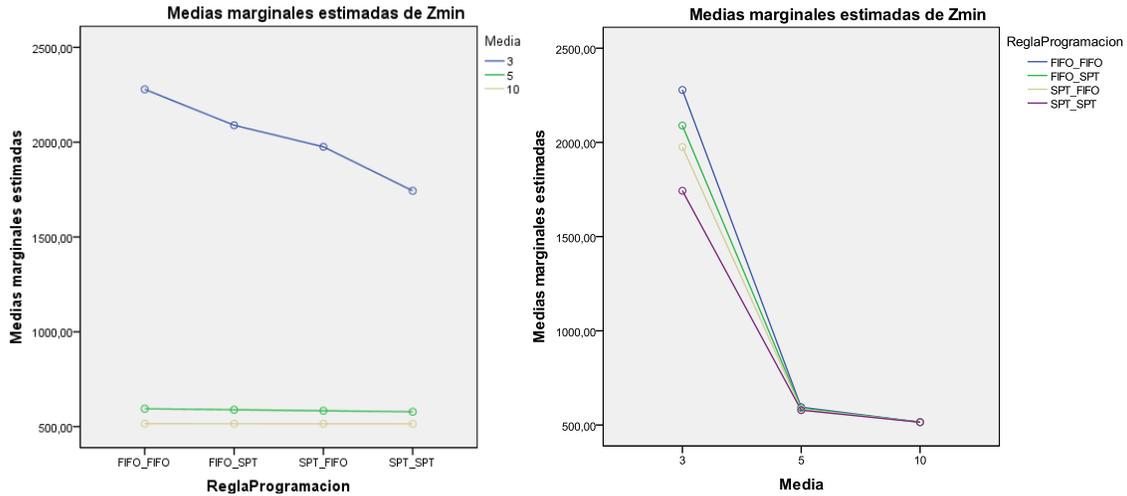
**Tabla 14.** Estadísticas del factor Media en el escenario de colaboración nulo

Media	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
3	2021,643	12,532	1997,073	2046,212
5	586,438	12,532	561,869	611,008
10	515,046	12,532	490,477	539,616

**Tabla 15.** Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-Media en el escenario de colaboración nulo

ReglaProgramacion	Media	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
FIFO_FIFO	3	2278,315	25,064	2229,176	2327,455
	5	594,429	25,064	545,290	643,568
	10	515,552	25,064	466,412	564,691
FIFO_SPT	3	2089,198	25,064	2040,059	2138,337
	5	589,065	25,064	539,926	638,204
	10	515,124	25,064	465,985	564,263
SPT_FIFO	3	1975,625	25,064	1926,486	2024,764
	5	583,692	25,064	534,553	632,831
	10	514,929	25,064	465,790	564,068
SPT_SPT	3	1743,433	25,064	1694,294	1792,572
	5	578,568	25,064	529,429	627,708
	10	514,580	25,064	465,441	563,719

**Figura 9.** Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-Media en el escenario de colaboración nulo



En la Tabla 14, Tabla 15 y Figura 9 se observa que la función objetivo es mayor cuando la tasa de llegada de los trabajos al sistema es baja. A medida que se aumenta la tasa de llegada de los trabajos, independientemente que sigan la distribución Exponencial, Normal o Constante, el valor que toma la función objetivo es menor. Cabe anotar que los tiempos de procesamiento del proveedor y el fabricante siguen una distribución uniforme entre uno y doce. De acuerdo con lo anterior, la tasa de llegada de los trabajos es menor comparada con la tasa de servicio y en consecuencia los trabajos experimentan un tiempo de espera para ser procesados lo cual aumenta el valor de ambos criterios de la función objetivo.

La función objetivo disminuye a medida que se aumenta la tasa de llegada puesto esta tiende a igualarse con la tasa de servicio del sistema haciendo que los trabajos que lleguen experimenten un menor tiempo de espera y en consecuencia disminuya el valor de la función objetivo. Este comportamiento causa un efecto en las estrategias de programación de operaciones haciendo que todas alcancen resultados similares. Lo anterior explica el resultado mostrado por la tabla ANOVA en la que con una significancia cercana a cero se comprueba que si existe interacción entre los factores ReglaProgramación y Media. Las pruebas *post hoc* determinan que existe diferencia estadísticamente significativa entre las distintas tasas de llegada de los trabajos consideradas en este estudio (Ver Anexo D; Tabla D.4). A continuación se muestran los resultados del número de trabajos que fueron procesados por la cadena logística bajo estudio.

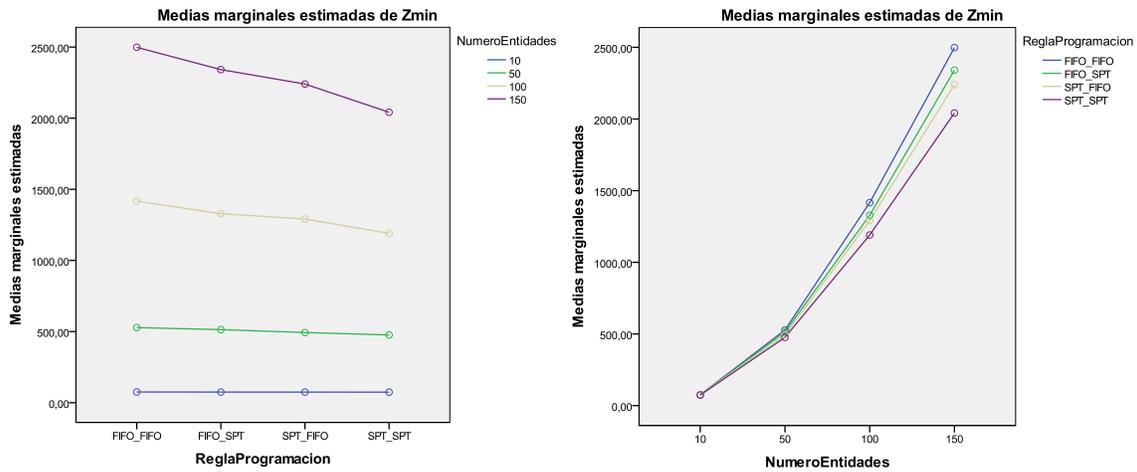
**Tabla 16.** Estadísticas del factor NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo

NumeroEntidades	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
10	74,450	14,471	46,080	102,821
50	502,695	14,471	474,324	531,065
100	1306,664	14,471	1278,293	1335,034
150	2280,361	14,471	2251,990	2308,731

**Tabla 17.** Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo

ReglaProgramacion	NumeroEntidades	Media	Error tip.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
FIFO_FIFO	10	75,006	28,942	18,265	131,747
	50	527,939	28,942	471,198	584,680
	100	1416,513	28,942	1359,772	1473,254
	150	2498,269	28,942	2441,528	2555,010
FIFO_SPT	10	74,522	28,942	17,781	131,263
	50	513,392	28,942	456,651	570,133
	100	1328,512	28,942	1271,771	1385,253
	150	2341,423	28,942	2284,682	2398,164
SPT_FIFO	10	74,371	28,942	17,630	131,112
	50	493,289	28,942	436,548	550,030
	100	1291,211	28,942	1234,470	1347,952
	150	2240,124	28,942	2183,383	2296,865
SPT_SPT	10	73,903	28,942	17,162	130,644
	50	476,160	28,942	419,419	532,901
	100	1190,420	28,942	1133,679	1247,161
	150	2041,626	28,942	1984,885	2098,367

**Figura 10.** Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo



En la Tabla 16, Tabla 17 y Figura 10 se observa que la función objetivo crece exponencialmente a medida que va creciendo el número de trabajos procesados por los miembros de la cadena logística bajo estudio. Las pruebas *post hoc* determinan que existe diferencia estadísticamente significativa entre las distintas instancias de trabajos (ver Anexo D; Tabla D.5).

Una vez analizado el efecto que causan otros factores al factor ReglaProgramación, a continuación se analiza la interacción ReglaProgramación\*Media\*NúmeroEntidades con el fin de identificar si bajo distintas tasas de llegada de los trabajos al sistema y distintas instancias de trabajos existe diferencia en el rendimiento generado por las estrategias de programación de operaciones bajo la ausencia de colaboración entre los miembros de la cadena logística bajo estudio.

Partiendo de la literatura, se espera que la mejor estrategia de programación en este escenario de colaboración sea la SPT\_SPT debido al algoritmo propuesto por Johnson que arroja una solución óptima para programar dos máquinas bajo la configuración flowshop (Pinedo, 2002). La siguiente tabla resume los resultados de los Contrastes de Scheffé (Ver Tabla 18 y Anexo D; Tabla D.7)

realizados para la interacción ReglaProgramación\*Media(3)\*NúmeroEntidades(10, 50, 100 y 150). Los resultados arrojados por estos Contrastes de Scheffé aplican para las tres distribuciones y los diferentes pesos asignados a los criterios de la función objetivo.

**Tabla 18.** Resultados de los Contrastes de Scheffé realizados a las estrategias de programación en el escenario de colaboración nulo, con Media 3 y distintas instancias de trabajos procesados

ReglaProgramacion	SPT_SPT Vs SPT_FIFO	✗	SPT_SPT Vs SPT_FIFO	✗	SPT_SPT Vs SPT_FIFO	✗	SPT_SPT Vs SPT_FIFO	✓
	SPT_SPT Vs FIFO_SPT	✗	SPT_SPT Vs FIFO_SPT	✗	SPT_SPT Vs FIFO_SPT	✓	SPT_SPT Vs FIFO_SPT	✓
	SPT_SPT Vs FIFO_FIFO	✗	SPT_SPT Vs FIFO_FIFO	✗	SPT_SPT Vs FIFO_FIFO	✓	SPT_SPT Vs FIFO_FIFO	✓
	SPT_FIFO Vs FIFO_SPT	✗	SPT_FIFO Vs FIFO_SPT	✗	SPT_FIFO Vs FIFO_SPT	✗	SPT_FIFO Vs FIFO_SPT	✗
	SPT_FIFO Vs FIFO_FIFO	✗	SPT_FIFO Vs FIFO_FIFO	✗	SPT_FIFO Vs FIFO_FIFO	✗	SPT_FIFO Vs FIFO_FIFO	✓
	FIFO_SPT Vs FIFO_FIFO	✗	FIFO_SPT Vs FIFO_FIFO	✗	FIFO_SPT Vs FIFO_FIFO	✗	FIFO_SPT Vs FIFO_FIFO	✓
	<b>10</b>		<b>50</b>		<b>100</b>		<b>150</b>	
	<b>NumeroEntidades</b>							

A pesar de no presentarse diferencia estadísticamente significativa entre algunas de las estrategias de programación de operaciones cuando se procesaron 100 y 150 trabajos, la estrategia de programación SPT\_SPT generó los mejores resultados (ver Anexo D; Tabla D.7). De esta manera se comprueban los resultados arrojados por el algoritmo de Johnson.

No se presentó diferencia estadísticamente significativa cuando se procesaron 10 trabajos pero la estrategia de programación SPT\_SPT generó mejores resultados que las estrategias de programación SPT\_FIFO, FIFO\_SPT y FIFO\_FIFO en un 25.3 %, 40.4 % y 53.5 % de los casos, respectivamente. De igual forma, cuando se procesaron 50 trabajos no se presentó diferencia estadísticamente significativa, sin embargo, la estrategia de programación SPT\_SPT generó mejores resultados que las estrategias de programación SPT\_FIFO, FIFO\_SPT y FIFO\_FIFO en un 94.9 %, 95.9 % y 100 % de los casos, respectivamente.

Contrario a las anteriores instancias de trabajo, si existe diferencia estadísticamente significativa entre las comparaciones de estrategias de programación SPT\_SPT Vs. FIFO\_SPT y, SPT\_SPT Vs. FIFO\_FIFO cuando se procesaron 100 y 150 trabajos. Para 100 trabajos, la estrategia de programación SPT\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_FIFO en un 98.9 % de los casos. Finalmente, para 150 trabajos la estrategia de programación SPT\_SPT generó los mejores resultados presentándose diferencia estadísticamente significativa con otras estrategias de programación.

A medida que aumentan los trabajos procesados crece la magnitud de los indicadores de los miembros que conforman la cadena logística estudiada. Para 150 trabajos procesados es el escenario donde se presentan diferencias estadísticamente significativas entre las estrategias de programación de operaciones, a excepción de la comparación SPT\_FIFO y FIFO\_SPT. Para esta comparación de estrategias de programación a continuación se presentan los resultados de los Contrastes de Scheffé (ver Anexo D; Tabla D.7) con el propósito de estimar si se podría presentar para más de 150 trabajos una diferencia estadísticamente significativa entre ambas estrategias de programación.

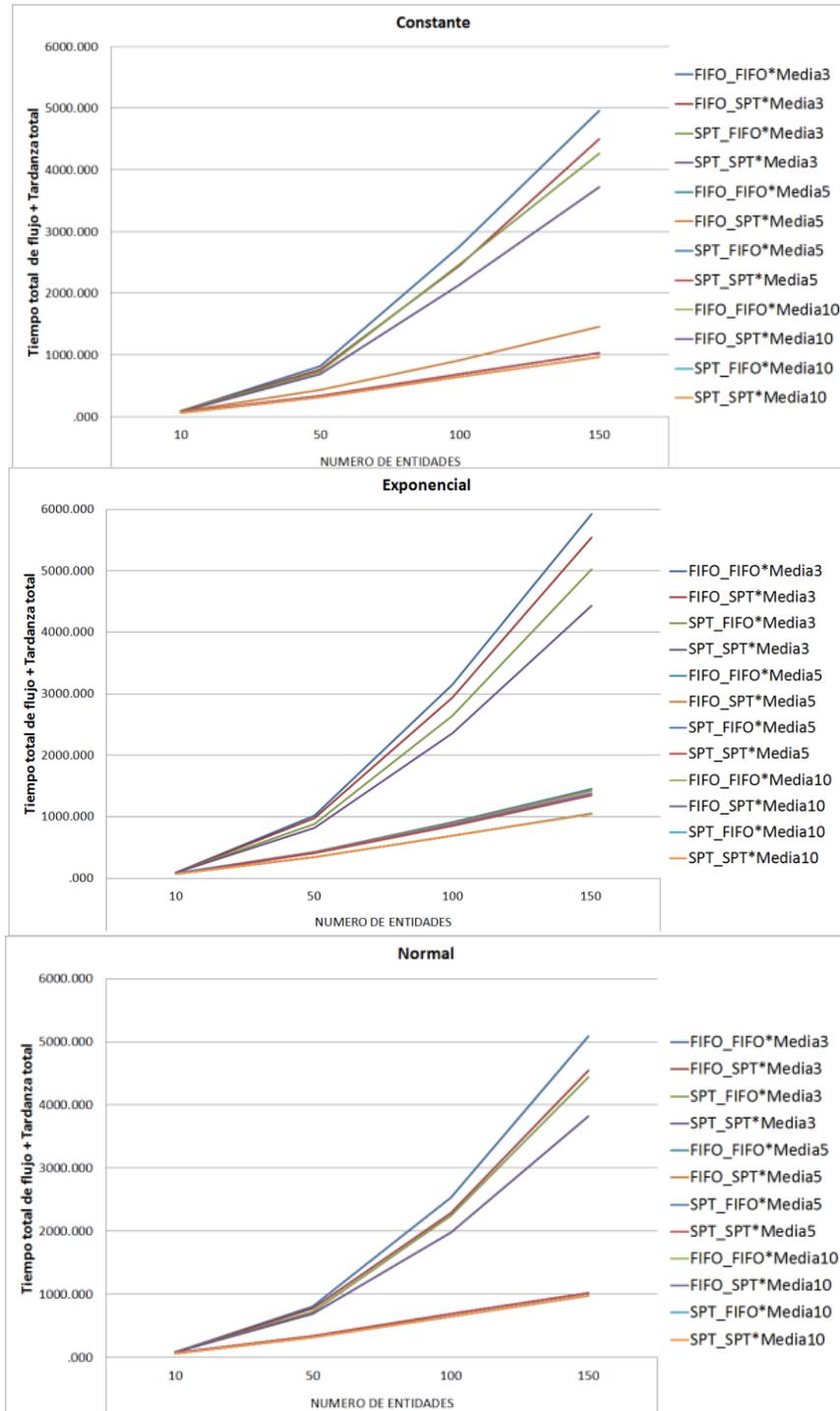
- Para 10 trabajos, el Contraste de Scheffé arrojó que el límite inferior es -381.65 y el límite superior es 380.72. La estrategia de programación SPT\_SPT generó mejores resultados que la FIFO\_FIFO en un 53.5 % de los casos.
- Para 50 trabajos, el Contraste de Scheffé arrojó que el límite inferior es -440.67 y el límite superior es 321.71. La estrategia de programación SPT\_SPT generó mejores resultados que la FIFO\_FIFO en un 64.6 % de los casos.
- Para 100 trabajos, el Contraste de Scheffé arrojó que el límite inferior es -484.84 y el límite superior es 277.54. La estrategia de programación SPT\_SPT generó mejores resultados que la FIFO\_FIFO en un 59.6 % de los casos.
- Para 150 trabajos, el Contraste de Scheffé arrojó que el límite inferior es -671.89 y el límite superior es 90.49. La estrategia de programación SPT\_SPT generó mejores resultados que la FIFO\_FIFO en 68.7 % de los casos.

De acuerdo con lo anterior, específicamente en los límites inferior y superior, nótese como van decreciendo a medida que aumenta la cantidad de trabajos procesados por la cadena logística, concluyendo así que para instancias mayores a 150 trabajos sí se presentará una diferencia estadísticamente significativa entre estas estrategias de programación.

La estrategia de programación que genera el mejor rendimiento global en la cadena logística analizada es la SPT\_SPT seguida de la SPT\_FIFO, FIFO\_SPT y FIFO\_FIFO. En este orden, la estrategia de programación FIFO\_FIFO es la que produce el mayor impacto negativo en el rendimiento global de la cadena. Además, se evidencia experimentalmente que si el primer eslabón tomó una mala decisión y definió una secuenciación que no mejora el rendimiento global de la cadena, no se podrán corregir significativamente las ineficiencias presentadas en el primer eslabón por más eficaz que sea la programación del segundo eslabón (FIFO\_SPT). A esta conclusión se llegó en el trabajo realizado por Montoya-Torres y Rodríguez-Verjan (2009).

Por otra parte, a medida que se iguala la tasa de llegada de los trabajos con la tasa de servicio del sistema bajo estudio, es decir, la tasa de llegada es de 5 y 10, no existe diferencia estadísticamente significativa entre las estrategias de programación de operaciones. Caso particular se presenta cuando la tasa de llegada de los trabajo es de 10 haciendo que el rendimiento de las estrategias de programación sea muy similar (ver Figura 9 y Anexo D; Tabla D.8, Tabla D.9).

**Figura 11.** Tiempo Total de Flujo + Tardanza Total Vs. Número de trabajos, con Media 3,5 y 10; discriminadas por distribución en el escenario de colaboración nulo



Adicional al análisis realizado a los criterios de la función objetivo como Tiempo Total de Flujo y Tardanza Total, se analiza el tiempo de terminación del programa ( $C_{max}$ ) que será otro juicio de valor para seleccionar la mejor estrategia de programación del escenario de colaboración nulo. Para

este último criterio, la tabla ANOVA arroja que no existe diferencia estadísticamente significativa en el tiempo que toma cada estrategia de programación en procesar la totalidad de los trabajos, independiente de la distribución y peso asignado a los criterios de la función objetivo (ver Anexo D; Tabla D.10). Sin embargo, existe diferencia estadísticamente significativa en el rendimiento de la cadena logística cuando llegan trabajos siguiendo distintas tasas de llegada (3, 5 y 10). Igual sucede para distintas instancias de trabajo (10, 50, 100 y 150) (Ver Anexo D; Figura D.2, Figura D.3, Figura D.4, Figura D.5, Tabla D.11 y Tabla D.12). Conclusiones similares fueron presentadas por Montoya-Torres y Rodríguez-Verjan (2009) en el que demostraron que entre las estrategias de programación no existe diferencia significativa con respecto al tiempo de terminación del programa ( $C_{max}$ ), ya que todos los algoritmos son conservadores.

## 5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESCENARIO DE COLABORACIÓN PARCIAL

Se analiza el rendimiento del sistema según las estrategias de programación de operaciones (EDD\_SPT, MDD\_SPT, SLK1\_SPT y SLK2\_SPT) para el escenario donde se comparte parcialmente la información. El Anexo E contiene los resultados estadísticos (ANOVA y pruebas *post hoc*) que dan soporte a las conclusiones realizadas en esta sección.

### 5.2.1 Análisis de la tabla ANOVA del escenario de colaboración parcial

Al igual que en el escenario de colaboración nulo, los factores estudiados no generan efecto alguno para hacer cambiar la filosofía de ordenamiento, procesamiento y despacho de los trabajos de las estrategias de programación de operaciones empleadas por la cadena logística estudiada. En este escenario de colaboración se presentan las interacciones que afectan o no el sistema por lo que se procede de la misma manera en que se desarrolló el escenario de colaboración nulo (Ver Anexo E; Tabla E.1).

### 5.2.2 Comparación entre las distribuciones de llegada de los trabajos al sistema en el escenario de colaboración parcial

Los resultados de las distribuciones de llegada de los trabajos a la cadena logística bajo estudio se muestran a continuación.

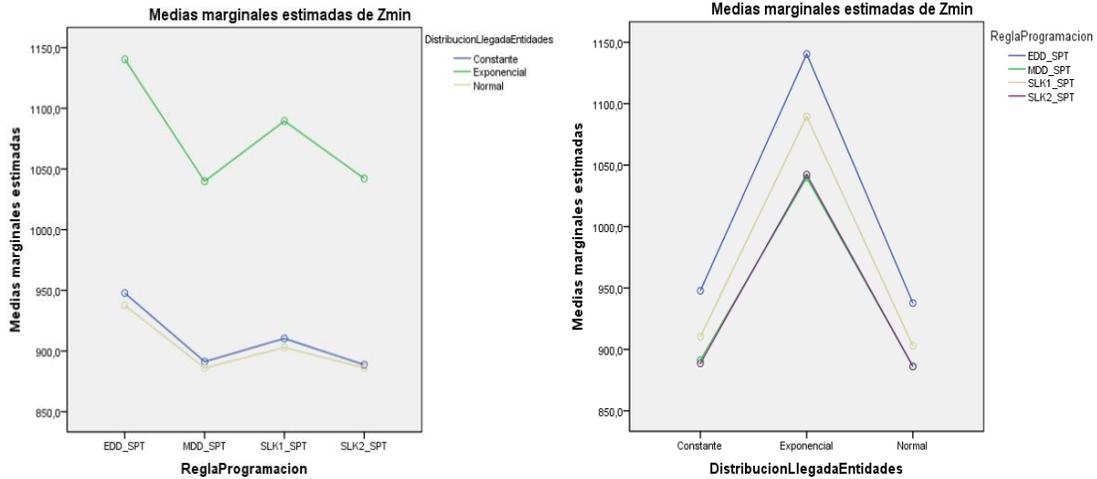
**Tabla 19.** Estadísticas del factor DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración parcial

DistribucionLlegada Entidades	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Constante	909,526	10,403	889,130	929,922
Exponencial	1078,011	10,403	1057,615	1098,407
Normal	903,196	10,403	882,800	923,592

**Tabla 20.** Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración parcial

ReglaProgramacion	DistribucionLlegadaEntidades	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
EDD_SPT	Constante	947,787	20,807	906,995	988,578
	Exponencial	1140,434	20,807	1099,642	1181,225
	Normal	937,657	20,807	896,865	978,448
MDD_SPT	Constante	891,267	20,807	850,475	932,058
	Exponencial	1039,859	20,807	999,068	1080,651
	Normal	886,027	20,807	845,236	926,819
SLK1_SPT	Constante	910,348	20,807	869,557	951,140
	Exponencial	1089,538	20,807	1048,745	1130,328
	Normal	902,874	20,807	862,083	943,665
SLK2_SPT	Constante	888,702	20,807	847,910	929,493
	Exponencial	1042,214	20,807	1001,423	1083,006
	Normal	886,226	20,807	845,434	927,017

**Figura 12.** Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración parcial



Las conclusiones que se pueden generar de las anteriores tablas y figuras son las mismas conclusiones a las que se llegó en el escenario de colaboración nulo (ver Anexo E; Tabla E.2).

### 5.2.3 Comparación entre los pesos asignados a la función objetivo en el escenario de colaboración parcial

Los resultados de los pesos asignados a los criterios de la función objetivo de la cadena logística estudiada se muestran a continuación.

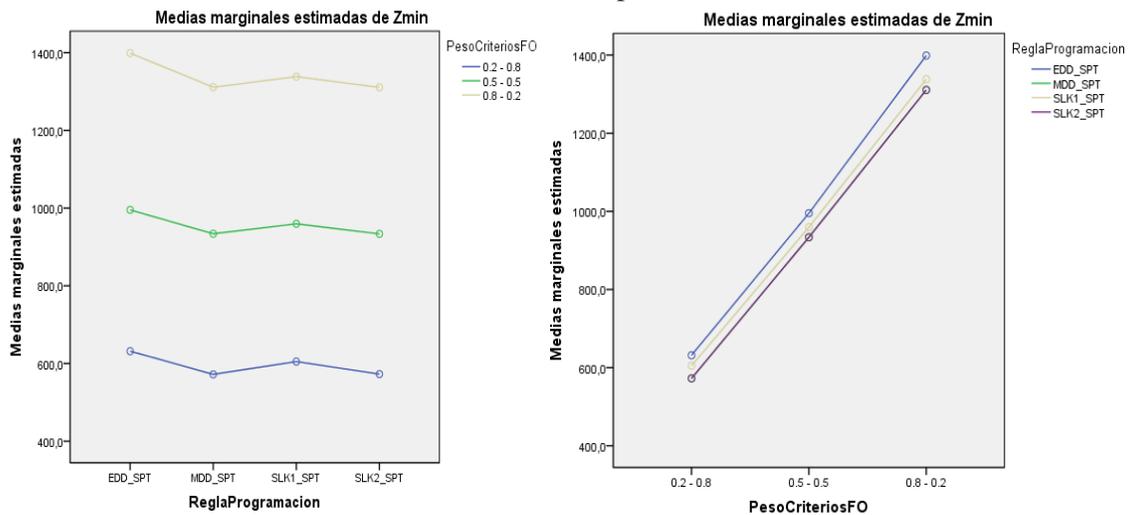
**Tabla 21.** Estadísticas del factor PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración parcial

PesoCriteriosFO	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0.2 - 0.8	595,361	10,403	574,965	615,756
0.5 - 0.5	955,649	10,403	935,254	976,045
0.8 - 0.2	1339,722	10,403	1319,327	1360,118

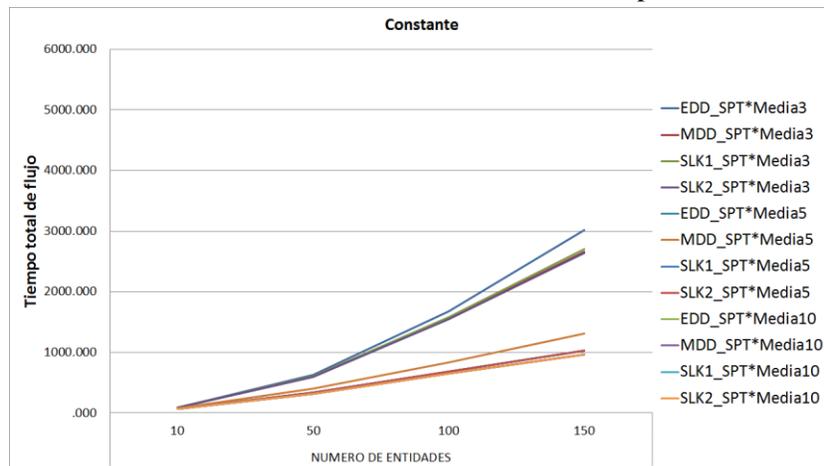
**Tabla 22.** Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración parcial

ReglaProgramacion	PesoCriteriosFO	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
EDD_SPT	0.2 - 0.8	631,662	20,807	590,870	672,453
	0.5 - 0.5	995,327	20,807	954,536	1036,118
	0.8 - 0.2	1398,888	20,807	1358,097	1439,680
MDD_SPT	0.2 - 0.8	572,018	20,807	531,227	612,810
	0.5 - 0.5	934,069	20,807	893,278	974,861
	0.8 - 0.2	1311,066	20,807	1270,274	1351,857
SLK1_SPT	0.2 - 0.8	604,977	20,807	564,185	645,768
	0.5 - 0.5	959,548	20,807	918,757	1000,339
	0.8 - 0.2	1338,234	20,807	1297,442	1379,025
SLK2_SPT	0.2 - 0.8	572,786	20,807	531,995	613,578
	0.5 - 0.5	933,653	20,807	892,861	974,444
	0.8 - 0.2	1310,702	20,807	1269,911	1351,493

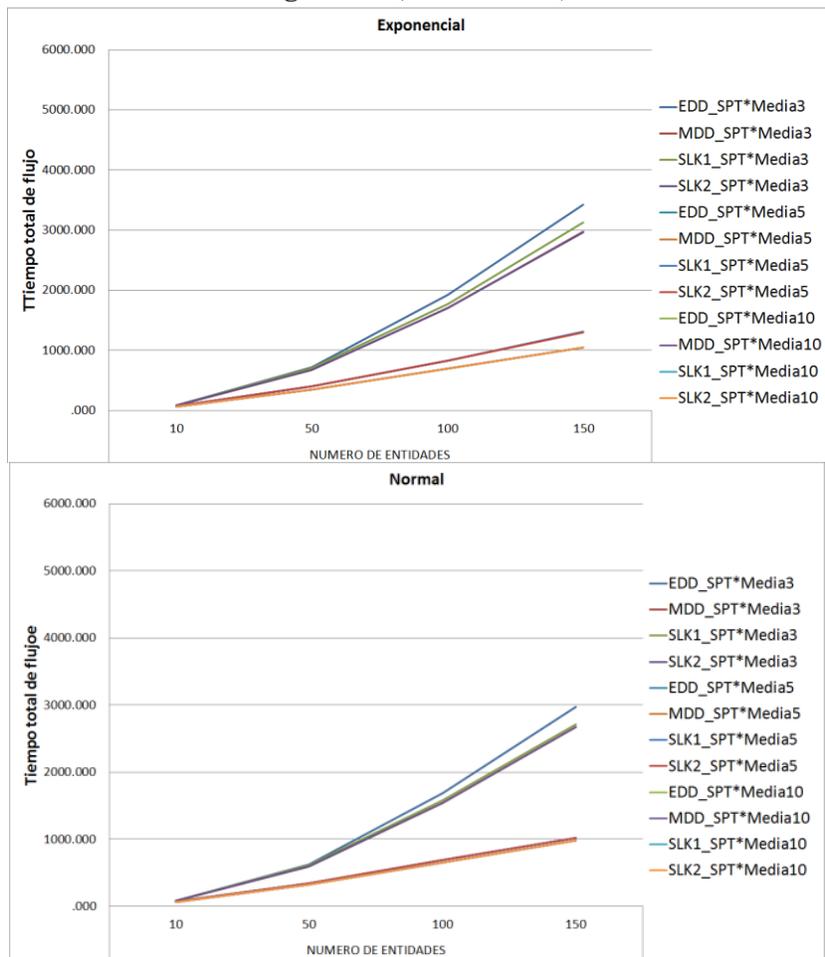
**Figura 13.** Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración parcial



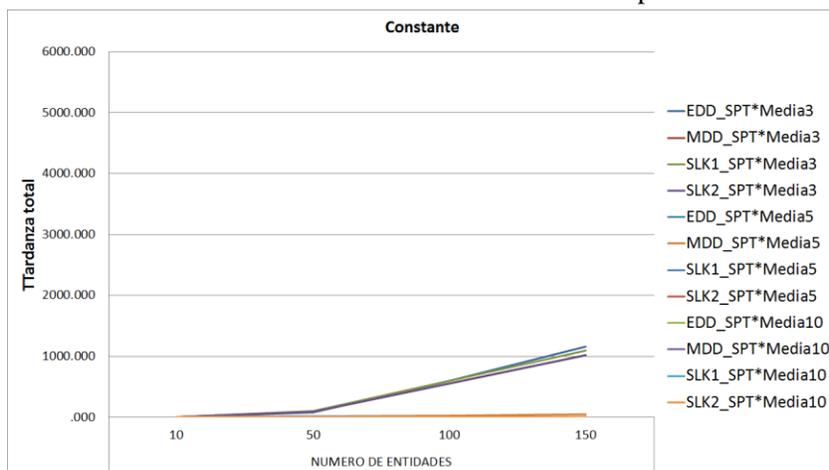
**Figura 14.** Tiempo Total de Flujo Vs. Número de trabajos, con Media 3,5 y 10; discriminadas por distribución en el escenario de colaboración parcial



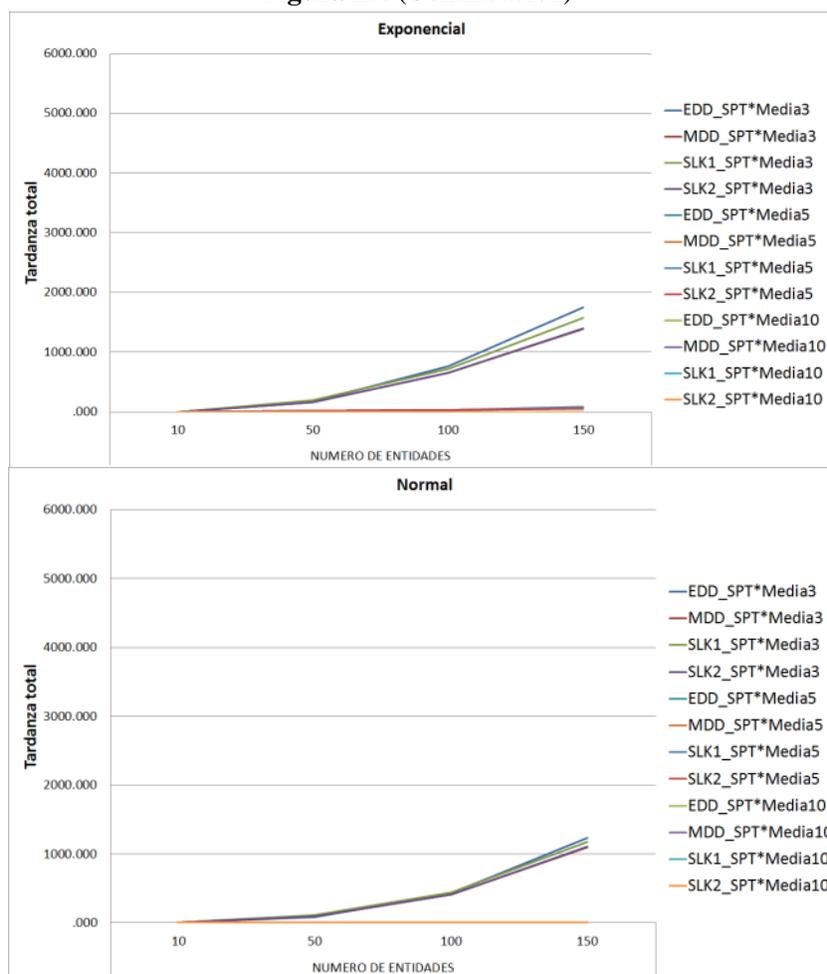
**Figura 14. (Continuación)**



**Figura 15. Tardanza total Vs. Número de trabajos, con Media 3,5 y 10; discriminadas por distribución en el escenario de colaboración parcial**



**Figura 15. (Continuación)**



Las conclusiones que se pueden generar de las anteriores tablas y figuras son las mismas conclusiones a las que se llegó en el escenario de colaboración nulo (ver Anexo E; Tabla E.3).

### 5.2.4 Comparación entre el factor ReglaProgramación, Media y NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial

Los resultados de las tasas de llegada (Factor Media) de los trabajos a la cadena logística estudiada se muestran a continuación.

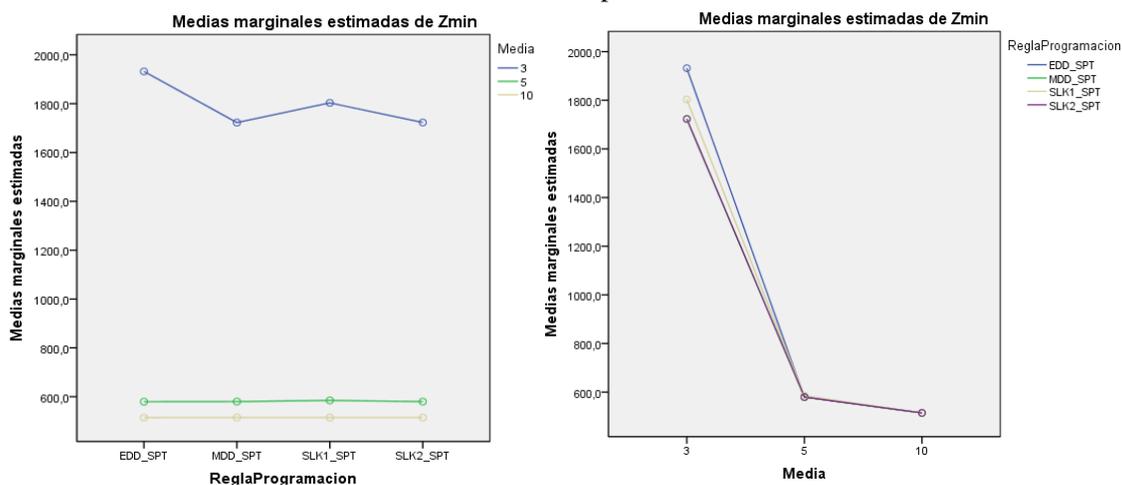
**Tabla 23.** Estadísticas del factor Media en el escenario de colaboración parcial

Media	Media	Error tip.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
3	1795,216	10,403	1774,820	1815,612
5	581,072	10,403	560,676	601,468
10	514,444	10,403	494,049	534,840

**Tabla 24.** Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-Media en el escenario de colaboración parcial

ReglaProgramacion	Media	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
EDD_SPT	3	1931,959	20,807	1891,167	1972,750
	5	579,547	20,807	538,756	620,339
	10	514,371	20,807	473,579	555,162
MDD_SPT	3	1722,682	20,807	1681,890	1763,473
	5	580,006	20,807	539,215	620,798
	10	514,465	20,807	473,674	555,257
SLK1_SPT	3	1803,375	20,807	1762,584	1844,167
	5	584,851	20,807	544,059	625,642
	10	514,533	20,807	473,741	555,324
SLK2_SPT	3	1722,848	20,807	1682,057	1763,640
	5	579,884	20,807	539,092	620,675
	10	514,409	20,807	473,618	555,201

**Figura 16.** Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-Media en el escenario de colaboración parcial



Las conclusiones que se pueden generar de las anteriores tablas y figuras son las mismas conclusiones a las que se llegó en el escenario de colaboración nulo (ver Anexo E; Tabla E.4). A continuación se muestran los resultados del número de trabajos que fueron procesados por la cadena logística bajo estudio.

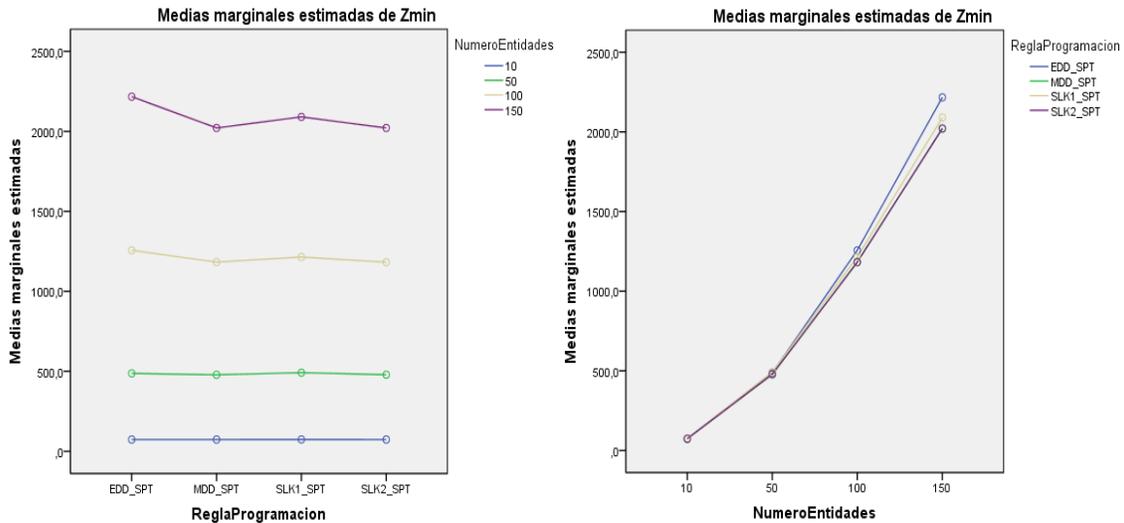
**Tabla 25.** Estadísticas del factor NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial

NumeroEntidades	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
10	73,806	12,013	50,255	97,357
50	483,964	12,013	460,414	507,515
100	1209,012	12,013	1185,461	1232,563
150	2087,528	12,013	2063,977	2111,079

**Tabla 26.** Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial

ReglaProgramacion	NumeroEntidades	Media	Error tip.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
EDD_SPT	10	73,707	24,025	26,605	120,809
	50	487,249	24,025	440,147	534,351
	100	1256,628	24,025	1209,526	1303,730
	150	2216,918	24,025	2169,816	2264,020
MDD_SPT	10	73,784	24,025	26,682	120,886
	50	478,178	24,025	431,076	525,280
	100	1182,842	24,025	1135,740	1229,944
	150	2021,401	24,025	1974,299	2068,503
SLK1_SPT	10	73,961	24,025	26,859	121,063
	50	491,760	24,025	444,658	538,862
	100	1214,375	24,025	1167,273	1261,477
	150	2090,249	24,025	2043,147	2137,351
SLK2_SPT	10	73,771	24,025	26,669	120,873
	50	478,671	24,025	431,569	525,773
	100	1182,203	24,025	1135,101	1229,305
	150	2021,543	24,025	1974,441	2068,645

**Figura 17.** Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial



Las conclusiones que se pueden generar de las anteriores tablas y figuras son las mismas conclusiones a las que se llegó en el escenario de colaboración nulo (ver Anexo E; Tabla E.5). Una vez analizado el efecto que causan otros factores al factor ReglaProgramación, se procede del mismo modo para analizar la interacción ReglaProgramación\*Media\*NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial.

Partiendo de la literatura, se espera que la mejor estrategia de programación de operaciones sea la SLK puesto que es la segunda regla de despacho que obtiene mejor resultado al minimizar el Tiempo Total de Flujo y, es la que mejor genera resultados al minimizar la Tardanza Total (Kadipasaoglu et al., 1997). La siguiente tabla resume los resultados de los Contrastes de Scheffé

(ver Tabla 27 y Anexo E; Tabla E.7) realizados para la interacción ReglaProgramación\*Media(3)\*NúmeroEntidades(10, 50, 100 y 150).

**Tabla 27.** Resultados de los Contrastes de Scheffé realizados a las estrategias de programación del escenario de colaboración parcial, con Media 3 y distintas instancias de trabajos procesados

ReglaProgramacion	SLK2_SPT Vs SLK1_SPT	✗	SLK2_SPT Vs SLK1_SPT	✗	SLK2_SPT Vs SLK1_SPT	✗	SLK2_SPT Vs SLK1_SPT	✗
	SLK2_SPT Vs MDD_SPT	✗	SLK2_SPT Vs MDD_SPT	✗	SLK2_SPT Vs MDD_SPT	✗	SLK2_SPT Vs MDD_SPT	✗
	SLK2_SPT Vs EDD_SPT	✗	SLK2_SPT Vs EDD_SPT	✗	SLK2_SPT Vs EDD_SPT	✗	SLK2_SPT Vs EDD_SPT	✓
	SLK1_SPT Vs MDD_SPT	✗	SLK1_SPT Vs MDD_SPT	✗	SLK1_SPT Vs MDD_SPT	✗	SLK1_SPT Vs MDD_SPT	✗
	SLK1_SPT Vs EDD_SPT	✗	SLK1_SPT Vs EDD_SPT	✗	SLK1_SPT Vs EDD_SPT	✗	SLK1_SPT Vs EDD_SPT	✓
	MDD_SPT Vs EDD_SPT	✗	MDD_SPT Vs EDD_SPT	✗	MDD_SPT Vs EDD_SPT	✗	MDD_SPT Vs EDD_SPT	✓
		<b>10</b>		<b>50</b>		<b>100</b>		<b>150</b>
<b>NumeroEntidades</b>								

A pesar de no presentarse diferencia estadísticamente significativa cuando se procesaron 10 trabajos, la estrategia de programación EDD\_SPT generó mejores resultados que las estrategias de programación SLK2\_SPT, SLK1\_SPT y MDD\_SPT en un 12.1 %, 21.2 % y 13.1 % de los casos, respectivamente. Mientras que las estrategias de programación SLK2\_SPT, SLK1\_SPT y MDD\_SPT generaron mejores resultados que la EDD\_SPT en un 9 %, 8 % y 7 % de los casos, respectivamente. De acuerdo a lo anterior, cuando se procesaron 10 trabajos la estrategia de programación EDD\_SPT genera una leve diferencia sobre las demás.

No existe diferencia estadísticamente significativa entre las estrategias de programación cuando se procesaron 50 trabajos, sin embargo, la estrategia de programación MDD\_SPT generó mejores resultados que las estrategias de programación SLK2\_SPT, SLK1\_SPT y EDD\_SPT en un 47.5 %, 76.8 % y 61.6 % de los casos, respectivamente. Mientras que las estrategias de programación SLK2\_SPT y SLK1\_SPT generaron mejores resultados que la MDD\_SPT en un 38.4 % y 21.2 % de los casos, respectivamente.

Para 100 trabajos no se presenta diferencia estadísticamente significativa entre las estrategias de programación de operaciones, sin embargo, la estrategia de programación MDD\_SPT generó mejores resultados que las estrategias de programación SLK1\_SPT, SLK2\_SPT y EDD\_SPT en un 86.9 %, 55.6 % y 85.9 % de los casos, respectivamente.

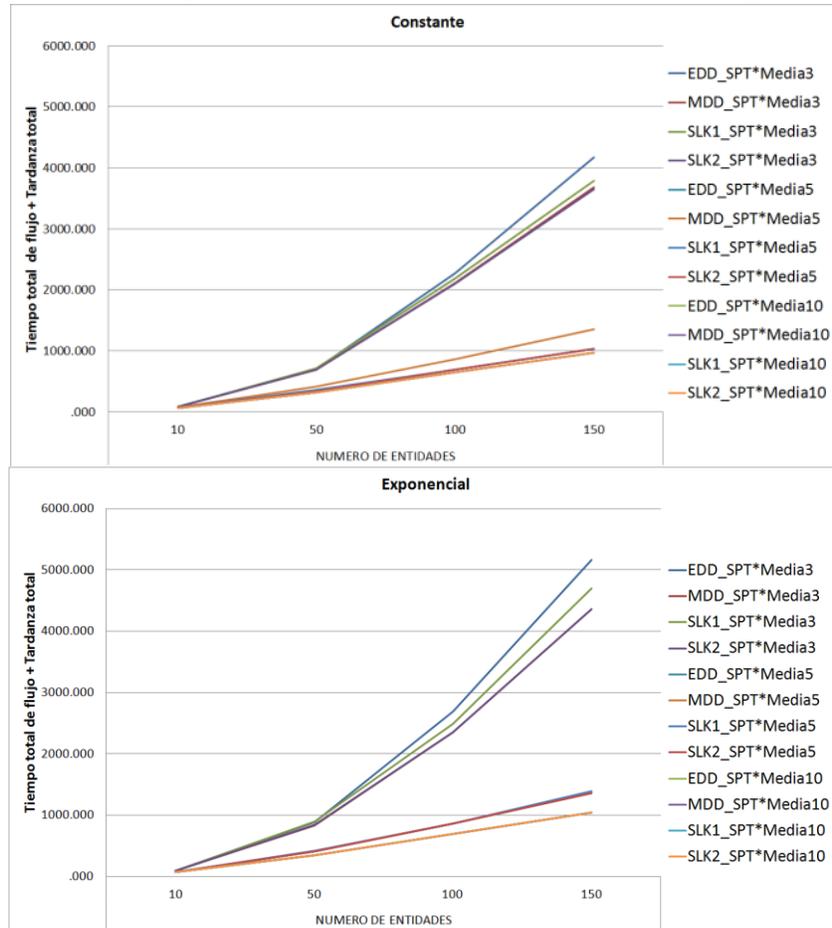
Para 150 trabajos no se presenta diferencia estadísticamente significativa entre las estrategias de programación SLK2\_SPT, SLK1\_SPT y la MDD\_SPT, pero existe diferencia estadísticamente significativa entre la estrategia de programación EDD\_SPT respecto de estas tres. A pesar de no presentarse diferencia estadísticamente significativa entre estas tres estrategias de programación (SLK2\_SPT, SLK1\_SPT y la MDD\_SPT), la SLK2\_SPT generó mejores resultados que las estrategias de programación SLK1\_SPT y MDD\_SPT en un 83.8 % y 52.5 % de los casos, respectivamente.

Las estrategias de programación que mejores resultados generaron en el escenario de colaboración parcial fueron las SLK2\_SPT y MDD\_SPT presentándose una leve diferencia entre ambas. Lo

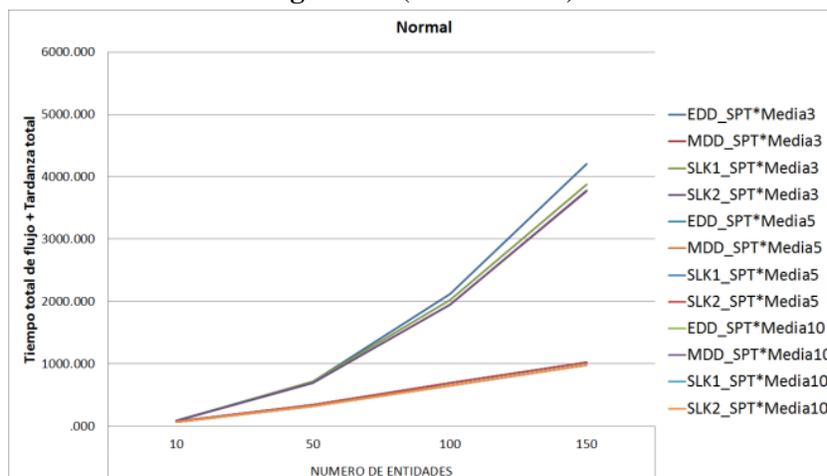
anterior confirma las conclusiones obtenidas en el trabajo de Kadipasaoglu et al. (1997) respecto a estas reglas. A estas estrategias de programación le siguen la SLK1\_SPT y EDD\_SPT, siendo esta última la estrategia de programación que genera el peor rendimiento del sistema para instancias de 50, 100 y 150 trabajos pero la mejor para instancia de 10 trabajos.

De la misma manera que se presentó en el escenario de colaboración nulo, a medida que se iguala la tasa de llegada de los trabajos con la tasa de servicio del sistema bajo estudio en el escenario de colaboración parcial, es decir, la tasa de llegada es de 5 y 10, no existe diferencia estadísticamente significativa entre las estrategias de programación de operaciones. Caso particular se presenta cuando la tasa de llegada de los trabajos es de 10 haciendo que el rendimiento de las estrategias de programación sea muy similar (ver Figura 18 y Anexo E; Tabla E.8, Tabla E.9).

**Figura 18.** Tiempo Total de Flujo + Tardanza Total Vs. Número de trabajos, con Media 3,5 y 10; discriminadas por distribución en el escenario de colaboración parcial



**Figura 18.** (Continuación)



Así como en el escenario de colaboración nulo, se analiza el tiempo de terminación del programa de las estrategias de programación estudiadas en el escenario de colaboración parcial. Las conclusiones que se pueden generar de la tabla ANOVA de este aspecto son las mismas conclusiones a las que se llegó en el escenario de colaboración nulo (ver Anexo E; Tabla E.10, Tabla E.11 y Tabla E.12).

### 5.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESCENARIO DE COLABORACIÓN NULO Y PARCIAL

Se compara la mejor estrategia de programación del escenario de colaboración nulo con las estrategias de programación del escenario de colaboración parcial con el propósito de valorar el impacto que produce el intercambio de información a nivel parcial en el rendimiento global de la cadena logística bajo estudio. La tabla ANOVA determina que al menos una estrategia de programación se comporta distinta de las demás por lo que se realizan Contrastes de Scheffé para identificar cual de todas las estrategias de programación genera un rendimiento global diferente en la cadena (ver Anexo F; Tabla F.1 y Tabla F.3). La siguiente tabla resume los resultados de los Contrastes de Scheffé realizados para la interacción ReglaProgramación\*Media(3)\*NúmeroEntidades(10, 50, 100 y 150).

**Tabla 28.** Resultados de Contrastes de Scheffé realizados a las estrategias de programación de operaciones de los escenarios de colaboración nulo y parcial, con Media 3 y distintos niveles del factor NúmeroEntidades

ReglaProgramación	NúmeroEntidades			
	10	50	100	150
SLK2_SPT Vs SPT_SPT	✗	✗	✗	✗
SLK1_SPT Vs SPT_SPT	✗	✗	✗	✗
MDD_SPT Vs SPT_SPT	✗	✗	✗	✗
EDD_SPT Vs SPT_SPT	✗	✗	✗	✓

No se presentó diferencia estadísticamente significativa cuando se procesaron 10 trabajos, sin embargo, se observó lo siguiente:

- La estrategia de programación SLK2\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 23.2 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la SLK2\_SPT en un 18.2 % de los casos.
- La estrategia de programación SLK1\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 22.2 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la SLK1\_SPT en un 27.3 % de los casos.
- La estrategia de programación MDD\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 22.2 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la MDD\_SPT en un 21.2 % de los casos.
- La estrategia de programación EDD\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 22.2 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la EDD\_SPT en un 18.2 % de los casos.

Cuando se procesaron 10 trabajos se evidencia que por lo menos las estrategias de programación del escenario de colaboración parcial tienen mayor probabilidad de generar mejores resultados que la mejor estrategia de programación del escenario de colaboración nulo -SPT\_SPT-, a excepción de la estrategia de programación SLK1\_SPT. Por lo tanto, es valorada la acción de compartir parcialmente la información cuando los miembros de la cadena procesen pequeñas cantidades de trabajos. Cuando la cadena logística procesó 50 trabajos se observó lo siguiente:

- La estrategia de programación SLK2\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 48.5 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la SLK2\_SPT en un 50.5 % de los casos.
- La estrategia de programación SLK1\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 24.2 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la SLK1\_SPT en un 75.8 % de los casos.
- La estrategia de programación MDD\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 48.5 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la MDD\_SPT en un 51.5 % de los casos.
- La estrategia de programación EDD\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 39.4 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la EDD\_SPT en un 59.6 % de los casos.

Al procesar la cadena logística 50 trabajos se evidencia que la mejor estrategia de programación del escenario de colaboración nulo obtuvo mejores resultados que todas las estrategias de programación del escenario de colaboración parcial. Sin embargo, las mejores estrategias de programación del escenario de colaboración parcial -SLK2\_SPT y MDD\_SPT- obtuvieron resultados muy similares a la SPT\_SPT. La estrategia de programación SPT\_SPT a lo sumo obtuvo un 3 % más de probabilidad que las estrategias de programación SLK2\_SPT y MDD\_SPT para obtener buenos resultados. Aun presentándose lo anterior y siendo una diferencia no significativa, se resalta el valor

de compartir información parcialmente entre los miembros de la cadena logística para aumentar el rendimiento global de la misma. Cuando la cadena logística procesó 100 trabajos se presentó lo siguiente:

- La estrategia de programación SLK2\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 61.6 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la SLK2\_SPT en un 38.38 % de los casos.
- La estrategia de programación SLK1\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 41.4 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la SLK1\_SPT en un 58.6 % de los casos.
- La estrategia de programación MDD\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 59.6 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la MDD\_SPT en un 40.4 % de los casos.
- La estrategia de programación EDD\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 24.24 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la EDD\_SPT en un 75.76 % de los casos.

Cuando la cadena logística procesó 150 trabajos se presentó lo siguiente:

- La estrategia de programación SLK2\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 59.6 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la SLK2\_SPT en un 40.4 % de los casos.
- La estrategia de programación SLK1\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 37.4 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la SLK1\_SPT en un 62.6 % de los casos.
- La estrategia de programación MDD\_SPT generó mejores resultados que la SPT\_SPT en un 60.6 % de los casos; mientras que la SPT\_SPT generó mejores resultados que la MDD\_SPT en un 39.4 % de los casos.
- Existe diferencia estadísticamente significativa entre la estrategia de programación SPT\_SPT y la EDD\_SPT siendo la SPT\_SPT la que mejor generó rendimiento en la cadena logística.

A pesar de no presentarse una diferencia estadísticamente significativa entre las estrategias de programación del escenario de colaboración nulo y parcial cuando se procesaron 100 y 150 trabajos, las estrategias de programación SLK2\_SPT y MDD\_SPT tienen mayor probabilidad de generar mejores resultados que la SPT\_SPT. Las estrategias de programación SLK1\_SPT y EDD\_SPT no obtuvieron mejores resultados que la SPT\_SPT, para instancias superiores a 10 trabajos, por lo que no es adecuada la manera en que estas estrategias de programación procesan la información que se comparte parcialmente para establecer la secuencia en que serán procesados los trabajos que permita mejorar el rendimiento de la cadena logística. Los resultados demuestran que las estrategias de programación SLK2\_SPT y MDD\_SPT saben cómo procesar la información de tal manera que el rendimiento global de la cadena sea mejor que cuando no exista información compartida. Una de las barreras que impide una adecuada implementación de la colaboración en la cadena de suministro es cómo será procesada la información de tal manera que sirva para coordinar y sincronizar los procesos internos de cada compañía (Kaipia, 2007), la abundancia de información

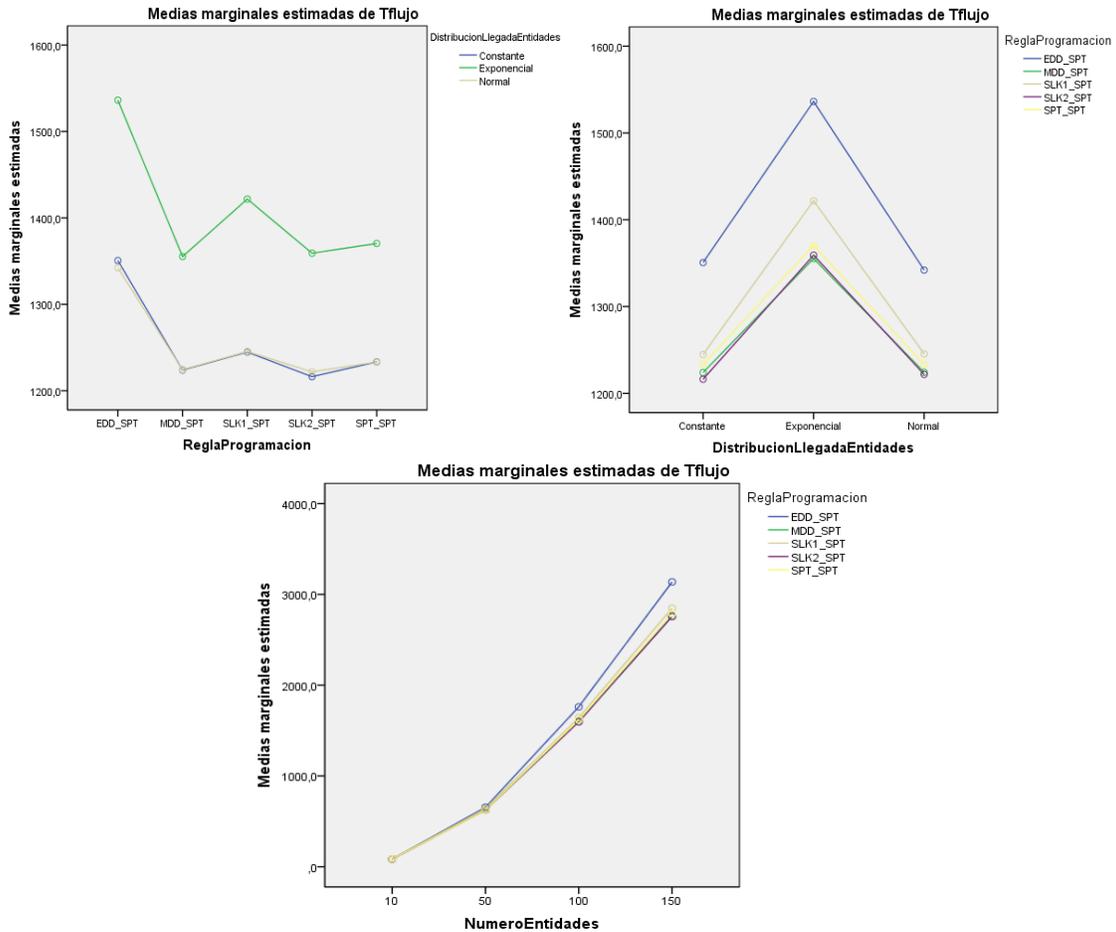
que se intercambia afecta el proceso de toma de decisiones y la confusión sobre cómo usar exactamente cada tipo de información compartida entre los miembros de la cadena (Simchi-Levi, 2000; Shapiro, 2001).

En cuanto a las estrategias de programación SLK1\_SPT y EDD\_SPT no obtuvieron los mejores rendimientos para la cadena logística porque la SLK1\_SPT el proveedor omite la información relacionada con el tiempo de procesamiento del segundo eslabón y esto experimentalmente implica que no se genere el mejor beneficio para ambos miembros de la cadena. Respecto a la estrategia de programación EDD\_SPT a pesar de recibir el proveedor varios tipos de información solo considera la información relacionada con la fecha de entrega de cada trabajo para determinar la manera en que serán procesados los trabajos lo que genera un detrimento en el rendimiento de la cadena. Esta estrategia de programación solo trae beneficios cuando se procesen 10 trabajos.

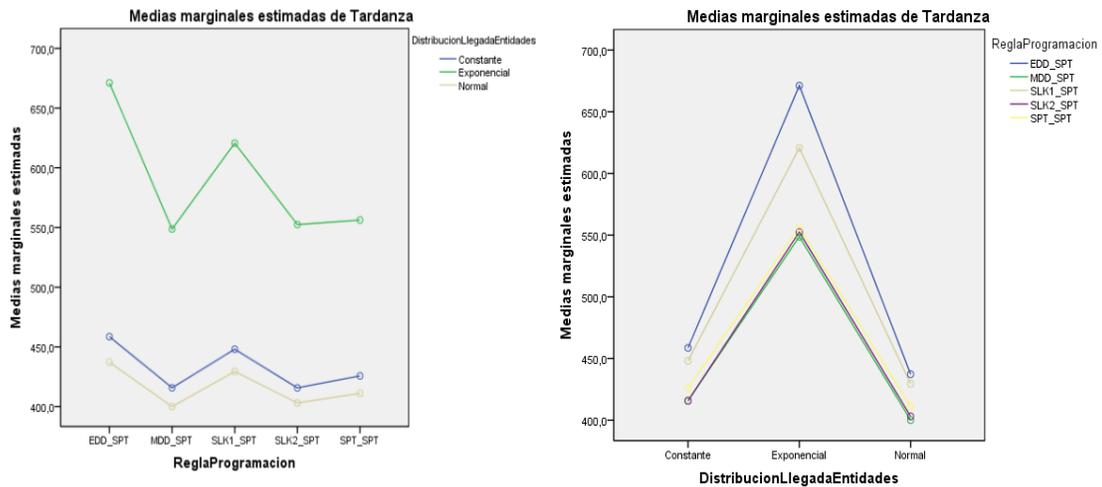
Analizando la función objetivo desde la perspectiva del Tiempo Total de Flujo, no existe diferencia estadísticamente significativa entre las estrategias de programación SLK2\_SPT, SLK1\_SPT, MDD\_SPT y SPT\_SPT pero estas cuatro si difieren respecto a la EDD\_SPT. Para la Tardanza Total no existe diferencia estadísticamente significativa entre estas estrategias de programación. Estas conclusiones están soportadas en las pruebas estadísticas realizadas para este conjunto de estrategias de programación (Ver Anexo F; Tabla F.4, Tabla F.5, Tabla F.6 y Tabla F.7).

Comparando estos resultados con los de la literatura, se comprueba experimentalmente el postulado de Kadipasaoglu et al. (1997), donde se establece que las reglas SLK y DD -SLK2 y MDD en el escenario de colaboración parcial respectivamente- generan mejores resultados que la SPT cuando se minimiza la Tardanza Total. Para el Tiempo Total de Flujo se observa una leve diferencia entre las estrategias de programación SLK2\_SPT y MDD\_SPT respecto de la SPT\_SPT (ver Figura 19 y Figura 20). Las estrategias de programación SLK2\_SPT y MDD\_SPT tienen mayor probabilidad de obtener mejores resultados que la SPT\_SPT en cuanto a Tiempo Total de Flujo y Tardanza Total para un ambiente en el que se procesen 100 y 150 trabajos, mientras que la SPT\_SPT obtuvo en un 3 % mejores resultados que las estrategias de programación SLK2\_SPT y MDD\_SPT cuando se procesaron 50 trabajos. Así mismo se comprueba experimentalmente los resultados encontrados por Tang et al. (2005) en el que demuestra que la regla EDD genera peores resultados que la regla SPT.

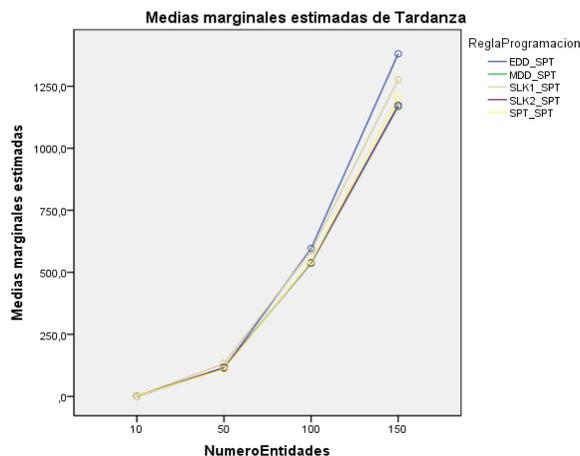
**Figura 19.** Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades-NúmeroEntidades en la comparación del escenario de colaboración nulo y parcial; Tiempo Total de Flujo



**Figura 20.** Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades-NúmeroEntidades en la comparación del escenario de colaboración nulo y parcial; Tardanza Total



**Figura 20. (Continuación)**



El intercambio de información entre los miembros que conforman la cadena no impacta significativamente cuando la tasa de llegada de los trabajos se iguala cada vez más a la tasa de servicio de las compañías que conforman la cadena logística bajo estudio. Las conclusiones que se pueden generar para tasas de llegada de 5 y 10 son las mismas conclusiones a las que se llegó en el escenario de colaboración nulo y parcial (ver Anexo F; Tabla F.8 y Tabla F.9).

Teniendo en cuenta el tiempo de terminación del programa para las estrategias de programación analizadas, la tabla ANOVA arroja que no existe diferencia estadísticamente significativa en el tiempo que toma cada estrategia de programación en procesar la totalidad de los trabajos. Sin embargo, si existe diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de terminación del programa entre la distribución Exponencial y las distribuciones Normal y Constante. Entre estas dos no se presenta diferencia significativa. Lo mismo sucede para distintas tasas de llegada siendo el valor de 3 el que se diferencia de las tasas de llegada con valores de 5 y 10 e igual para las instancias de los trabajos presentándose diferencia entre todas las instancias (ver Anexo F; Tabla F.10, Figura F.1, Figura F.2, Figura F.3 y Figura F.4).

#### **5.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS DE COLABORACIÓN NULO, PARCIAL Y TOTAL**

Se comparan las mejores estrategias de programación de operaciones de los escenarios de colaboración estudiados. Para el escenario de colaboración total solo fue analizada la estrategia de programación *General SB Routine* que maneja LEKIN por lo que no se hace comparación entre estrategias de programación para el escenario de colaboración total. En consecuencia, se analizan las estrategias de programación SPT\_SPT, EDD\_SPT, SLK2\_SPT, MDD\_SPT y *General SB Routine* con el propósito de valorar el impacto que produce el intercambio de información bajo ciertos niveles de colaboración en el rendimiento global de la cadena logística bajo estudio. La tabla ANOVA determina que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las estrategias de programación analizadas sin embargo se realizan Contrastes de Scheffé para identificar cual de todas las estrategias de programación genera el mejor rendimiento global en la cadena (ver Anexo

G; Tabla G.1; Tabla G.3, Tabla G.4 y Tabla G.5). A continuación se muestran los resultados de los Contrastes de Scheffé realizados para la interacción ReglaProgramación\*Media(3)\*NúmeroEntidades(10 y 50).

Para 10 trabajos procesados en la cadena logística estudiada la estrategia de programación *General SB Routine* generó mejores resultados que las estrategias de programación SLK2\_SPT, MDD\_SPT, EDD\_SPT y SPT\_SPT en un 59.6 %, 61.6 %, 60.6 % y 64.6 % de los casos, respectivamente. Mientras que las estrategias de programación SLK2\_SPT, MDD\_SPT, EDD\_SPT y SPT\_SPT generaron mejores resultados que la *General SB Routine* en un 20.2 %, 17.2 %, 20.2 % y 15.2 % de los casos, respectivamente.

Para 50 trabajos procesados la estrategia de programación *General SB Routine* generó mejores resultados que las estrategias de programación SLK2\_SPT, MDD\_SPT, EDD\_SPT y SPT\_SPT en un 51.5 %, 53.5 %, 67.7 % y 48.5 % de los casos, respectivamente. Mientras que las estrategias de programación SLK2\_SPT, MDD\_SPT, EDD\_SPT y SPT\_SPT generaron mejores resultados que la *General SB Routine* en un 22.2 %, 26.3 %, 28.3 % y 30.3 % de los casos, respectivamente.

A pesar de no existir diferencia estadísticamente significativa entre las mejores estrategias de programación de los escenarios de colaboración para instancias de 10 y 50, la estrategia de programación del escenario de colaboración total tiene mayor probabilidad de generar mejores resultados que las mejores estrategias de programación de los escenarios de colaboración nulo y parcial. Por consiguiente, es valorada la estrategia de compartir totalmente la información puesto que se mejora el rendimiento global de la cadena logística estudiada respecto a compartir información de manera parcial y nula.

El intercambio total de la información entre los miembros que conforman la cadena no impacta significativamente cuando la tasa de llegada de los trabajos se iguala cada vez más a la tasa de servicio de las compañías que conforman la cadena logística bajo estudio. Cuando las tasas de llegada de los trabajos es de 5 y 10, entre las estrategias de programación analizadas no existe diferencia estadísticamente significativa e inclusive alcanzan resultados similares (ver Anexo G; Figura G.1, Figura G.2, Figura G.3, Figura G.4).

La tabla ANOVA del tiempo de terminación del programa de las estrategias de programación analizadas (ver Anexo G; Tabla G.8) determina que no existe diferencia estadísticamente significativa en el tiempo en que incurre cada estrategia de programación para procesar la totalidad de los trabajos, independientemente de la distribución que se use. Si se evidencia diferencia estadísticamente significativa cuando se consideran distintas tasas de llegada de los trabajos al sistema -3, 5 y 10-, igual sucede cuando se procesan distintas cantidades de trabajos -10 y 50- (ver Anexo G; Figura G.1, Figura G.2, Figura G.3, Figura G.4).

## 5.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

En este capítulo se presentó el análisis comparativo de los resultados de cada escenario de colaboración propuesto en esta investigación. Se comparó el rendimiento generado por las distintas estrategias de programación de operaciones de los escenarios de colaboración estudiados. Así mismo, se compararon las mejores estrategias de programación de cada escenario de colaboración

con el fin de estudiar el impacto que genera el intercambio de información bajo ciertos niveles de colaboración en los indicadores globales de la cadena logística bajo estudio.

En todos los escenarios de colaboración se observó que existe una diferencia estadísticamente significativa cuando la llegada de los trabajos al sistema sigue una distribución Exponencial, Normal y Constante, siendo estas dos últimas las que generan resultados similares y se diferencian de la Exponencial. El rendimiento global de la cadena logística se ve beneficiado cuando los miembros de la cadena le dan poca importancia al criterio Tiempo Total de Flujo. Sin embargo, es importante establecer un equilibrio entre el indicador de productividad y el nivel de servicio de las compañías inmersas en la cadena logística que permita optimizar el rendimiento global de la cadena.

Así mismo, se observó que se genera cuello de botella en el sistema cuando la tasa de llegada de los trabajos es muy inferior a la tasa de servicio por lo que se hace necesario implementar adecuadamente la estrategia de colaboración entre los miembros que conforman la cadena logística estudiada. Bajo las anteriores condiciones se genera un efecto y por ende una diferencia en el rendimiento de las estrategias de programación de los escenarios de colaboración estudiados. Caso contrario sucede cuando la tasa de llegada de los trabajos se iguala cada vez más a la tasa de servicio del sistema debido a se dispone de capacidad suficiente para procesar los trabajos y significativamente no impacta la estrategia de colaboración en el rendimiento global de la cadena logística estudiada. Inclusive, cuando la tasa de llegada es similar a la tasa de servicio se evidencia que todas las estrategias de programación logran resultados muy parecidos.

En el escenario de colaboración nulo la mejor estrategia de programación fue la SPT\_SPT. Las mejores estrategias de programación en el escenario de colaboración parcial fueron las SLK2\_SPT y MDD\_SPT; solo la estrategia de programación EDD\_SPT generó mejores resultados que las demás cuando se procesaron 10 trabajos. Pero la estrategia de programación del escenario de colaboración total generó mejores resultados que las mejores estrategias de programación de los escenarios de colaboración nulo y parcial, para todas las instancias de trabajos, por lo que realmente se evidencia un impacto positivo en el rendimiento global de la cadena logística bajo estudio a medida que se conoce más información y esta es procesada adecuadamente por los miembros para determinar la secuencia en que serán procesadas los trabajos. Finalmente, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre el tiempo de ejecución del programa de las mejores estrategias de programación de los escenarios de colaboración por lo que se considera otro factor de decisión para que los miembros de la cadena logística seleccionen la mejor estrategia de programación que se ajuste a la dinámica en que programan sus operaciones.

## 6. CONCLUSIONES GENERALES Y PERSPECTIVAS

Este proyecto de investigación se enfocó en estudiar el impacto en los indicadores de productividad en una cadena logística diádica generado por el intercambio de información bajo diversos ambientes de colaboración. En cada escenario de colaboración fueron analizadas varias estrategias de programación de la producción con el fin de determinar qué escenario de colaboración y qué regla de secuenciación de los trabajos permite mejorar el rendimiento global de la cadena logística bajo estudio. A diferencia de los trabajos anteriores en la literatura, este estudio consideró varios recursos en paralelo en cada eslabón de la cadena y la consideración simultánea de varios indicadores de desempeño en la función objetivo.

Los resultados experimentales mostraron que si los miembros de la cadena logística estudiada no adoptan estrategias de colaboración (e.g. escenario de colaboración nulo), el desempeño global alcanzado no es óptimo. Los resultados del escenario de colaboración nulo indicaron que la estrategia de programación que generó el mejor rendimiento global en la cadena fue la SPT\_SPT<sup>7</sup> seguida de la SPT\_FIFO, FIFO\_SPT y FIFO\_FIFO. Esta última, fue la que peor rendimiento generó en la cadena. Se evidencia experimentalmente que si el primer eslabón tomó una mala decisión y definió una secuenciación que no mejora el rendimiento global de la cadena, no se podrán corregir significativamente las ineficiencias presentadas en el primer eslabón por más eficaz que sea la programación del segundo eslabón (FIFO\_SPT).

Los resultados del escenario de colaboración parcial evidenciaron que las estrategias de programación que mejores resultados generaron fueron las SLK2\_SPT y MDD\_SPT, presentándose una leve diferencia entre ambas. Lo anterior confirma experimentalmente las conclusiones obtenidas en el trabajo de Kadipasaoglu et al. (1997) en relación con estas reglas. Las estrategias de programación SLK1\_SPT y EDD\_SPT no generaron buenos rendimientos. Esta última estrategia de programación solo generó mejores resultados que las demás cuando se procesaron 10 trabajos.

En cuanto a la comparación de las estrategias de programación del escenario de colaboración nulo y parcial, solo las estrategias de programación SLK2\_SPT y MDD\_SPT generaron mejores resultados que la mejor estrategia de programación del escenario de colaboración nulo (SPT\_SPT). Esta última, generó mejores resultados que las estrategias de programación SLK1\_SPT y EDD\_SPT para instancias de 50, 100 y 150 trabajos. Las estrategias de programación SLK1\_SPT y EDD\_SPT no obtuvieron mejores resultados que la SPT\_SPT, para instancias de 50, 100 y 150 trabajos, por lo que se concluye que no es adecuada la manera en que estas estrategias de programación procesan la información puesto que causa un detrimento en el rendimiento global de la cadena bajo estudio.

Los resultados de la comparación de las mejores estrategias de programación de los escenarios de colaboración nulo, parcial y total, arrojaron que no existe diferencia estadísticamente significativa entre ellas. Sin embargo, la estrategia de programación del escenario de colaboración total -*General SB Routine*- tiene mayor probabilidad de generar mejores resultados que las mejores estrategias de programación de los escenarios de colaboración nulo y parcial. Por consiguiente, es valorada la

---

<sup>7</sup> La estrategia de programación SPT\_SPT significa que el proveedor emplea la regla SPT y el fabricante la misma regla. De igual manera aplica para las demás estrategias de programación consideradas en el escenario de colaboración nulo y parcial.

estrategia de compartir totalmente la información puesto que se mejora el rendimiento global de la cadena logística estudiada respecto a compartir información de manera parcial y nula.

A medida que se iguala la tasa de llegada de los trabajos a la tasa de servicio el impacto que genera el intercambio de información es nulo puesto que todas las estrategias de programación de operaciones de los escenarios de colaboración alcanzan rendimientos similares. Bajo el supuesto de no existir colaboración en la cadena de suministro desde la gerencia de operaciones se debe:

- A nivel estratégico: Identificar qué compañías de la cadena de suministro proveen de materias primas, insumos y productos semi-terminados que estén ligados con aquellos productos y servicios que hacen que el negocio sea rentable. Establecer una adecuada administración con los proveedores basada en las buenas relaciones, en la confianza mutua, pagos oportunos, alianzas estratégicas, comunicación efectiva, establecer incentivos por la excelente calidad y entregas oportuna de los productos. Identificar la medida en que los clientes soliciten más productos para crear planes estratégicos relacionados con el aumento de la capacidad de los recursos, innovación de productos y la forma en que los proveedores satisfagan las nuevas necesidades. Comunicación activa y buenas relaciones con los clientes permitirán conocer información que se podrá compartir con los miembros de la cadena. Trabajar bajo sinergias, establecer objetivos y metas comunes con los clientes y proveedores de la cadena logística. Identificar y evaluar técnica y económicamente la tecnología que permitirá conocer y compartir la información eficiente y efectivamente proveniente del cliente y suministrada al proveedor (teléfono, fax, correo electrónico, internet, EDI, XML, etc.).
- A nivel táctico: En caso dado se ejecute el plan estratégico hacer el diseño de la planta que permita cubrir de manera eficiente las nuevas necesidades. Contratación de personal competente a las nuevas necesidades, crear programas de capacitación para los empleados de la planta de producción, diseño de nuevos métodos de reaprovisionamiento.
- A nivel operacional: Establecer la manera en que se programarán los trabajos teniendo en cuenta las políticas, objetivos del proveedor y las necesidades del cliente. Así mismo, cumplir con los indicadores de eficiencia y eficacia de la compañía. Verificar y controlar que los pedidos se estén haciendo bajo lo planeado, cumplimiento de la calidad. Establecer nuevos planes de mantenimiento de tal manera que se cumpla con los pedidos de los clientes.

De esta forma, se ha mostrado a través de un gran conjunto de experimentos que las estrategias de colaboración entre miembros de una cadena logística no siempre producirán resultados positivos para todos los indicadores locales o globales de la cadena. Estas estrategias deben pues ser adoptadas con prudencia, luego de un estudio cuantitativo cuidadoso, con el fin de poder manejar adecuadamente la información que se comparte entre los miembros. En efecto, la gestión de la información también causa un efecto positivo cuando la capacidad de respuesta de los miembros de la cadena se vea afectada por la abundancia de trabajos a ser procesados en un tiempo determinado. Además de identificar y evaluar qué información compartir de manera que impacte en el rendimiento de cada miembro de la cadena, también es importante buscar el proveedor adecuado que esté acorde con los planes, objetivos y metas de la compañía. La inestabilidad que pueda presentarse en el sistema producto de la desconfianza puede que no permita que se alcance el rendimiento esperado.

## PERSPECTIVAS

Según Sahay (2003) la competencia en el futuro no será entre compañías sino entre cadenas de suministro. Por lo tanto, los miembros de la cadena de suministro deben establecer relaciones cercanas y colaborar entre ellos mismos. No es necesario establecer un contrato entre los miembros para materializar la colaboración entre ellos sino que sean consientes que necesitan de la ayuda del otro para generar rentabilidad en su negocio y por consiguiente en las compañías inmersas en la cadena de suministro.

Los resultados logrados en cada escenario de colaboración estudiado en esta investigación obedecen a cierto grado de compromiso/colaboración adquirido por los miembros para lograr el mejor rendimiento de la cadena logística. Otros estudios se han basado que esta responsabilidad se debe establecer bajo contrato adoptado en el que los miembros pertenecientes a la cadena logística tienen sus propios intereses. Al tener este contrato, el desempeño global de la cadena maximiza la creación de valor generando así, al final de la cadena, un cliente satisfecho (Gómez, 2005).

La cadena de suministro es una red compleja conformada por varios miembros y ha sido estudiada desde diferentes perspectivas: Serial, divergente, diádica, convergente y red. La configuración seleccionada en este estudio fue la diádica. Existe la oportunidad de seguir realizando estudios cuantitativos enfocados en las distintas configuraciones de cadena de suministro en los que se consideren otras condiciones y aspectos para el problema a modelar de tal manera que se cuantifique el valor y la importancia de la colaboración entre los actores inmersos en la cadena de suministro. Así mismo, cuantificar el valor, importancia y beneficios de la colaboración para cada una de estas configuraciones en cada uno de los miembros que la conforman, el impacto de la colaboración en sus indicadores de desempeño y niveles de decisión, empleando otras herramientas de solución para un problema en específico a resolver.

A futuro podrían adelantarse otros estudios soportados en la metodología utilizada en la presente investigación para resolver otros problemas de investigación con características similares al resuelto en este estudio e investigar si las conclusiones generadas en este estudio pueden ser replicables en otros. Para lo anterior, se propone la siguiente pregunta de investigación: ¿Pueden los resultados encontrados en este estudio extenderse a otro tipo de configuración/otros actores de la cadena de suministro? Considerando el alcance de la anterior pregunta de investigación podrían surgir y adelantar nuevas investigaciones que vayan encaminadas a resolver otros interrogantes como:

- ¿Qué otro tipo de información es conveniente compartir para mejorar globalmente los indicadores de desempeño? y ¿Cuál sería el impacto que dicha información genera desde el punto de vista cuantitativo?
- ¿Qué información, dentro de la que se comparte, genera detrimento en el rendimiento global de la cadena logística al ser utilizada?
- Si compartir información anticipadamente permite mejorar el rendimiento global de la cadena logística, ¿Cuál sería el horizonte de tiempo de dicha información? ¿Un día, una semana, dos semanas, un mes?

- ¿Resulta benéfico compartir información con todos los miembros de la cadena logística?, ¿Con quiénes resulta rentable compartir información? ¿Solo compartiendo información con los miembros dominantes se logran beneficios importantes para todos?
- ¿Cuál es el costo/beneficio de compartir la información a través de teléfono, fax, correos electrónicos, páginas web, EDI, XML, etc.?
- ¿Pueden los resultados encontrados en este estudio extenderse a otro tipo de configuración de la cadena de suministro?

## 7. REFERENCIAS

- Aghezzaf, E. and Van Landeghem, H. (2002). An integrated model for inventory and production planning in a two-stage hybrid production system. *International Journal of Production Research*, Vol. 40, No. 17, pp. 4323–4339.
- Agnetis, A. and Detti, P. (2001). Set-Up Coordination between Two Stages of a Supply Chain. *Annals of Operations Research*, Vol. 107, pp. 15–32.
- Agnetis, A., Hall, N. and Pacciarelli, D. (2006). Supply chain scheduling: Sequence coordination. *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 154, pp. 2044 – 2063.
- Agnetis, A., Pacifici, A., Rossi, F., Lucertini, M., Nicoletti, S., Nicolo, F., Oriolo, G., Pacciarelli, D. and Pesaro, E. (1997). Scheduling of flexible flow lines in an automobile assembly plant. *European Journal of Operational Research*, Vol. 97, No. 2, pp. 348–362.
- Allahverdi, A. and Al-Anzi, F. (2006). Scheduling multi-stage parallel-processor services to minimize average response time. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 57, No. 1, pp. 101–110.
- Allaoui, H. and Artiba, A. (2004). Integrating simulation and optimization to schedule a hybrid flow shop with maintenance constraints. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 47, No. 4, pp. 431–450.
- Amaro, A. and Barbosa-Póvoa, A. (2008). Planning and scheduling of industrial supply chains with reverse flows: A real pharmaceutical case study. *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 32, pp. 2606–2625.
- Anand, K. and Mendelson, H. (1997). Information and organisation for horizontal multimarket coordination. *Management Science*, Vol. 43, no. 12, pp. 1609-1627.
- Anderson, E., Fine, C. and Parker, G. (2000). Upstream volatility in the supply chain. The machine tool industry as a case study. *Production and Operations Management*, Vol. 9, pp. 239–261.
- Angeles, R. and Nath, R. (2001). Partner congruence in electronic data interchange (EDI) enabled relationships. *Journal of Business Logistics*, Vol. 22, No. 2, pp. 109–127.
- Arshinder, Kanda, A. and Deshmukh, S. (2008). Supply chain coordination: perspectives, empirical studies and research directions. *International Journal of Production Economics*, Vol. 115, pp. 316–335.
- Arns, M., Fischer, M., Kemper, P. and Tepper, C. (2002). Supply Chain Modelling and its Analytical Evaluation. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53, pp. 885-894.
- Attaran, M. and Attaran S. (2007). Collaborative supply chain management. The most promising practice for building efficient and sustainable supply chains. *Business Process Management Journal*. Vol. 13, No 3, pp. 390-404.
- Aviv, Y. (2001). The Effect of Collaborative Forecasting on Supply Chain Performance. *Management Science*, Vol. 47, No. 10, pp. 1326-1343.
- Aviv, Y. and Federgruen, A. (1998). The operational benefits of information sharing and Vendor Managed Inventory (VMI) programs. Working Paper, Washington University, St. Louis, MO.
- Axsäter, S. (2000). Exact Analysis of Continuous Review (R, Q) Policies in Two-Echelon Inventory Systems with Compound Poisson Demand. *Operations Research*, Vol. 48, No. 5, pp. 686-696.
- Bäckstrand, J. (2007). Levels of interaction in Supply Chain Relations. Thesis for the degree of Licentiate of Engineering. Department of Industrial Engineering and Management. School of Engineering, Jönköping University.
- Ballou R (2005). *Business logistics / Supply chain management*. Quinta edición. Editorial Prentice Hall, pp. 5

- Banerjee, S., Banerjee, A., Burton, J. and Bistline, W. (2001). Controlled partial shipments in two-echelon supply chain networks: a simulation study. *International Journal of Production Economics*, Vol. 71, pp. 91–100.
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B. and Nicol, D. (2001). *Discrete-Event System Simulation*, Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey, pp. 14-18.
- Barbarosoglu, G. and Ozgur, D. (1999). Hierarchical design of an integrated production and 2-echelon distribution system. *European Journal of Operational Research*, Vol. 118, pp. 464–484.
- Barrat, M. (2002). Exploring supply chain relationships and information exchange: a case study in the UK grocery sector. PhD thesis, Cranfield University, Cranfield.
- Barrat, M. (2004). Understanding the meaning of collaboration in the supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*. Vol. 9, No. 1, pp. 30-42.
- Barrat, M. and Oliveira, A. (2001). “Exploring the experiences of collaborative planning: the enablers and inhibitors”. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. Vol. 31, No. 2, pp. 266-289.
- Beamon, B. M. and Chen, V. C. P. (2001). Performance analysis of conjoined supply chains. *International Journal of Production Research*, Vol. 39, pp. 3195–3218.
- Benyoucef, L. (2001). Résolution d’un problème d’ordonnancement dynamique d’un fournisseur dans un mode d’approvisionnement de type « Livraison Synchrone ». Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Bertrand, J. and Fransoo, J. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 22, No. 2, pp. 241-264.
- Birendra K., Srinivasan, R. and Xiaohang, Y. (2007). Information sharing in supply chains: Incentives for information distortion. *IIE Transactions*, Vol. 39, No. 9, pp. 863-877
- Braglia, M. and Petroni, A. (1999). Data envelopment analysis for dispatching rule selection, *Production Planning and Control*, Vol. 10, No. 5, pp. 454–461.
- Bourland, K., Powell, S. and Pyke, D. (1996). Exploiting timely demand information to reduce inventories. *European Journal of Operational Research*, Vol. 92, pp. 239–253.
- Boute, R., Disney, S., Lambrecht, M. and Van Houdt, B. A win-win solution for the bullwhip problema. *Production Planning and Control*, Vol. 19, No. 7, pp. 702-711.
- Bowersox, D. (1990). The strategic benefits of logistic alliances. *Harvard Business Review*, Vol. 68, No. 4, pp. 36-43.
- Bowersox, D., Closs, D. and Stank, T. (2003). Ten mega-trends that will revolutionize supply chain logistics. *Journal of Business Logistics*, Vol. 21, No.2, pp. 1-16.
- Brown, A., Lee, H. and Petrakian, R. (2000). Xilinx improves its semiconductor supply chain using product and process postponement. *Interfaces*, Vol. 30, pp. 65–80.
- Buzzell, R. and Ortmeyer, G. (1995). Channel partnerships streamline distribution. *Sloan Management Review*, Vol. 36, No. 3, pp. 83-96.
- Cachon, G. (1999a). Managing supply chain demand variability with scheduled ordering policies. *Management Science*, Vol. 45, pp. 843–856.
- Cachon, G. (1999b). Stock wars: inventory competition in a two-echelon supply chain with multiple retailers. *Operations Research*, Vol. 49, No. 5, pp. 658–674.
- Cachon, G. and Fisher, M. (2000). Supply chain inventory management and the value of shared information. *Management Science*, Vol. 46, pp. 1032–1048.
- Cachon, G. and Lariviere, M. (2001). Contracting to assure supply: how to share demand forecasts in a supply chain. *Management Science*, Vol. 47, pp. 629–646.
- Cachon, G. and Zipkin, P. (1999). Competitive and Cooperative Inventory Policies in a Two-Stage Supply Chain. *Management Science*, Vol. 45, No. 7, pp. 936-953.

- Caggiano, K., Jackson, P., Muckstadt, J. and Rappold, J. (2007). Optimizing Service Parts Inventory in a Multiechelon, Multi-Item Supply Chain with Time-Based Customer Service-Level Agreements. *Operations Research*. Vol. 55, No. 2, pp. 303-318.
- Cannella, S. and Ciancimino, E. (2010) On the Bullwhip Avoidance Phase: supply chain collaboration and order smoothing. *International Journal of Production Research*. Vol. 48, No. 22, pp. 6739–6776.
- Cao, M., Vonderembse, M., Zhang, Q. and Ragu-Nathan, T. (2010). Supply chain Collaboration: conceptualization and instrument development. *International Journal of Production Research*. Vol. 48, No. 22, pp. 6613-6635.
- Caridi, M., Cigolini, R. and DeMarco, D. (2005). Improving supply-chain collaboration by linking intelligent CPFR. *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 20, pp. 4191–4218.
- Chan, H. and Chan, F. (2009). Effect of information sharing in supply chains with flexibility. *International Journal of Production Research*, Vol. 47, No. 1, pp. 213- 232.
- Chan, F., Au, K. and Chan, P. (2006). A decision support system for production scheduling in an ion plating cell. *Expert Systems with Applications* 30, pp. 727–738.
- Chang, Y. and Lee, C. (2003). Logistics scheduling: analysis of two-stage problems. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*. Vol. 12, No. 4, pp. 385-407.
- Chauhan, S., Gordon, V. and Proth, J. (2007). *European Journal of Operational Research*, Vol. 183, pp. 961–970.
- Chen, C., Usher, J., and Palanimuthu, N. (1998). A tabu search based heuristic for a flexible flow line with minimum flow time criterion. *International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications and Practice*, Vol. 5, No. 2, pp. 157– 168.
- Chen, D., Zhou, Z. and Hu, R. (2008). Research on the inventory scheduling model based on agent-oriented Petri net in supply chain. Emerald Group Publishing Limited. Vol. 37 No. 9/10, pp. 1234-1241.
- Chen, F. (1998). Echelon reorder points, installation reorder points, and the value of centralized demand information. *Management Science*, Vol. 44, pp. 221–234.
- Chen, F. (1999). Decentralized supply chains subject to information delays. *Management Science*, Vol. 45, pp. 1076–1090.
- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J. and Simchi-Levi, D. (2000a). Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, LeadTimes, and Information. *Management Science*, Vol. 46, No. 3, pp. 436-443.
- Chen, F., Ryan, J. K. and Simchi-Levi, D. (2000b). The impact of exponential smoothing forecasts on the bullwhip effect. *Naval Research Logistics*, Vol. 47, pp. 269–286.
- Chen, F., Federgruen, A. and Zheng, Y. (2001). Coordination Mechanisms for a Distribution System with One Supplier and Multiple Retailers. *Management Science*, Vol. 47, No. 5, pp. 693-708.
- Chen, L., Bostel, N., Dejax, P., Cai, J. and Xi, L. (2007). A tabu search algorithm for the integrated scheduling problem of container handling systems in a maritime terminal. *European Journal of Operational Research*, Vol. 181, No. 1, pp. 40–58.
- Chen, L., Xi, L., Cai, J., Bostel, N. and Dejax, P. (2006). An integrated approach for modeling and solving the scheduling problem of container handling systems. *Journal of Zhejiang University Science*, Vol. 7, No. 2, pp. 234–239.
- Chen, Z. (2004). Integrated production and distribution operations: taxonomy, models and review. In: Simchi-Levi, D., Wu, S.D., Shen, Z.- J. (Eds.), *Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis: Modeling in the E-Business Era*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.
- Chen, Z. and Hall, N. (2007). Supply Chain Scheduling: Conflict and Cooperation in Assembly Systems. *Operations Research*. Vol. 55, No. 6, pp. 1072–1089.

- Chen, Z. and Pundoor, G. (2006). Order Assignment and Scheduling in a Supply Chain. *Operations Research*. Vol. 54, No. 3, pp. 555–572.
- Chen, Z. and Vairaktarakis, G. (2005). Integrated scheduling of production and distribution operations. *Management Science*, Vol. 51, No. 4, pp. 614–628.
- Cheng, T. and Kovalyov, M. (2001). Single Supplier Scheduling for Multiple Deliveries. *Annals of Operations Research*, Vol. 107, pp. 51–63.
- Cheung, K. and Lee, H. (2002). The inventory benefit of shipment coordination and stock rebalancing in a supply chain. *Management Science*, Vol 48, pp. 300–306.
- Chiang, W. and Feng, Y. (2007). The value of information sharing in the presence of supply uncertainty and demand volatility. *International Journal of Production Research*, Vol. 45, No. 6, pp. 1429–1447.
- Choi, H. and Lee, D. (2009). Scheduling algorithms to minimize the number of tardy jobs in two-stage hybrid flow shops. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 56, No. 1, pp. 113–120.
- Chopra, S. and Meindl, P. (2001), *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, pp. 369-70.
- Chu, W. and Lee, C. (2006). Strategic information sharing in a supply chain. *European Journal of Operational Research*, Vol. 174, pp. 1567–1579.
- Closs, D.J., Roath, A.S., Goldsby, T.J., Eckert, J.A., and Swartz, S.M., 1998. “An Empirical Comparison of Anticipatory and Response Based Supply Chain Strategies.” *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 9, No. 2, pp. 21–33.
- Cohen, S. (2000). Asymmetric information in vendor managed inventory systems. PhD Thesis, Stanford University.
- Coyle, R. (1996). *System Dynamics Modelling: A Practical Approach* (London: Chapman Hall).
- Companys, R. (2005). *Diseño de sistemas productivos y logísticos*. EPSEB-UPC.
- Corbett, C., Blackburn, J. and Wassenhove, L. (1999). Case study partnerships to improve supply chains. *Sloan Management Review*. Vol. 40 No. 4, pp. 71-82.
- Croom, S., Romano P. y Giannakis M. (2000). Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. *European Journal of Purchasing & Supply Management* 6, 67-83.
- Croxton, K, Garcia, S., Lambert, D. and Rogers, D. (2001). The supply chain management processes. *International Journal of Logistics Management*. Vol. 12, No. 2, pp. 13-36.
- Danese, P. (2006). Collaboration forms, information and communication technologies, and coordination mechanisms in CPFR. *International Journal of Production Research*, Vol. 44, No. 16, pp. 3207–3226.
- de Kok, T. (2000). Capacity allocation and outsourcing in a process industry. *International Journal of Production Economics*, 68, pp. 229–239.
- de Souza, R., Song, Z. and Liu, C. (2000). Supply chain dynamics and optimization. *Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 11, pp. 348–364.
- DeCroix, G. and Mookerjee, V. (1997). Purchasing demand information in a stochastic demand inventory system. *European Journal of Operational Research*, Vol. 102, pp. 36–57.
- Demirli, K. and Yimer. A. (2008). Fuzzy scheduling of a build-to-order supply chain. *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 14, pp. 3931–3958.
- Dessouky, M., Dessouky, M. and Verma, S. (1998). Flowshop scheduling with identical jobs and uniform parallel machines, *European Journal of Operational Research*, Vol. 109, No. 3, pp. 620–631.
- Disney, S., Naim, M. and Towill, D. (1997). Dynamic simulation modelling for lean logistics. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 27, pp. 174–196.
- Dobson, G. and Pinker, E. (2000). The value of sharing lead-time information in custom production. *Computer and Information Working Paper Series No. CIS00-02*, University of Rochester.

- Dror, M. and Mullaserif, P. (1996). Three stage generalized flowshop: scheduling civil engineering projects. *Journal of Global Optimization*, Vol. 9, No. 4, pp. 321–344.
- Ellram, L. and Hendrick, T. (1995). Partnering characteristics: a dyadic perspective. *Journal of Business Logistics*, 16 (1), pp. 41–64.
- Elofson, G. and Robinson, W. (2007). Collective customer collaboration impacts on supply-chain performance. *International Journal of Production Research*, Vol. 45, No. 11, pp. 2567–2594.
- Erenguc, S., Simpson, N. and Vakharia, A. (1999). Integrated production/ distribution planning in supply chains: an invited review. *European Journal of Operational Research*, Vol. 115, pp. 219–236.
- Ettl, M., Feigin, E., Lin, G and Yao, D. (2000). A supply network model with base-stock control and service requirements. *Operations Research*, Vol. 48, pp. 216–232.
- Fawcett, S. and Magnan, G. (2002). Supply chain integration: rhetoric or reality?. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. Vol. 32, No. 1, pp. 339-361.
- Fiala, P. (2005). Information sharing in supply chains. *Omega-International Journal of Management Science*, Vol. 33, pp. 419 – 423.
- Fleisch, E. and Powell, S. (2001). The value of information integration in meeting delivery dates. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, Vol. 11, pp. 15–30.
- Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics* (Cambridge, MA: MIT Press).
- Fox, M., Barbuceanu, M. and Teigen, R. (2000). Agent-oriented supply-chain management. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 12, pp. 165–188.
- Fu, Y. and Piplani, R. (2004). Supply-side collaboration and its value in supply chains. *European Journal of Operational Research*, Vol. 152, pp. 281–288.
- Fu, Y., Piplani, R., de Souza, R. and Wu, J. (2000). Multi-agent enabled modeling and simulation towards collaborative inventory management in supply chains. *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, pp. 1763–1771.
- Ganeshan, R., Boone, T. and Stenger, A. (2001). The impact of inventory and flow planning parameters on supply chain performance: an exploratory study. *International Journal of Production Economics*, Vol. 71, pp. 111–118.
- Gaonkar, R. and Viswanadham, N. (2001). Collaboration and information sharing in global contract manufacturing networks. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 6, pp. 366– 376.
- Gavirneni, S. (2001). Benefits of co-operation in a production distribution environment. *European Journal of Operational Research*, Vol. 130, pp. 612–622.
- Gavirneni, S. (2002). Information flows in capacitated supply chains with fixed ordering costs. *Management Science*, Vol. 48, pp. 644–651.
- Gavirneni, S. (2006). Price fluctuations, information sharing, and supply chain performance. *European Journal of Operational Research*, Vol. 174, pp. 1651–1663.
- Gavirneni, S., Kapuscinski, R. and Tayur, S. (1999). Value of information in capacitated supply chains. *Management Science*, Vol. 45, pp. 16-24.
- Giard, V. and Mendy, G. (2008). Scheduling coordination in a supply chain using advance demand information. *Production Planning and Control*, Vol. 19, No. 7, pp. 655-667.
- Gibson, B., Mentzer, J. and Cook, R. (2005). Supply chain management: the pursuit of a consensus definition. *Journal of Business Logistics*. Vol. 26, No. 2, pp. 17-25.
- Gibert, S. and Ballou, R. (1999). Supply chain benefits from advanced customer commitments. *Journal of Operations Management*, Vol. 18, pp. 61–73.
- Gjerdrum, J., Shah, N. and Papageorgiou, L. (2001). A combined optimization and agent-based approach to supply chain modelling and performance assessment. *Production Planning and Control*, Vol. 12, pp. 81–88.
- Goffin, K., Lemke, F., and Szwejcowski, M. (2006). An exploratory study of close supplier manufacturer relationships. *Journal of Operations Management*, Vol. 24, No. 2, pp. 189–209.

- Golicic, S., Foggin, J., and Mentzer, J. (2003). Relationship magnitude and its role in interorganizational relationship structure. *Journal of Business Logistics*, Vol. 24, No. 1, pp. 57–75.
- Gómez-Gasquet, P., Rodriguez-Rodriguez, R., Franco, R. and Ortiz-Bas, A. (2010). A collaborative scheduling GA for products-packages service within extended selling chains environment. *Journal International of Manufacturing*. Doi 10.1007/s10845-010-0434-z.
- Gómez, P. (2005). Modélisation des relations verticales : une approche logistique et économique. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Grabowski, J. and Pempera, J. (2000). Sequencing of jobs in some production system. *European Journal of Operational Research*, Vol. 125, No. 3, pp. 535–550.
- Graham, R., Lawler, E., Lenstra, J. and Rinnoy Kan, A. (1979). Optimization and approximation in deterministic, sequencing and scheduling: A survey. *Annals of Discrete Mathematics*, Vol. 5, pp. 287-326.
- Green, K. and Inman, R. (2005). Using a just-in-time selling strategy to strengthen supply chain linkages. *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 16, pp. 3437–3453.
- Guinet, A. (1991). Textile production systems: a succession of non-identical parallel processor shops. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 42, No. 8, pp. 655–671.
- Gupta, J. (1988). Two-stage, hybrid flow shop scheduling problem, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 39, No. 4, pp. 359–364.
- Gupta, J., Hariri, A. and Potts, C. (1997). Scheduling a two-stage hybrid flow shop with parallel machines at the first stage. *Annals of Operations Research*. Vol. 69, pp. 171–191.
- Gupta, S., Vanajakumari, M. and Sriskandarajah, C. (2009). Sequencing deliveries to minimize inventory holding cost with dominant upstream supply chain partner. *International Journal of Systems of Systems Engineering*, Vol. 18, No. 2, pp. 159-183.
- Hall, N. and Liu, Z. (2010). Capacity Allocation and Scheduling in Supply Chains. *Operations Research*. Vol. 58, 6. Doi 10.1287/opre.1090.0806.
- Hall, N. and Potts, C. (2003). Supply Chain Scheduling: Batching and Delivery. *Operations Research*, Vol. 51, No. 4, pp. 566-584.
- Harland, C., et al. (2004). A conceptual model for researching the creation and operation of supply networks. *British Journal of Management*, Vol. 15, No. 1, pp. 1–21.
- Haouari, M. and M'Hallah, R. (1997). Heuristic algorithms for the two-stage hybrid flowshop problem. *Operations Research Letters*, Vol. 21, No. 1, pp. 43–53.
- Haouari, M, Hidri, L. and Gharbi, A. (2006). Optimal scheduling of a two-stage hybrid flow shop. *Mathematical Methods of Operations Research*, Vol. 64, No. 1, pp. 107–124.
- Helo, P. T., 2000, Dynamic modeling of surge effect and capacity limitation in supply chains. *International Journal of Production Research*, Vol. 38, pp. 4521–4533.
- Hogarth, S. (1999). Retailer-supplier partnerships: hostages to fortune or the way forward in the millennium. *British Food Journal*, Vol. 101, No. 9, pp. 668-82.
- Holweg, M., et al. (2005). “Supply chain collaboration: making sense of the strategy continuum”. *European Management Journal*, Vol. 23, No. 2, pp. 170–181.
- Homberger, J. (2010). A generic coordination mechanism for lot-sizing in supply chains. *Electronic Commerce Research*. Vol. 11, 2. Doi 10.1007/s10660-010-9053-1.
- Hong-Minh, S., Disney, S. and Naim, M. (2000). The dynamics of emergency transshipment supply chains. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 30, pp. 788–815.
- Hong, T. and Wang, T. (2000). Fuzzy flexible flow shops at two machine centers for continuous fuzzy domains. *Information Sciences*, Vol. 129, No. 1–4, pp. 227–237.

- Hoogeveen, J., Lenstra, J. and Veltman, B. (1996). Preemptive scheduling in a two-stage multiprocessor flow shop is np-hard. *European Journal of Operational Research*, Vol. 89, No. 1, pp. 172–175.
- Huang, G., Lau J. and Mak, K. (2003). The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a review of the literature. *International Journal of Production Research*, Vol. 41, pp. 1483-1517.
- Huang, B. and Iravani, S. (2005). Production Control Policies in Supply Chains with Selective Information Sharing. *Operations Research*. Vol. 53, No. 4, pp. 662–674.
- Iida, T. and Zipkin, P. (2010). Competition and Cooperation in a Two-Stage Supply Chain with Demand Forecasts. *Operations Research*. Vol. 58, No. 5. Doi 10.1287/opre.1100.0809.
- Ireland, R. and Bruce, R. (2000). “CPFR: only the beginning of collaboration”. *Supply Chain Management Review*. September/October, pp. 80-88.
- Ivanov, D. and Sokolov, B. (2010). Dynamic supply chain scheduling. *Journal of Scheduling*. Doi 10.1007/s10951-010-0189-6.
- Jayamohan, M. and Rajendran, C. (2000). A comparative analysis of two different approaches to scheduling in flexible flow shops. *Production Planning and Control*, Vol. 11, No. 6, pp. 572–580.
- Jayaraman, V. and Pirkul, H. (2001). Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, pp. 394–408.
- Jin, Z., Ohno, K., Ito, T. and Elmaghraby, S. (2002). Scheduling hybrid flowsheets in printed circuit board assembly lines. *Production and Operations Management*, Vol. 11, No. 2, pp. 216–230.
- Jungwattanakit J., Reodecha, M., Chaovalitwongse, P. and Werner, F. (2009). A comparison of scheduling algorithms for flexible flow shop problems with unrelated parallel machines, setup times, and dual criteria. *Computers & Operations Research* 36, pp. 358 – 378.
- Kaczmarczyk, W., Sawik, T., Schaller, A. and Tirpak, T. (2006). Production planning and coordination in customer driven supply chains. *Wybrane Zagadnienia Logistyki Stosowanej*, Komitet Transportu PAN, no. 3, pp. 81–89.
- Kadipasaoglu, S., Xiang, W. and Khumawala, B. (1997). A comparison of sequencing rules in static and dynamic hybrid flow systems. *International Journal of Production*, Vol. 35, No. 5, pp. 1359-1384.
- Kaipia, R. (2007). Supply chain coordination – studies on planning and information sharing mechanisms. Phd thesis, Helsinki University of Technology.
- Kaminsky, P. and Kaya, O. (2008). Inventory positioning, scheduling and lead-time quotation in supply chains. *International Journal of Production Economics*, 114, pp. 276–293.
- Karabati, S. and Sayin, S. (2008). Single-supplier/multiple-buyer supply chain coordination: Incorporating buyers expectations under vertical information sharing. *European Journal of Operational Research*, Vol. 187, pp. 746–764.
- Karaesman, F., Buzacott, J. and Dallery, Y. (2002). Integrating advance order information in make-to-stock production systems. *IIE Transactions*, Vol. 34, pp. 649-662.
- Kelepouris, T., Miliotis, P. and Pramataris, K. (2008). The impact of replenishment parameters and information sharing on the bullwhip effect: A computational study. *Computers and Operations Research*, Vol. 35, pp. 3657 – 3670.
- Khouja, M. (2003). Synchronization in Supply Chains: Implications for Design and Management. *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 54, No. 9, pp. 984-994.
- Kim, B., Leung, J., Park, K. Zhang, G. and Lee, S. (2002). Configuring a manufacturing firm’s supply network with multiple suppliers. *IIE Transactions*, Vol. 34, pp. 663–677.

- Kim, J., Chatfield, D., Harrison, T. and Hayya, J. (2006). Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time. *European Journal of Operational Research*, Vol. 173, pp. 617–636.
- Kimbrough, S. Wu, D. and Zhong, F. (2001). Computers play the beer game: can artificial agents management the supply chain? *Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 2303–2312.
- Kolisch, R. (2000). Integration of assembly and fabrication for make-to-order production. *International Journal of Production Economics*, Vol. 68, pp. 287–306.
- Kouvelis, P. and Vairaktarakis, G. (1998). Flowshops with processing flexibility across production stages. *IIE Transactions*, Vol. 30, No. 8, pp. 735–746.
- Kreng, V. and Chen, F. (2007). Three echelon buyer–supplier delivery policy—a supply chain collaboration approach. *Production Planning and Control*, Vol. 18, No. 4, pp. 338–349.
- Kulp, S., Lee, H. and Ofek, E. (2004). Manufacturer Benefits from Information Integration with Retail Customers. *Management Science*, Vol. 50, No. 4, pp. 431–444.
- Kuo, Y., Yang, T., Cho, C. and Tseng, Y. (2008). Using simulation and multi-criteria methods to provide robust solutions to dispatching problems in a flow shop with multiple processors. *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 78, No. 1, 40–56.
- Kyparisis, G. and Koulamas, C. (2006). A note on makespan minimization in two-stage flexible flow shops with uniform machines. *European Journal of Operational Research*, Vol. 175, No. 2, pp. 1321–1327.
- Lakhal, S., Martel, A., Kettani, O. and Oral, M. (2001). On the optimization of supply chain networking decisions. *European Journal of Operational Research*, Vol. 129, pp. 259–270.
- Lambert D. et al (1998). *Fundamentals of logistics management*. Mc Graw Hill. Boston Massachusetts. pp 10.
- Lambert, D., Emmelhainz, M. and Gardner, T. (1999). Building successful partnerships. *Journal of Business Logistics*, Vol. 21, No. 1, pp. 165–181.
- Lau, A. and Lau, H. (2001). Some two-echelon style-goods inventory models with asymmetric market information. *European Journal of Operational Research*, Vol. 134, pp. 26–42.
- Lau, J., Huang, G. and Mak, K. (2001). A web-based collaborative order life cycle management in supply chain. *Proceedings of International Conference on Supply Chain Management and Information Systems in the Internet Age (SCMIS2001)*, 17–19 December, Hong Kong, pp. 359–370.
- Lau, J., Huang, G. and Mak, K. (2002). Web-based simulation portal for investigating impacts of sharing production information on supply chain dynamics from the perspective of inventory allocation. Submitted to Special Issue on ‘Digital Manufacturing and eCommerce’. *International Journal of Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 13, pp. 345–358.
- Lee, C. and Vairaktarakis, G. (1994). Minimizing makespan in hybrid flowshops. *Operations Research Letters*, Vol. 16, No. 3, pp. 149–158.
- Lee, G. and Kim, G. (2004). A branch-and-bound algorithm for a two-stage hybrid flowshop scheduling problem minimizing total tardiness. *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No. 22, pp. 4731–4743.
- Lee, H. and Whang, S. (2001). E-Business and supply chain integration. *Stanford Global Supply Chain Management Forum*, White paper SGSCMF-W2-2001.
- Lee, H., Padmanabhan, P. and Whang, S. (1997a). The bullwhip effect in supply chains. *Sloan Management Review*, Vol. 38, pp. 93–102.
- Lee, H., Padmanabhan, V. and Whang, S. (1997b). Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect. *Management Science*, Vol. 43, pp. 546–558.

- Lee, H., So, K. and Tang, C. (2000). The value of information sharing in a two-level supply chain. *Management Science*, Vol. 46, pp. 626–643.
- Lee, H., Padmanabhan, V. and Whang, S. (2004). Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect. *Management Science*, Vol. 50, No. 12, pp. 1875-1886.
- Lee, H. and Sasser, M. (1995). Product universality and design for supply chain management. *Production Planning and Control*, Vol. 6, pp. 270–277.
- Lei, D. and Wu, Z. (2006). Crowding-measure-based multiobjective evolutionary algorithm for job shop scheduling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 30, pp. 112-117.
- Lejeune, N. and Yakova, N. (2005). On characterizing the 4C's in supply chain management. *Journal of Operations Management*, Vol. 23, No. 1, pp. 81–100.
- Leng, M. and Parlar, M. (2009). Lead-time reduction in a two-level supply chain: Non-cooperative equilibria vs. coordination with a profit-sharing contract. *International Journal of Production Economics*, Vol. 118, pp. 521–544.
- Li, J., Sikora, R., Shaw, M. and Tan, G. (2006). A strategic analysis of inter organizational information sharing. *Decision Support Systems*, Vol. 42, pp. 251– 266.
- Li, S., Zhu, Z. and Huang, L. (2009). Supply chain coordination and decision making under consignment contract with revenue sharing. *International Journal of Production Economics*, Vol. 120, pp. 88–99.
- Lin, F. (1996). Reengineering the order fulfillment process in supply chain networks: a multiagent information system approach. PhD thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Lin, H. and Liao, C. (2003). A case study in a two-stage hybrid flow shop with setup time and dedicated machines. *International Journal of Production Economics*, Vol. 86, No. 2, pp. 133–143.
- Liu, C. and Chang, S. (2000). Scheduling flexible flow shops with sequencedependent setup effects. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 16, No. 4, pp. 408–419.
- Liu, C. (2009). Supply chain collaboration during new product development: Asian perspectives. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*. Vol. 26, No. 3, pp. 205-214.
- Lothair (2001). Supply chain collaboration: close encounters of the best kind. *Business Week*, 26 March.
- Malhotra, A., Gasain, S., and Sawy, O. (2005). Absorptive capacity configurations in supply chains: gearing for partner-enabled market knowledge creation. *MIS Quarterly*, Vol. 29, No. 1, pp. 145–187.
- Malone, T. and Crowston, K. (1994), The interdisciplinary study of coordination. *ACM Computer Surveys*, Vol. 26, No. 1, pp.87-119.
- Manthou, V., Vlachopoulou, M., and Folinias, D. (2004). Virtual e-Chain (VeC) model for supply chain collaboration. *International Journal of Production Economics*, Vol. 87, No. 3, pp. 241–250.
- Marklund, J. (2006). Controlling Inventories in Divergent Supply Chains with Advance-Order Information. *Operations Research*, Vol. 54, No. 5, pp. 988-1010.
- Mason-Jones, R. and Towill, D. (1997). Information enrichment: designing the supply chain for competitive advantage. *Supply Chain Management*, Vol. 2, pp. 137–148.
- Mason-Jones, R. and Towill, D. (1999). Using the information decoupling point to improve supply chain performance. *International Journal of Logistics Management*, Vol. 10, pp. 13–26.
- Mason-Jones, R., Naim, M. and Towill, D. (1997). The impact of pipeline control on supply chain dynamics. *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 8, pp. 47–62.

- McCarthy, S. and Golobic, S. (2002). Implementing collaborative planning to improve supply chain performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 32, No. 6, pp. 431-454.
- Mentzer, J., Foggin, J., and Golobic, S. (2000). Collaboration: the enablers, impediments, and benefits. *Supply Chain Management Review*, Vol. 5, No. 6, pp. 52-58.
- Mentzer, J., DeWhitt, W., Keebler, J., Min, S., Nix, N., Smith, C. and Zacharia, Z. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, Vol. 22, No. 2, pp. 1-25.
- Meredith, J., Raturi, A., Amoako-Gympah, K. and Kaplan, B. (1989). Alternative research paradigms in operations. *Journal of Operations Management*, Vol. 8, pp. 297-326.
- Metters, R. (1997). Quantifying the bullwhip effect in supply chain. *Journal of Operations Management*, Vol. 15, pp. 89-100.
- Min, H. (2000). The bullwhip effect in supply chain management. In: Paul Swamidass, ed. *Encyclopedia of manufacturing and production management*. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, pp. 66-70.
- Min, S., et al. (2005). Supply chain collaboration: what's happening? *International Journal of Logistics Management*, 16 (2), pp. 237-256.
- Minegishi, S. and Thiel, D. (2000). System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain. *Simulation Practice and Theory*, Vol. 8, pp. 321-339.
- Ming-hui, X. and Cheng-xiu, G. (2005). Supply Chain Coordination with Demand Disruptions under Convex Production Cost Function. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, Vol. 10, No.3, pp. 493-498.
- Mishra, B. Raghunathan, S. and Yue X. (2007). Information sharing in supply chains: Incentives for information distortion. *International Journal of Production Research*, 39, pp. 863-877.
- Mitroff, I., Betz, F., Pondy, L. and Sagasti, F. (1974). On managing science in the systems age: two schemas for the study of science as a whole system phenomenon. *Interfaces*, Vol 4, No. 3, pp. 46-58.
- Moberg, C., Speh, T. and Freese, T. (2003). SCM: Making the vision a reality, *Supply Chain Management Review*, Vol. 7, No. 5, pp. 34-39.
- Moinzadeh, K. (2002). A multi-echelon inventory system with information exchange. *Management Science*, Vol. 48, pp. 414-426.
- Montoya-Torres J.R. (2002). Une étude de l'influence de l'information anticipée en ordonnancement dynamique. *Mémoire de Master, Institut National Polytechnique de Grenoble, Francia*.
- Montoya-Torres, J. (2011). *Organisation y gestión de chaînes logistiques : Optimisation, collaboration et impact sur l'environnement. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches (HDR), Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France*.
- Montoya-Torres J., Rodríguez-V, L. and Merchán-A, L. (2006). Estudio de algoritmos on-line para el problema de secuenciación de trabajos en una máquina simple. *Revista Ingeniería y Universidad, Pontificia Universidad Javeriana*, Vol, 10 No. 1, pp. 49-56.
- Montoya-Torres, J., Rodriguez, G. y Merchán, L. (2007). Impacto de estrategias de colaboración entre dos actores de una cadena logística en la programación de la producción. *Revista EIA, ISSN 1794-1237*, No. 8, pp. 83-98.
- Montoya-Torres, J. and Rodríguez-Verjan, G. (2009). Measuring the impact of supplier-customer information sharing on production scheduling. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, Vol. 2, No. 2, pp. 47-60.
- Moon, C., Hae, Y., Jeong, C. and Yun. Y. (2008). Integrated process planning and scheduling in a supply chain. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 54, pp. 1048-1061.
- Narus, J. and Anderson, J. (1996). Rethinking distribution: adaptive channels. *Harvard Business Review*. Vol. 74, No. 4, pp. 112-120.

- Naso, D, Surico M, Turchiano B and Kaymak u. (2007). Genetic algorithms for supply-chain scheduling: A case study in the distribution of ready-mixed concrete. *European Journal of Operational Research*, Vol. 177, pp. 2069–2099.
- Ng, C., Li, Y. and Chakhlevitch, K. (2001). Coordinated replenishments with alternative supply sources in two-level supply chains. *International Journal of Production Economics*, Vol. 73, pp. 227–240.
- Norbridge (2001), Supply chain collaboration and visibility: the results are beginning to show. *Business Week*, 8 October.
- Núñez-Muñoz, M. and Montoya-Torres, J. (2009). Analyzing the impact of coordinated decisions within a three-echelon supply chain. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, Vol. 2, No. 2, pp. 1-15.
- Oguz, C. and Ercan, M. (1997). Scheduling multiprocessor tasks in a two-stage flowshop environment. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 33, No. 1, pp. 269–272.
- Ortiz-Vargas, D. y Montoya-Torres, J. (2011). Análisis del concepto de colaboración en la cadena de suministro: Una revisión de la literatura científica. Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2011), Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development, August 3-5, 2011, Medellín, Colombia.
- Ouyang, Y. (2007). The effect of information sharing on supply chain stability and the bullwhip effect. *European Journal of Operational Research*, Vol. 182, pp. 1107–1121.
- Ozer, O. (2000). Supply chain management under advance demand information. PhD thesis, Colombia University.
- Ozer, O. (2003). Replenishment Strategies for Distribution Systems under Advance Demand Information. *Management Science*, Vol. 49, No. 3, pp. 255-272.
- Parunak, H., Savit, R., Riolo, R. and Clark, S. (1999). DASCh—Dynamic Analysis of Supply Chains. Final Report, Center for Electronic Commerce, ERIM Inc., Ann Arbor, MI.
- Paternina, C. (2002). Notas de Clase del curso programación de operaciones. Maestría en Ingeniería Industrial. Universidad del Norte.
- Paul, R. (1979). A production scheduling problem in the glass container industry. *Operations Research*, Vol. 27, pp. 290-302.
- Paulraj, A. (2002). Towards a unified theory in supply chain management: critical constructs and their effect on performance. Phd Thesis, Cleveland State University.
- Phillips, N., Lawrence, T. and Hardy, C. (2000), Interorganisational collaboration and the dynamics of institutional fields. *Journal of Management Studies*, Vol. 37 No. 1, pp. 23-44.
- Phipps, T. (1956). Machine repair as a priority waiting-line problem. *Operations Research*, Vol. 4, pp. 45-61.
- Pinedo M. (2002). *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*. Prentice Hall, Inc.
- Ponnambalam, S., Ramkumar, V. and Jawahar, N. (2001). A multiobjective evolutionary algorithm for job shop scheduling. *Production Planning and Control*, Vol. 12, pp. 764-774.
- Rajendran, C. and Chaudhuri, D. (1992). A multistage parallel-processor flowshop problem with minimum flowtime. *European Journal of Operational Research*, Vol. 57, No. 1, pp. 111–122.
- Rappold, J. and Muckstadt, J. (2000). A computationally efficient approach for determining inventory levels in a capacitated multiechelon production-distribution system. *Naval Research Logistics*, Vol. 47, pp. 377–398.
- Riane, F., Meskens, N., and Artiba, A. (1997) Bicriteria scheduling hybrid flowshop problems. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Production Management (IEPM'97)* (pp. 34–43). Lyon, France.

- Ribas, I., Leisten, R. and Framiñan, J. (2010). Review and classification of hybrid flow shop scheduling problems from a production system and a solutions procedure perspective. *Computers and Operations Research*, Vol. 37, pp. 1439–1454.
- Rie, I. and Hiroshi, O. (2005). Cooperation Models between the Supplier and Buyer in a Supply Chain. *Journal of Japan Industrial Management Association*, Vol.56, No.1, pp. 46-53.
- Rodríguez-Verjan, G. and Montoya-Torres, J. (2009). Measuring the Impact of Supplier-Customer Information Sharing on Production Scheduling. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, Vol. 2, No. 2, pp. 47-60.
- Roh, J., Min, H. and Hong, P. (2010). A co-ordination theory approach to restructuring the supply chain: an empirical study from the focal company perspective. *International Journal of Production Research*. First published on: 20 September 2010 (iFirst)
- Ruiz, R. and Vázquez-Rodríguez, J. (2010). The hybrid flow shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 205, pp. 1–18.
- Sabath, R. and Fontanella, J. (2002). The unfulfilled promise of supply chain collaboration. *Supply Chain Management Review*. July/August, pp. 24-29.
- Sabri, E. and Beamon, B. (2000). A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. *Omega*, Vol. 28, pp. 581–598.
- Sahay, B. (2003). Supply Chain Collaboration: The Key to Value Creation. *Supply Chain Management: An International Journal*. Vol. 52, No. 2, pp. 76-83.
- Sahin, F. and Powell, E. (2005). Information sharing and coordination in make-to-order supply chains. *Journal of Operations Management*, Vol. 23, pp. 579–598.
- Sahin, F., Powell, E. and Li-Lian, G. (2008). Master production scheduling policy and rolling schedules in a two-stage make-to-order supply chain. *International Journal of Production Economics*, Vol. 115, pp. 528–541.
- Salvador, M. (1973). A solution to a special case of flow shop scheduling problems, in: S.E. Elmaghraby (Ed.), *Symposium of the Theory of Scheduling and Applications*, Springer-Verlag, pp. 83–91.
- Sarmah, S., Acharya, D. and Goyal, S. (2007). Coordination and profit sharing between a manufacturer and a buyer with target profit under credit option. *European Journal of Operational Research*, Vol. 182, pp. 1469–1478.
- Sawik, T. (2009). Coordinated supply chain scheduling. *International Journal of Production Economics*, Vol. 120, pp. 437–451.
- Schneeweiss, C. and Zimmer, K. (2004). Hierarchical coordination mechanism within the supply chain. *European Journal of Operational Research*, Vol. 154, pp. 687–703.
- Schuurman, P. and Woeginger, G. (2000). A polynomial time approximation scheme for the two-stage multiprocessor flow shop problem. *Theoretical Computer Science*, Vol. 237, Vol. 1–2, pp. 105–122.
- Seifert, D. (2003). *Collaborative planning, forecasting, and replenishment: how to create a supply chain advantage*. New York: AMACOM.
- Selvarajah, E. and Steiner, G. (2006). Batch scheduling in a two-level supply chain—a focus on the supplier. *European Journal of Operational Research*, Vol. 173, pp. 226–240.
- Selvarajah, E. and Steiner, G. (2009). Approximation Algorithms for the Supplier's Supply Chain Scheduling Problem to Minimize Delivery and Inventory Holding Costs. *Operations Research*, Vol. 57, pp. 426 - 438.
- Sepulveda, J. and Frein, Y. (2008). Coordination and demand uncertainty in supply chain. *Production Planning and Control*. Vol. 19, No. 7, pp. 712-721.
- Shapiro, J. (2001). *Modeling the Supply Chain*. Pacific Grove, CA, Duxbury.
- Sharafali, M. and Co, H. (2000). Some models for understanding the cooperation between the supplier and the buyer. *International Journal of Production Research*, Vol. 38, pp. 3425– 3449.

- Sherali, H., Sarin, S. and Kodialam, M. (1990). Models and algorithms for a two-stage production process. *Production Planning and Control*, Vol. 1, No. 1, pp. 27–39.
- Sheu, C., Yen, H., and Chae, D. (2006). Determinants of supplier-retailer collaboration: evidence from an international study. *International Journal of Operations and Production Management*, 26 (1), pp. 24–49.
- Simatupang, T. and Sridharan R. (2001). A characterization of information sharing in supply chains. ORSNZ Conference, University of Canterbury, New Zealand.
- Simatupang, T. and Sridharan, R. (2002). The collaborative supply chain. *International Journal of Logistics Management*. Vol. 13, No. 1, pp. 15-30.
- Simatupang, T. and Sridharan, R. (2005). An integrative framework for supply chain collaboration. *International Journal of Logistics Management*, Vol. 16, No. 2, pp. 257–274.
- Simatupang, T. and Sridharan, R. (2008). Design for supply chain collaboration. *Business Process Management Journal*. Vol. 14 No. 3, pp. 401-418.
- Simatupang, T., Wright, M. and Sridharan, R. (2002). The knowledge of coordination for supply chain integration. *Business Process Management*, Vol. 8, No. 3, pp. 289-308.
- Simchi-Levi, K. (2000). *Designing and managing the supply chain*. McGraw Hill.
- Soewandi, H. and Elmaghraby, S. (2003). Sequencing on two-stage hybrid flowshops with uniform machines to minimize makespan. *IIE Transactions*, Vol. 35, No. 5, pp. 467–477.
- Soosay, C., Hyland, P. and Ferrer, M. (2008). Supply chain collaboration: capabilities for continuous innovation. *Supply Chain Management: An International Journal*. 13/2, pp. 160–169.
- Spekman, R., Kamauff, J. and Myhr, N. (1998). An empirical investigation into supply chain management: a perspective on partnership. *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 3 No. 2, pp. 53-67.
- Sriskandarajah, C. and Sethi, S. (1989). Scheduling algorithms for flexible flowshops: worst and average case performance. *European Journal of Operational Research*, Vol. 43, No. 2, pp. 143–160.
- Stadtler, H. (2005). Supply chain management and advanced planning – basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, Vol. 163, no. 3, pp. 575-588.
- Stank, T., Keller, S., and Daugherty, P. (2001). Supply chain collaboration and logistical service performance. *Journal of Business Logistics*, Vol. 22, No. 1, pp. 29–48.
- Sucky, E. (2009). The bullwhipeffectinsupplychains-An overestimatedproblem?. *International Journal of Production Economics*, Vol. 118, pp. 311–322.
- Sundararaghavan, P., Kunnathur, A. and Viswanathan, I. (1997). Minimizing makespan in parallel flowshops. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 48, No. 8, pp. 834–842.
- Suresh, V. (1997). A note on scheduling of two-stage flow shop with multiple processors. *International Journal of Production Economics*, Vol. 49, No. 1, pp. 77– 82.
- Swaminathan, J., Sadeh, N. and Smith, S. (1997). Effect of Sharing Supplier Capacity Information. Haas School of Business, University of California, Berkeley, CA-94720.
- Tan, G. (1999). The impact of demand information sharing on supply chain network. PhD Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Tang, L., Liu, W. and Liu, J. (2005). A neural network model and algorithm for the hybrid flow shop scheduling problem in a dynamic environment. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 16, pp. 361–370.
- Thomas, D. and Griffin, P. (1996). Coordinated supply chain management. *European Journal of Operational Research*, Vol. 94, No. 1, pp. 1–15.
- Thonemann, U. (2002). Improving supply-chain performance by sharing advance demand information. *European Journal of Operational Research*, Vol. 142, pp. 81–107.
- T'kindt, V. and Billaut, J. (2002). *Multicriteria Scheduling*. Springer.

- Towill, D. (1996). Industrial dynamics modelling of supply chains. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 26, pp. 23–42.
- Towill, D., Naim, M. and Wikner, J. (1992). Industrial dynamics simulation models in the design of supply chains. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 22, pp. 3–13.
- Tsubone, H., Ohba, M., Takamuki, H. and Miyake, Y. (1993). A production scheduling system for a hybrid flow-shop: a case-study. *Omega-International Journal of Management Science*, Vol. 21, No. 2, pp. 205–214.
- Tsung, F. (2000). Impact of Information Sharing on Statistical Quality Control. *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics—part a: systems and humans*, Vol. 30, No. 2, pp. 1-6.
- Vairaktarakis, G. and Elhafsi, M. (2000). The use of flowlines to simplify routing complexity in two-stage flowshops. *IIE Transactions*, Vol. 32, No. 8, pp. 687–699.
- Van der Vaart, T. and Van Donk, D. (2008). A critical review of survey-based research in supply chain integration. *International Journal of Production Economics*, Vol. 111, pp. 42–55.
- Vázquez-Rodríguez, J. and Salhi, A. (2007). A robust meta-hyper-heuristic approach to hybrid flow shop scheduling, in: K.P. Dahal, K.C. Tan, P.I. Cowling (Eds.), *Evolutionary Scheduling Studies in Computational Intelligence*, Springer- Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 125–142 (Chapter 5).
- Verwaal, E. and Hesselms, M. (2004). Drivers of supply network governance: an explorative study of the Dutch chemical industry. *European Management Journal*, Vol. 22, No. 4, pp. 442–451.
- Wang, X. and Cheng, T. (2009). Production scheduling with supply and delivery considerations to minimize the makespan. *European Journal of Operational Research*, Vol. 194, pp. 743–752.
- Wang, J., Jia, J. and Takahashi, K. (2005). A study on the impact of uncertain factors on information distortion in supply chains, *Production Planning and Control*, Vol. 16, No. 1, pp. 2-11.
- Wei, J. and Krajewski, L. (2000). A model for comparing supply chain schedule integration approaches. *International Journal of Production Research*, Vol. 38, pp. 2099–2123.
- Weng, Z. (1999). Concurrence, postponement and trans-shipment in a two-echelon manufacturing and distribution system. *International Journal of Production Research*, Vol. 37, pp. 341–357.
- Wikner, J., Towill, D. and Naim, M. (1991). Smoothing supply chain dynamics. *International Journal of Production Economics*, Vol. 22, pp. 231–248.
- Wittrock, R. (1985). Scheduling algorithms for flexible flow lines, *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 29, No. 4, pp. 401–412.
- Wittrock, R. (1988). An adaptable scheduling algorithm for flexible flow lines. *Operations Research*, Vol. 36, No. 3, pp. 445–453.
- Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to MultiAgent Systems* (Chichester, UK: Wiley).
- Wu, S. and Meixell, M. (1998). Relating demand behavior and production policies in the manufacturing supply chain. *Lehigh University, Bethlehem, PA*.
- Xie, J., Xing, W., Liu, Z. and Dong, J. (2004). Minimum deviation algorithm for twostage no-wait flowshops with parallel machines. *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 47, No. 12, pp. 1857–1863.
- Xie, J. and Wang, X. (2005). Complexity and algorithms for two-stage flexible flowshop scheduling with availability constraints. *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 50, No. 10–12, pp. 1629–1638.
- Xu, K., Dong, Y. and Evers, P. (2001). Towards better coordination of the supply chain. *Transportation Research Part E*, Vol. 37, pp. 35–54.
- Yimer, A. and Demirli, K. (2010). A genetic approach to two-phase optimization of dynamic supply chain scheduling. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 58, pp. 411–422.

- Yu, Z., Yan, H. and Cheng, T. (2001). Benefits of information sharing with supply chain partnerships. *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 101, pp. 114–119.
- Zhang, F. (2006). Competition, Cooperation, and Information Sharing in a Two-Echelon Assembly System. *Manufacturing and Service Operations Management*, Vol. 8, No. 3, pp. 273–291.
- Zhao, T. and Jin, Y. (2000). Modeling supply chain based on multi-agent system. *Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation*, pp. 268–271.
- Zhao, X., Xie, J. and Lau, R. (2001). Improving the supply chain performance use of forecasting models versus early order commitments. *International Journal of Production Research*, Vol. 39, pp. 3923–3939.
- Zhu, W., Gavirneni, S. and Kapuscinski, R. (2010). Periodic flexibility, information sharing, and supply chain performance. *IIE Transactions*, Vol. 42, pp. 173–187.
- Zimmer, K. (2002). Supply chain coordination with uncertain just-in-time delivery. *International Journal of Production Economics*, Vol. 77, pp. 1–15.

## ANEXO A

**Tabla A.1.** Estadísticas del factor ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades-Media-PesoCriteriosFO-NúmeroEntidades del escenario de colaboración parcial

ReglaProgramacion	DistribucionLlegadaEntidades	Media	PesoCriteriosFO	NumeroEntidades	Media	Error tip.	Intervalo de confianza 95%	
							Límite inferior	Límite superior
MDD_SPT (42)	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,136	290,193	-480,200	660,472
				50	901,318	290,193	330,982	1471,654
				100	1973,409	290,193	1403,073	2543,745
				150	4650,636	290,193	4080,300	5220,972
MDD_SPT (43)	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,136	290,193	-480,200	660,472
				50	901,045	290,193	330,709	1471,382
				100	1972,409	290,193	1402,073	2542,745
				150	4650,864	290,193	4080,528	5221,200
MDD_SPT (44)	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,136	290,193	-480,200	660,472
				50	901,455	290,193	331,118	1471,791
				100	1972,409	290,193	1402,073	2542,745
				150	4647,091	290,193	4076,755	5217,427
MDD_SPT (45)	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,136	290,193	-480,200	660,472
				50	901,455	290,193	331,118	1471,791
				100	1971,727	290,193	1401,391	2542,063
				150	4640,909	290,193	4070,573	5211,245
MDD_SPT (46)	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,136	290,193	-480,200	660,472
				50	901,227	290,193	330,891	1471,563
				100	1971,727	290,193	1401,391	2542,063
				150	4641,455	290,193	4071,118	5211,791
MDD_SPT (47)	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,136	290,193	-480,200	660,472
				50	901,318	290,193	330,982	1471,654
				100	1971,727	290,193	1401,391	2542,063
				150	4639,545	290,193	4069,209	5209,882
MDD_SPT (48)	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,136	290,193	-480,200	660,472
				50	901,227	290,193	330,891	1471,563
				100	1971,727	290,193	1401,391	2542,063
				150	4637,136	290,193	4066,800	5207,472
MDD_SPT (49)	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,136	290,193	-480,200	660,472
				50	900,909	290,193	330,573	1471,245
				100	1971,727	290,193	1401,391	2542,063
				150	4631,545	290,193	4061,209	5201,882
MDD_SPT (50)	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,136	290,193	-480,200	660,472
				50	900,818	290,193	330,482	1471,154
				100	1971,727	290,193	1401,391	2542,063
				150	4630,455	290,193	4060,118	5200,791
MDD_SPT (51)	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,136	290,193	-480,200	660,472
				50	903,818	290,193	333,482	1474,154
				100	1971,773	290,193	1401,437	2542,109
				150	4633,091	290,193	4062,755	5203,427
MDD_SPT (52)	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,136	290,193	-480,200	660,472
				50	903,818	290,193	333,482	1474,154
				100	1971,545	290,193	1401,209	2541,882
				150	4632,500	290,193	4062,164	5202,836

Del estudio realizado por Montoya-Torres et al. (2007) se puede evidenciar que desde 100 trabajos se empieza a notar diferencia significativa entre las distintas reglas de despacho empleadas en pro de minimizar la función objetivo planteada. De igual manera, se evidencia diferencia en el rendimiento del sistema cuando se trabajan distintas distribuciones como la Exponencial, Normal y Constante; siendo la distribución Exponencial la que genera el mayor efecto en la productividad, tiempo total de flujo y utilización del recurso de cada miembro de la cadena logística.

A medida que crece el número de trabajos a ser procesados por los miembros de la cadena, empleando la distribución Exponencial, la magnitud de la función objetivo crece exponencialmente,

mientras que utilizando la distribución Normal y Constante se observa una tendencia la cual está en función del impacto que genera el incremento de los trabajos a ser procesados en los criterios estudiados.

Adicionalmente, cuando se trabajan con tasas de llegadas pequeñas se evidencia más el efecto que causa la filosofía de ordenamiento de los trabajos de cada regla de despacho analizada, mientras que si la tasa de llegada es alta no se evidencia diferencia en el efecto que causa cada regla de despacho en los criterios analizados, incluso generan rendimientos similares.

Con base en lo anterior, la regla MDD estudiada en el escenario de colaboración parcial de esta investigación condiciona a probar distintos niveles para el factor K de tal manera que se pueda identificar para cual nivel de factor K se genera el mejor resultado en cuanto a Tiempo Total de Flujo y Tardanza Total. Por cada nivel de tratamiento hay 11 datos, siendo el mismo tamaño de muestra para estudiar los diferentes tratamientos relacionados a cada escenario de colaboración. Solo se considera un nivel de los factores Distribución de Llegada de las entidades, Media y Peso asignado a la función objetivo debido a que estos factores no interactúan con la regla de programación, es decir, no causan un efecto en la regla de programación. Los resultados arrojados por la tabla ANOVA de los escenarios de colaboración nulo, parcial y total corroboran lo anterior.

De acuerdo a los resultados de la Tabla A.1. con un factor  $K=50$ , la regla de despacho MDD obtiene el mejor resultado considerando todos los niveles del factor NúmeroEntidades -10, 50, 100 y 150 trabajos-. Con base en esto se considera el parámetro  $K=50$  para calcular el atributo MDD de cada trabajo y ordenar los trabajos de acuerdo a esta magnitud. La magnitud de este factor indica que el primer eslabón de la cadena logística -proveedor- calculará el atributo MDD de los trabajos en proceso y re-programar la producción de acuerdo de los trabajos que le llegarán en el futuro de tal manera que le permita administrar sus recursos teniendo en cuenta la información disponible y contribuir a la minimización de los objetivos perseguidos en la presente investigación.

## ANEXO B

Para cuantificar la variable respuesta sujeta a cada nivel de tratamiento se generaron conjuntos de datos que siguen las siguientes características:

- Las fechas de llegada de los trabajos siguen distribuciones de tipo Exponencial, Normal y Constante con media de 3, 5 y 10. La desviación estándar de la distribución Normal es el 5 % de la media (Montoya-Torres et al. 2006). La fecha de llegada del primer trabajo se da en el instante cero de simulación.
- Los tiempos de procesamiento del proveedor y el fabricante se obtendrán aleatoriamente siguiendo una distribución uniforme entre 1 y 12 unidades de tiempo, es decir, U[1,12] (Montoya-Torres et al. 2006).
- Las fechas de entrega de cada trabajo se calcula de la siguiente manera: la fecha de llegada de cada trabajo más la suma de los tiempos de procesamiento la cual se multiplicará por un factor de magnitud dos (Montoya-Torres et al. 2010) quienes se basaron en el trabajo de Ponnambalam et al. (2001) y, Lei y Wu (2006).

Se tienen cinco factores en cada diseño experimental en los que cada factor tiene diferentes niveles. Se obtiene un tamaño muestral para cada nivel de tratamiento calculando el tamaño muestral de cada factor y el máximo valor entre ellos será el tamaño muestral de cada nivel de tratamiento. Se sigue la siguiente fórmula:

$$r = \frac{2v\sigma^2\Phi^2}{\Delta^2}$$

Dónde:

v: El número de tratamientos o niveles del factor;  $\sigma^2$ : Varianza de los residuos estandarizados para la variable de respuesta considerada;  $\Phi$ : Combinación de potencia, significancia, tratamientos y réplicas;  $\Delta$ : Mínima diferencia detectable.

Dado que se estudiarán tres escenarios de colaboración -nulo, parcial, total- y que se realizarán comparaciones por cada nivel de tratamiento entre ellos, es decir, se realizarán Contrastes de Scheffé, se hará una prueba piloto global por cada nivel de tratamiento de los escenarios de colaboración antes mencionados. Así como se mencionó en la filosofía de los escenarios de colaboración, el escenario de colaboración total solo será estudiado con dos niveles del factor Número máximo de entidades  $n$  y un nivel del factor Regla de programación de tareas, mientras que los escenarios de colaboración nulo y parcial si tendrán características similares. Por lo tanto, la prueba piloto alberga solo niveles de tratamientos de los escenarios de colaboración nulo y parcial y, el tamaño de muestra hallado para ambos escenarios se extenderá al tamaño de muestra por cada nivel de tratamiento del escenario de colaboración total.

A continuación se presenta la tabla ANOVA para los niveles de tratamientos de los escenarios de colaboración nulo y parcial.



$$\frac{\phi - 2.00}{2.33 - \phi} = \frac{0.95 - 0.93}{0.98 - 0.95}$$

$$\phi = 2.13$$

$r_1$  entonces es 10. Se itera de nuevo y  $v_2 = 36$  por lo que se tiene que hacer de nuevo una interpolación.

$$\frac{2.00 - 0.90}{\phi - 0.95} = \frac{2.33 - 0.97}{\phi - 0.95}$$

$$\frac{\phi - 2.00}{2.33 - \phi} = \frac{0.95 - 0.90}{0.97 - 0.95}$$

$$\phi = 2.24$$

$r_2$  entonces es 11. Se itera de nuevo y  $v_2 = 40$  por lo que  $\phi = 2.24$ , entonces  $r_3$  es 11.

Con potencia del 95 % y nivel de confianza del 95 %, el tamaño muestral del factor reglas de programación es de 11.

### Tamaño de muestra del factor Reglas de programación de tareas con potencia del 99 %

Se ejecuta el mismo procedimiento que cuando se calculó el tamaño de muestra del factor reglas de programación con una potencia del 95 %. Con potencia del 99 % y nivel de confianza del 95 %, se determina por interpolación el valor de  $\phi$ .

**Tabla B.3.** Power of the F-test con alfa de 0.01 y  $v_1 = 3$

$v_1 = 3, \alpha = 0.01$

$v_2$	$\phi$										
	1.67	2.00	2.33	2.67	3.00	3.33	3.67	4.00	4.33	4.67	5.00
5	0.16	0.25	0.36	0.48	0.60	0.71	0.80	0.87	0.92	0.95	0.98
6	0.20	0.31	0.44	0.58	0.71	0.81	0.89	0.94	0.97	0.99	0.99
7	0.23	0.36	0.52	0.66	0.79	0.88	0.94	0.97	0.99	1.00	1.00
8	0.26	0.41	0.57	0.72	0.84	0.92	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00
9	0.29	0.45	0.62	0.77	0.88	0.95	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00
10	0.31	0.48	0.66	0.81	0.91	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
12	0.35	0.54	0.72	0.86	0.94	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
15	0.39	0.59	0.77	0.90	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	0.44	0.65	0.83	0.93	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
30	0.49	0.71	0.87	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
60	0.55	0.77	0.91	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1000	0.60	0.82	0.94	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

$$\phi = 2.67$$

$r_1$  entonces es 16. Se itera de nuevo con  $v_2 = 60$  por lo que  $\phi = 3.00$  por lo tanto  $r_2$  entonces es 20. Se itera de nuevo con  $v_2 = 76$  por lo que  $\phi = 3.00$  por lo tanto  $r_3$  es 20.

Con potencia del 99 % y nivel de confianza del 95 %, el tamaño muestral del factor reglas de programación es de 20.

### Tamaño de muestra del factor Distribución llegada de entidades con una potencia del 95 %

Se aplica la fórmula con  $v_1 = 4-1 = 3$ , con potencia del 95 % y nivel de confianza del 95 %. Se establece una diferencia mínima detectable de 1800 entre las reglas de despacho cuando trabajan con 150 entidades y su distribución de llegada -Exponencial, Normal y Constante-. Se procede entonces a buscar por primera vez el valor de  $\phi$  en la tabla *Power of the F-test* relacionada a

continuación. El valor de  $v_2 = 1000$  con  $v_1 = 2$ , con potencia del 95 % y nivel de confianza del 95 %, se determina por interpolación el valor de  $\phi$ .

**Tabla B.4.** Power of the F-test con alfa de 0.05 y  $v_1 = 2$

$v_1 = 2, \alpha = 0.05$

$v_2$	$\phi$										
	1.00	1.33	1.67	2.00	2.33	2.67	3.00	3.33	3.67	4.00	4.33
5	0.20	0.32	0.46	0.61	0.75	0.85	0.92	0.96	0.98	0.99	1.00
6	0.21	0.34	0.50	0.66	0.79	0.89	0.95	0.98	0.99	1.00	1.00
7	0.22	0.37	0.53	0.70	0.83	0.91	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00
8	0.23	0.38	0.56	0.72	0.85	0.93	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00
9	0.24	0.40	0.58	0.74	0.87	0.94	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00
10	0.25	0.41	0.59	0.76	0.88	0.95	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00
12	0.26	0.43	0.62	0.78	0.90	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
15	0.27	0.45	0.64	0.81	0.91	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
20	0.28	0.47	0.67	0.83	0.93	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
30	0.29	0.49	0.69	0.85	0.94	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
60	0.31	0.51	0.71	0.87	0.95	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1000	0.32	0.53	0.73	0.88	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

$$\begin{aligned} &2.00 - 0.88 \\ &\phi - 0.95 \\ &2.33 - 0.96 \\ \frac{\phi - 2.00}{2.33 - \phi} &= \frac{0.95 - 0.88}{0.96 - 0.95} \end{aligned}$$

$$\phi = 2.288 \text{ aproximado a } 2.29$$

$r_1$  toma valor de 6. Se itera de nuevo con  $v_2 = 15$  por lo que se tiene que hacer de nuevo una interpolación.

$$\begin{aligned} &2.33 - 0.91 \\ &\phi - 0.95 \\ &2.67 - 0.97 \\ \frac{\phi - 2.33}{2.67 - \phi} &= \frac{0.95 - 0.91}{0.97 - 0.95} \end{aligned}$$

$$\phi = 2.556 \text{ aproximado a } 2.56$$

$r_2$  entonces es 8. Se itera de nuevo con  $v_2 = 21$  por lo que se tiene que hacer de nuevo una interpolación.

$$\begin{aligned} &2.33 - 0.93 \\ &\phi - 0.95 \\ &2.67 - 0.98 \\ \frac{\phi - 2.33}{2.67 - \phi} &= \frac{0.95 - 0.93}{0.98 - 0.95} \end{aligned}$$

$$\phi = 2.466 \text{ aproximado a } 2.47$$

$r_3$  entonces es 7. Se itera de nuevo con  $v_2 = 18$  por lo que se tiene que hacer de nuevo una interpolación. El valor de  $\phi$  es 2.47,  $r_4$  entonces es 7.

Con potencia del 95 % y nivel de confianza del 95 %, el tamaño muestral del factor variabilidad de las llegadas es de 7.

### Tamaño de muestra del factor Distribución llegada de entidades con una potencia del 99 %

Se ejecuta el mismo procedimiento que cuando se calculó el tamaño de muestra del factor distribución de llegada de entidades con una potencia del 95 %. Con potencia del 99 % y nivel de confianza del 95 %, se determina por interpolación el valor de  $\phi$ .

**Tabla B.5.** Power of the F-test con alfa de 0.01 y  $v_1 = 2$

$v_2$	$\phi$										
	1.67	2.00	2.33	2.67	3.00	3.33	3.67	4.00	4.33	4.67	5.00
5	0.16	0.25	0.36	0.48	0.60	0.70	0.80	0.87	0.92	0.95	0.97
6	0.20	0.30	0.43	0.57	0.69	0.80	0.88	0.93	0.96	0.98	0.99
7	0.22	0.35	0.50	0.64	0.76	0.86	0.92	0.96	0.98	0.99	1.00
8	0.25	0.39	0.54	0.69	0.81	0.90	0.95	0.98	0.99	1.00	1.00
9	0.27	0.42	0.58	0.73	0.85	0.92	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00
10	0.29	0.45	0.62	0.76	0.87	0.94	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00
12	0.32	0.49	0.67	0.81	0.91	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
15	0.35	0.54	0.71	0.85	0.93	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
20	0.39	0.58	0.76	0.88	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
30	0.43	0.63	0.80	0.91	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
60	0.47	0.68	0.84	0.94	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1000	0.51	0.72	0.87	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

$$\phi = 3.00$$

$r_1$  entonces es 10. Se itera de nuevo con  $v_2 = 27$  por lo que  $\phi = 3.33$ , por lo tanto  $r_2$  es 13. Se itera de nuevo con  $v_2 = 36$  por lo que  $\phi = 3.33$ ,  $r_3$  toma valor de 13.

Con potencia del 99 % y nivel de confianza del 95 %, el tamaño muestral del factor variabilidad de las llegadas es de 13.

Se calcula el tamaño de muestra para los factores: Distribución llegada de las entidades, pesos asignados a los criterios de la función objetivo y número máximo de entidades  $n$  a procesar con una diferencia mínima detectable de 1800. El tamaño muestra de cada uno de estos factores es absorbido por el tamaño muestral del factor regla de programación (ver Tabla A.6). Es decir, el factor que mayor tamaño muestra alcanza es el factor regla de programación por lo que cada nivel de tratamiento de los escenarios de colaboración tendrá este tamaño de muestra. Lo anterior aplica tanto para una potencia del 95 % como para una del 99 %.

**Tabla B.6.** Resumen de los tamaños muestrales alcanzados para cada factor del diseño experimental de los escenarios de colaboración

Factores/Potencia	Potencia	
	95 %	99 %
Reglas de programación de tareas	11	20
Variabilidad en la llegada de las entidades	7	13
Parámetros de las distribuciones de llegada	7	13
Peso a asignar a los criterios de la función objetivo	7	13
Números máximo de entidades $n$	7	13

De acuerdo con lo anterior, el diseño factorial completo para una potencia del 95 % alcanza un tamaño de 11 muestras por cada nivel de tratamiento, que en total serían 10.098 tratamientos los cuales se obtienen de multiplicar [(432 tratamientos para el escenario de colaboración nulo + 432

tratamientos para el escenario de colaboración parcial + 54 tratamientos para el escenario de colaboración total)\*11 muestras por cada nivel de tratamiento].

Si se considera hacer un diseño factorial completo para los escenarios de colaboración con una potencia del 99 % alcanza un tamaño de 20 muestras por cada nivel de tratamiento, que en total sería 18.360 tratamientos. La diferencia para los diseños factoriales completos considerando el 95 % y 99 % es de 8262 (82 % del diseño factorial completo con potencia del 95 %). Esta diferencia es significativa tanto en el número de corridas de simulación como en el tiempo invertido para obtener la variable respuesta por cada nivel de tratamiento.

Para 11 muestras por nivel de tratamiento de los escenarios de colaboración, en promedio, diario se obtienen resultados para 110 corridas invirtiendo 8 horas diarias en total, lo cual representa la dedicación exclusiva de 92 días hábiles (un poco más de 3 meses) para obtener resultados para los tres escenarios de colaboración con el 95 % de potencia. Para 20 muestras, es decir, con 99 % de potencia, por cada nivel de tratamiento de los escenarios de colaboración representa la dedicación exclusiva de 167 días hábiles (un poco más de 5 meses y medio). De acuerdo a lo anterior, el tamaño muestral por cada nivel de tratamiento para los escenarios de colaboración será de 11 muestras con un 95 % de potencia y 95 % de nivel de confianza en las conclusiones de los resultados.

## ANEXO C

De acuerdo con los resultados del escenario de colaboración nulo los factores DistribuciónLlegadaEntidades y PesoCriteriosFO no afectan la variable respuesta por lo que se decide escoger una distribución y un solo peso asignado a los criterios de la función objetivo. Los resultados encontrados bajo estas condiciones tienen validez para las tres distribuciones y los tres pesos asignados a los criterios de la función objetivo del presente estudio.

**Tabla C.1.** Estadísticas del factor ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades-Media-PesoCriteriosFO-NúmeroEntidades

ReglaProgramacion	DistribucionLlegadaEntidades	Media	PesoCriteriosFO	NumeroEntidades	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
							Límite inferior	Límite superior
EDD_FIFO	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	91,091	337,626	-573,157	755,338
				50	1018,000	337,626	353,752	1682,248
				100	2344,045	337,626	1679,798	3008,293
				150	5900,864	337,626	5236,616	6565,111
EDD_SPT	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	89,591	337,626	-574,657	753,838
				50	995,500	337,626	331,252	1659,748
				100	2131,227	337,626	1466,980	2795,475
				150	5449,955	337,626	4785,707	6114,202
MDD_FIFO	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	91,636	337,626	-572,611	755,884
				50	922,727	337,626	258,480	1586,975
				100	2146,318	337,626	1482,071	2810,566
				150	5045,045	337,626	4380,798	5709,293
MDD_SPT	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,136	337,626	-574,111	754,384
				50	901,318	337,626	237,071	1565,566
				100	1973,409	337,626	1309,162	2637,657
				150	4650,636	337,626	3986,389	5314,884
SLK1_FIFO	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	92,682	337,626	-571,566	756,929
				50	1007,545	337,626	343,298	1671,793
				100	2185,955	337,626	1521,707	2850,202
				150	5231,000	337,626	4566,752	5895,248
SLK1_SPT	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	91,182	337,626	-573,066	755,429
				50	982,045	337,626	317,798	1646,293
				100	2039,955	337,626	1375,707	2704,202
				150	4946,136	337,626	4281,889	5610,384
SLK2_FIFO	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	91,682	337,626	-572,566	755,929
				50	938,136	337,626	273,889	1602,384
				100	2138,773	337,626	1474,525	2803,020
				150	5044,818	337,626	4380,571	5709,066
SLK2_SPT	Exponencial	3	0.5 - 0.5	10	90,182	337,626	-574,066	754,429
				50	919,591	337,626	255,343	1583,838
				100	1965,864	337,626	1301,616	2630,111
				150	4634,136	337,626	3969,889	5298,384

Nótese que para cada una de las combinaciones de niveles de los factores se evidencia que cuando el segundo miembro de la cadena logística utiliza la estrategia SPT en vez de la FIFO genera mejor rendimiento global en la cadena logística estudiada.

## ANEXO D

### ANÁLISIS DEL ESCENARIO DE COLABORACIÓN NULO

Se emplea el programa de análisis estadístico SPSS 19 para obtener la tabla ANOVA, gráficos de perfil, pruebas *post hoc* y estadísticos descriptivos para realizar Contrastes de Scheffé con el fin de determinar si existe diferencia significativa entre niveles de los factores y tratamientos de interés. Se considera realizar estos contrastes y no pruebas *post hoc* como diferencia de medias y Contrastes planeados de Bonferroni debido a que a medida que aumenta el número de contrastes a realizar, para este tipo de pruebas, se pierde confianza general lo cual incide sobre la contundencia del análisis y conclusiones.

**Tabla D.1.** ANOVA del escenario de colaboración nulo

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.						
Modelo corregido	8,664E9	431	2,010E7	80,800	,000	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO	852613,986	12	71051,165	,286	,992
Intersección	5,150E9	1	5,150E9	20701,557	,000	ReglaProgramacion * Media * NumeroEntidades	3,640E7	18	2022161,761	8,128	,000
ReglaProgramacion	2,109E7	3	7028927,110	28,254	,000	ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	584810,909	18	32489,495	,131	1,000
DistribucionLlegada Entidades	3,612E7	2	1,806E7	72,598	,000	DistribucionLlegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	2542739,210	8	317842,401	1,278	,250
Media	2,289E9	2	1,144E9	4599,990	,000	DistribucionLlegada Entidades * Media * NumeroEntidades	1,586E7	12	1321906,450	5,314	,000
PesoCriteriosFO	4,444E8	2	2,222E8	893,210	,000	DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	1,544E7	12	1286610,084	5,172	,000
NumeroEntidades	3,363E9	3	1,121E9	4505,684	,000	Media * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	8881124,916	12	740093,743	2,975	,000
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades	1032453,618	6	172075,603	,692	,656	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	232245,670	24	9676,903	,039	1,000
ReglaProgramacion * Media	3,835E7	6	6392361,714	25,695	,000	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * Media * NumeroEntidades	943500,645	36	26208,351	,105	1,000
ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO	472824,976	6	78804,163	,317	,929	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	504519,398	36	14014,428	,056	1,000
ReglaProgramacion * NumeroEntidades	1,980E7	9	2200018,048	8,843	,000	ReglaProgramacion * Media * NumeroEntidades	1131000,781	36	31416,688	,126	1,000
DistribucionLlegada Entidades * Media	1,768E7	4	4419499,504	17,765	,000	DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	3,388E7	24	1411796,191	5,675	,000
DistribucionLlegada Entidades * PesoCriteriosFO	245221,688	4	61305,422	,246	,912	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	1036526,995	72	14396,208	,058	1,000
DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	2,681E7	6	4467589,482	17,958	,000	Error	1,075E9	4320	248777,047		
Media * PesoCriteriosFO	1,925E7	4	4811295,224	19,340	,000	Total	1,489E10	4752			
Media * NumeroEntidades	2,068E9	6	3,447E8	1385,703	,000	Total corregida	9,738E9	4751			
PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	1,982E8	6	3,303E7	132,768	,000						
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * Media	1181664,929	12	98472,077	,396	,966						
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * PesoCriteriosFO	86889,175	12	7240,765	,029	1,000						
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	773164,783	18	42953,599	,173	1,000						

a. R cuadrado = ,890 (R cuadrado corregida = ,879)

**Modelo corregido:** Ho: no existe ningún factor que esté afectando el modelo; Ha: por lo menos hay un factor que está afectando el modelo. Con una significancia cercana a cero se comprueba que existe por lo menos un factor que está afectando el modelo.

**Intercepción:** Ho: la media de la variable respuesta producto de la interacción de los factores bajo estudio es cero; Ha: la media es diferente de cero. Con una significancia cercana a cero se comprueba que la media es diferente de cero.

**ReglaProgramación:** Ho: la media de las estrategias de programación de operaciones se comportan iguales; Ha: por lo menos hay una estrategia de programación de operaciones que se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe una estrategia de programación de operaciones que se comporta diferente.

**DistribuciónLlegadaEntidades:** Ho: la media de las distribuciones de llegadas de los trabajos al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos una distribución de llegada se comporta diferente.

Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe una distribución de llegadas de los trabajos al sistema que se comporta diferente.

**Media:** Ho: el promedio de las medias de las distribuciones de llegadas de los trabajos al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos una se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe una media de las distribuciones de llegadas de los trabajos al sistema que se comporta diferente.

**PesoCriteriosFO:** Ho: la media de los pesos asignados a los criterios de la función objetivo se comportan iguales; Ha: por lo menos un peso se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe un peso asignado a la función objetivo que se comporta diferente.

**NúmeroEntidades:** Ho: la media de los distintos números de trabajos que llegan al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos un número de trabajos se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe un número de trabajos que llegan al sistema se comporta diferente.

De los resultados arrojados por la tabla ANOVA nótese que aquellas combinaciones de factores donde están presentes tanto el factor ReglaProgramación como el factor DistribuciónLlegadaEntidades, siendo un 65.6 % el menor nivel de significancia de este conjunto de factores, se comprueba la hipótesis nula la cual determina que no existe interacción entre los factores mencionados. La interacción de factores para las que se comprueba esta hipótesis nula son:

- ReglaProgramación\* PesoCriteriosFO
- DistribuciónLlegadaEntidades\* PesoCriteriosFO
- ReglaProgramación\* Media\*PesoCriteriosFO
- DistribuciónLlegadaEntidades \* Media\*PesoCriteriosFO
- ReglaProgramación\*DistribuciónLlegadaEntidades
- ReglaProgramación\* DistribuciónLlegadaEntidades\*Media
- ReglaProgramación\* DistribuciónLlegadaEntidades\*PesoCriteriosFO
- ReglaProgramación\* DistribuciónLlegadaEntidades\*NúmeroEntidades
- ReglaProgramación\* DistribuciónLlegadaEntidades\*Media\*NúmeroEntidades
- ReglaProgramación\*DistribuciónLlegadaEntidades\*PesoCriteriosFO\*NúmeroEntidades
- ReglaProgramación\*  
DistribuciónLlegadaEntidades\*Media\*PesoCriteriosFO\*NúmeroEntidades

Con un nivel de significancia cercano a cero se acepta la hipótesis alternativa que determina que si existe interacción entre factores produciendo una disminución o aumento, según sea el caso, en el rendimiento de las estrategias de programación de operaciones. La interacción de factores para las que se comprueba esta hipótesis alternativa son:

- ReglaProgramación\*Media
- ReglaProgramación\*NúmeroEntidades
- DistribuciónLlegadaEntidades \*Media
- DistribuciónLlegadaEntidades \*NúmeroEntidades
- Media\*PesoCriteriosFO
- Media\*NúmeroEntidades

- $\text{PesoCriteriosFO} * \text{NúmeroEntidades}$
- $\text{ReglaProgramación} * \text{Media} * \text{NúmeroEntidades}$
- $\text{DistribuciónLlegadaEntidades} * \text{Media} * \text{NúmeroEntidades}$
- $\text{DistribuciónLlegadaEntidades} * \text{PesoCriteriosFO} * \text{NúmeroEntidades}$
- $\text{Media} * \text{PesoCriteriosFO} * \text{NúmeroEntidades}$
- $\text{DistribuciónLlegadaEntidades} * \text{Media} * \text{PesoCriteriosFO} * \text{NúmeroEntidades}$

### Comparación entre las distribuciones de llegada de las entidades al sistema en el escenario de colaboración nulo

#### Contrastes de Scheffé para la comparación entre distribuciones

**Contraste de Scheffé I:** El valor que toma la función objetivo, en promedio, es mayor cuando a la cadena logística bajo estudio llegan trabajos siguiendo una distribución Exponencial en comparación con una distribución Normal.

$$\tau_{\text{EXPONENCIAL}\dots} - \tau_{\text{NORMAL}\dots} = 0$$

**Figura D.1.** Fórmula Contraste de Scheffé

$$\sum C_i Y_i \pm \sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha} * \text{msE}(\sum C_i^2 / r_i)}$$

Parte 1:  $\sum C_i \bar{Y}_i = 188.58$

Parte 2:  $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 2.45$

Parte 3:  $\sqrt{\text{msE}(\sum C_i^2 / r_i)} = 17.72$

Entonces, Parte 1 +/- Parte 2\*Parte 3; Límite inferior = 145.18 y Límite superior = 231.97

De acuerdo con lo anterior, la media de la distribución exponencial es mayor que la media de la distribución normal entre 145.18 y 231.97 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en la función objetivo con entre ambas distribuciones.

**Contraste de Scheffé II:** El valor que toma la función objetivo, en promedio, es mayor cuando a la cadena logística bajo estudio llegan trabajos siguiendo una distribución Exponencial en comparación con una distribución Constante.

$$\tau_{\text{EXPONENCIAL}\dots} - \tau_{\text{CONSTANTE}\dots} = 0$$

Parte 1:  $\sum C_i \bar{Y}_i = 181.08$

Parte 2:  $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 2.45$

Parte 3:  $\sqrt{\text{msE}(\sum C_i^2 / r_i)} = 17.72$

Entonces, Parte 1 +/- Parte 2\*Parte 3; Límite inferior = 137.69 y Límite superior = 224.48

De acuerdo con lo anterior, la media de la distribución exponencial es mayor que la media de la distribución constante entre 137.69 y 224.48 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza

general del 95 %, %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en la función objetivo con entre ambas distribuciones.

**Contraste de Scheffé III:** El valor que toma la función objetivo, en promedio, es mayor cuando a la cadena logística bajo estudio llegan trabajos siguiendo una distribución Constante en comparación con una distribución Normal.

$$\tau_{\text{CONSTANTE}} - \tau_{\text{NORMAL}} = 0$$

Parte 1:  $\sum C_i \bar{Y}_i = 7.49$

Parte 2:  $\sqrt{(v - 1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 2.45$

Parte 3:  $\sqrt{\text{msE}(\sum C_i^2 / r_i)} = 17.72$

Entonces, Parte 1 +/- Parte 2\*Parte 3; Límite inferior = -35.90 y Límite superior = 50.89

De acuerdo con lo anterior, la media de la distribución normal no es mayor que la media de la distribución constante entre -35.90 y 50.89 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que no existe una diferencia significativa en la función objetivo cuando el sistema trabaja con ambas distribuciones.

Sin embargo, se alcanzan mejores resultados cuando a la cadena logística bajo estudio llegan trabajos siguiendo una distribución Normal que con la distribución Constante en un 50.4 % de los casos. Estas conclusiones se corroboran con la prueba *post hoc* realizada al factor DistribuciónLlegadaEntidades que muestra los subconjuntos homogéneos de los niveles de este factor.

**Tabla D.2.** Prueba *post hoc* para el factor DistribuciónLlegadaEntidades; escenario de colaboración nulo

DistribucionLlegada Entidades	N	Subconjunto	
		1	2
Normal	1584	975,6849	
Constante	1584	983,1773	
Exponencial	1584		1164,2652
Sig.		,906	1,000

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
 Basadas en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 248777.047.

- a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 1584.000
- b. Alfa = .05.

**Comparación entre los pesos asignados a la función objetivo en el escenario de colaboración nulo**

Teniendo en cuenta las estadísticas del factor PesoCriteriosFO y los resultados de la prueba *post hoc* para el factor PesoCriteriosFO (ver Tabla D.3), no se considera hacer los Contrastes de Scheffé para este factor debido a que se evidencian tres subconjuntos homogéneos lo que permite concluir que si existe una diferencia significativa entre los pesos asignados a los criterios de la función objetivo.

**Tabla D.3.** Prueba *post hoc* para el factor PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración nulo

PesoCriteriosFO	N	Subconjunto		
		1	2	3
0.2 - 0.8	1584	669,3111		
0.5 - 0.5	1584		1035,4766	
0.8 - 0.2	1584			1418,3396
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
 Basadas en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 248777.047.  
 a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 1584.000  
 b. Alfa = .05.

**Comparación entre el factor ReglaProgramación, Media y NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo**

Teniendo en cuenta las estadísticas del factor Media y los resultados de la prueba *post hoc* para el factor Media (ver Tabla D.4), no se considera hacer los Contrastes de Scheffé para este factor debido se evidencian tres subconjuntos homogéneos lo que permite concluir que si existe una diferencia significativa entre las tasas de llegada de los trabajos al sistema.

**Tabla D.4.** Prueba *post hoc* para el factor Media en el escenario de colaboración nulo

Media	N	Subconjunto		
		1	2	3
10	1584	515,0461		
5	1584		586,4384	
3	1584			2021,6429
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
 Basadas en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 248777.047.  
 a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 1584.000  
 b. Alfa = .05.

Teniendo en cuenta las estadísticas del factor NúmeroEntidades y los resultados de la prueba *post hoc* para este factor (ver Tabla D.5), no se considera hacer los Contrastes de Scheffé debido a que se evidencian cinco subconjuntos homogéneos lo que permite concluir que si existe una diferencia estadísticamente significativa en la función objetivo por las distintas cantidades de trabajos procesados por la cadena logística bajo estudio.

**Tabla D.5.** Prueba *post hoc* para el factor NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo

NumeroEntidades	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
10	1188	74,4504			
50	1188		502,6948		
100	1188			1306,6640	
150	1188				2280,3607
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
 Basadas en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 248777.047.  
 a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 1188.000  
 b. Alfa = .05.

Los contrastes de Scheffé desarrollados en la Tabla D.7 toman los valores promedios de las estadísticas de la interacción ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades (ver Tabla D.6).

**Tabla D.6.** Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo

ReglaProgramacion	Media	NumeroEntidades	Media	Error tip.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
FIFO_FIFO	3	10	88,571	50,129	-9,708	186,849
		50	881,634	50,129	783,356	979,913
		100	2819,020	50,129	2720,742	2917,298
		150	5324,036	50,129	5225,758	5422,315
	5	10	71,478	50,129	-26,800	169,756
		50	371,823	50,129	273,545	470,101
		100	764,051	50,129	665,772	862,329
		150	1170,364	50,129	1072,085	1268,642
	10	10	64,971	50,129	-33,308	163,249
		50	330,359	50,129	232,080	428,637
		100	666,469	50,129	568,190	764,747
		150	1000,408	50,129	902,130	1098,686
FIFO_SPT	3	10	87,383	50,129	-10,895	185,661
		50	841,095	50,129	742,817	939,373
		100	2561,418	50,129	2463,140	2659,696
		150	4866,896	50,129	4768,618	4965,174
	5	10	71,211	50,129	-27,067	169,489
		50	368,884	50,129	270,606	467,162
		100	757,938	50,129	659,660	856,217
		150	1158,225	50,129	1059,947	1256,503
	10	10	64,971	50,129	-33,308	163,249
		50	330,196	50,129	231,918	428,474
		100	666,180	50,129	567,902	764,458
		150	999,148	50,129	900,870	1097,427
SPT_FIFO	3	10	86,917	50,129	-11,361	185,195
		50	781,616	50,129	683,338	879,894
		100	2457,767	50,129	2359,488	2556,045
		150	4576,199	50,129	4477,921	4674,477
	5	10	71,220	50,129	-27,058	169,498
		50	367,871	50,129	269,592	466,149
		100	750,540	50,129	652,262	848,819
		150	1145,135	50,129	1046,857	1243,414
	10	10	64,976	50,129	-33,302	163,254
		50	330,379	50,129	232,101	428,657
		100	665,325	50,129	567,047	763,603
		150	999,037	50,129	900,759	1097,316
SPT_SPT	3	10	85,796	50,129	-12,482	184,074
		50	733,577	50,129	635,299	831,855
		100	2161,747	50,129	2063,469	2260,026
		150	3992,613	50,129	3894,335	4090,891
	5	10	70,936	50,129	-27,342	169,215
		50	364,843	50,129	266,565	463,122
		100	744,570	50,129	646,291	842,848
		150	1133,924	50,129	1035,646	1232,202
	10	10	64,976	50,129	-33,302	163,254
		50	330,061	50,129	231,782	428,339
		100	664,942	50,129	566,664	763,221
		150	998,341	50,129	900,063	1096,620

**Tabla D.7.** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 10 entidades en el escenario de colaboración nulo

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV	Contraste de Scheffé V	Contraste de Scheffé VI
$\tau_{SPT\_SPT \cdot 3 \cdot 10} - \tau_{SPT\_FIFO \cdot 3 \cdot 10} = 0^{***}$	$\tau_{SPT\_SPT \cdot 3 \cdot 10} - \tau_{FIFO\_SPT \cdot 3 \cdot 10} = 0$	$\tau_{SPT\_SPT \cdot 3 \cdot 10} - \tau_{FIFO\_FIFO \cdot 3 \cdot 10} = 0$	$\tau_{SPT\_FIFO \cdot 3 \cdot 10} - \tau_{FIFO\_SPT \cdot 3 \cdot 10} = 0$	$\tau_{SPT\_FIFO \cdot 3 \cdot 10} - \tau_{FIFO\_FIFO \cdot 3 \cdot 10} = 0$	$\tau_{FIFO\_SPT \cdot 3 \cdot 10} - \tau_{FIFO\_FIFO \cdot 3 \cdot 10} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -1.12$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -1.59$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -2.76$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -0.47$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -1.65$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -1.19$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 5.38$					
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 70.89$					
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO con las mismas características entre -382.31 y 380.07 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT con las mismas características entre -382.77 y 379.60 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -383.97 y 378.41 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT con las mismas características entre -381.65 y 380.72 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -382.84 y 379.53 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -382.38 y 380.00 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_SPT genera mejores resultados que la SPT_FIFO en un 25.3 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_SPT genera mejores resultados que la FIFO_SPT en un 40.4 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_SPT genera mejores resultados que la FIFO_FIFO en un 53.5 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_FIFO genera mejores resultados que la FIFO_SPT en un 38.4 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_FIFO genera mejores resultados que la FIFO_FIFO en un 39.4 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones FIFO_SPT genera mejores resultados que la FIFO_FIFO en un 25.3 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SPT\_SPT-Media 3-10 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SPT\_FIFO con las mismas características.

**Tabla D.7. (Continuación)** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 50 entidades en el escenario de colaboración nulo

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV	Contraste de Scheffé V	Contraste de Scheffé VI
$\tau_{SPT\_SPT:3-50} - \tau_{SPT\_FIFO:3-50} = 0^{***}$	$\tau_{SPT\_SPT:3-50} - \tau_{FIFO\_SPT:3-50} = 0$	$\tau_{SPT\_SPT:3-50} - \tau_{FIFO\_SFIFO:3-50} = 0$	$\tau_{SPT\_FIFO:3-50} - \tau_{FIFO\_SPT:3-50} = 0$	$\tau_{SPT\_FIFO:3-50} - \tau_{FIFO\_FIFO:3-50} = 0$	$\tau_{FIFO\_SPT:3-50} - \tau_{FIFO\_FIFO:3-50} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -48.04$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -107.52$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -148.06$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -59.48$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -100.02$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -40.54$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 5.38$					
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 70.89$					
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO con las mismas características entre -429.23 y 333.15 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT con las mismas características entre -488.71 y 173.67 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -529.25 y 233.14 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT con las mismas características entre -440.67 y 321.71 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -481.21 y 281.17 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -421.73 y 340.65 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_SPT genera mejores resultados que la SPT_FIFO en un 94.9 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_SPT genera mejores resultados que la FIFO_SPT en un 95.9 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_SPT genera mejores resultados que la FIFO_FIFO en un 100 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_FIFO genera mejores resultados que la FIFO_SPT en un 64.6 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_FIFO genera mejores resultados que la FIFO_FIFO en un 86.9 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones FIFO_SPT genera mejores resultados que la FIFO_FIFO en un 95.9 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SPT\_SPT-Media 3-50 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SPT\_FIFO con las mismas características.

**Tabla D.7. (Continuación)** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 100 entidades en el escenario de colaboración nulo

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV	Contraste de Scheffé V	Contraste de Scheffé VI
$\tau_{SPT\_SPT-3-100} - \tau_{SPT\_FIFO-3-100} = 0^{***}$	$\tau_{SPT\_SPT-3-100} - \tau_{FIFO\_SPT-3-100} = 0$	$\tau_{SPT\_SPT-3-100} - \tau_{FIFO\_FIFO-3-100} = 0$	$\tau_{SPT\_FIFO-3-100} - \tau_{FIFO\_SPT-3-100} = 0$	$\tau_{SPT\_FIFO-3-100} - \tau_{FIFO\_FIFO-3-100} = 0$	$\tau_{FIFO\_SPT-3-100} - \tau_{FIFO\_FIFO-3-100} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -296.02$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -399.67$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -657.27$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -103.65$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -361.25$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -257.60$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 5.38$					
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 70.89$					
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-100 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO con las mismas características entre -677.21 y 85.17 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-100 Entidades genera mejor rendimiento que cuando se trabaja bajo la estrategia de programación FIFO_SPT con las mismas características entre -780.86 y -18.47 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en el rendimiento del sistema	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-100 Entidades genera mejor rendimiento que cuando se trabaja bajo la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -1038.46 y -276.09 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en el rendimiento del sistema	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO-Media 3-100 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT con las mismas características entre -484.84 y 277.54 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas combinaciones de estrategias pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO-Media 3-100 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -772.44 y 19.94 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT-Media 3-100 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -421.73 y 340.65 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_SPT genera mejores resultados que la SPT_FIFO en un 98.9 % de los casos.	bajo la comparación de estas dos estrategias de programación.	bajo la comparación de estas dos estrategias de programación.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_FIFO genera mejores resultados que la FIFO_SPT en un 59.6 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_FIFO genera mejores resultados que la FIFO_FIFO en un 92.9 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones FIFO_SPT genera mejores resultados que la FIFO_FIFO en un 100 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SPT\_SPT-Media 3-100 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SPT\_FIFO con las mismas características.

**Tabla D.7. (Continuación)** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 150 entidades en el escenario de colaboración nulo

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV	Contraste de Scheffé V	Contraste de Scheffé VI
$\tau_{SPT\_SPT-3-150} - \tau_{SPT\_FIFO-3-150} = 0^{***}$	$\tau_{SPT\_SPT-3-150} - \tau_{FIFO\_SPT-3-150} = 0$	$\tau_{SPT\_SPT-3-150} - \tau_{FIFO\_FIFO-3-150} = 0$	$\tau_{SPT\_FIFO-3-150} - \tau_{FIFO\_SPT-3-150} = 0$	$\tau_{SPT\_FIFO-3-150} - \tau_{FIFO\_FIFO-3-150} = 0$	$\tau_{FIFO\_SPT-3-150} - \tau_{FIFO\_FIFO-3-150} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -583.586$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -874.28$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -1331.42$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -290.70$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -787.84$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -457.14$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 5.38$					
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 70.89$					
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-150 Entidades genera mejor rendimiento que cuando se trabaja bajo la estrategia de programación SPT_FIFO con las mismas características entre -964.78 y -202.39 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en el rendimiento del sistema bajo la comparación de estas dos estrategias de programación.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-150 Entidades genera mejor rendimiento que cuando se trabaja bajo la estrategia de programación SPT_FIFO con las mismas características entre -1255.47 y -493.09 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en el rendimiento del sistema bajo la comparación de estas dos estrategias de programación.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-150 Entidades genera mejor rendimiento que cuando se trabaja bajo la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -1712.61 y -950.23 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en el rendimiento del sistema bajo la comparación de estas dos estrategias de programación.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO-Media 3-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT con las mismas características entre -671.89 y 90.49 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.  Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_FIFO genera mejores resultados que la FIFO_SPT en un 68.7 % de los casos.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO-Media 3-150 Entidades genera mejor rendimiento que cuando se trabaja bajo la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -1129.03 y -366.64 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en el rendimiento del sistema bajo la comparación de estas dos estrategias de programación.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT-Media 3-150 Entidades genera mejor rendimiento que cuando se trabaja bajo la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -838.33 y -75.94 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en el rendimiento del sistema bajo la comparación de estas dos estrategias de programación.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SPT\_SPT-Media 3-150 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SPT\_FIFO con las mismas características.

### **Comparación entre estrategias con Media 5 y 150 entidades para el escenario de colaboración nulo**

Como se evidenció en los anteriores resultados, al nivel 150 del factor NúmeroEntidades fue donde se presentaron las diferencias significativas entre las estrategias de programación de operaciones, por consiguiente, se determina este nivel de factor para hacer las comparaciones entre las estrategias de programación de operaciones con Media 5 puesto que garantiza obtener conclusiones para los demás número de trabajos como 10, 50 y 100 y, determinar si bajo una tasa de llegada de 5 existe diferencia estadísticamente significativa en el rendimiento de las estrategias de programación de operaciones.

**Tabla D.8.** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 5 y 150 entidades en el escenario de colaboración nulo

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV	Contraste de Scheffé V	Contraste de Scheffé VI
$\tau_{SPT\_SPT-5-150} - \tau_{SPT\_FIFO-5-150} = 0^{***}$	$\tau_{SPT\_SPT-5-150} - \tau_{FIFO\_SPT-5-150} = 0$	$\tau_{SPT\_SPT-5-150} - \tau_{FIFO\_FIFO-5-150} = 0$	$\tau_{SPT\_FIFO-5-150} - \tau_{FIFO\_SPT-5-150} = 0$	$\tau_{SPT\_FIFO-5-150} - \tau_{FIFO\_FIFO-5-150} = 0$	$\tau_{FIFO\_SPT-5-150} - \tau_{FIFO\_FIFO-5-150} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -11.21$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -24.30$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -36.44$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -13.09$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -25.23$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -12.14$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 5.38$					
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 70.89$					
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO con las mismas características entre -392.40 y 369.98 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT con las mismas características entre -405.49 y 346.89 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -417.63 y 344.75 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT con las mismas características entre -394.28 y 368.10 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_FIFO-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -406.42 y 355.96 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación FIFO_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación FIFO_FIFO con las mismas características entre -393.33 y 369.05 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_SPT genera mejores resultados que la SPT_FIFO en un 70.7 % de los casos.	bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_SPT genera mejores resultados que la FIFO_SPT en un 33.3 % de los casos.	bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_SPT genera mejores resultados que la FIFO_FIFO en un 73.7 % de los casos.	bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_FIFO genera mejores resultados que la FIFO_SPT en un 39.4 % de los casos.	bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SPT_FIFO genera mejores resultados que la FIFO_FIFO en un 34.3 % de los casos.	bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones FIFO_SPT genera mejores resultados que la FIFO_FIFO en un 72.7 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SPT\_SPT-Media 5-150 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SPT\_FIFO con las mismas características.

De acuerdo con los anteriores resultados de los Contrastes de Scheffé, se concluye que cuando la Media es de 5, no existe diferencia estadísticamente significativa entre las estrategias de programación de operaciones. Lo mismo sucede cuando la Media es 10, inclusive los rendimientos alcanzados por las estrategias de programación son muy similares. A continuación se presenta un resumen de las estadísticas del factor ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades que soportan la anterior conclusión.

**Tabla D.9.** Resumen estadísticas del factor ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo

Regla Programación	Media	Número Entidades	Promedio	Límite inferior	Límite superior
SPT_SPT	5	150	1133.924	1035.646	1232.202
SPT_FIFO	5	150	1145.135	1046.857	1243.414
FIFO_SPT	5	150	1158.225	1059.947	1256.503
FIFO_FIFO	5	150	1170.364	1072.085	1268.642
SPT_SPT	10	150	998.341	900.0063	1096.620
SPT_FIFO	10	150	999.037	900.759	1097.316
FIFO_SPT	10	150	999.148	900.870	1097.427
FIFO_FIFO	10	150	1000.364	902.130	1098.686

### Tiempo de terminación del programa ( $C_{max}$ )

**Tabla D.10.** ANOVA del tiempo de terminación del programa ( $C_{max}$ ) para el escenario de colaboración nulo

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO					
Modelo corregido	8,078E8	431	1874205,048	1038,032	,000	2186,220	12	182,185	,101	1,000	
Intersección	1,113E9	1	1,113E9	616647,922	,000	3694,396	18	205,244	,114	1,000	
ReglaProgramacion	2015,086	3	671,695	,372	,773	3155,560	18	175,309	,097	1,000	
DistribucionLegada Entidades	10564,936	2	5282,468	2,926	,054	37793,223	8	4724,153	2,616	,007	
Media	2,154E8	2	1,077E8	59654,409	,000	87147,283	12	7262,274	4,022	,000	
PesoCriteriosFO	119,084	2	59,542	,033	,968	37341,004	12	3111,750	1,723	,056	
NumeroEntidades	4,872E8	3	1,624E8	89951,318	,000	70334,381	12	5861,198	3,246	,000	
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades	646,162	6	107,694	,060	,999	3624,814	24	151,034	,084	1,000	
ReglaProgramacion * Media	3023,779	6	503,963	,279	,947	4296,512	36	119,348	,066	1,000	
ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO	1022,807	6	170,468	,094	,997	5211,957	36	144,777	,080	1,000	
ReglaProgramacion * NumeroEntidades	2195,105	9	243,901	,135	,999	6571,767	36	182,549	,101	1,000	
DistribucionLegada Entidades * Media	11750,221	4	2937,555	1,627	,165	110560,582	24	4606,691	2,551	,000	
DistribucionLegada Entidades * PesoCriteriosFO	16071,984	4	4017,996	2,225	,064	9265,644	72	128,689	,071	1,000	
DistribucionLegada Entidades * NumeroEntidades	84544,449	6	14090,742	7,804	,000	7799922,545	4320	1805,538			
Media * PesoCriteriosFO	25160,501	4	6290,125	3,484	,008	1,929E9	4752				
Media * NumeroEntidades	1,046E8	6	1,743E7	9652,621	,000	8,156E8	4751				
PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	21529,135	6	3588,189	1,987	,064	Error					
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media	1565,823	12	130,485	,072	1,000	Total					
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * PesoCriteriosFO	1222,428	12	101,869	,056	1,000	Total corregida					
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * NumeroEntidades	2712,372	18	150,687	,083	1,000						

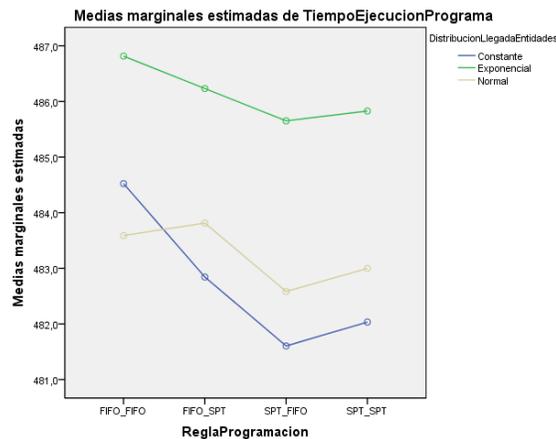
a. R cuadrado = ,990 (R cuadrado corregida = ,989)

**ReglaProgramación:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones se comportan iguales; Ha: por lo menos hay una estrategia de programación de operaciones que se comporta diferente en cuanto a tiempo de ejecución del programa. Con una

significancia del 77.3 % se comprueba que no existe diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de ejecución del programa de las estrategias de programación de operaciones (ver Figura D.2).

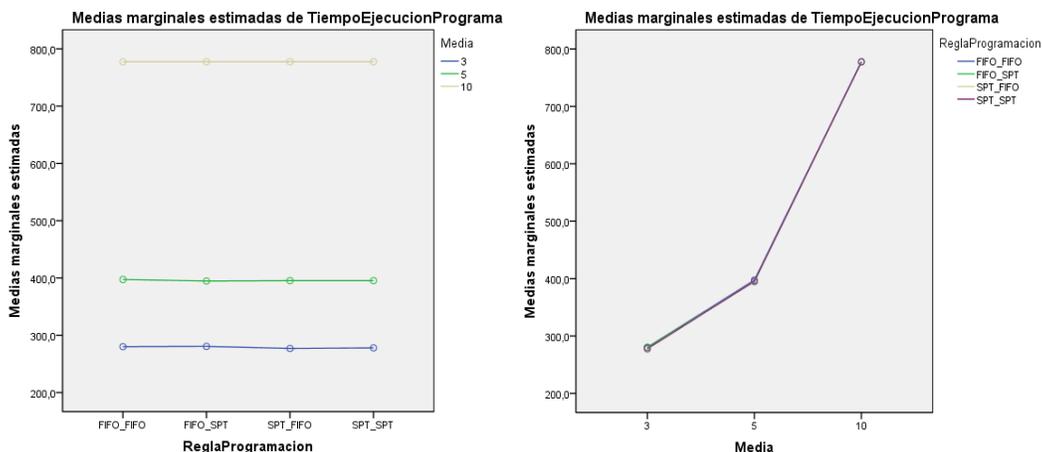
**Distribución Llegada Entidades:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando las distribuciones de llegadas de los trabajos al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos se comporta diferente. Con una significancia del 5.4 % no existe diferencia estadísticamente significativa entre el tiempo de ejecución de las estrategias de programación de operaciones cuando trabajan bajo distintas distribuciones de llegadas.

**Figura D.2.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-Distribución Llegada Entidades en el escenario de colaboración nulo



**Media:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintas tasas de llegadas de los trabajos al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos una se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe un tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando diferentes tasas de llegada que se comporta diferente. Cuando la llegada de los trabajos al sistema toma un valor de 3 se comporta diferente de cuando la media es 5 y 10.

**Figura D.3.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-Media en el escenario de colaboración nulo



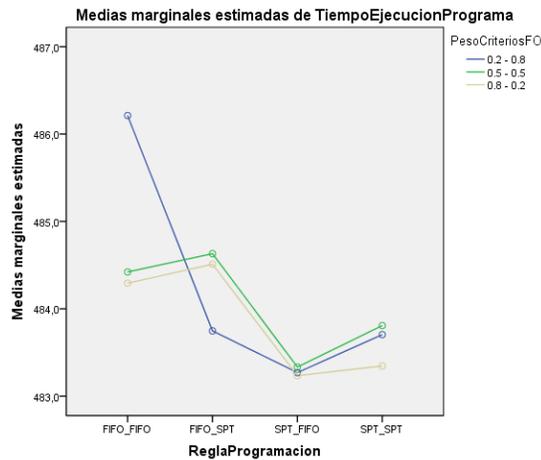
**Tabla D.11.** Estadísticas del tiempo de ejecución para cada nivel del factor Media en el escenario de colaboración nulo

Media	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
3	278,908	1,068	276,815	281,002
5	395,723	1,068	393,630	397,817
10	777,496	1,068	775,403	779,589

En los límites inferior y superior de cada nivel del factor Media, se evidencia que a medida que aumenta la tasa de llegada de los trabajos a la cadena logística bajo estudio existe una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de ejecución del programa.

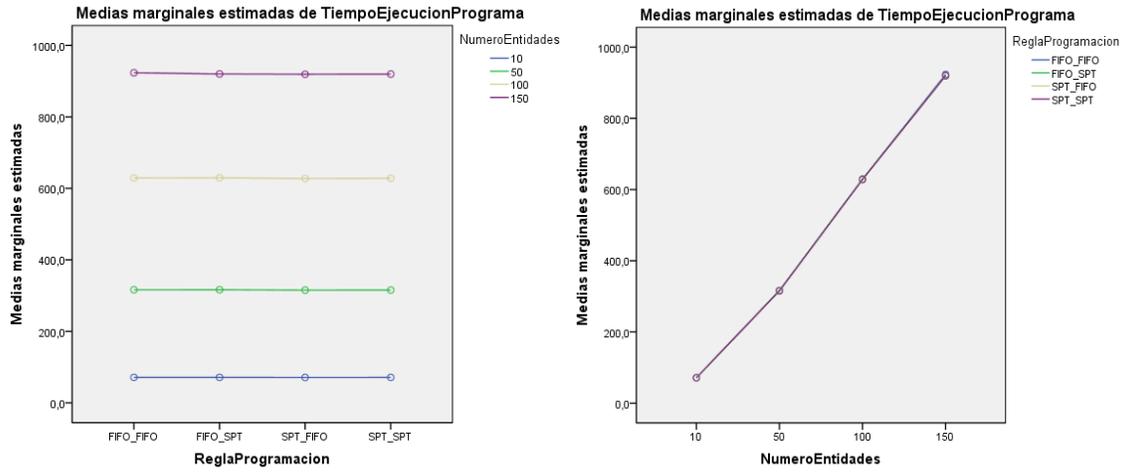
**PesoCriteriosFO:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintos pesos asignados a los criterios de la función objetivo se comportan iguales; Ha: por lo menos un peso se comporta diferente. Con una significancia del 96.8 % no existe diferencia estadísticamente significativa entre el tiempo de ejecución de las estrategias de programación cuando trabajan bajo distintos pesos asignados a la función objetivo.

**Figura D.4.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración nulo



**NúmeroEntidades:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintas cantidades de trabajos que llegan al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos el tiempo de ejecución de un número de trabajos que se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe un tiempo de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintas cantidades de trabajo que se comporta diferente.

**Figura D.5.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo



**Tabla D.12.** Estadísticas del tiempo de ejecución para cada nivel del factor NúmeroEntidades en el escenario de colaboración nulo

NumeroEntidades	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
10	71,218	1,233	68,801	73,635
50	315,865	1,233	313,448	318,282
100	628,534	1,233	626,117	630,951
150	920,554	1,233	918,137	922,971

En los límites inferior y superior de cada nivel del factor NúmeroEntidades, se evidencia que a medida que aumenta el número de trabajos que llega a la cadena logística bajo estudio existe una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de ejecución del programa. El tiempo de ejecución crece exponencialmente. Por lo tanto todos son diferentes.

## ANEXO E

### ANÁLISIS DEL ESCENARIO DE COLABORACIÓN PARCIAL

Se emplea el programa de análisis estadístico SPSS 19 para obtener la tabla ANOVA, gráficos de perfil, pruebas *post hoc* y estadísticos descriptivos para realizar Contrastes de Scheffé con el fin de determinar si existe diferencia significativa entre niveles de los factores y tratamientos de interés. Se considera realizar estos contrastes y no pruebas *post hoc* como diferencia de medias y Contrastes planeados de Bonferroni debido a que a medida que aumenta el número de contrastes a realizar, para este tipo de pruebas, se pierde confianza general lo cual incide sobre la contundencia del análisis y conclusiones.

Cabe anotar que en este escenario de colaboración no se consideró la regla de programación FIFO en el segundo eslabón de la cadena logística bajo estudio puesto que procesar los trabajos siguiendo esta regla genera peor rendimiento en la cadena logística que si se trabaja con la regla SPT en este eslabón de la cadena.

**Tabla E.1. ANOVA del escenario de colaboración parcial**

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.						
Modelo corregido	6,724E9	431	15601522,63	91,007	,000	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO	286166,168	12	23847,181	,139	1,000
Intersección	4,412E9	1	4,412E9	25736,847	,000	ReglaProgramacion * Media * NumeroEntidades	9795379,184	18	544187,732	3,174	,000
ReglaProgramacion	3859449,576	3	1286483,192	7,504	,000	ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	148544,591	18	8252,477	,048	1,000
DistribucionLegada Entidades	31145436,84	2	15572718,42	90,839	,000	DistribucionLegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	1641951,008	8	205243,876	1,197	,296
Media	1,647E9	2	8,234E8	4803,075	,000	DistribucionLegada Entidades * Media * NumeroEntidades	14027835,53	12	1168986,295	6,819	,000
PesoCriteriosFO	4,390E8	2	2,195E8	1280,314	,000	DistribucionLegada Entidades * NumeroEntidades	11118502,49	12	926541,875	5,405	,000
NumeroEntidades	2,786E9	3	9,287E8	5417,329	,000	Media * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	9561018,840	12	796751,553	4,648	,000
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades	404848,386	6	67474,731	,394	,884	ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media * NumeroEntidades	99299,792	24	4137,491	,024	1,000
ReglaProgramacion * Media	7736450,111	6	1289408,352	7,521	,000	ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	853511,241	36	23708,646	,138	1,000
ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO	167861,821	6	27976,970	,163	,986	ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * NumeroEntidades	271916,961	36	7553,249	,044	1,000
ReglaProgramacion * NumeroEntidades	4845252,339	9	538361,371	3,140	,001	Media * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	275672,867	36	7657,580	,045	1,000
DistribucionLegada Entidades * Media	15725053,25	4	3931263,313	22,932	,000	DistribucionLegada Entidades * NumeroEntidades	24270424,50	24	1011267,688	5,899	,000
DistribucionLegada Entidades * NumeroEntidades	164966,947	4	41241,737	,241	,915	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	599222,440	72	8322,534	,049	1,000
DistribucionLegada Entidades * PesoCriteriosFO	23485109,04	6	3914184,840	22,832	,000	Error	7,406E8	4320	171432,986		
Media * PesoCriteriosFO	18792883,88	4	4698220,972	27,406	,000	Total	1,188E10	4752			
Media * NumeroEntidades	1,469E9	6	2,449E8	1428,321	,000	Total corregida	7,465E9	4751			
PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	2,026E8	6	33768934,60	196,980	,000						
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media	787891,942	12	65657,662	,383	,970						
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * NumeroEntidades	44341,890	12	3695,157	,022	1,000						
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * PesoCriteriosFO	451732,755	18	25096,264	,146	1,000						

a. R cuadrado = .901 (R cuadrado corregida = .891)

**Modelo corregido:** Ho: no existe ningún factor que esté afectando el modelo; Ha: por lo menos hay un factor que está afectando el modelo. Con una significancia cercana a cero se comprueba que existe por lo menos un factor que está afectando el modelo.

**Intercepción:** Ho: la media de la variable respuesta producto de la interacción de los factores bajo estudio es cero; Ha: la media es diferente de cero. Con una significancia cercana a cero se comprueba que la media es diferente de cero.

**ReglaProgramación:** Ho: la media de las estrategias de programación de operaciones se comportan iguales; Ha: por lo menos hay una estrategia de programación de operaciones que se comporta

diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe una estrategia de programación de operaciones que se comporta diferente.

**DistribuciónLlegadaEntidades:** Ho: la media de las distribuciones de llegadas de los trabajos al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos una distribución de llegada se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe una distribución de llegadas de los trabajos al sistema que se comporta diferente.

**Media:** Ho: el promedio de las medias de las distribuciones de llegadas de los trabajos al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos una se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe una media de las distribuciones de llegadas de los trabajos al sistema que se comporta diferente.

**PesoCriteriosFO:** Ho: la media de los pesos asignados a los criterios de la función objetivo se comportan iguales; Ha: por lo menos un peso se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe un peso asignado a la función objetivo que se comporta diferente.

**NúmeroEntidades:** Ho: la media de los distintos números de trabajos que llegan al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos un número de trabajos se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe un número de trabajos que llegan al sistema se comporta diferente.

De los resultados arrojados por la tabla ANOVA nótese que aquellas combinaciones de factores donde están presentes tanto el factor ReglaProgramación como el factor DistribuciónLlegadaEntidades, siendo un 88.4 % el menor nivel de significancia de este conjunto de factores, se comprueba la hipótesis nula la cual determina que no existe interacción entre los factores mencionados. La interacción de factores para las que se comprueba esta hipótesis nula son:

- ReglaProgramación\* PesoCriteriosFO
- DistribuciónLlegadaEntidades\* PesoCriteriosFO
- ReglaProgramación\* Media\*PesoCriteriosFO
- DistribuciónLlegadaEntidades \* Media\*PesoCriteriosFO
- ReglaProgramación\*DistribuciónLlegadaEntidades
- ReglaProgramación\* DistribuciónLlegadaEntidades\*Media
- ReglaProgramación\* DistribuciónLlegadaEntidades\*PesoCriteriosFO
- ReglaProgramación\* DistribuciónLlegadaEntidades\*NúmeroEntidades
- ReglaProgramación\* DistribuciónLlegadaEntidades\*Media\*NúmeroEntidades
- ReglaProgramación\*DistribuciónLlegadaEntidades\*PesoCriteriosFO\*NúmeroEntidades
- ReglaProgramación\*  
DistribuciónLlegadaEntidades\*Media\*PesoCriteriosFO\*NúmeroEntidades

Con un nivel de significancia cercano a cero se acepta la hipótesis alternativa que determina que si existe interacción entre factores produciendo una disminución o aumento, según sea el caso, en el rendimiento de las estrategias de programación de operaciones. La interacción de factores para en las que se comprueba esta hipótesis alternativa son:

- ReglaProgramación\*Media

- ReglaProgramación\*NúmeroEntidades
- DistribuciónLlegadaEntidades \*Media
- DistribuciónLlegadaEntidades \*NúmeroEntidades
- Media\*PesoCriteriosFO
- Media\*NúmeroEntidades
- PesoCriteriosFO\*NúmeroEntidades
- ReglaProgramación\*Media\*NúmeroEntidades
- DistribuciónLlegadaEntidades \*Media\*NúmeroEntidades
- DistribuciónLlegadaEntidades \*PesoCriteriosFO\*NúmeroEntidades
- Media\*PesoCriteriosFO\*NúmeroEntidades
- DistribuciónLlegadaEntidades\*Media\*PesoCriteriosFO\*NúmeroEntidades

### Comparación entre las distribuciones de llegada de las entidades al sistema en el escenario de colaboración parcial

#### Contrastes de Scheffé para la comparación entre distribuciones

**Contraste de Scheffé I:** El valor que toma la función objetivo, en promedio, es mayor cuando a la cadena logística bajo estudio llegan trabajos siguiendo una distribución Exponencial en comparación con una distribución Normal.

$$\tau_{EXPONENCIAL...} - \tau_{NORMAL...} = 0$$

$$\text{Parte 1: } \sum C_i \bar{Y}_i = 174.815$$

$$\text{Parte 2: } \sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 2.45$$

$$\text{Parte 3: } \sqrt{\text{msE}(\sum C_i^2 / r_i)} = 14.71$$

Entonces, Parte 1 +/- Parte 2\*Parte 3; Límite inferior = 138.79 y Límite superior = 210.84

De acuerdo con lo anterior, la media de la distribución exponencial es mayor que la media de la distribución normal entre 138.79 y 210.84 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en la función objetivo con entre ambas distribuciones.

**Contraste de Scheffé II:** El valor que toma la función objetivo, en promedio, es mayor cuando a la cadena logística bajo estudio llegan trabajos siguiendo una distribución Exponencial en comparación con una distribución Constante.

$$\tau_{EXPONENCIAL...} - \tau_{CONSTANTE...} = 0$$

$$\text{Parte 1: } \sum C_i \bar{Y}_i = 168.49$$

$$\text{Parte 2: } \sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 2.45$$

$$\text{Parte 3: } \sqrt{\text{msE}(\sum C_i^2 / r_i)} = 14.71$$

Entonces, Parte 1 +/- Parte 2\*Parte 3; Límite inferior = 132.46 y Límite superior = 204.50

De acuerdo con lo anterior, la media de la distribución exponencial es mayor que la media de la distribución constante entre 132.46 y 204.50 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en la función objetivo con entre ambas distribuciones.

**Contraste de Scheffé III:** El valor que toma la función objetivo, en promedio, es mayor cuando a la cadena logística bajo estudio llegan trabajos siguiendo una distribución Constante en comparación con una distribución Normal.

$$\tau_{CONSTANTE} - \tau_{NORMAL} = 0$$

Parte 1:  $\sum C_i \bar{Y}_i = 6.33$

Parte 2:  $\sqrt{(v - 1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 2.45$

Parte 3:  $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 14.71$

Entonces, Parte 1 +/- Parte 2\*Parte 3; Límite inferior = -29.69 y Límite superior = 42.35

De acuerdo con lo anterior, la media de la distribución normal no es mayor que la media de la distribución constante entre -29.69 y 42.35 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que no existe una diferencia significativa en la función objetivo cuando el sistema trabaja con ambas distribuciones.

Sin embargo, se alcanzan mejores resultados cuando a la cadena logística bajo estudio llegan trabajos siguiendo una distribución Normal que con la distribución Constante en un 49.8 % de los casos. Estas conclusiones se corroboran con la prueba *post hoc* realizada al factor DistribuciónLlegadaEntidades que muestra los subconjuntos homogéneos de los niveles de este factor.

**Tabla E.2.** Prueba post hoc para el factor DistribuciónLlegadaEntidades en el escenario de colaboración parcial

DistribuciónLlegada Entidades	N	Subconjunto	
		1	2
Normal	1584	903,196	
Constante	1584	909,526	
Exponencial	1584		1078,011
Sig.		,903	1,000

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
 Basadas en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 171432.986.  
 a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 1584.000  
 b. Alfa = .05.

**Comparación entre los pesos asignados a la función objetivo en el escenario de colaboración parcial**

Teniendo en cuenta las estadísticas del factor PesoCriteriosFO y los resultados de la prueba *post hoc* para el factor PesoCriterioFO (ver Tabla E.3), no se considera hacer los Contrastes de Scheffé para este factor debido a que se evidencian tres subconjuntos homogéneos lo que permite concluir que si existe una diferencia significativa entre los pesos asignados a los criterios de la función objetivo.

**Tabla E.3.** Prueba post hoc para el factor **PesoCriteriosFO** en el escenario de colaboración parcial

PesoCriteriosFO	N	Subconjunto		
		1	2	3
0.2 - 0.8	1584	595,361		
0.5 - 0.5	1584		955,649	
0.8 - 0.2	1584			1339,722
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
 Basadas en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 171432.986.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 1584.000  
 b. Alfa = .05.

**Comparación entre el factor ReglaProgramación, Media y NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial**

Teniendo en cuenta las estadísticas del factor Media y los resultados de la prueba *post hoc* para el factor Media (ver Tabla E.4), no se considera hacer los Contrastes de Scheffé para este factor debido se evidencian tres subconjuntos homogéneos lo que permite concluir que si existe una diferencia significativa entre las tasas de llegada de los trabajos al sistema.

**Tabla E.4.** Prueba post hoc para el factor Media en el escenario de colaboración parcial

Media	N	Subconjunto		
		1	2	3
10	1584	514,444		
5	1584		581,072	
3	1584			1795,216
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
 Basadas en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 171432.986.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 1584.000  
 b. Alfa = .05.

Teniendo en cuenta las estadísticas del factor NúmeroEntidades y los resultados de la prueba *post hoc* para este factor (ver Tabla E.5), no se considera hacer los Contrastes de Scheffé debido a que se evidencian cinco subconjuntos homogéneos lo que permite concluir que si existe una diferencia estadísticamente significativa en la función objetivo por las distintas cantidades de trabajos procesados por la cadena logística bajo estudio.

**Tabla E.5.** Prueba post hoc para el factor NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial

NumeroEntidades	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
10	1188	73,806			
50	1188		483,964		
100	1188			1209,012	
150	1188				2087,528
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
 Basadas en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 171432.986.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 1188.000  
 b. Alfa = .05.

Los contrastes de Scheffé desarrollados en la Tabla E.7 toman los valores promedios de las estadísticas de la interacción ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades (ver Tabla E.6).

**Tabla E.6.** Estadísticas de la interacción ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial

ReglaProgramacion	Media	NumeroEntidades	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
EDD_SPT	3	10	85,230	41,813	3,647	166,813
		50	767,373	41,813	685,790	848,956
		100	2357,954	41,813	2276,371	2439,536
		150	4517,278	41,813	4435,695	4598,861
	5	10	70,916	41,813	-10,667	152,499
		50	364,659	41,813	283,076	446,242
		100	747,148	41,813	665,566	828,731
		150	1135,467	41,813	1053,884	1217,050
	10	10	64,976	41,813	-16,607	146,559
		50	329,716	41,813	248,133	411,299
		100	664,782	41,813	583,199	746,365
		150	998,010	41,813	916,427	1079,593
MDD_SPT	3	10	85,449	41,813	3,867	167,032
		50	739,910	41,813	658,327	821,493
		100	2136,952	41,813	2055,369	2218,534
		150	3928,416	41,813	3846,833	4009,999
	5	10	70,926	41,813	-10,657	152,509
		50	364,895	41,813	283,312	446,478
		100	746,689	41,813	665,106	828,272
		150	1137,515	41,813	1055,932	1219,098
	10	10	64,976	41,813	-16,607	146,559
		50	329,728	41,813	248,145	411,311
		100	664,885	41,813	583,302	746,468
		150	998,272	41,813	916,689	1079,855
SLK1_SPT	3	10	85,976	41,813	4,393	167,559
		50	773,539	41,813	691,956	855,122
		100	2229,558	41,813	2147,975	2311,141
		150	4124,428	41,813	4042,845	4206,011
	5	10	70,926	41,813	-10,657	152,509
		50	371,915	41,813	290,332	453,498
		100	748,588	41,813	667,005	830,171
		150	1147,974	41,813	1066,391	1229,557
	10	10	64,980	41,813	-16,603	146,563
		50	329,826	41,813	248,243	411,409
		100	664,980	41,813	583,397	746,563
		150	998,344	41,813	916,761	1079,927
SLK2_SPT	3	10	85,417	41,813	3,834	167,000
		50	741,500	41,813	659,917	823,083
		100	2135,327	41,813	2053,744	2216,910
		150	3929,148	41,813	3847,566	4010,731
	5	10	70,921	41,813	-10,662	152,504
		50	364,812	41,813	283,229	446,395
		100	746,510	41,813	664,927	828,093
		150	1137,292	41,813	1055,709	1218,875
	10	10	64,976	41,813	-16,607	146,559
		50	329,700	41,813	248,117	411,283
		100	664,772	41,813	583,189	746,355
		150	998,189	41,813	916,606	1079,772

**Tabla E.7.** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 10 entidades en el escenario de colaboración parcial

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV	Contraste de Scheffé V	Contraste de Scheffé VI
$\tau_{SLK2\_SPT \cdot 3 \cdot 10} - \tau_{SLK1\_SPT \cdot 3 \cdot 10} = 0^{***}$	$\tau_{SLK2\_SPT \cdot 3 \cdot 10} - \tau_{MDD\_SPT \cdot 3 \cdot 10} = 0$	$\tau_{SLK2\_SPT \cdot 3 \cdot 10} - \tau_{EDD\_SPT \cdot 3 \cdot 10} = 0$	$\tau_{SLK1\_SPT \cdot 3 \cdot 10} - \tau_{MDD\_SPT \cdot 3 \cdot 10} = 0$	$\tau_{SLK1\_SPT \cdot 3 \cdot 10} - \tau_{EDD\_SPT \cdot 3 \cdot 10} = 0$	$\tau_{MDD\_SPT \cdot 3 \cdot 10} - \tau_{EDD\_SPT \cdot 3 \cdot 10} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -0.56$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -0.032$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 0.187$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 0.53$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 0.75$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 0.219$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 5.38$					
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 58.85$					
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT con las mismas características entre -316.99 y 315.87 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT con las mismas características entre -316.46 y 316.40 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -316.24 y 316.62 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT con las mismas características entre -315.90 y 316.96 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -316.06 y 317.55 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -316.21 y 316.65 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 16.16 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 8 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 9 % de los casos; mientras que la EDD_SPT genera mejores resultados que la SLK2_SPT en un 12.12 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 7 % de los casos; mientras que la MDD_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 15.15 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 8 % de los casos; mientras que la EDD_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 21.21 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones MDD_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 7 % de los casos; mientras que la EDD_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 13.13 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SLK2\_SPT-Media 3-10 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SLK1\_SPT con las mismas características.

**Tabla E.7. (Continuación)** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 50 entidades en el escenario de colaboración parcial

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV	Contraste de Scheffé V	Contraste de Scheffé VI
$\tau_{SLK2\_SPT:3-50} - \tau_{SLK1\_SPT:3-50} = 0^{***}$	$\tau_{SLK2\_SPT:3-50} - \tau_{MDD\_SPT:3-50} = 0$	$\tau_{SLK2\_SPT:3-50} - \tau_{EDD\_SPT:3-50} = 0$	$\tau_{SLK1\_SPT:3-50} - \tau_{MDD\_SPT:3-50} = 0$	$\tau_{SLK1\_SPT:3-50} - \tau_{EDD\_SPT:3-50} = 0$	$\tau_{MDD\_SPT:3-50} - \tau_{EDD\_SPT:3-50} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -32.04$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 1.59$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -25.87$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 33.63$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 6.17$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -27.46$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 5.38$					
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 58.85$					
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT con las mismas características entre -348.47 y 284.39 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT con las mismas características entre -314.84 y 318.02 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -342.30 y 290.56 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT con las mismas características entre -282.80 y 350.06 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -310.27 y 322.60 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -343.89 y 289.97 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 78.8 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 38.38 % de los casos; mientras que la MDD_SPT genera mejores resultados que la SLK2_SPT en un 47.48 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 59.6 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 21.2 % de los casos; mientras que la MDD_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 76.77 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 44.44 % de los casos; mientras que la EDD_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 55.56 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones MDD_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 61.6 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SLK2\_SPT-Media 3-50 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SLK1\_SPT con las mismas características

**Tabla E.7. (Continuación)** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 100 entidades en el escenario de colaboración parcial

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV	Contraste de Scheffé V	Contraste de Scheffé VI
$\tau_{SLK2\_SPT-3-100} - \tau_{SLK1\_SPT-3-100} = 0^{***}$	$\tau_{SLK2\_SPT-3-100} - \tau_{MDD\_SPT-3-100} = 0$	$\tau_{SLK2\_SPT-3-100} - \tau_{EDD\_SPT-3-100} = 0$	$\tau_{SLK1\_SPT-3-100} - \tau_{MDD\_SPT-3-100} = 0$	$\tau_{SLK1\_SPT-3-100} - \tau_{EDD\_SPT-3-100} = 0$	$\tau_{MDD\_SPT-3-100} - \tau_{EDD\_SPT-3-100} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -94.23$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -1.63$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -22.63$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 92.61$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -128.40$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -221.00$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 5.38$					
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 58.85$					
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-100 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT con las mismas características entre -410.66 y 222.20 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-100 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT con las mismas características entre -318.06 y 314.81 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -539.06 y 94.80 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT con las mismas características entre -223.86 y 409.04 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 3-100 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -444.83 y 188.04 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -537.43 y 95.43 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 85.86 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 42.42 % de los casos; mientras que la MDD_SPT genera mejores resultados que la SLK2_SPT en un 55.56 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 86.87 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 12.12 % de los casos; mientras que la MDD_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 86.87 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 71.72 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones MDD_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 85.86 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SLK2\_SPT-Media 3-100 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SLK1\_SPT con las mismas características.

**Tabla E.7. (Continuación)** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 150 entidades en el escenario de colaboración parcial

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV	Contraste de Scheffé V	Contraste de Scheffé VI
$\tau_{SLK2\_SPT:3-150} - \tau_{SLK1\_SPT:3-150} = 0^{***}$	$\tau_{SLK2\_SPT:3-150} - \tau_{MDD\_SPT:3-150} = 0$	$\tau_{SLK2\_SPT:3-150} - \tau_{EDD\_SPT:3-150} = 0$	$\tau_{SLK1\_SPT:3-150} - \tau_{MDD\_SPT:3-150} = 0$	$\tau_{SLK1\_SPT:3-150} - \tau_{EDD\_SPT:3-150} = 0$	$\tau_{MDD\_SPT:3-150} - \tau_{EDD\_SPT:3-150} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -195.28$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 0.732$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -1331.42$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -290.70$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -392.85$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -588.86$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 5.38$					
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 58.85$					
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT con las mismas características entre -511.71 y 121.15 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación de operaciones pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT con las mismas características entre -315.70 y 317.16 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación de operaciones pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-150 Entidades genera mejor rendimiento que cuando se trabaja bajo la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -904.56 y -271.69 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en el rendimiento del sistema bajo estas dos estrategias de programación de operaciones.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 3-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT con las mismas características entre -130.84 y 502.03 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación de operaciones pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 3-150 Entidades genera mejor rendimiento que cuando se trabaja bajo la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -709.28 y -76.41 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en el rendimiento del sistema bajo estas dos estrategias de programación de operaciones.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT-Media 3-150 Entidades mejor rendimiento que cuando se trabaja bajo la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -905.29 y -272.43 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en el rendimiento del sistema bajo estas dos estrategias de programación de operaciones.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 83.84 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 52.52 % de los casos. Sin embargo, los resultados que arroja la MDD_SPT, bajo estas características, impacta un poco más en el rendimiento de la cadena logística. La MDD_SPT genera mejores resultados que la SLK2_SPT en un 46.46 % de los casos.		Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 15.15 % de los casos; mientras que la c MDD_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 84.85 % de los casos.		

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SLK2\_SPT-Media 3-150 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SLK1\_SPT con las mismas características.

### **Comparación entre estrategias con Media 5 y 150 entidades para el escenario de colaboración parcial**

Como se evidenció en los anteriores resultados, al nivel 150 del factor NúmeroEntidades fue donde se presentaron las diferencias significativas entre las estrategias de programación de operaciones, por consiguiente, se determina este nivel de factor para hacer las comparaciones entre las estrategias de programación de operaciones con Media 5 puesto que garantiza obtener conclusiones para los demás número de trabajos como 10, 50 y 100 y, determinar si bajo una tasa de llegada de 5 existe diferencia estadísticamente significativa en el rendimiento de las estrategias de programación de operaciones.

**Tabla E.8.** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 5 y 150 entidades en el escenario de colaboración parcial

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV	Contraste de Scheffé V	Contraste de Scheffé VI
$\tau_{SLK2\_SPT-5-150} - \tau_{SLK1\_SPT-5-150} = 0^{***}$	$\tau_{SLK2\_SPT-5-150} - \tau_{MDD\_SPT-5-150} = 0$	$\tau_{SLK2\_SPT-5-150} - \tau_{EDD\_SPT-5-150} = 0$	$\tau_{SLK1\_SPT-5-150} - \tau_{MDD\_SPT-5-150} = 0$	$\tau_{SLK1\_SPT-5-150} - \tau_{EDD\_SPT-5-150} = 0$	$\tau_{MDD\_SPT-5-150} - \tau_{EDD\_SPT-5-150} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -10.68$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -0.22$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 1.83$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 10.46$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 12.51$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -12.14$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 5.38$					
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 58.85$					
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT con las mismas características entre -327.11 y 305.75 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT con las mismas características entre -317.66 y 316.21 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -314.61 y 318.26 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT con las mismas características entre -305.97 y 326.89 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -303.92 y 328.94 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre -314.39 y 318.48 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 28.28 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 15.15 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 17.17 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 5 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 5 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones MDD_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 18.18 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SLK2\_SPT-Media 5-150 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SLK1\_SPT con las mismas características.

De acuerdo con los anteriores resultados de los Contrastes de Scheffé, se concluye que cuando la Media es de 5, no existe diferencia estadísticamente significativa entre las estrategias de programación de operaciones. Lo mismo sucede cuando la Media es 10, inclusive los rendimientos alcanzados por las estrategias de programación son muy similares. A continuación se presenta un resumen de las estadísticas del factor ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades que soportan la anterior conclusión

**Tabla E.9.** Resumen estadísticas del factor ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial

Regla Programación	Media	Número Entidades	Promedio	Límite inferior	Límite superior
SLK2_SPT	5	150	1137.292	1055.614	1218.970
SLK1_SPT	5	150	1147.974	1066.295	1229.652
MDD_SPT	5	150	1137.515	1055.837	1219.193
EDD_SPT	5	150	1135.467	1053.788	1217.145
SLK2_SPT	10	150	998.189	916.511	1079.867
SLK1_SPT	10	150	998.344	916.666	1080.023
MDD_SPT	10	150	998.272	916.593	1079.950
EDD_SPT	10	150	998.010	916.332	1079.688

### Tiempo de terminación del programa ( $C_{max}$ )

**Tabla E.10.** ANOVA del tiempo de terminación del programa ( $C_{max}$ ) para el escenario de colaboración parcial

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO				
Modelo corregido	8,088E8	431	1876535,169	1318,094	,000	168,891	12	14,074	,010	1,000
Intersección	1,121E9	1	1,121E9	787325,694	,000	716,657	18	39,814	,028	1,000
ReglaProgramacion	492,650	3	164,217	,115	,951	81,288	18	4,516	,003	1,000
DistribucionLegada Entidades	7257,224	2	3628,612	2,549	,078	30991,207	8	3873,901	2,721	,005
Media	2,134E8	2	1,067E8	74930,375	,000	91410,981	12	7617,582	5,351	,000
PesoCriteriosFO	4385,490	2	2192,745	1,540	,214	30367,988	12	2530,666	1,778	,046
NumeroEntidades	4,913E8	3	1,638E8	115029,969	,000	42264,765	12	3522,064	2,474	,003
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades	146,542	6	24,424	,017	1,000	126,099	24	5,254	,004	1,000
ReglaProgramacion * Media	957,104	6	159,517	,112	,995	309,753	36	8,604	,006	1,000
ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO	71,114	6	11,852	,008	1,000	303,584	36	8,433	,006	1,000
ReglaProgramacion * NumeroEntidades	358,293	9	39,810	,028	1,000	160,116	36	4,448	,003	1,000
DistribucionLegada Entidades * Media	9159,521	4	2289,880	1,608	,169	86066,862	24	3586,119	2,519	,000
DistribucionLegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	9877,483	4	2469,371	1,735	,139	604,849	72	8,401	,006	1,000
DistribucionLegada Entidades * NumeroEntidades	93854,446	6	15642,408	10,987	,000	6150267,636	4320	1423,873		
Media * PesoCriteriosFO	13346,808	4	3336,702	2,344	,053	1,936E9	4752			
Media * NumeroEntidades	1,037E8	6	17283830,99	12140,309	,000	8,149E8	4751			
PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	11739,245	6	1956,541	1,374	,221					
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media	310,668	12	25,889	,018	1,000					
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	76,756	12	6,396	,004	1,000					
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * NumeroEntidades	147,431	18	8,191	,006	1,000					
Error										
Total										
Total corregida										

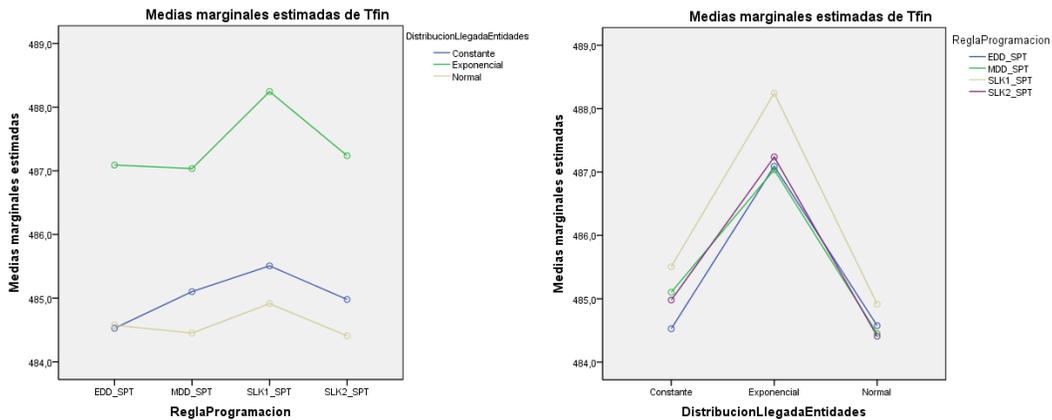
a. R cuadrado = .992 (R cuadrado corregida = .992)

**ReglaProgramación:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones se comportan iguales; Ha: por lo menos hay una estrategia de programación de operaciones que se comporta diferente en cuanto a tiempo de ejecución del programa. Con una

significancia del 95.1 % se comprueba que no existe diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de ejecución del programa de las estrategias de programación de operaciones (EDD, MDD, SLK1, SLK2 con la estrategia SPT) (ver Figura E.2).

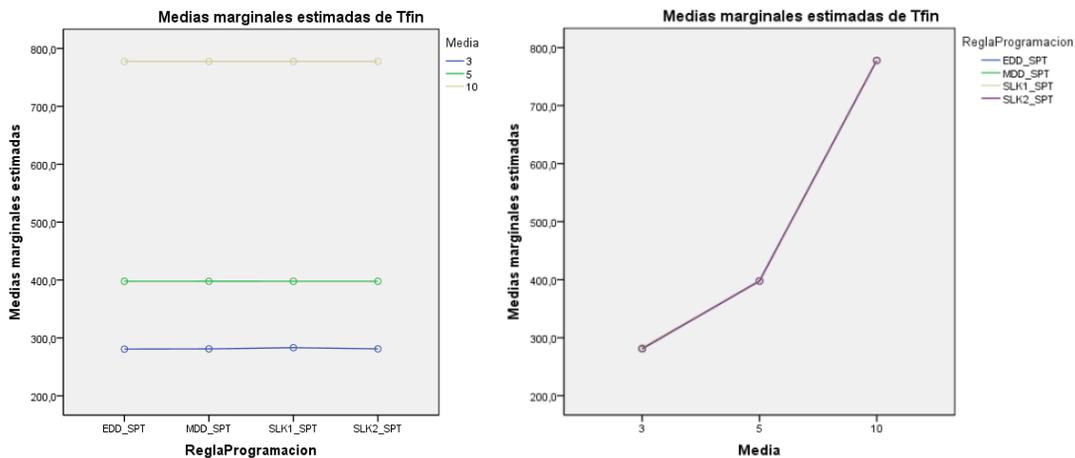
**Distribución Llegada Entidades:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias programación de operaciones considerando las distribuciones de llegadas de los trabajos al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos se comporta diferente. Con una significancia del 7.8 % no existe diferencia estadísticamente significativa entre el tiempo de ejecución de las estrategias de programación cuando trabajan bajo distintas distribuciones de llegadas.

**Figura E.1.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-Distribución Llegada Entidades en el escenario de colaboración parcial



**Media:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintas tasas de llegadas de los trabajos al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos una se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe un tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando diferentes tasas de llegada que se comporta diferente. Cuando la llegada de los trabajos al sistema toma un valor de 3 se comporta diferente de cuando la media es 5 y 10.

**Figura E.2.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-Media en el escenario de colaboración parcial



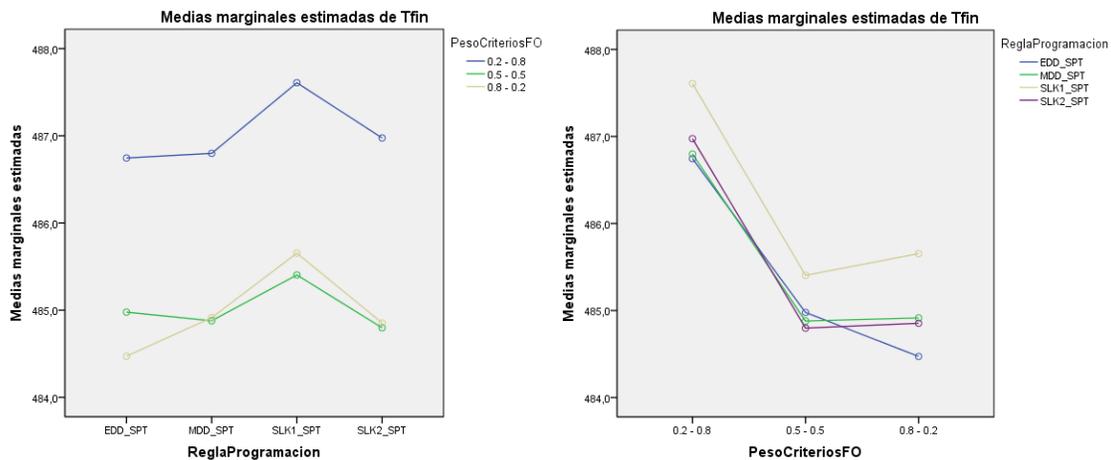
**Tabla E.11.** Estadísticas del tiempo de ejecución para cada nivel del factor Media en el escenario de colaboración parcial

Media	Media	Error tip.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
3	281,523	,948	279,664	283,381
5	397,780	,948	395,921	399,638
10	777,717	,948	775,859	779,576

En los límites inferior y superior de cada nivel del factor Media, se evidencia que a medida que aumenta la tasa de llegada de los trabajos a la cadena logística bajo estudio existe una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de ejecución del programa.

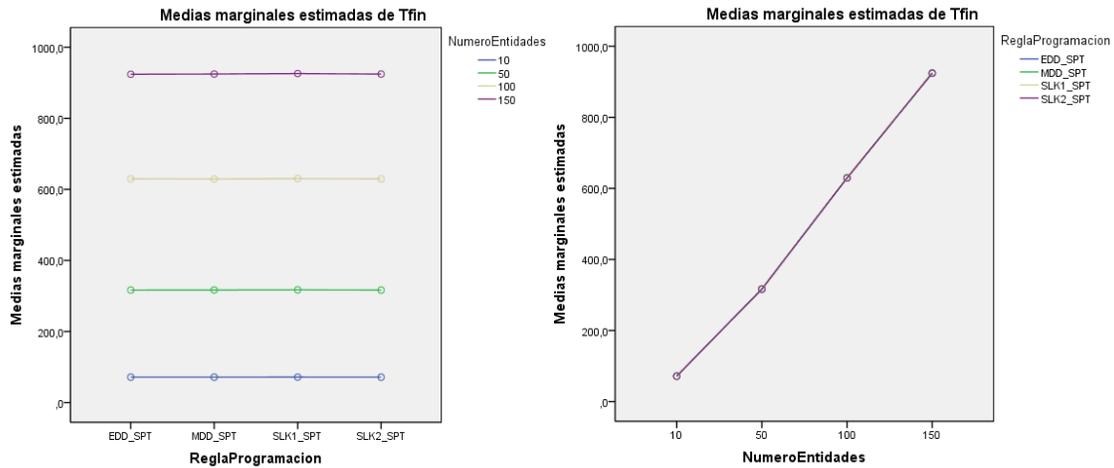
**PesoCriteriosFO:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintos pesos asignados a los criterios de la función objetivo se comportan iguales; Ha: por lo menos un peso se comporta diferente. Con una significancia del 21.4 % no existe diferencia estadísticamente significativa entre el tiempo de ejecución de las estrategias de programación cuando trabajan bajo distintos pesos asignados a la función objetivo.

**Figura E.3.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-PesoCriteriosFO en el escenario de colaboración parcial



**NúmeroEntidades:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintas cantidades de trabajos que llegan al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos el tiempo de ejecución de un número de trabajos que se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe un tiempo de ejecución de las estrategias de programación que considerando distintas cantidades de trabajos se comporta diferente.

**Figura E.4.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial



**Tabla E.12.** Estadísticas del tiempo de ejecución para cada nivel del factor NúmeroEntidades en el escenario de colaboración parcial

NumeroEntidades	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
10	71,484	1,095	69,338	73,630
50	316,869	1,095	314,723	319,015
100	629,590	1,095	627,444	631,736
150	924,750	1,095	922,604	926,896

En los límites inferior y superior de cada nivel del factor NúmeroEntidades, se evidencia que a medida que aumenta el número de trabajos que llega a la cadena logística bajo estudio existe una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de ejecución del programa. El tiempo de ejecución crece exponencialmente. Por lo tanto todos son diferentes.

## ANEXO F

### ANÁLISIS DEL ESCENARIO DE COLABORACIÓN NULO Y PARCIAL

Así como se abordaron los escenarios de colaboración nulo y parcial, se analiza las distintas estrategias de programación de operaciones con los distintos niveles de los factores Media y NúmeroEntidades y se realizan Contrastes de Scheffé para determinar si existe diferencia significativa entre niveles de los factores y tratamientos de interés. Las medias de las distintas combinaciones de estrategias de operaciones para formular parte de los Contrastes de Scheffé se presentan en la Tabla F.2. A continuación se presenta la tabla ANOVA.

**Tabla F.1.** ANOVA de las estrategias de programación de operaciones SPT, EDD, MDD, SLK1, SLK2 con la estrategia SPT.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.						
Modelo corregido	6,724E9	431	15601522,83	91,007	,000	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO	286166,168	12	23847,181	,139	1,000
Intersección	4,412E9	1	4,412E9	25736,847	,000	ReglaProgramacion * NumeroEntidades	9795379,184	18	544187,732	3,174	,000
ReglaProgramacion	3859449,576	3	1286483,192	7,504	,000	ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	148544,591	18	8252,477	,048	1,000
DistribucionLegada Entidades	31145436,84	2	15572718,42	90,839	,000	DistribucionLegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	1641951,008	8	205243,876	1,197	,296
Media	1,647E9	2	8,234E8	4803,075	,000	DistribucionLegada Entidades * Media * NumeroEntidades	14027835,53	12	1168986,295	6,819	,000
PesoCriteriosFO	4,390E8	2	2,195E8	1280,314	,000	DistribucionLegada Entidades * Media * NumeroEntidades	11118502,49	12	926541,875	5,405	,000
NumeroEntidades	2,786E9	3	9,287E8	5417,329	,000	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO	9561018,640	12	796751,553	4,648	,000
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades	404848,386	6	67474,731	,394	,884	ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media * NumeroEntidades	99299,792	24	4137,491	,024	1,000
ReglaProgramacion * Media	7736450,111	6	1289408,352	7,521	,000	ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media * NumeroEntidades	853511,241	36	23708,646	,138	1,000
ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO	167861,821	6	27976,970	,163	,986	ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media * NumeroEntidades	271916,961	36	7553,249	,044	1,000
ReglaProgramacion * NumeroEntidades	4845252,339	9	538361,371	3,140	,001	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO	275672,867	36	7657,580	,045	1,000
DistribucionLegada Entidades * Media	15725053,25	4	3931263,313	22,932	,000	DistribucionLegada Entidades * Media * NumeroEntidades	24270424,50	24	1011267,688	5,899	,000
DistribucionLegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	164966,947	4	41241,737	,241	,915	ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media * NumeroEntidades	599222,440	72	8322,534	,049	1,000
DistribucionLegada Entidades * NumeroEntidades	23485109,04	6	3914184,840	22,832	,000	ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media * NumeroEntidades	7,406E8	4320	171432,986		
Media * PesoCriteriosFO	18792883,88	4	4698220,972	27,406	,000	Total	1,188E10	4752			
Media * NumeroEntidades	1,469E9	6	2,449E8	1428,321	,000	Total corregida	7,465E9	4751			
PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	2,026E8	6	33768934,60	196,980	,000						
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media	787891,942	12	65657,662	,383	,970						
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	44341,890	12	3695,157	,022	1,000						
ReglaProgramacion * DistribucionLegada Entidades * NumeroEntidades	451732,755	18	25096,264	,146	1,000						

a. R cuadrado = ,901 (R cuadrado corregida = ,891)

Se plantean las mismas conclusiones de la tabla ANOVA del escenario de colaboración nulo y parcial.

Los contrastes de Scheffé desarrollados en la Tabla F.3 toman los valores promedios de las estadísticas de la interacción ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades (ver Tabla F.2).

**Tabla F.2.** Estadísticas del factor ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades para la comparación escenario de colaboración nulo y parcial

ReglaProgramacion	Media	NumeroEntidades	Media	Error tip.	Intervalo de confianza 95%	
					Limite inferior	Limite superior
EDD_SPT	3	10	85,230	41,303	4,260	166,200
		50	767,373	41,303	686,403	848,343
		100	2357,954	41,303	2276,983	2438,924
		150	4517,278	41,303	4436,308	4598,248
	5	10	70,916	41,303	-10,054	151,886
		50	364,659	41,303	283,688	445,629
		100	747,148	41,303	666,178	828,119
		150	1135,467	41,303	1054,496	1216,437
	10	10	64,976	41,303	-15,994	145,946
		50	329,716	41,303	248,746	410,686
		100	664,782	41,303	583,812	745,752
		150	998,010	41,303	917,040	1078,980
MDD_SPT	3	10	85,449	41,303	4,479	166,420
		50	739,910	41,303	658,940	820,880
		100	2136,952	41,303	2055,981	2217,922
		150	3928,416	41,303	3847,446	4009,386
	5	10	70,926	41,303	-10,044	151,896
		50	364,895	41,303	283,925	445,865
		100	746,689	41,303	665,719	827,659
		150	1137,515	41,303	1056,545	1218,485
	10	10	64,976	41,303	-15,994	145,946
		50	329,728	41,303	248,758	410,698
		100	664,885	41,303	583,915	745,855
		150	998,272	41,303	917,302	1079,242
SLK1_SPT	3	10	85,976	41,303	5,006	166,946
		50	773,539	41,303	692,569	854,510
		100	2229,558	41,303	2148,587	2310,528
		150	4124,428	41,303	4043,458	4205,398
	5	10	70,926	41,303	-10,044	151,896
		50	371,915	41,303	290,945	452,885
		100	748,588	41,303	667,618	829,558
		150	1147,974	41,303	1067,004	1228,944
	10	10	64,980	41,303	-15,990	145,950
		50	329,826	41,303	248,856	410,796
		100	664,980	41,303	584,010	745,950
		150	998,344	41,303	917,374	1079,315
SLK2_SPT	3	10	85,417	41,303	4,447	166,387
		50	741,500	41,303	660,530	822,470
		100	2135,327	41,303	2054,357	2216,297
		150	3929,148	41,303	3848,178	4010,119
	5	10	70,921	41,303	-10,049	151,891
		50	364,812	41,303	283,842	445,782
		100	746,510	41,303	665,540	827,480
		150	1137,292	41,303	1056,322	1218,262
	10	10	64,976	41,303	-15,994	145,946
		50	329,700	41,303	248,730	410,670
		100	664,772	41,303	583,802	745,742
		150	998,189	41,303	917,219	1079,159
SPT_SPT	3	10	85,796	41,303	4,826	166,766
		50	733,577	41,303	652,607	814,547
		100	2161,747	41,303	2080,777	2242,718
		150	3992,613	41,303	3911,643	4073,583
	5	10	70,936	41,303	-10,034	151,907
		50	364,843	41,303	283,873	445,814
		100	744,570	41,303	663,600	825,540
		150	1133,924	41,303	1052,954	1214,894
	10	10	64,976	41,303	-15,994	145,946
		50	330,061	41,303	249,090	411,031
		100	664,942	41,303	583,972	745,913
		150	998,341	41,303	917,371	1079,312

**Tabla F.3.** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 10 entidades para la comparación escenario de colaboración nulo y parcial

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV
$\tau_{SLK2\_SPT-3-10} - \tau_{SPT\_SPT-3-10} = 0^{***}$	$\tau_{SLK1\_SPT-3-10} - \tau_{SPT\_SPT-3-10} = 0$	$\tau_{MDD\_SPT-3-10} - \tau_{SPT\_SPT-3-10} = 0$	$\tau_{EDD\_SPT-3-10} - \tau_{SPT\_SPT-3-10} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -0.38$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 0.18$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -0.35$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -0.57$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 6.04$			
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 58.41$			
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre - 353.09 y 352.34 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre - 352.54 y 353.89 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre - 353.06 y 352.37 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT-Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre - 353.28 y 352.15 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 23.23 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la SLK2_SPT en un 18.18 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 22.22 % de los casos; mientras que la combinación SPT_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 27.27 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones MDD_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 22.22 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 21.21 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones EDD_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 22.22 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 18.18 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SLK2\_SPT-Media 3-10 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SPT\_SPT con las mismas características.

**Tabla F.3. (Continuación)** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 50 entidades para la comparación escenario de colaboración nulo y parcial

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV
$\tau_{SLK2\_SPT:3:50} - \tau_{SPT\_SPT:3:50} = 0^{***}$	$\tau_{SLK1\_SPT:3:50} - \tau_{SPT\_SPT:3:50} = 0$	$\tau_{MDD\_SPT:3:50} - \tau_{SPT\_SPT:3:50} = 0$	$\tau_{EDD\_SPT:3:50} - \tau_{SPT\_SPT:3:50} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = 7.92$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 39.96$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 6.33$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 33.80$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 6.04$			
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 58.41$			
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre -344.79 y 360.64 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre -312.75 y 392.68 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre -346.72 y 359.38 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre -318.92 y 386.51 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 48.49 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la SLK2_SPT en un 50.5 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 24.24 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 75.76 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones MDD_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 48.5 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 51.5 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones EDD_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 39.39 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 59.59 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SLK2\_SPT-Media 3-50 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SPT\_SPT con las mismas características.

**Tabla F.3. (Continuación)** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 100 entidades para la comparación escenario de colaboración nulo y parcial

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV
$\tau_{SLK2\_SPT:3:100} - \tau_{SPT\_SPT:3:100} = 0^{***}$	$\tau_{SLK1\_SPT:3:100} - \tau_{SPT\_SPT:3:100} = 0$	$\tau_{MDD\_SPT:3:100} - \tau_{SPT\_SPT:3:100} = 0$	$\tau_{EDD\_SPT:3:100} - \tau_{SPT\_SPT:3:100} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -26.42$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 67.81$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -24.80$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 196.21$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 6.04$			
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 58.41$			
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-100 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre -379.14 y 326.30 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre -312.75 y 392.68 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT-Media 3-100 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre -377.51 y 327.92 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT-Media 3-100 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre -156.51 y 548.92 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 61.6 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la SLK2_SPT en un 38.38 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 41.4 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 58.6 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones MDD_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 59.6 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 40.4 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones EDD_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 24.24 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 75.76 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SLK2\_SPT-Media 3-100 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SPT\_SPT con las mismas características.

**Tabla F.3. (Continuación)** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 150 entidades para la comparación escenario de colaboración nulo y parcial

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV
$\tau_{SLK2\_SPT:3-150} - \tau_{SPT\_SPT:3-150} = 0^{***}$	$\tau_{SLK1\_SPT:3-150} - \tau_{SPT\_SPT:3-150} = 0$	$\tau_{MDD\_SPT:3-150} - \tau_{SPT\_SPT:3-150} = 0$	$\tau_{EDD\_SPT:3-150} - \tau_{SPT\_SPT:3-150} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -63.47$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 131.82$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -64.20$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 524.67$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 6.04$			
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 58.41$			
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 3-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre -416.18 y 289.25 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 3-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre -220.90 y 484.53 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT-Media 3-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre -416.91 y 288.52 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT-Media 3-150 Entidades genera mejor rendimiento que cuando se trabaja bajo la estrategia de programación EDD_SPT con las mismas características entre 171.95 y 877.38 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que si existe una diferencia significativa en el rendimiento del sistema bajo estas dos estrategias de programación de operaciones.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 59.6 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la SLK2_SPT en un 40.4 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 37.4 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 62.6 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones MDD_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 60.6 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 39.4 % de los casos.	

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SLK2\_SPT-Media 3-150 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SPT\_SPT con las mismas características.

**Tabla F.4.** Comparación múltiple de los niveles del factor ReglasProgramación para la comparación del escenario de colaboración nulo y parcial; Tiempo Total de Flujo

(I)ReglaProgramacion	(J)ReglaProgramacion	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
SPT_SPT	EDD_SPT	-130,607 <sup>a</sup>	29,1255	,000	-210,136	-51,079
	MDD_SPT	11,198	29,1255	,995	-68,330	90,726
	SLK1_SPT	-24,955	29,1255	,912	-104,483	54,573
	SLK2_SPT	13,265	29,1255	,991	-66,263	92,794

Basadas en las medias observadas.  
El término de error es la media cuadrática(Error) = 167962.204.

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

**Tabla F.5.** Subconjuntos homogéneos para la comparación del escenario de colaboración nulo y parcial; Tiempo Total de Flujo

ReglaProgramacion	N	Subconjunto	
		1	2
SLK2_SPT	396	1265,776	
MDD_SPT	396	1267,843	
SPT_SPT	396	1279,041	
SLK1_SPT	396	1303,996	
EDD_SPT	396		1409,649
Sig.		,684	1,000

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
Basadas en las medias observadas.  
El término de error es la media cuadrática(Error) = 167962.204.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 396.000  
b. Alfa = 0.05.

**Tabla F.6.** Comparación múltiple de los niveles del factor para la comparación del escenario de colaboración nulo y parcial; Tardanza Total

(I)ReglaProgramacion	(J)ReglaProgramacion	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
SPT_SPT	EDD_SPT	-57,918	26,7374	,193	-130,925	15,090
	MDD_SPT	9,554	26,7374	,997	-63,454	82,561
	SLK1_SPT	-34,987	26,7374	,686	-107,994	38,021
	SLK2_SPT	7,320	26,7374	,999	-65,688	80,327

Basadas en las medias observadas.  
El término de error es la media cuadrática(Error) = 141547.409.

**Tabla F.7.** Subconjuntos homogéneos para la comparación del escenario de colaboración nulo y parcial; Tardanza Total

ReglaProgramacion	N	Subconjunto
		1
MDD_SPT	396	454,838
SLK2_SPT	396	457,072
SPT_SPT	396	464,392
SLK1_SPT	396	499,379
EDD_SPT	396	522,310
Sig.		,086

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
Basadas en las medias observadas.  
El término de error es la media cuadrática (Error) = 141547.409.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 396.000  
b. Alfa = 0.05.

### **Comparación entre estrategias con Media 5 y 150 entidades para el escenario de colaboración nulo y parcial**

Así como en el escenario de colaboración nulo y conocidos los resultados para el escenario de colaboración parcial, cuando la cadena logística procesa 150 trabajos se presentan diferencias significativas entre las estrategias de programación de operaciones -SLK2\_SPT, SLK1\_SPT y MDD\_SPT- respecto de la combinación EDD\_SPT, por lo que se considera este nivel del factor NúmeroEntidades como el indicado para hacer las comparaciones entre las estrategias de programación de operaciones con Media 5 y 10 puesto que garantiza las conclusiones para cualquier número de entidades que el sistema procesa.

**Tabla F.8.** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 5 y 150 entidades para la comparación escenario de colaboración nulo y parcial

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV
$\tau_{SLK2\_SPT:5:150} - \tau_{SPT\_SPT:5:150} = 0^{***}$	$\tau_{SLK1\_SPT:5:150} - \tau_{SPT\_SPT:5:150} = 0$	$\tau_{MDD\_SPT:5:150} - \tau_{SPT\_SPT:5:150} = 0$	$\tau_{EDD\_SPT:5:150} - \tau_{SPT\_SPT:5:150} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = 3.37$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 14.05$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 3.59$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 1.54$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 6.04$			
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 58.41$			
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK2_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre - 349.35 y 356.08 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación SLK1_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre - 338.67 y 366.67 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación MDD_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre - 349.13 y 356.30 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación EDD_SPT-Media 5-150 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación SPT_SPT con las mismas características entre - 351.17 y 354.26 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK2_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 6 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la SLK2_SPT en un 12.12 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones SLK1_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 8 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la SLK1_SPT en un 14.14 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones MDD_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 5 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la MDD_SPT en un 13.13 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones EDD_SPT genera mejores resultados que la SPT_SPT en un 9 % de los casos; mientras que la SPT_SPT genera mejores resultados que la EDD_SPT en un 9 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones SLK2\_SPT-Media 5-150 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la SPT\_SPT con las mismas características.

Considerando los resultados de los anteriores Contrastes de Scheffé se concluye que cuando la Media es de 5, no existe diferencia estadísticamente significativa entre las estrategias de programación de operaciones de los escenario de colaboración nulo y parcial -EDD\_SPT, MDD\_SPT, SLK1\_SPT, SLK2\_SPT y SPT\_SPT- para cualquier cantidad menor de 150 trabajos procesados por la cadena logística. Lo mismo sucede cuando la tasa de llegada de los trabajos al sistema toma valor de 10 puesto que causa un efecto que hace que los rendimientos alcanzados por las estrategias de programación de operaciones sean similares.

**Tabla F.9.** Resumen estadísticas del factor ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades para el escenario de colaboración nulo y parcial

Regla Programación	Media	Número Entidades	Promedio	Límite inferior	Límite superior
SLK2_SPT	5	150	1137.292	1056.245	1218.339
SLK1_SPT	5	150	1147.974	1066.927	1229.021
MDD_SPT	5	150	1137.515	1056.468	1218.562
EDD_SPT	5	150	1135.467	1054.420	1216.514
SPT_SPT	5	150	1133.924	1052.877	1214.971
SLK2_SPT	10	150	998.189	917.142	1079.236
SLK1_SPT	10	150	998.344	917.297	1079.391
MDD_SPT	10	150	998.272	916.225	1079.319
EDD_SPT	10	150	998.010	917.963	1079.057
SPT_SPT	10	150	998.341	917.294	1079.388

**Tiempo de terminación del programa ( $C_{max}$ )**

**Tabla F.10.** ANOVA del tiempo de terminación del programa ( $C_{max}$ ) de las estrategias del escenario de colaboración nulo y parcial

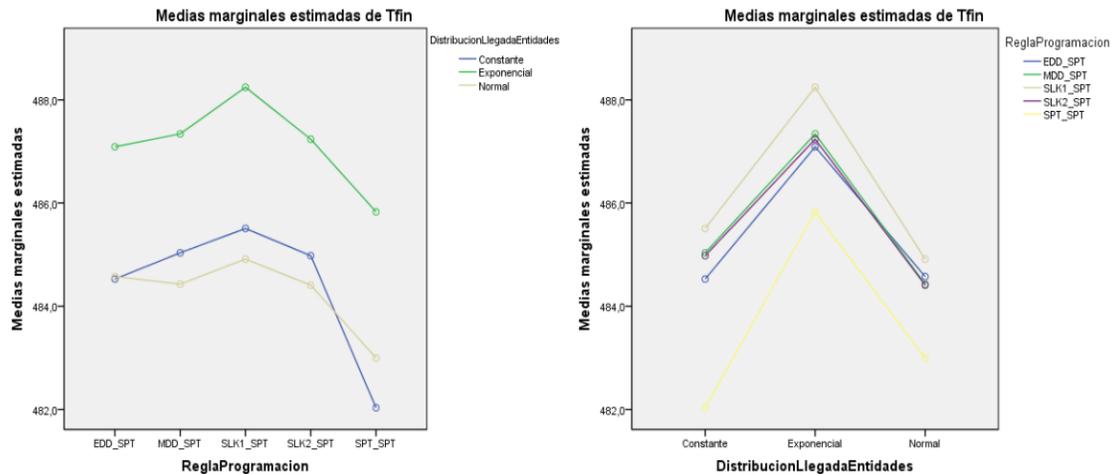
Pruebas de los efectos inter-sujetos											
Variable dependiente: Cmax											
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.						
Modelo corregido	1,011E9	539	1875254,535	1230,436	,000	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO	2403,782	16	150,236	,099	1,000
Intersección	1,399E9	1	1,399E9	917779,905	,000	ReglaProgramacion * Media * NumeroEntidades	3361,227	24	140,051	,092	1,000
ReglaProgramacion	4500,987	4	1125,247	,738	,566	ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	3286,364	24	136,932	,090	1,000
DistribucionLlegada Entidades	9916,580	2	4958,290	3,253	,039	DistribucionLlegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	39536,582	8	4942,073	3,243	,001
Media	2,674E8	2	1,337E8	87719,944	,000	DistribucionLlegada Entidades * Media * NumeroEntidades	110974,922	12	9247,910	6,068	,000
PesoCriteriosFO	3633,472	2	1816,736	1,192	,304	DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	37438,397	12	3119,866	2,047	,017
NumeroEntidades	6,129E8	3	2,043E8	134043,104	,000	Media * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	55051,527	12	4587,627	3,010	,000
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades	569,319	8	71,165	,047	1,000	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * Media * NumeroEntidades	3918,660	32	122,458	,080	1,000
ReglaProgramacion * Media	2769,033	8	346,129	,227	,986	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	4261,974	48	88,791	,058	1,000
ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO	869,710	8	108,714	,071	1,000	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	5463,064	48	113,814	,075	1,000
ReglaProgramacion * NumeroEntidades	3576,781	12	298,065	,196	,999	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	6196,455	48	129,093	,085	1,000
DistribucionLlegada Entidades * Media	11231,515	4	2807,879	1,842	,118	DistribucionLlegada Entidades * Media * NumeroEntidades	112260,537	24	4677,522	3,069	,000
DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	14165,974	4	3541,494	2,324	,054	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	8988,456	96	93,630	,061	1,000
DistribucionLlegada Entidades * PesoCriteriosFO	111268,656	6	18544,776	12,169	,000	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	8229909,273	5400	1524,057		
Media * PesoCriteriosFO	18206,890	4	4551,722	2,987	,018	Error	2,418E9	5940			
Media * NumeroEntidades	1,299E8	6	21653193,72	14207,598	,000	Total	1,019E9	5939			
PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	15507,578	6	2584,596	1,696	,118	Total corregida					
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * Media	1809,334	16	113,083	,074	1,000						
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	945,339	16	59,084	,039	1,000						
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * PesoCriteriosFO	2381,660	24	99,236	,065	1,000						

a. R cuadrado = .992 (R cuadrado corregida = .991)

**ReglaProgramación:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones se comportan iguales; Ha: por lo menos hay una estrategia de programación de operaciones que se comporta diferente en cuanto a tiempo de ejecución del programa. Con una significancia del 56.6 % se comprueba que no existe diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de ejecución de las estrategias de programación de operaciones EDD, MDD, SLK1, SLK2 y SPT (ver Figura F.2).

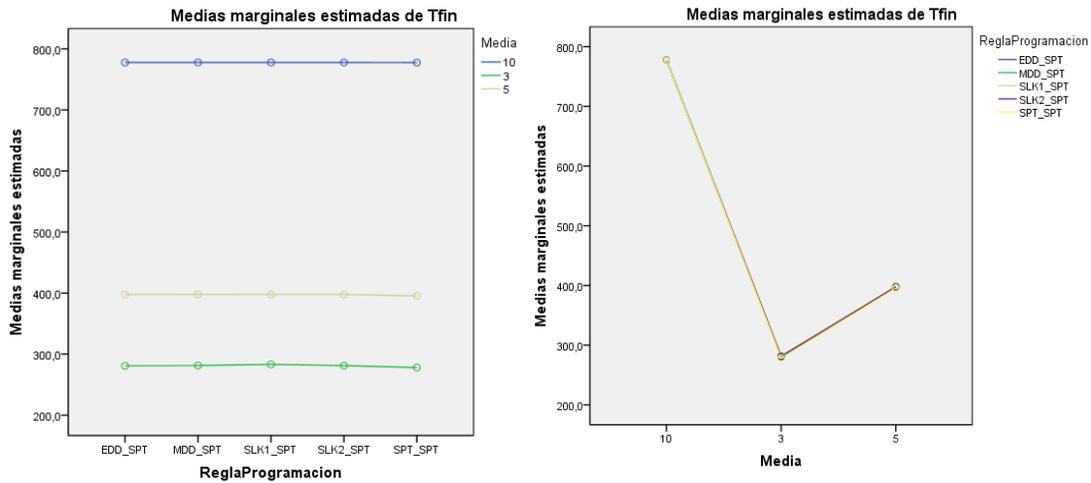
**DistribuciónLlegadaEntidades:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando las distribuciones de llegadas de los trabajos al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos se comporta diferente. Con una significancia del 3.9 % existe diferencia estadísticamente significativa entre el tiempo de ejecución de las estrategias de programación de operaciones cuando trabajan bajo distintas distribuciones de llegadas de los trabajos.

**Figura F.1.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades para la comparación del escenario de colaboración nulo y parcial



**Media:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintas tasas de llegadas de los trabajos al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos una se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe un tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando diferentes tasas de llegada de los trabajos que se comporta diferente. Cuando la llegada de los trabajos al sistema toma un valor de 3 se comporta diferente de cuando la media es 5 y 10.

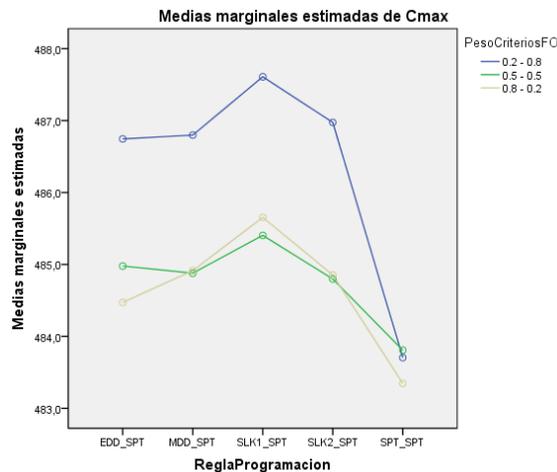
**Figura F.2.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-Media para la comparación del escenario de colaboración nulo y parcial



Se evidencia que a medida que aumenta la tasa de llegada de los trabajos a la cadena logística bajo estudio existe una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de ejecución del programa.

**PesoCriteriosFO:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintos pesos asignados a los criterios de la función objetivo se comportan iguales; Ha: por lo menos un peso se comporta diferente. Con una significancia del 30.4 % no existe diferencia estadísticamente significativa entre el tiempo de ejecución de las estrategias de programación de operaciones cuando trabajan bajo distintos pesos asignados a la función objetivo.

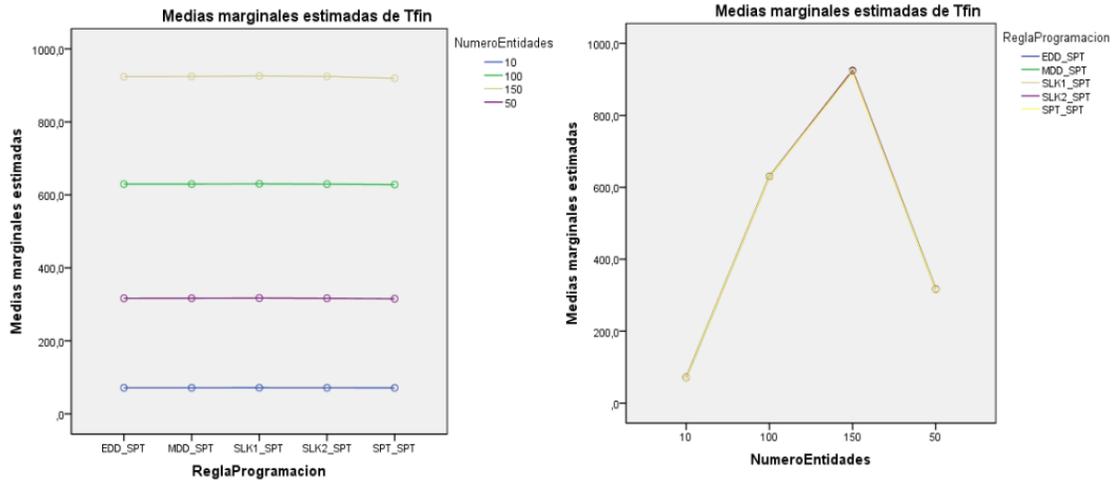
**Figura F.3.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-PesoCriteriosFO para la comparación del escenario de colaboración nulo y parcial



**NúmeroEntidades:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintas cantidades de trabajos que llegan al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos existe un tiempo de ejecución de un número de trabajos se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe un tiempo de

ejecución de las estrategias de programación que considerando distintas cantidades de trabajos se comporta diferente.

**Figura F.4.** Gráficos de perfil de la interacción ReglaProgramación-NúmeroEntidades para la comparación del escenario de colaboración nulo y parcial



Se evidencia que a medida que aumenta el número de trabajos procesados por la cadena logística bajo estudio existe una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de ejecución del programa. El tiempo de ejecución crece exponencialmente. Por lo tanto todos son diferentes.

## ANEXO G

### ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE COLABORACIÓN NULO, PARCIAL Y TOTAL

Se analizan las mejores estrategias de programación de operaciones (SPT\_SPT, SLK2\_SPT, MDD\_SPT, EDD\_SPT y General SB Routine) de los tres escenarios de colaboración con los distintos niveles de los factores Media y NúmeroEntidades para 10 y 50 trabajos. Se realizan Contrastes de Scheffé para determinar si existe diferencia significativa entre niveles de los factores y tratamientos de interés. Los contrastes de Scheffé desarrollados en la Tabla G.3 toman los valores promedios de las estadísticas de la interacción ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades (ver Tabla G.2). A continuación se presenta la tabla ANOVA.

**Tabla G.1.** ANOVA de las mejores estrategias de programación de operaciones de los escenarios de colaboración

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.						
Modelo corregido	2,406E8	269	894573,918	114,250	,000	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO	8793,961	16	549,623	,070	1,000
Intersección	2,270E8	1	2,270E8	28993,860	,000	ReglaProgramacion * Media	25189,779	8	3148,722	,402	,920
ReglaProgramacion	12892,567	4	3223,142	,412	,800	ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	4278,506	8	534,813	,068	1,000
DistribucionLlegada Entidades	1272995,581	2	636497,790	81,290	,000	DistribucionLlegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	71826,413	8	8978,302	1,147	,328
Media	28378940,11	2	14189470,05	1812,194	,000	DistribucionLlegada Entidades * Media * NumeroEntidades	439479,197	4	109869,799	14,032	,000
PesoCriteriosFO	40209933,12	2	20104966,56	2567,686	,000	DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	18685,050	4	4671,263	,597	,665
NumeroEntidades	1,222E8	1	1,222E8	15601,682	,000	Media * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	1421542,777	4	355385,694	45,388	,000
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades	4610,786	8	576,348	,074	1,000	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	13525,397	32	422,669	,054	1,000
ReglaProgramacion * Media	26217,851	8	3277,231	,419	,911	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * Media * NumeroEntidades	9924,592	16	620,287	,079	1,000
ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO	4361,439	8	545,180	,070	1,000	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	7465,979	16	466,624	,060	1,000
ReglaProgramacion * NumeroEntidades	12316,061	4	3079,015	,393	,814	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	7335,250	16	458,453	,058	1,000
DistribucionLlegada Entidades * Media	433497,694	4	108374,423	13,841	,000	DistribucionLlegada Entidades * Media * NumeroEntidades	74765,620	8	9345,702	1,194	,299
DistribucionLlegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	47348,132	4	11837,033	1,512	,196	ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	13575,849	32	424,245	,054	1,000
DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	1029908,461	2	514954,231	65,767	,000	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	21140985,04	2700	7829,994		
Media * PesoCriteriosFO	1879530,439	4	469882,610	60,011	,000	Total	4,888E8	2970			
Media * NumeroEntidades	23796510,46	2	11898255,23	1519,574	,000	Total corregida	2,618E8	2969			
PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	19233277,82	2	9616638,914	1228,180	,000						
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * Media	10075,869	16	629,742	,080	1,000						
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * Media * PesoCriteriosFO	5703,126	16	356,445	,046	1,000						
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	4793,590	8	599,199	,077	1,000						

a. R cuadrado = ,919 (R cuadrado corregida = ,911)

A diferencia de los resultados de la tabla ANOVA de los escenarios de colaboración nulo, parcial y el análisis de ambos, en el factor ReglaProgramación el nivel de significancia es de 80 %. De acuerdo a lo anterior se plantea:

**ReglaProgramación:** Ho: la media de las estrategias de programación de operaciones se comportan iguales; Ha: por lo menos hay una estrategia de programación de operaciones que se comporta diferente. Con una significancia del 80 % se comprueba no existe diferencia estadísticamente significativa entre las estrategias de programación de operaciones. La prueba *post hoc* realizada a las estrategias de los escenarios de colaboración nulo, parcial y total que muestra un solo subconjuntos homogéneo de los niveles de este factor (ver Tabla G.5).

Para los demás factores e interacciones se plantean las mismas conclusiones de la tabla ANOVA del escenario de colaboración nulo y parcial.

**Tabla G.2.** Estadísticas del factor ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades para la comparación del escenario de colaboración nulo, parcial y total

ReglaProgramacion	Media	NumeroEntidades	Media	Error tip.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
EDD_SPT	10	10	64,976	8,893	47,537	82,414
		50	329,716	8,893	312,278	347,155
	3	10	85,230	8,893	67,792	102,669
		50	767,373	8,893	749,934	784,811
	5	10	70,916	8,893	53,478	88,355
		50	364,659	8,893	347,220	382,097
General SB Routine	10	10	65,799	8,893	48,361	83,237
		50	329,780	8,893	312,341	347,218
	3	10	83,629	8,893	66,191	101,068
		50	734,308	8,893	716,870	751,746
	5	10	70,056	8,893	52,617	87,494
		50	364,402	8,893	346,964	381,840
MDD_SPT	10	10	64,976	8,893	47,537	82,414
		50	329,728	8,893	312,290	347,167
	3	10	85,449	8,893	68,011	102,888
		50	739,910	8,893	722,472	757,348
	5	10	70,926	8,893	53,488	88,365
		50	364,895	8,893	347,457	382,333
SLK2_SPT	10	10	64,976	8,893	47,537	82,414
		50	329,700	8,893	312,262	347,138
	3	10	85,417	8,893	67,979	102,856
		50	741,500	8,893	724,062	758,938
	5	10	70,921	8,893	53,483	88,360
		50	364,812	8,893	347,374	382,250
SPT_SPT	10	10	64,976	8,893	47,537	82,414
		50	330,061	8,893	312,622	347,499
	3	10	85,796	8,893	68,358	103,234
		50	733,577	8,893	716,138	751,015
	5	10	70,936	8,893	53,498	88,375
		50	364,843	8,893	347,405	382,282

**Tabla G.3.** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 10 entidades para la comparación escenario del colaboración nulo, parcial y total

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV
$\tau_{General\ SB\ Routine-3-10} - \tau_{SLK2\_SPT-3-10} = 0^{***}$	$\tau_{General\ SB\ Routine-3-10} - \tau_{MDD\_SPT-3-10} = 0$	$\tau_{General\ SB\ Routine-3-10} - \tau_{SPT\_SPT-3-10} = 0$	$\tau_{General\ SB\ Routine-3-10} - \tau_{EDD\_SPT-3-10} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -1.78$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -1.82$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -2.17$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -1.60$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 3.55$			
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 12.56$			
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación <i>General SB Routine</i> -Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación <i>SLK2_SPT</i> con las mismas características entre -46.45 y 42.87 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación <i>General SB Routine</i> -Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación <i>MDD_SPT</i> con las mismas características entre -46.48 y 42.84 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación <i>General SB Routine</i> -Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación <i>SPT_SPT</i> con las mismas características entre -46.83 y 42.5 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación <i>General SB Routine</i> -Media 3-10 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación <i>EDD_SPT</i> con las mismas características entre -46.26 y 43.06 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones <i>General SB Routine</i> genera mejores resultados que la <i>SLK2_SPT</i> en un 59.6 % de los casos; mientras que la <i>SLK2_SPT</i> genera mejores resultados que la <i>General SB Routine</i> en un 20.2 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones <i>General SB Routine</i> genera mejores resultados que la <i>MDD_SPT</i> en un 61.6 % de los casos; mientras que la <i>MDD_SPT</i> genera mejores resultados que la <i>General SB Routine</i> en un 17.17 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones <i>General SB Routine</i> genera mejores resultados que la <i>SPT_SPT</i> en un 64.6 % de los casos; mientras que la <i>SPT_SPT</i> genera mejores resultados que la <i>General SB Routine</i> en un 15.2 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones <i>General SB Routine</i> genera mejores resultados que la <i>EDD_SPT</i> en un 60.6 % de los casos; mientras que la combinación <i>SPT_SPT</i> genera mejores resultados que la <i>General SB Routine</i> en un 20.2 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones *General SB Routine*-Media 3-10 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la *SLK2\_SPT* con las mismas características.

**Tabla G.3. (Continuación)** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 3 y 50 entidades para la comparación del escenario de colaboración nulo, parcial y total

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV
$\tau_{General\ SB\ Routine-3-50} - \tau_{SLK2\_SPT-3-50} = 0^{***}$	$\tau_{General\ SB\ Routine-3-50} - \tau_{MDD\_SPT-3-50} = 0$	$\tau_{General\ SB\ Routine-3-50} - \tau_{SPT\_SPT-3-50} = 0$	$\tau_{General\ SB\ Routine-3-50} - \tau_{EDD\_SPT-3-50} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -7.19$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -5.06$	$\sum C_i \bar{Y}_i = 0.73$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -33.07$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 3.55$			
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 12.56$			
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación <i>General SB Routine</i> -Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación <i>SLK2_SPT</i> con las mismas características entre -51.85 y 37.47 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación <i>General SB Routine</i> -Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación <i>MDD_SPT</i> con las mismas características entre -50.26 y 39.06 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación <i>General SB Routine</i> -Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación <i>SPT_SPT</i> con las mismas características entre -43.93 y 45.39 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación <i>General SB Routine</i> -Media 3-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación <i>EDD_SPT</i> con las mismas características entre -77.72 y 11.6 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones <i>General SB Routine</i> genera mejores resultados que la <i>SLK2_SPT</i> en un 51.5 % de los casos; mientras que la <i>SLK2_SPT</i> genera mejores resultados que la <i>General SB Routine</i> en un 22.2 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones <i>General SB Routine</i> genera mejores resultados que la <i>MDD_SPT</i> en un 53.5 % de los casos; mientras que la <i>MDD_SPT</i> genera mejores resultados que la <i>General SB Routine</i> en un 26.3 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones <i>General SB Routine</i> genera mejores resultados que la <i>SPT_SPT</i> en un 48.5 % de los casos; mientras que la <i>SPT_SPT</i> genera mejores resultados que la <i>General SB Routine</i> en un 30.3 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones <i>General SB Routine</i> genera mejores resultados que la <i>EDD_SPT</i> en un 67.7 % de los casos; mientras que la combinación <i>SPT_SPT</i> genera mejores resultados que la <i>General SB Routine</i> en un 28.3 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones *General SB Routine*-Media 3-50 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la *SLK2\_SPT* con las mismas características.

**Tabla G.4.** Comparación múltiple de los niveles del factor ReglasProgramación para la comparación del escenario de colaboración nulo, parcial y total; Función objetivo

(I)ReglaProgramacion	(J)ReglaProgramacion	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
General SB Routine	EDD_SPT	-5,816	5,1346	,789	-19,831	8,199
	MDD_SPT	-1,319	5,1346	,999	-15,334	12,697
	SLK2_SPT	-1,559	5,1346	,998	-15,574	12,457
	SPT_SPT	-,369	5,1346	1,000	-14,385	13,646

**Tabla G.5.** Subconjuntos para la comparación del escenario de colaboración nulo, parcial y total; Función objetivo

ReglaProgramacion	N	Subconjunto
		1
General SB Routine	594	274,662
SPT_SPT	594	275,031
MDD_SPT	594	275,981
SLK2_SPT	594	276,221
EDD_SPT	594	280,478
Sig.		,789

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
 Basadas en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática  
 (Error) = 7829.994.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 594.000  
 b. Alfa = .05.

### Comparación entre estrategias con Media 5 y 50 entidades para los escenarios de colaboración nulo, parcial y total

Se observó en las comparaciones de los escenarios de colaboración nulo y parcial que para 150 trabajos es donde se evidenciaban las diferencias significativas en el rendimiento de las estrategias de programación de operaciones. En esta sección donde se comparan las mejores estrategias de programación de operaciones de los tres escenarios de colaboración no se podrá realizar para 150 trabajos debido a que la restricción está en el escenario de colaboración total. Los resultados del escenario de colaboración total se obtuvieron a través de LEKIN el cual tiene como límite programar hasta 50 trabajos. Por ende, se decide hacer la comparación de las estrategias de programación de operaciones con 50 trabajos lo cual aplica las conclusiones para instancias de 10 trabajos.

**Tabla G.6.** Contrastes de Scheffé para la comparación entre estrategias con Media 5 y 50 entidades para la comparación del escenario de colaboración nulo, parcial y total

Contraste de Scheffé I	Contraste de Scheffé II	Contraste de Scheffé III	Contraste de Scheffé IV
$\tau_{General\ SB\ Routine-50} - \tau_{SLK2\_SPT-5-50} = 0^{***}$	$\tau_{General\ SB\ Routine-5-50} - \tau_{MDD\_SPT-5-50} = 0$	$\tau_{General\ SB\ Routine-5-50} - \tau_{SPT\_SPT-5-50} = 0$	$\tau_{General\ SB\ Routine-5-50} - \tau_{EDD\_SPT-5-50} = 0$
Parte 1: $\sum C_i \bar{Y}_i = -0.41$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -0.49$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -0.44$	$\sum C_i \bar{Y}_i = -0.26$
Parte 2: $\sqrt{(v-1) * F_{v-1, n-v, \alpha}} = 3.55$			
Parte 3: $\sqrt{msE(\sum C_i^2 / r_i)} = 12.56$			
El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación <i>General SB Routine</i> -Media 5-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación <i>SLK2_SPT</i> con las mismas características entre -45.07 y 44.25 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación <i>General SB Routine</i> -Media 5-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación <i>MDD_SPT</i> con las mismas características entre -45.15 y 44.17 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación <i>General SB Routine</i> -Media 5-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación <i>SPT_SPT</i> con las mismas características entre -45.10 y 44.22 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.	El rendimiento de la cadena logística bajo estudio cuando trabaja con la estrategia de programación <i>General SB Routine</i> -Media 5-50 Entidades no es mejor que cuando la cadena logística trabaja con la estrategia de programación <i>EDD_SPT</i> con las mismas características entre -44.92 y 44.7 con un nivel de confianza del 95 % y una confianza general del 95 %, lo cual indica que ambas estrategias de programación pueden obtener rendimientos comunes.
Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones <i>General SB Routine</i> genera mejores resultados que la <i>SLK2_SPT</i> en un 11.1 % de los casos; mientras que la <i>SLK2_SPT</i> genera mejores resultados que la <i>General SB Routine</i> en un 1 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones <i>General SB Routine</i> genera mejores resultados que la <i>MDD_SPT</i> en un 10.1 % de los casos; mientras que la <i>MDD_SPT</i> genera mejores resultados que la <i>General SB Routine</i> en un 1 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones <i>General SB Routine</i> genera mejores resultados que la <i>SPT_SPT</i> en un 12.2 % de los casos; mientras que la <i>SPT_SPT</i> genera mejores resultados que la <i>General SB Routine</i> en un 7.1 % de los casos.	Bajo estas características para el factor Media y NúmeroEntidades, la estrategia de programación de operaciones <i>General SB Routine</i> genera mejores resultados que la <i>EDD_SPT</i> en un 12.2 % de los casos; mientras que la combinación <i>SPT_SPT</i> genera mejores resultados que la <i>General SB Routine</i> en un 6.1 % de los casos.

\*\*\* El Contraste de Scheffé se define como sigue: La cadena logística bajo estudio obtiene mejor rendimiento cuando trabaja bajo la estrategia de programación de operaciones *General SB Routine*-Media 5-50 Entidades que cuando el sistema trabaja bajo la *SLK2\_SPT* con las mismas características.

Considerando los resultados de los anteriores Contrastes de Scheffé se concluye que cuando la Media es de 5, no existe diferencia estadísticamente significativa entre las mejores estrategias de programación de operaciones de los tres escenarios de colaboración -EDD\_SPT, MDD\_SPT, SLK2\_SPT y SPT\_SPT- para cualquier cantidad menor de 50 trabajos procesados por la cadena logística. Lo mismo sucede cuando la tasa de llegada de los trabajos al sistema se comporta con Media 10 puesto que causa un efecto que hace que los rendimientos alcanzados por las estrategias de programación de operaciones sean similares.

**Tabla G.7.** Resumen estadísticas del factor ReglaProgramación-Media-NúmeroEntidades para la comparación del escenario de colaboración nulo, parcial y total

Regla Programación	Media	Número Entidades	Promedio	Límite inferior	Límite superior
General SB Routine	5	50	364.402	346.964	381.840
SLK2_SPT	5	50	364.812	347.374	382.250
MDD_SPT	5	50	364.895	347.457	382.333
EDD_SPT	5	50	364.659	347.220	382.097
SPT_SPT	5	50	264.843	347.405	382.282
General SB Routine	10	50	329.780	312.341	347.218
SLK2_SPT	10	50	329.700	312.262	347.138
MDD_SPT	10	50	329.728	312.290	347.167
EDD_SPT	10	50	329.716	312.278	347.155
SPT_SPT	10	50	330.061	312.622	347.499

### Tiempo de terminación del programa ( $C_{max}$ )

**Tabla G.8.** ANOVA del tiempo de terminación del programa ( $C_{max}$ ) de las estrategias del escenario de colaboración nulo, parcial y total

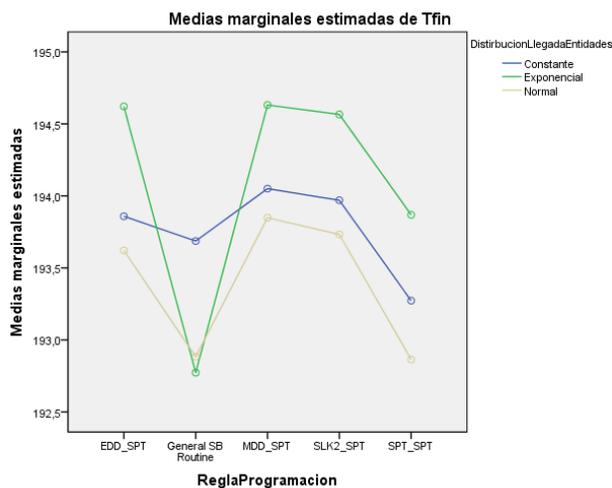
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.	ReglaProgramacion * Media * PesoCriteriosFO				
Modelo corregido	71633352,76	269	266294,992	574,556	,000	171,133	16	10,696	,023	1,000
Intersección	1,115E8	1	1,115E8	240651,842	,000	189,524	8	23,690	,051	1,000
ReglaProgramacion	566,541	4	141,635	,306	,874	65,898	8	8,237	,018	1,000
DistribucionLlegada Entidades	244,425	2	122,212	,264	,768	21217,290	8	2652,161	5,722	,000
Media	17938732,44	2	8969366,225	19352,244	,000	8322,467	4	2080,617	4,489	,001
PesoCriteriosFO	7727,677	2	3863,839	8,337	,000	24702,610	4	6175,653	13,325	,000
NumeroEntidades	44608261,33	1	44608261,33	96246,482	,000	9828,507	4	2457,127	5,301	,000
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades	201,760	8	25,220	,054	1,000	361,350	32	11,292	,024	1,000
ReglaProgramacion * Media	518,938	8	64,867	,140	,997	113,365	16	7,085	,015	1,000
ReglaProgramacion * PesoCriteriosFO	31,740	8	3,968	,009	1,000	239,464	16	14,966	,032	1,000
ReglaProgramacion * NumeroEntidades	152,824	4	38,206	,082	,988	351,415	16	21,963	,047	1,000
DistribucionLlegada Entidades * Media	18540,278	4	4635,070	10,001	,000	25603,141	8	3200,393	6,905	,000
DistribucionLlegada Entidades * PesoCriteriosFO	21733,274	4	5433,319	11,723	,000	416,441	32	13,014	,028	1,000
DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	1962,261	2	981,130	2,117	,121	1251394,364	2700	463,479		
Media * PesoCriteriosFO	14954,541	4	3738,635	8,066	,000	1,844E8	2970			
Media * NumeroEntidades	8916618,442	2	4458409,221	9619,434	,000	72884747,12	2969			
PesoCriteriosFO * NumeroEntidades	10655,735	2	5427,868	11,711	,000					
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * Media	199,888	16	12,481	,027	1,000					
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * PesoCriteriosFO	212,086	16	13,255	,029	1,000					
ReglaProgramacion * DistribucionLlegada Entidades * NumeroEntidades	56,160	8	7,020	,015	1,000					
Error										
Total										
Total corregida										

a. R cuadrado = .983 (R cuadrado corregida = .981)

**ReglaProgramación:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones se comportan iguales; Ha: por lo menos hay una estrategia de programación de operaciones que se comporta diferente en cuanto a tiempo de ejecución del programa. Con una significancia del 87.4 % se comprueba que no existe diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de ejecución de las estrategias de programación de operaciones analizadas (ver Figura G.2).

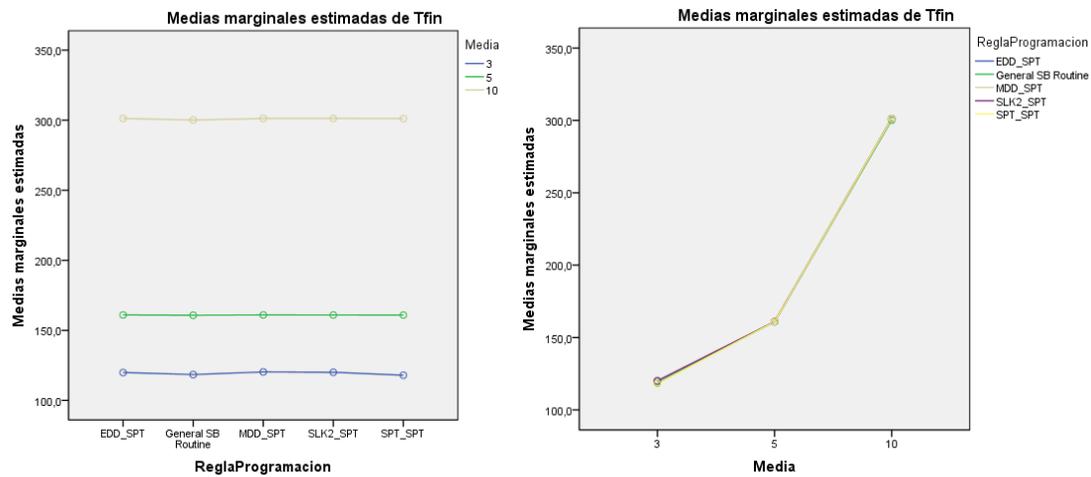
**DistribuciónLlegadaEntidades:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando las distribuciones de llegadas de los trabajos al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos se comporta diferente. Con una significancia del 76.8 % no existe diferencia estadísticamente significativa entre el tiempo de ejecución de las estrategias de programación de operaciones cuando trabajan bajo distintas distribuciones de llegadas de los trabajos.

**Figura G.1.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-DistribuciónLlegadaEntidades para la comparación del escenario de colaboración nulo, parcial y total



**Media:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintas tasas de llegadas de los trabajos al sistema se comportan iguales; Ha: por lo menos una se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que al menos existe un tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando diferentes tasas de llegada de los trabajos que se comporta diferente. Cuando la llegada de los trabajos al sistema toma un valor de 3 se comporta diferente de cuando la media es 5 y 10.

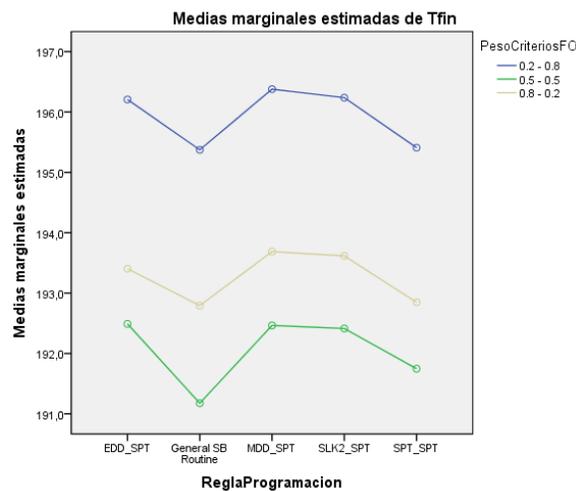
**Figura G.2.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-Media para la comparación del escenario de colaboración nulo, parcial y total



Se evidencia que a medida que aumenta la tasa de llegada de los trabajos a la cadena logística bajo estudio existe una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de ejecución del programa.

**PesoCriteriosFO:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintos pesos asignados a los criterios de la función objetivo se comportan iguales; Ha: por lo menos un peso se comporta diferente. Con una significancia del cercana a cero existe diferencia estadísticamente significativa entre el tiempo de ejecución de las estrategias de programación de operaciones cuando trabajan bajo distintos pesos asignados a la función objetivo.

**Figura G.3.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-PesoCriteriosFO para la comparación del escenario de colaboración nulo, parcial y total



**NúmeroEntidades:** Ho: el tiempo medio de ejecución de las estrategias de programación de operaciones considerando distintas cantidades de trabajos que llegan al sistema se comportan

iguales; Ha: por lo menos existe un tiempo de ejecución de un número de trabajos se comporta diferente. Con una significancia cercana a cero se comprueba que existe diferencia estadísticamente significativa entre el tiempo de ejecución de las estrategias de programación considerando instancias para 10 y 50 trabajos.

**Figura G.4.** Gráficos de perfil del  $C_{max}$  de la interacción ReglaProgramación-NúmeroEntidades para la comparación del escenario de colaboración nulo, parcial y total

