



Vigilada Mineducación

APLICACIÓN DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN LINEAL PARA AYUDA EN LA TOMA DE  
DECISIONES EN LA PLATAFORMA LOST

NICOLAS ALBERTO CASTELLANO DE LA CRUZ

Tesis de Grado

Asesor, docente  
Sergio Augusto Ramirez Echeverry

UNIVERSIDAD EAFIT  
Escuela De Ingenieria  
Gestión de Producción y Logística  
Medellín, Antioquia  
2022

## CONTENIDO

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| LISTA DE FIGURAS.....                                            | 4  |
| Ilustraciones.....                                               | 4  |
| Tablas.....                                                      | 4  |
| Ecuaciones.....                                                  | 5  |
| Introducción.....                                                | 9  |
| ¿Qué Es LOST?.....                                               | 9  |
| Objetivos.....                                                   | 11 |
| Objetivo Principal.....                                          | 11 |
| Objetivos secundarios.....                                       | 11 |
| Marco Conceptual.....                                            | 12 |
| La gamificación en el aprendizaje.....                           | 12 |
| Planeación agregada.....                                         | 15 |
| Algunos indicadores de desempeño logístico.....                  | 17 |
| Comportamiento de la demanda.....                                | 21 |
| Medidas de error del pronóstico.....                             | 22 |
| Métodos gráficos para determinar normalidad.....                 | 23 |
| Métodos de bondad de ajuste para determinar la normalidad.....   | 25 |
| Métodos de serie de tiempo para el pronóstico de la demanda..... | 27 |
| Cuando la demanda presenta comportamiento estacional.....        | 29 |
| FORMULACIÓN DEL MODELO.....                                      | 34 |
| Definición del sistema.....                                      | 34 |
| Preparación de la hoja de cálculo.....                           | 35 |
| Generar un pronóstico de la demanda.....                         | 36 |
| Planeación agregada.....                                         | 38 |
| Control de inventario y plan de aprovisionamiento.....           | 43 |
| Decisión de transporte.....                                      | 52 |
| Plan de producción.....                                          | 53 |
| Finanzas y resultados económicos.....                            | 54 |
| Modelo simplificado de programación lineal.....                  | 56 |
| Resultados y análisis.....                                       | 58 |
| Vista previa de resultados.....                                  | 58 |
| Conclusiones.....                                                | 60 |

|                   |    |
|-------------------|----|
| Bibliografia..... | 61 |
|-------------------|----|

## LISTA DE FIGURAS

### ILUSTRACIONES

|                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1 Collier, D., Evans, J. (2009) Marco de la planeación de la administración de recursos para bienes y servicios. [Diagrama]. Recuperado de Collier, D., Evans, J. (2009). Operations Management. Resource Management (pp 236-260). Mason, OH 45040, USA. Cengage Learning..... | 16 |
| Ilustración 2 Distribución normal y normal estándar.....                                                                                                                                                                                                                                   | 24 |
| Ilustración 3Ejemplo de Gráfico P-P - Tasa de desempleo de indiana y ohio del año 2005.....                                                                                                                                                                                                | 25 |

### TABLAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Algunos Indicadores de Desempeño de Operaciones. Recuperado de Administración de Operaciones 5ta Edición, Página 51. Copyright 2016 por Cengage Editores. Una compañía Cengage Learning.....                                                                        | 20 |
| Tabla 2 Pronóstico de la demanda de uno de los juegos.....                                                                                                                                                                                                                  | 39 |
| Tabla 3 Plan agregado de producción: parte 1.....                                                                                                                                                                                                                           | 40 |
| Tabla 4 Plan agregado de producción: parte 2.....                                                                                                                                                                                                                           | 41 |
| Tabla 5 Plan agregado de producción: parte 3.....                                                                                                                                                                                                                           | 42 |
| Tabla 6 Notación del Sistema S,Q.....                                                                                                                                                                                                                                       | 45 |
| Tabla 7 Tabla de Cálculos necesarios para elaborar el Plan de Abastecimiento.....                                                                                                                                                                                           | 48 |
| Tabla 8 Política de inventario según proveedor. Los valores de tamaño de pedido (Q), inventario de seguridad (SS) y punto de reorden (S) se encuentran resaltados en amarillo.....                                                                                          | 49 |
| Tabla 9 Política de Inventarios para los Proveedores 1-6. Hace falta 3 de ellos, con 9 en total. Los valores marcados en amarillo muestran la Política para un Plan S, Q. Lo conforma el Tamaño de la Orden (Q), Inventario de Seguridad (SS) y el Punto de Reorden(S)..... | 50 |
| Tabla 10 Tabla de Resultados para una Tasa de Cumplimiento de 96.5%.....                                                                                                                                                                                                    | 58 |
| Tabla 11 Tabla de Resultados para una Tasa de Cumplimiento de 94%.....                                                                                                                                                                                                      | 59 |
| Tabla 12 Tabla de Resultados para una Tasa de Cumplimiento de 90%.....                                                                                                                                                                                                      | 59 |

### ECUACIONES

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1 Fill Rate en Unidades de producto y en Dinero.....                                                                | 18 |
| Ecuación 2 Nivel de Servicio como porcentaje de eventos de productos requeridos y agotados. ....                             | 18 |
| Ecuación 3 Porcentaje de Utilización de Recursos.....                                                                        | 19 |
| Ecuación 5 Fórmula de Requerimientos de Materiales para cada tipo (A, B, C), según el diseño del Modelo de Optimización..... | 46 |
| Ecuación 6 Suma de los Materiales de todos los Proveedores según su Tipo (A, B,C).....                                       | 47 |

## **Resumen**

Se aplicó un modelo de optimización lineal para facilitar la toma de decisiones en un entorno cambiante en la plataforma de simulación LOST. LOST es un business game que facilita el aprendizaje y de planeación de la producción, y la aplicación de los conceptos y métodos aprendidos en el aula en tomar decisiones en un entorno simulado. Al ser una plataforma interactiva, los pueden tomar decisiones basándose en datos provistos, exportarlos a una hoja de cálculo y evaluar las consecuencias de éstas sin afectar un sistema real. Al final, los resultados obtenidos se comparan con el resto de la población, es decir, estudiantes de pregrado en ingenierías. ¿Puede la optimización lineal y la planeación de la capacidad mejorar los resultados financieros en una plataforma de simulación educativa basada en la cadena de suministro de una empresa manufacturera bajo incertidumbre en la demanda?

## **ABSTRACT**

A LP (Lineal Optimization) model is applied to simplify the decision making in LOST, a business simulation game used for educational purposes. It encourages the application of the concepts learnt on decision science courses in industrial engineering students, i.e. logistics and supply chain, or production planning and management. As it is an interactive computer platform, students can make decisions based on data provided, export to spreadsheets and evaluate their consequences without affecting a real system. Then, the results are being compared with the rest of the population, which are the students taking undergraduate engineering degrees. Can lineal optimization and capacity planning alone improve the financial performance in an educational business game based on the supply chain of a manufacturing company under the condition of demand uncertainty?

## INTRODUCCIÓN

Se evalúa la consistencia y los resultados operacionales en una cadena de suministro en condiciones de demanda probabilística, en un Business Game orientado al aprendizaje logístico, llamado LOST. En LOST se toman 5 tipos de decisiones: qué cantidad y cuales artículos producir; qué tipos de materiales emplear; realizar pedidos de materiales; y el transporte a tiendas. Es decir, se debe determinar un conjunto de estrategias de operaciones que se desempeñen por encima de la media aceptable, en varias iteraciones seguidas. Esto con la finalidad de motivar el pensamiento abstracto de los alumnos, y brindarles herramientas de análisis para una mejor toma de decisiones en su área de desempeño. Además de mantenerlos motivados en el transcurso de sus primeros pasos en el aprendizaje logístico.

### ¿QUÉ ES LOST?

La plataforma LOST hace parte de un programa llamado GOAL Project, el cual busca enlazar los diferentes dominios necesarios en el aprendizaje de Logística y Cadena de Suministro, con la finalidad de fomentar el entendimiento de ésta en los alumnos como una gran disciplina conformada de una diversidad de fases y/o componentes codependientes. Lo anterior significa que, por medio de la gamificación y la resolución de falencias en conceptos, conectar la causa-efecto en cada área de decisión sobre la siguiente. El estudiante, por lo tanto, se mantiene motivado, puede experimentar varias estrategias, compararlas, equivocarse, y tener un mejor entendimiento del tema y sus relaciones con otras funciones empresariales al final de su introducción al aprendizaje.

En contexto, el jugador es asignado como director de operaciones de una fábrica de balones, teniendo a disposición para la toma de sus decisiones un cuadro de mando, acompañado de los historiales de las ventas, de los materiales y los productos disponibles, así como las operaciones efectuadas en turnos anteriores. Para orientar el aprendizaje según las necesidades del instructor, la simulación cuenta con 5 niveles de complejidad. Específicamente, el foco de este proyecto es el nivel 1. Para el primer nivel, se ha dado una (1) tienda, una (1) fábrica, y la posibilidad de conocer el historial de demanda real. Adicionalmente, otras condiciones son dadas, por ejemplo, no se incurre en costos de almacenaje ni tampoco nivel máximo permitido de materiales/productos en bodega, asimismo, el almacenaje de productos en tienda no genera ningún costo, un solo tipo de camión (el grande, con valor de \$1000 por trayecto), y lead time de materiales fijo.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO PRINCIPAL**

Construir un modelo de optimización turno a turno para la versión 1 del juego LOST que permita facilitar la toma de decisiones con un método de optimización debe optimizar el nivel de servicio en la siguiente manteniendo un nivel de servicio esperado.

### **OBJETIVOS SECUNDARIOS**

- Realizar el pronóstico de la demanda según un nivel de cubrimiento de la demanda específico, para cada tipo de producto
- Determinar el número de corridas de simulación necesarias para las variables mencionadas, dentro de la plataforma LOST
- Optimizar los recursos según las restricciones de presupuesto, capacidad de trabajo e inventario
  - Con las variables iniciales, alimentar el modelo de optimización
- Verificar la consistencia del modelo basado en un conjunto de indicadores de desempeño

## MARCO CONCEPTUAL

### LA GAMIFICACIÓN EN EL APRENDIZAJE

Diversos enfoques han sido propuestos y aplicados en el aula y en la investigación para las ciencias de la toma de decisiones, con la finalidad de complementar la teoría en los currículos de las carreras administrativas y de Ingeniería Industrial. La gamificación en las tomas de decisiones son una herramienta sumamente importante para que los alumnos se formen como expertos en resolver problemas. Rutner y Fawcett (2005) lo afirman diciendo "... Un buen currículo de SCM (Supply Chain Management) es un componente esencial para un programa educativo de Gran Calidad, además, el currículo debe producir solucionadores de problemas efectivos". Debido que el reto del aula del siglo XXI es producir solucionadores de problemas efectivos, los maestros en los últimos 50 años han venido desarrollando maneras mas novedosas que le permitan a los alumnos experimentar libremente con las decisiones de ingeniería, para que estos puedan probar y diseñar sus estrategias.

Entre las estrategias probadas en el aula, varios existen estudios donde se experimenta modificando la metodología de la enseñanza, mientras que otros realizan cambios la herramienta de simulación y experimentación.

Antes de introducir el aporte de la gamificación al aprendizaje logístico, hay que resaltar la diferencia entre un sistema de aprendizaje con elementos de juegos, y un juego serio. El termino juego serio se refiere a un juego con propósitos serios, es decir, introduce los elementos que componen un juego, como ser entretenido, pero orientado a una habilidad específica (Sheth, Bell, & Kaiser, 2012). Este tipo de aprendizaje interactivo contiene una limitación, y es que no todas las habilidades pueden ser aprendidas con un juego. Algunas requieren interacción más sólida entre participantes, asimismo hacer uso de herramientas que no pueden ser simplificadas, otras simplemente dependen de amplio entendimiento de conceptos abstractos o de matemáticas complejas. En estos casos un "juego serio" no es suficiente, debido que no puede abordarse de manera simplificada. Por contrario, existe otro tipo de experiencias con elementos de juego, llamada "sistema gamificado" (Sheth, Bell, & Kaiser, 2012). Este tipo de experiencia involucra las múltiples fases del aprendizaje -explicadas en el siguiente párrafo- de manera que mantenga al aprendiz motivado a seguir mejorando sus habilidades. Se recalca que no todas las veces involucran el diseño de un juego informático, cuyo propósito no es entretener, sino motivar la competición, desafiar conceptos previos, ofrecer una estructura al autoaprendizaje, y una perspectiva a temas relacionados y trayectorias no incluidos en el curso o entrenamiento. Un sistema gamificado es implícito en lugar de explícito, es decir, que se parte de conocimientos anteriormente dominados para construir nuevos conceptos y habilidades más complejas, en temáticas que de otra manera no pueden ser comprendidas.

Los entornos gamificado pueden ofrecer conocimiento y habilidades de diferentes maneras.

Primeramente, se debe mencionar que existen 4 fases del aprendizaje (Kolb, 1976):

- Experiencia concreta o estudios de casos
- Observación reflexiva o aprender del ejemplo
- Conceptualización abstracta o detectar patrones en la resolución de un problema
- Experiencia activa o aprender haciendo

Los elementos de un sistema gamificado son los siguientes:

- Un conjunto de reglas establecidas: Promueve la consistencia en el aprendizaje, con una estructura predecible.
- Metas y objetivos: Junto con las reglas, guía el aprendizaje según metas de aprendizaje. Una vez se cumple, se fijan nuevos objetivos, progresivamente más complicados
  - Outcomes y retroalimentación: Se traduce en un puntaje, avanzar a otro nivel, medallas, etc.
- Conflicto, competición, desafíos y oposición: Los jugadores compiten entre sí, la necesidad de autoestima y autorrealización mejora sus resultados.
  - Interacción: Además de competir, los alumnos cooperan entre sí.
- Representación e historia: El ser humano tiene inclinación por los relatos, la ficción y los mitos. Aporta una temática histórica para justificar el sistema. Un ejemplo puede ser la aplicación de contexto específico en el aprendizaje de idiomas, una historia medieval para la clase de química, o el tránsito vehicular para explicar el funcionamiento del sistema circulatorio.

Según Kolb (1984), el aprendizaje es un proceso mediante el cual las ideas se forman y se reforman mediante la experiencia, de tal manera que se creen nuevos conocimientos y se entiendan más profundamente los conceptos anteriores. Esto quiere decir que el conocimiento parte de ideas básicas y se forman ideas más complejas, para adquirirlas maestría en una rama de conocimiento es necesario aprender, desaprender y profundizar, así como poner en práctica lo aprendido. Para desarrollar habilidades duras en el aula es de utilidad diseñar estrategias que incluyan elementos característicos de un juego pueden despertar interés y fomentar la eficacia, y así transformar la motivación extrínseca en conocimiento extrínseco, en otras palabras, motivar al estudiante a la práctica (Figuerola, 2015).

#### **Planeación agregada.**

El objetivo de la planeación agregada es “traducir los pronósticos de la demanda en un esquema de planeación de los niveles de producción de una empresa” (Collier & Evans, 2016, p. 275). En otras palabras, esta busca evaluar los niveles de trabajo y/o factores de producción que son necesarios para satisfacer una estimación de la demanda. Esto se obtiene agrupando referencias familias o grupos funcionales con una unidad de medida común. Esta medida bien puede ser horas de trabajo, metros de tela, toneladas, metros cuadrados, litros, etc. En algunos casos, la unidad común es el presupuesto de producción.

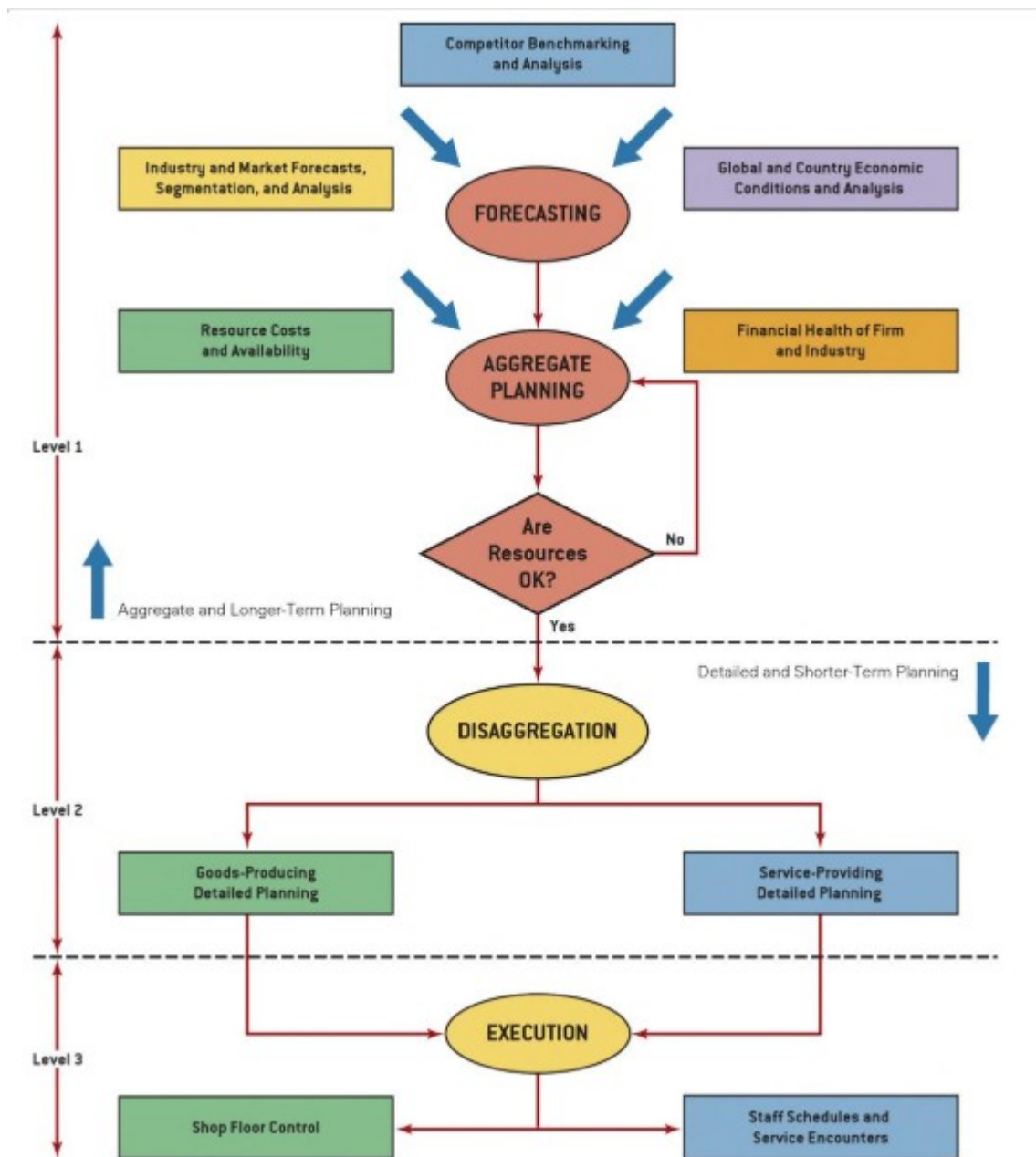


Ilustración 1 Collier, D., Evans, J. (2009) Marco de la planeación de la administración de recursos para bienes y servicios. [Diagrama]. Recuperado de Collier, D., Evans, J. (2009). Operations Management. Resource Management (pp 236-260). Mason, OH 45040, USA. Cengage Learning.

Uno de los preceptos que la planeación agregada de la demanda asume es demanda determinista y que se puede satisfacer en la totalidad, es decir, que el pronóstico en el periodo de planeación, el cual no asume el componente de error, puede cubrirse con los recursos disponibles.

Existen 3 tipos de planeación agregada: persecución, es decir mano de obra variable y ajuste inmediato a los requeridos de la fuerza de trabajo; nivelación o mano de obra constante, y programación lineal, es decir, el uso racional de estrategias mixtas, la mayoría de las veces asistido

por cálculo en computadoras. A pesar de las modernas herramientas de software modernos, se recomienda hacer uso de las herramientas manuales, debido que si no se tiene una idea de que es una solución no óptima, es decir, las técnicas de persecución y de nivelación, no es posible saber qué es una solución óptima (Nahmias, 2007).

### **Algunos indicadores de desempeño logístico.**

Entre el arsenal de herramientas de ingeniero de cadena de suministro, se encuentra la tasa de cubrimiento de la demanda. Esta representa la eficacia del plan de producción y de disponibilidad de materiales para cumplir los requerimientos del mercado. Dicha medición se representa en porcentaje de unidades realmente vendidas con respecto a las demandadas, por consiguiente, las ventas en este caso dependen adicionalmente de la disponibilidad de producto en tienda. Es posible determinar la tasa de cubrimiento como porcentaje del valor monetario entre las cantidades unitarias de producto disponibles y vendidas sobre las que se requieren.

Otros indicadores apropiados para el desempeño logístico son el nivel de servicio (como porcentaje de eventos de no faltantes) y el inventario promedio necesario de materiales, así como el error del pronóstico. No es necesario recurrir a ellos por el momento, debido a ser más apropiada la tasa de cubrimiento de la demanda. El error del pronóstico se revisa una vez se tienen los resultados reales, y se contrastan con los previstos. Una forma de medir el error del pronóstico es el error cuadrático medio, a partir del cual se obtiene la varianza del pronóstico.

También es necesario determinar una medida comparable con los errores de otros tipos de pronóstico, porque el ECM no tiene en cuenta el peso del error en comparación con la estimación de la demanda futura. Para ello se recurre al error porcentual medio absoluto (EMPA, o en ingles MAPE) (Collier & Evans, 2016).

**Tasa de satisfacción de la demanda.** La tasa de cumplimiento de la demanda se halla de la siguiente manera:

$$Fill Rate = \frac{Ventas\ totales\ en\ unidades}{Demanda\ total\ en\ unidades}$$

$$Fill\ Rate\ en\ \$ = \frac{Ventas\ en\ \$\ totales}{Demanda\ total\ en\ \$}$$

*Ecuación 1 Fill Rate en Unidades de producto y en Dinero.*

**Nivel de servicio de la demanda.** Para conocer el nivel de servicio de un producto, se hace lo siguiente:

$$NS = \frac{de\ eventos\ de\ agotados}{periodos\ totales\ al\ año}$$

*Ecuación 2 Nivel de Servicio como porcentaje de eventos de productos requeridos y agotados.*

**Utilización de las máquinas.** La utilización de las maquinas se calcula de la siguiente manera:

$$Utilizacion\ de\ recurso = \frac{Horas\ maquina\ utilizadas\ promedio}{Horas\ maquina\ disponibles}$$

*Ecuación 3 Porcentaje de Utilización de Recursos*

Algunos indicadores de desempeño financiero pueden ser de importancia. El resumen de ingresos y ganancia se utiliza para calcular la utilidad neta, que es tomada en cuenta luego de impuestos e intereses. La tasa de interés en el juego es de un 8%, pero solamente es tenida en cuenta para los retornos sobre los fondos que se poseen en el banco al principio del juego, que concuerda con el principio del año. Dicho lo anterior, no es posible acceder a préstamos en LOST, razón por la que es requerido un cuidadoso manejo de los fondos para la operación de la compañía. Las ganancias obtenidas por las ventas deben ser reinvertidas en suministros, envíos, operación de las máquinas, y cuando es requerido, el almacenamiento de productos terminados.

### Exhibit 3.1

#### The Scope of Business and Operations Performance Measurement

| Performance Measurement Category        | Typical Organizational-Level Performance Measures                                         | Typical Operational-Level Performance Measures                                                                                              |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Financial                               | Revenue and profit<br>Return on assets<br>Earnings per share                              | Labor and material costs<br>Cost of quality<br>Budget variance                                                                              |
| Customer and market                     | Customer satisfaction<br>Customer retention<br>Market share                               | Customer claims and complaints<br>Type of warranty failure/upset<br>Sales forecast accuracy                                                 |
| Quality                                 | Customer ratings of goods and services<br>Product recalls                                 | Defects/unit or errors/opportunity<br>Service representative courtesy                                                                       |
| Time                                    | Speed<br>Reliability                                                                      | Flow processing or cycle time<br>Percent of time meeting promised due date                                                                  |
| Flexibility                             | Design flexibility<br>Volume flexibility                                                  | Number of engineering changes<br>Assembly-line changeover time                                                                              |
| Innovation and learning                 | New product development rates<br>Employee satisfaction<br>Employee turnover               | Number of patent applications<br>Number of improvement suggestions implemented<br>Percent of workers trained on statistical process control |
| Productivity and operational efficiency | Labor productivity<br>Equipment utilization                                               | Manufacturing yield<br>Order fulfillment time                                                                                               |
| Sustainability                          | Environmental and regulatory compliance<br>Product-related litigation<br>Financial audits | Toxic waste discharge rate<br>Workplace safety violations<br>Percent of employees with emergency preparedness training                      |

Tabla 1 Algunos Indicadores de Desempeño de Operaciones. Recuperado de Administración de Operaciones 5ta Edición, Página 51. Copyright 2016 por Cengage Editores. Una compañía Cengage Learning.



## Pronóstico de demanda

### Comportamiento de la demanda

Existen varias aproximaciones a estimar la demanda futura, según su comportamiento. Si la demanda depende de cambios extrínsecos, es decir del ambiente o entorno económico, se afirma que la demanda es dependiente a una variable externa. En cambio, si su comportamiento puede pronosticarse de manera razonable basándose en los datos históricos de la demanda y el entorno no presenta cambios significantes, es preferible emplear métodos de pronósticos de series de tiempo. Los pronósticos de series de tiempo son mayormente empleados al corto plazo (Sipper, D., Bulfin, R., 1998, p. 122) y cuando se cuenta con el historial necesario de ventas, búsquedas, eventos de faltantes. El tercer tipo de pronóstico es el asociado a los nuevos mercados, es decir que tipo cualitativo. La principal característica es que no se puede inferir el comportamiento de la demanda en el futuro, ni el impacto de factores externos ni internos. En estos, ninguna aproximación matemática o probabilística tiene utilidad, y por ello se acude a la opinión de expertos, método Delphi, o investigación de mercados (Sipper, D., Bulfin, R., 1998, p. 108). Asimismo, todo pronóstico posee un componente de error, los componentes de un buen pronóstico son como mínimo un escenario optimista (máximo esperado de demanda), un escenario pesimista (mínimo esperado), y un valor intermedio. Según Chopra et. al (2008, p. 191), la finalidad del pronóstico no es ser exacto, en cambio es “respaldar las decisiones que se basan en él”. Por lo tanto, un buen método de pronóstico debe ser robusto y exacto que permita la correcta toma de decisiones y la locación de recursos de manera eficiente.

### Medidas de error del pronóstico

Nuevamente, los principales componentes de un buen pronóstico es un valor estimado, y una medida de error de estimación, que debe ser tan grande o pequeña como el carácter de la decisión. Además de respaldar la toma de decisiones, el análisis del error “para determinar si el método del pronóstico actual predice con precisión el componente sistemático de la demanda” (Chopra, Meindl, 2008, p. 203). Algunas mediciones del error del pronóstico, según Chase, Jacobs et al. (2009) son las siguientes:

- MFE (o error promedio del pronóstico en español), es el promedio de los errores del pronóstico, tomando en cuenta valores negativos
  - $$MFE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)}{n}$$
    - $A_t$  = Demanda real en el periodo t
    - $F_t$  = Pronostico de la demanda en t
    - n = Número de periodos del promedio (días, semanas, horas)
- MAD (desviación media absoluta, abreviado en el idioma inglés), como su nombre lo indica, es el promedio de los errores absolutos del pronóstico en comparación con los

resultados de la demanda real. El error absoluto, como en el MFE, es calculado como

$$|(A_t - F_t)| \text{ o } A_t - F_t \vee$$

- MAPE (desviación absoluta ponderada media), es el valor porcentual de los errores absolutos, como porcentaje de la demanda o en términos prácticos, las ventas. El calculo es como se muestra a continuación:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} * \left( \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{d_t} * 100 \right)$$

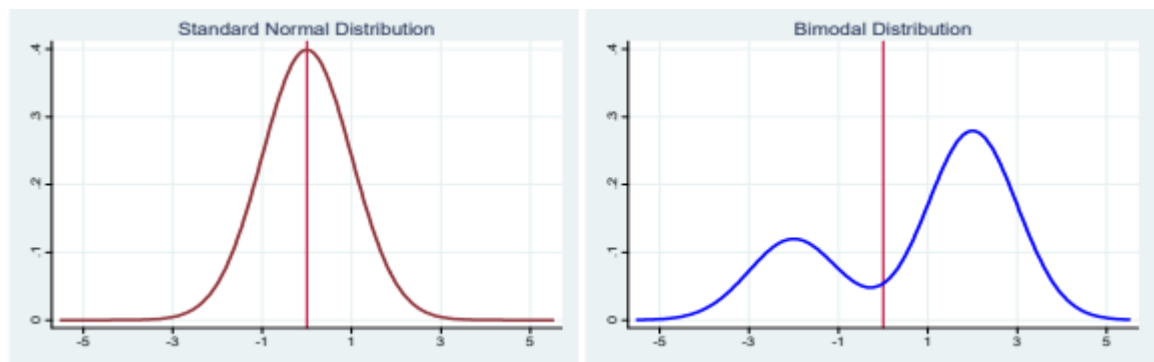
- La señal de seguimiento o señal de rastreo es similar a las cartas de control estadístico en la ingeniería de procesos y análisis de calidad, donde se busca analizar si el proceso (pronóstico) se ha salido de control, para aplicar correcciones en el proceso, o en análisis de la demanda, cambiar los parámetros o los datos de entrada del modelo. La señal de seguimiento se calcula a partir del error promedio, MFE y el MAD:
  - $\text{Señal de seguimiento} = (n * \text{MFE}) / \text{MAD}$

Asimismo, el análisis del error es casi tan importante como el pronóstico, porque sirve para evaluar su robustez a futuro, de ser necesario, plantear futuros cambios en éste. El mercado cambia, el comercio internacional cambia, la economía cambia, la oferta de la compañía cambia, un buen pronóstico debe reaccionar y reformarse cuando estas variaciones así lo exigen. De igual manera, un plan de contingencia de stockouts o sobreoferta debe tener en cuenta los errores estimados del pronóstico.

### **Métodos gráficos para determinar normalidad**

Entre los métodos gráficos que ayudan a determinar si una población posee normalidad estadística se encuentra:

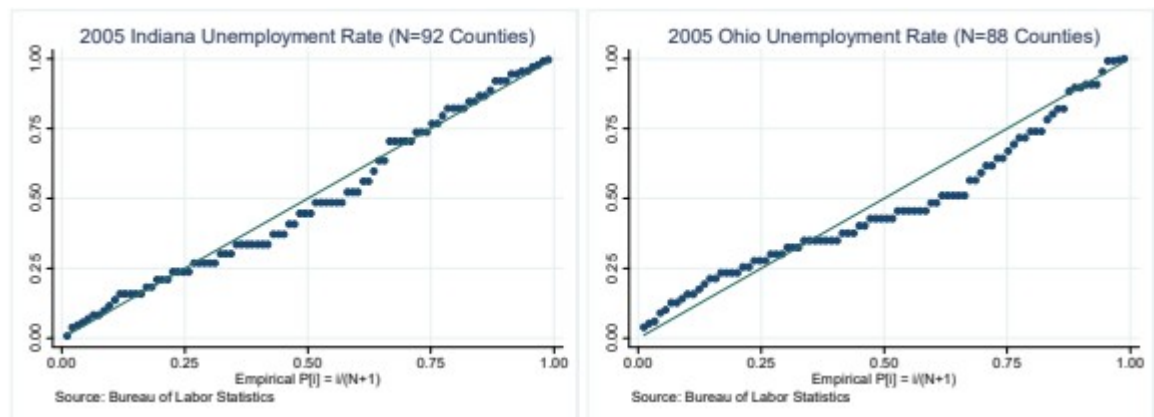
**Histogramas de frecuencias.** El histograma de frecuencias es una herramienta gráfica adecuada para hallar si la distribución de los residuos se asemeja a la campana de gauss, es decir, “comprobar la hipótesis de normalidad” (Riera Victoria et al., 2005). También es empleado para visualizar si estos errores poseen una distribución bimodal, ósea dos campañas. En la siguiente imagen se puede observar una comparación entre una distribución normal estándar y una distribución bimodal. Se debe tomar como un ejemplo teórico, debido que la diferencia entre ambas no siempre es clara. Para ello también existe técnicas de bondad de ajuste, que brindan algo más de objetividad que la perspectiva de una gráfica.



*Ilustración 2 Distribución normal y normal estándar*

En un histograma también puede evaluarse el sesgo de la campana, es decir si los datos se agrupan más en un extremo, o en ambos, dando la forma de una campana invertida. No asemejar una campana puede brindar pistas de no normalidad, de refutarse requiere el uso de estadística no paramétrica. Emplear un proceso no paramétrico requiere por lo menos 4 ciclos, o 48 periodos – divididos en meses- para poder ser fiables (48 meses equivalen a 4 años en ciclos de un año). La estadística no paramétrica beneficia a historiales de datos más grandes, siempre que las condiciones del mercado (u otro tipo de proceso) se mantengan, es decir, que los periodos anteriores puedan para predecir la demanda futura.

**Gráfico QQ: linealidad con respecto a una distribución Gaussiana.** Junto con el gráfico P-P, comparan la distribución real con una distribución teórica (Riera Victoria et al., 2005). La diferencia es que el gráfico P-P compara el conjunto de porciones de la población con la probabilidad de una distribución específica, en este caso la de Gauss, mientras que el gráfico Q-Q realiza la misma comparación, pero utilizando cuantiles de la población, es decir, con los valores de las observaciones. Ambos métodos, como se puede observar en la imagen, son linealizados en un gráfico de dispersión, y comparados con una línea recta. Una técnica fiable es centrarse en los extremos. observar si existen desviaciones entre los datos y la línea recta. La línea recta representa una campana de Gauss perfecta.



*Ilustración 3 Ejemplo de Gráfico P-P - Tasa de desempleo de Indiana y Ohio del año 2005*

### **Métodos de bondad de ajuste para determinar la normalidad**

Los gráficos anteriores se pueden complementar con métodos numéricos y pruebas de hipótesis de bondad de ajuste. Un ejemplo de ellos son la prueba de Shapiro Wilk, prueba de Durbin Watson, y la prueba de D'Angostino. Existen otras como la prueba de Anderson Darling y la prueba de Kolmogorov – Smirnov, que hacen uso de una función de distribución empírica en lugar de una distribución continua de probabilidad.

**Prueba de Shapiro Wilk.** La prueba de Shapiro Wilk es la más fuerte de todas, por esta razón su uso es exclusivo para refutar la semejanza a una distribución normal. También conocido como contraste de Shapiro-Wilk, se desempeña adecuadamente cuando el tamaño de muestra es pequeño, es decir, menor de 50 observaciones (González Álvarez et al., 2006, pag. 4). Junto con los gráficos QQ, son la herramienta más robusta para esta distribución.

**Prueba de Durbin Watson.** Es una prueba de independencia de residuos. En una serie de tiempos, la suma (o el promedio de estos) de los errores debe ser cercano a cero. Valores demasiado altos o negativos significan que el pronóstico está sesgado. Comúnmente, en una serie de tiempo existe una correlación serial, al contrario de los métodos causales como la regresión, en donde los errores deben ser independientes.

**Prueba de D'Angostino con base en la curtosis y simetría.** Se basa en las medidas de asimetría y curtosis. El alcance de esta prueba estadística es rechazar la existencia de curtosis y asimetría. En lugar de comparar la población con la distribución normal en sí, se compara con las dos características anteriores de la campana de Gauss.

### **Métodos de serie de tiempo para el pronóstico de la demanda**

Para poder enumerar los métodos de series de tiempo más conocidos, primero es necesario conocer el comportamiento o patrón de la demanda. Principalmente existen x patrones de demanda: proceso constante, proceso tendencial, proceso estacional/cíclico, y proceso de demanda errática. Dado que se basan en información interna de la compañía, normalmente se les denomina pronósticos intrínsecos (Chapman, S. N., 2006, p. 23). Los pronósticos de serie de tiempo son la categoría predominante para decisiones de producción y/o aprovisionamiento al corto plazo, siempre que el comportamiento de las ventas pueda describir la demanda futura. En la práctica, si un pronóstico se sale de control estadístico, es recomendable incluir solamente el historial de ventas más reciente, a partir del último cambio significativo en los patrones de consumo (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

Un proceso estacionario presenta las siguientes características: Media y desviación constante; alternancia entre valores positivos y negativos de manera prolongada. En un histograma, u otra medida de representar la distribución de una población, toma la forma de una campana de Gauss.

Expresado matemáticamente, se puede representar en curtosis (concentración de valores alrededor de la zona central) y asimetría (desviación de la campana de gauss de la distribución).

Otra característica de un proceso constante es que las estimaciones de demanda futura son independientes del periodo a pronosticar (Sipper & Bulfin, 1998, p. 123).

**Métodos de promedio móvil.** En lugar de realizar un promedio de la demanda de todos los periodos, se realiza el pronóstico de los últimos N valores, por tal razón se le da el nombre de *Promedio Móvil Simple*. Como sólo usa los datos recientes para el pronóstico, este método de estimación responde a los cambios más recientes sin incurrir en la volatilidad que puede generar si se toma la última observación (Sipper & Bulfin, 1998, pág. 124). Los promedios móviles son apropiados para procesos constantes. Mientras más grande es N, se ignora en mayor medida la fluctuación aleatoria de los errores, mientras que un N pequeño hace que el pronóstico responda más rápido a los cambios de la demanda. La fórmula es la siguiente para N últimos periodos:

$$F_t = \frac{\sum_{i=t-N+1}^t d_i}{N}$$

**Métodos de suavización exponencial.** Es el promedio matemático de los últimos periodos de la demanda real. Cuando a los promedios móviles se le da un peso igualitario a las últimas N observaciones, en la suavización exponencial se da mayor importancia a las últimas observaciones. Puede expresarse con la formula a continuación:

$$F_t = D_{t-1} * \alpha + (1 - \alpha) * F_{t-1}$$

**Metodos compuestos de suavización exponencial/promedios móviles.** Los métodos de estimación de procesos estocásticos anteriormente mencionados también pueden ser de carácter compuestos, es decir, poseer 2 o mas parámetros (ejemplo, asignando pesos específicos para las N últimas demandas en promedios móviles ponderados, nombrando un porcentaje para alfa y otro para beta para suavización exponencial dobles).

### Cuando la demanda presenta comportamiento estacional

**Pronósticos de descomposición multiplicativa.** También conocido como modelo de Winter, estima la demanda separando sus componentes principales, que son la tendencia, valor constante y estacionalidad. Ideal si se cuenta con pocos valores históricos y cuando no se hace necesario un método sofisticado como los obtenidos con el método de Box-Jenkins, como los modelos ARIMA. Según Chopra & Meindl (2008, p.208), primero “se desestacionaliza la demanda, luego de esto, se estima el nivel inicial y la tendencia al realizar una regresión en la demanda desestacionalizado y el tiempo transcurrido”. Con eso son estimados los valores estacionales, y luego estos son multiplicados por el factor de tendencia, dando como resultado el pronóstico de la demanda. Resumidamente, se separan los componentes principales de la demanda histórica y se estiman individualmente, luego de esto se reintegran para generar el pronóstico.

## FORMULACIÓN DEL MODELO

### Definición del sistema

La plataforma LOST consta de 4 niveles de toma de decisiones. El primero es el número de ítems de cada producto a fabricar, seguido de la mezcla de materiales, luego las ordenes de producto. Lo anterior es solamente en la primera página, una vez se hace clic en “End turn”, se procede a la siguiente página, mediante la cual se puede observar el resultado de ventas, así como un resumen de gastos e ingresos (antes de tomar la decisión de transporte). Pasando a la siguiente página, se asigna el número de unidades a transportar a tiendas. Para el nivel 1, las tiendas y la bodega cuentan con almacenamiento ilimitado.

Las decisiones no se toman a la ligera en la plataforma, porque para facilitar la toma de éstas se cuenta con un grupo de herramientas para la ayuda de toma de decisiones, como la tabla de precios de venta, de costos de producción, de costos de aprovisionamiento y calidad de los

productos. Otra utilidad es el resumen histórico de las ventas, los gastos, el flujo de dinero, pedidos, etc. Lo anterior sirve significativamente detectar inconsistencias en la hoja de cálculo, como lo es el error de digitación. Como se ha mencionado, la última herramienta de ayuda de la toma de decisiones es la hoja de cálculo destinada a la toma de las 4 decisiones de la plataforma, significativamente, es la más importante de las herramientas de ayuda en la plataforma, adicionalmente puede ser modificada para amoldarse a los niveles más avanzados de la plataforma, e incluso, puede ser programada mediante el uso de macros y código de *Visual Basic*.

A pesar de ser la más útil herramienta en la toma de decisiones en el juego, ésta necesita de datos, que se proveen con los resultados de cada turno. Además, para garantizar la consistencia de resultados, debe compararse los datos de dinero, de flujo de materiales, historial de decisiones, entre otros, con los del juego, y en caso de que exista un error en la hoja de cálculo, modificarlo.

### **Preparación de la hoja de cálculo.**

Antes de empezar, se debe seguir 3 pasos previos: Fijar objetivo de cumplimiento de demanda, copiar datos de historial de demanda, por último, actualizar la cantidad inicial de materiales. Una vez terminado lo anterior, se puede continuar el juego.

***Establecer el plan agregado de producción y fijar objetivo de abastecimiento.*** La planeación agregada se encarga del manejo de los recursos disponibles, como lo son el equipo, los materiales, las instalaciones, los talentos, etc. En la mayoría de los casos se tiene un objetivo presente, como lo son las ganancias, los costos de operación, minimización stockouts, la satisfacción del cliente, o en el caso de entidades sin fines de lucro u organismos gubernamentales, maximizar el beneficio de las partes interesadas, etc.

***Copiar los datos de historial de demanda.*** Los datos son descargados de LOST como archivo de Excel separado con comas, y es transformado y luego pegado en la pestaña pronóstico en el libro de Excel. Para recalcular el plan de aprovisionamiento, se deben habilitar las macros, en el menú Archivo > Información > Advertencia de seguridad > Habilitar contenido.

***Actualizar los materiales al inicio del juego.*** Los materiales deben ser actualizados al inicio del juego, en las celdas H94:P94. Ello se debe a que, en cada juego, se dispone de una cantidad diferente de materiales. Debido a lo anteriormente mencionado, las cantidades para cada proveedor provistas en la plantilla no son de utilidad si estos valores no son debidamente corregidos.

### **Generar un pronóstico de la demanda**

En el caso de la plataforma LOST, las condiciones del mercado se mantienen. Para la elección de los métodos de pronósticos se considera los que brinden el mínimo error y la menor desviación de este reflejada en el indicador de la señal de rastreo. Por consiguiente, para los productos de demandas estacionarias utilizan los métodos de promedio aritmético y del promedio móvil simple, mientras para una demanda cíclica o estacional, se requiere un pronóstico de descomposición estadística.

Además de la falta de datos, en caso de los productos de demanda estacionaria estudiados no presentan disminuciones de error del pronóstico significativas entre los pronósticos de media aritmética con pronósticos de promedios móviles. Para la utilización de los métodos de suavización exponencial, la alta reacción a la volatilidad resulta contraproducente, en razón que la demanda no experimenta cambios en el comportamiento, es decir, no contiene un patrón de tendencia ni un ciclo repetido, sino que oscila en torno a un punto de referencia. En la formulación del modelo se especifica el procedimiento, así como los resultados del análisis del pronóstico.

En cambio, para los productos 3, 6, 8 experimentan cambios en el consumo de manera cíclica, es decir, que puede pronosticarse según la estación o periodo del año. Para el caso 1, las demandas estacionarias se utilizan pronósticos de media aritmética, por la falta de desventajas significativas de este tipo de métodos de pronosticar en comparación con otros métodos de demanda estacionarias (ojo, no estacionales, eso es otro tema), es decir, los métodos de suavización o promedios móviles. Mientras que en caso de comportamiento estacional (cíclica), el método predilecto de estimación es por descomposición multiplicativa de Winter. El método de pronóstico Holt-Winters (diferente al método Winter de descomposición multiplicativa), por el contrario, no puede ser aplicado correctamente porque el número de observaciones históricas es insuficiente. Para el modelo de pronóstico mencionado debe existir historial de demanda/ventas de como mínimo 4 ciclos estacionales, LOST solamente provee 2 de ellos. Es de recordar que se debe realizar un pronóstico al inicio del juego, cuando el historial de la demanda sea diferente. Solamente se copian las columnas iniciales de los primeros 104 periodos, de este modo de actualizan los pronósticos.

Primeramente, se tiene 2 tablas, llamadas “pronostico” y “desviación”. Para la tabla “pronostico”, se calcula las medias de la media en el tiempo para las 26 semanas. En pronósticos la demanda estacionaria, solamente se calcula el promedio del historial de la demanda, en desviación se calcula la desviación estándar basada en la suma de cuadrados del error del pronóstico. La demanda con cambios por estaciones abajo está el método de descomposición multiplicativa, que aplica para la demanda 3, 6 y 8. El procedimiento no requiere actualización de los datos de manera manual, ni tampoco el uso de macros. Están sombreados con color amarillo los valores de cada semana, que van en la tabla “pronósticos”. Para la desviación, celdas únicas, también sombreadas con color amarillo a la derecha de las tablas, están fijadas para todas las semanas en su respectiva tabla. Nuevamente, para ambas tablas no es necesario copiar los valores. Estos valores también se encuentran ubicados en la hoja llamada “producción”.

#### **Planeación agregada.**

En el juego de LOST capacidad de la planta es una de las principales limitaciones para maximizar los resultados finales y cubrir la demanda.

Con base en uno de los historiales de producción, y con un objetivo de satisfacción de la demanda de 90%, el pronóstico es el siguiente:

|    | Producto 1 | Producto 2 | Producto 3 | Producto 4 | Producto 5 | Producto 6 | Producto 7 | Producto 8 |
|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1  | 214        | 239        | 346        | 170        | 116        | 225        | 79         | 204        |
| 2  | 214        | 239        | 347        | 170        | 116        | 214        | 79         | 245        |
| 3  | 214        | 239        | 280        | 170        | 116        | 201        | 79         | 234        |
| 4  | 214        | 239        | 233        | 170        | 116        | 191        | 79         | 295        |
| 5  | 214        | 239        | 197        | 170        | 116        | 187        | 79         | 199        |
| 6  | 214        | 239        | 153        | 170        | 116        | 186        | 79         | 170        |
| 7  | 214        | 239        | 139        | 170        | 116        | 192        | 79         | 146        |
| 8  | 214        | 239        | 99         | 170        | 116        | 194        | 79         | 168        |
| 9  | 214        | 239        | 108        | 170        | 116        | 211        | 79         | 158        |
| 10 | 214        | 239        | 116        | 170        | 116        | 215        | 79         | 165        |
| 11 | 214        | 239        | 140        | 170        | 116        | 223        | 79         | 128        |
| 12 | 214        | 239        | 158        | 170        | 116        | 233        | 79         | 144        |
| 13 | 214        | 239        | 164        | 170        | 116        | 228        | 79         | 177        |
| 14 | 214        | 239        | 251        | 170        | 116        | 229        | 79         | 198        |
| 15 | 214        | 239        | 280        | 170        | 116        | 208        | 79         | 217        |
| 16 | 214        | 239        | 321        | 170        | 116        | 200        | 79         | 221        |
| 17 | 214        | 239        | 391        | 170        | 116        | 189        | 79         | 278        |
| 18 | 214        | 239        | 345        | 170        | 116        | 188        | 79         | 302        |
| 19 | 214        | 239        | 446        | 170        | 116        | 188        | 79         | 235        |
| 20 | 214        | 239        | 448        | 170        | 116        | 191        | 79         | 320        |
| 21 | 214        | 239        | 430        | 170        | 116        | 199        | 79         | 318        |
| 22 | 214        | 239        | 424        | 170        | 116        | 209        | 79         | 366        |
| 23 | 214        | 239        | 411        | 170        | 116        | 217        | 79         | 272        |
| 24 | 214        | 239        | 453        | 170        | 116        | 223        | 79         | 389        |
| 25 | 214        | 239        | 413        | 170        | 116        | 223        | 79         | 264        |
| 26 | 214        | 239        | 371        | 170        | 116        | 232        | 79         | 363        |
| 27 | 214        | 239        | 0          | 170        | 116        | 225        | 79         | 0          |

*Tabla 2 Pronóstico de la demanda de uno de los juegos*

| Semana | Inventario inicial expresado en minutos de la maquina 1 | Inventario inicial expresado en minutos de la maquina 2 | Inventario inicial expresado en minutos de la maquina 3 | Minutos de maquina disponibles en la semana | Tiempo de maquina necesario para cumplir con los requerimientos expresado en minutos de la maquina 1 | Tiempo de maquina necesario para cumplir con los requerimientos expresado en minutos de la maquina 2 | Tiempo de maquina necesario para cumplir con los requerimientos expresado en minutos de la maquina 3 |
|--------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | 8488                                                    | 8308                                                    | 8636                                                    | 4800                                        | 14615,71961                                                                                          | 16982,14285                                                                                          | 14906,97569                                                                                          |
| 2      | 0                                                       | 0                                                       | 0                                                       | 4800                                        | 13114,35648                                                                                          | 14070,38679                                                                                          | 11646,38223                                                                                          |
| 3      | 0                                                       | 0                                                       | 0                                                       | 4800                                        | 9861,504736                                                                                          | 11244,05688                                                                                          | 9343,898334                                                                                          |
| 4      | 0                                                       | 0                                                       | 0                                                       | 4800                                        | 9576,900179                                                                                          | 10670,12528                                                                                          | 9318,302825                                                                                          |
| 5      | 0                                                       | 0                                                       | 0                                                       | 4800                                        | 8711,472624                                                                                          | 8910,939153                                                                                          | 7826,216797                                                                                          |
| 6      | 0                                                       | 0                                                       | 0                                                       | 4800                                        | 7050,905149                                                                                          | 4704,257976                                                                                          | 5389,147059                                                                                          |
| 7      | 0                                                       | 95,7420245                                              | 0                                                       | 4800                                        | 6599,23887                                                                                           | 4077,281307                                                                                          | 5072,208112                                                                                          |
| 8      | 0                                                       | 818,4607172                                             | 0                                                       | 4800                                        | 6093,393763                                                                                          | 3258,45138                                                                                           | 4406,19696                                                                                           |
| 9      | 0                                                       | 2360,009337                                             | 393,80304                                               | 4800                                        | 5882,229222                                                                                          | 2773,402168                                                                                          | 4106,803249                                                                                          |
| 10     | 0                                                       | 4386,60717                                              | 1086,999791                                             | 4800                                        | 5863,6215                                                                                            | 2717,579                                                                                             | 4013,764636                                                                                          |
| 11     | 0                                                       | 4800                                                    | 1873,235155                                             | 4800                                        | 5870,204475                                                                                          | 2737,327926                                                                                          | 4046,679513                                                                                          |
| 12     | 0                                                       | 4800                                                    | 2626,555643                                             | 4800                                        | 5905,846025                                                                                          | 2844,252578                                                                                          | 4224,887265                                                                                          |
| 13     | 0                                                       | 4800                                                    | 3201,668377                                             | 4800                                        | 5857,132278                                                                                          | 2698,111337                                                                                          | 3981,31853                                                                                           |
| 14     | 0                                                       | 4800                                                    | 4020,349847                                             | 4800                                        | 5918,617747                                                                                          | 2882,567743                                                                                          | 4288,745874                                                                                          |
| 15     | 0                                                       | 4800                                                    | 4531,603973                                             | 4800                                        | 5927,07997                                                                                           | 2907,954411                                                                                          | 4331,056987                                                                                          |
| 16     | 0                                                       | 4800                                                    | 4800                                                    | 4800                                        | 5937,368829                                                                                          | 2938,82099                                                                                           | 4314,558744                                                                                          |
| 17     | 0                                                       | 4800                                                    | 4800                                                    | 4800                                        | 6295,343857                                                                                          | 3744,758915                                                                                          | 5097,166772                                                                                          |
| 18     | 0                                                       | 4800                                                    | 4502,833228                                             | 4800                                        | 6551,451501                                                                                          | 4191,589207                                                                                          | 5520,391286                                                                                          |
| 19     | 0                                                       | 4800                                                    | 3782,441942                                             | 4800                                        | 7058,849907                                                                                          | 5127,8321                                                                                            | 6494,843783                                                                                          |
| 20     | 0                                                       | 4472,1679                                               | 2087,598159                                             | 4800                                        | 8036,465659                                                                                          | 7295,783439                                                                                          | 9343,200097                                                                                          |
| 21     | 0                                                       | 1976,384461                                             | 0                                                       | 4800                                        | 7959,878022                                                                                          | 6432,253773                                                                                          | 7270,217233                                                                                          |
| 22     | 0                                                       | 344,1306882                                             | 0                                                       | 4800                                        | 10942,92202                                                                                          | 14459,20861                                                                                          | 14078,89029                                                                                          |
| 23     | 0                                                       | 0                                                       | 0                                                       | 4800                                        | 11230,01161                                                                                          | 14865,10998                                                                                          | 14251,35266                                                                                          |
| 24     | 0                                                       | 0                                                       | 0                                                       | 4800                                        | 11474,02768                                                                                          | 15534,57925                                                                                          | 14753,10828                                                                                          |
| 25     | 0                                                       | 0                                                       | 0                                                       | 4800                                        | 9010,186752                                                                                          | 12377,61977                                                                                          | 11515,23731                                                                                          |
| 26     | 0                                                       | 0                                                       | 0                                                       | 4800                                        | 484,5941387                                                                                          | 1195,734821                                                                                          | 782,6779929                                                                                          |

Tabla 3 Plan agregado de producción: parte 1

| Producto requerido - inventario inicio de la semana en tiempo de maquina 1 | Producto requerido - inventario inicio de la semana en tiempo de maquina 2 | Producto requerido - inventario inicio de la semana en tiempo de maquina 3 | Tiempo de maquina 1 empleado en el plan agregado | Tiempo de maquina 2 empleado en el plan agregado | Tiempo de maquina 3 empleado en el plan agregado | Inventario final expresado en minutos de la maquina 1 | Inventario final expresado en minutos de la maquina 2 | Inventario final expresado en minutos de la maquina 3 |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 6127,719609                                                                | 8674,142852                                                                | 6270,975689                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 0                                                     | 0                                                     |
| 13114,35648                                                                | 14070,38679                                                                | 11646,38223                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 0                                                     | 0                                                     |
| 9861,504736                                                                | 11244,05688                                                                | 9343,898334                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 0                                                     | 0                                                     |
| 9576,900179                                                                | 10670,12528                                                                | 9318,302825                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 0                                                     | 0                                                     |
| 8711,472624                                                                | 8910,939153                                                                | 7826,216797                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 0                                                     | 0                                                     |
| 7050,905149                                                                | 4704,257976                                                                | 5389,147059                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 95,7420245                                            | 0                                                     |
| 6599,23887                                                                 | 3981,539283                                                                | 5072,208112                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 818,4607172                                           | 0                                                     |
| 6093,393763                                                                | 2439,990663                                                                | 4406,19696                                                                 | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 2360,009337                                           | 393,80304                                             |
| 5882,229222                                                                | 413,3928301                                                                | 3713,000209                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 4386,60717                                            | 1086,999791                                           |
| 5863,6215                                                                  | 0                                                                          | 2926,764845                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 4800                                                  | 1873,235155                                           |
| 5870,204475                                                                | 0                                                                          | 2173,444357                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 4800                                                  | 2626,555643                                           |
| 5905,846025                                                                | 0                                                                          | 1598,331623                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 4800                                                  | 3201,668377                                           |
| 5857,132278                                                                | 0                                                                          | 779,6501528                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 4800                                                  | 4020,349847                                           |
| 5918,617747                                                                | 0                                                                          | 268,3960269                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 4800                                                  | 4531,603973                                           |
| 5927,07997                                                                 | 0                                                                          | 0                                                                          | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 4800                                                  | 4800                                                  |
| 5937,368829                                                                | 0                                                                          | 0                                                                          | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 4800                                                  | 4800                                                  |
| 6295,343857                                                                | 0                                                                          | 297,1667725                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 4800                                                  | 4502,833228                                           |
| 6551,451501                                                                | 0                                                                          | 1017,558058                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 4800                                                  | 3782,441942                                           |
| 7058,849907                                                                | 327,8320996                                                                | 2712,401841                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 4472,1679                                             | 2087,598159                                           |
| 8036,465659                                                                | 2823,615539                                                                | 7255,601938                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 1976,384461                                           | 0                                                     |
| 7959,878022                                                                | 4455,869312                                                                | 7270,217233                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 344,1306882                                           | 0                                                     |
| 10942,92202                                                                | 14115,07792                                                                | 14078,89029                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 0                                                     | 0                                                     |
| 11230,01161                                                                | 14865,10998                                                                | 14251,35266                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 0                                                     | 0                                                     |
| 11474,02768                                                                | 15534,57925                                                                | 14753,10828                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 0                                                     | 0                                                     |
| 9010,186752                                                                | 12377,61977                                                                | 11515,23731                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 0                                                     | 0                                                     | 0                                                     |
| 484,5941387                                                                | 1195,734821                                                                | 782,6779929                                                                | 4800                                             | 4800                                             | 4800                                             | 4315,4059                                             | 3604,265179                                           | 4017,322007                                           |

Tabla 4 Plan agregado de producción: parte 2

| Faltante<br>esperado<br>expresado en<br>tiempo de<br>maquina 1 | Faltante<br>esperado<br>expresado<br>en tiempo<br>de maquina<br>2 | Faltante<br>esperado<br>expresado<br>en tiempo<br>de maquina<br>3 | Costo total de<br>la maquina 1<br>por turno | Costo total de<br>la maquina 2<br>por turno | Costo total de la<br>maquina 3 por<br>turno |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0                                                              | 366,142852                                                        | 0                                                                 | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 13114,35648                                                    | 14070,3868                                                        | 11646,3822                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 9861,504736                                                    | 11244,0569                                                        | 9343,89833                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 9576,900179                                                    | 10670,1253                                                        | 9318,30282                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 8711,472624                                                    | 8910,93915                                                        | 7826,2168                                                         | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 7050,905149                                                    | 4704,25798                                                        | 5389,14706                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 6599,23887                                                     | 3885,79726                                                        | 5072,20811                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 6093,393763                                                    | 1621,52995                                                        | 4406,19696                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 5882,229222                                                    | 0                                                                 | 3319,19717                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 5863,6215                                                      | 0                                                                 | 1839,76505                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 5870,204475                                                    | 0                                                                 | 300,209202                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 5905,846025                                                    | 0                                                                 | 0                                                                 | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 5857,132278                                                    | 0                                                                 | 0                                                                 | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 5918,617747                                                    | 0                                                                 | 0                                                                 | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 5927,07997                                                     | 0                                                                 | 0                                                                 | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 5937,368829                                                    | 0                                                                 | 0                                                                 | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 6295,343857                                                    | 0                                                                 | 0                                                                 | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 6551,451501                                                    | 0                                                                 | 0                                                                 | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 7058,849907                                                    | 0                                                                 | 0                                                                 | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 8036,465659                                                    | 0                                                                 | 5168,00378                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 7959,878022                                                    | 2479,48485                                                        | 7270,21723                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 10942,92202                                                    | 13770,9472                                                        | 14078,8903                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 11230,01161                                                    | 14865,11                                                          | 14251,3527                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 11474,02768                                                    | 15534,5792                                                        | 14753,1083                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 9010,186752                                                    | 12377,6198                                                        | 11515,2373                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| 484,5941387                                                    | 1195,73482                                                        | 782,677993                                                        | 9.600,00 \$                                 | 12.000,00 \$                                | 16.800,00 \$                                |
| Costo total                                                    |                                                                   |                                                                   | 249.600,00 \$                               | 312.000,00 \$                               | 436.800,00 \$                               |

Tabla 5 Plan agregado de producción: parte 3

Como se observa en las tablas del plan de producción, la capacidad actual no alcanza a satisfacer completamente la demanda fijada para un índice de satisfacción del 90%. Para las variaciones en los requerimientos de producto presentes, cubrir un 90% de la demanda esperada para el producto más rentable no es posible con la capacidad actual. Se construye el plan agregado teniendo como base la demanda determinística, capacidad constante y con la posibilidad de productos agotados.

#### Fijar objetivo de tasa de cumplimiento

Teniendo como base las utilidades totales del producto más rentable, es necesario hallar un nivel de cumplimiento que aumente el resultado final, y genere consistencia en cada ensayo, luego se validan los resultados en el juego LOST. Si este valor es muy alto (tasa de cumplimiento), consecuentemente los requerimientos de producción haciendo uso del método cuantitativo serán mayores para todos los productos, de forma que se produce menos de las referencias menos rentables, y se acumulan cantidades innecesarias de productos que brindan mayores ganancias. Lo9 anteriormente mencionado conduce a agotamientos de las referencias que aportan menos al margen. En caso de suceder lo contrario, es decir, un objetivo de nivel de servicio es demasiado bajo, se produce en mayores cantidades los productos de menor retorno comercial, y aunque se cumpla mayor parte de la demanda, las ganancias totales al final de la simulación pueden ser menores, adicionalmente, es posible que se disponga de menor capital de trabajo a lo largo del año. Dicho lo anterior, el objetivo debe no ser demasiado alto ni ser demasiado bajo. Otro factor para tener en cuenta es la capacidad limitada, que no permite producir en cargas de trabajo superiores a 4800 minutos por semana. El objetivo de nivel de satisfacción de la demanda sirve para hallar los requerimientos de producción máximos para cada producto en cada periodo. Por ser un valor máximo, sirve solamente para acotar el plan de producción.

Como ya fue mencionado, la tasa de cumplimiento más apropiada debe brindar resultados consistentes, económica y logísticamente. La consistencia en resultados está definida por proximidad en el monto de capital y efectivo final al final del juego. Adicionalmente, es preferible que el objetivo de cumplimiento sea satisfecho, es decir, que el resultante a final de año logre cumplir la meta fijada para cada producto, o gran parte de ésta.

Tomando como variables:

$NS$  \* Tasa de cumplimiento objetivo del producto más rentable

$U$  \* Aporte a la utilidad total anual del producto más rentable .

$NS(i)$  = Tasa de cumplimiento objetivo del producto  $i$

$U(i)$  = Aporte a la utilidad total anual del producto  $i$

El nivel de cumplimiento es el siguiente:

$$NS(i) = 1 - \frac{(1 - NS^{\square}) * U^{\square}}{U(i)}$$

*Ecuación 4 Cálculo del nivel de servicio en la hoja de cálculo. Se toma como base el producto más rentable, de modo que se optimicen los recursos para aumentar la utilidad, cubriendo en mayor medida las referencias más rentables.*

### **Control de inventario y plan de aprovisionamiento.**

Se divide en 3 partes. La primera consta de la hoja “requerimientos mat”. A partir de los pronósticos de las demandas, se hallan los requerimientos de materiales (véase mezcla producto y sus restricciones), para un lapso de 26 semanas. A la izquierda se encuentra una tabla que contiene las varianzas para en cada periodo (demandas producto). Abajo esta una fila llamada “Suma de varianzas”, que sirve para el cálculo de la desviación por año. La demanda al año es simplemente la suma de las demandas semanales. Como guía, debajo de la demanda anual se encuentran los coeficientes de variación “Cv” (coeficiente de variación), que reflejan que la demanda por año es menos variable que la demanda en periodos más cortos.

Mas abajo se encuentran los requerimientos para los materiales A, B, y C de cada producto, dentro de la tabla llamada cálculo del costo de faltante por producto. Con base en ello se calcula el margen, nuevamente por unidad de producto, y luego el promedio anual aportado por el producto según su demanda, llamados “Utilidad por unidad de producto” y “Utilidad total por satisfacer toda la demanda de productos”. La pérdida de utilidad por una unidad faltante de cada material se calcula según el margen de contribución unitario, es decir, una sola unidad faltante de material cuanto afecta en el margen (utilidad total/demanda de cada material al año de cada referencia).

En el lado derecho, está la tabla del paso 2 y 3. El primero (paso 2) contiene los datos de la demanda por año de cada proveedor. Esto se determina con la suma producto de la participación de los proveedores, y la demanda de todos los productos del total de cada tipo de material, todo ello en el lapso de 1 año. La desviación por proveedor se calcula asumiendo el pronóstico de los productos (la desviación/año/tipo de producto) realizando una suma producto con los requerimientos por unidad, y luego multiplicando individualmente la participación de cada proveedor en la mezcla. Parecido al caso anterior. Nuevamente, se determina el coeficiente de variación de la demanda de los proveedores con la desviación y el promedio anual de los materiales.

El Lead Time, el costo de ordenar y costo de unidad de producto se copia de la tabla de proveedores. El lead time está en semanas, se debe transformar en años (Fila Lead Time en años) dividiéndolo entre 26 semanas de un horizonte de planeación o año. La demanda en LT (Lead Time) contiene el lead time en años por la demanda anual. Queda sombreada en amarillo las penalizaciones (o perdida de utilidad) por una unidad faltante de material de cada proveedor, es decir: la porción estándar de cada proveedor en el tipo de material en la mezcla \* la penalización por unidad de los materiales A, B y C. Se utiliza un modelo de inventario de punto de reorden – tamaño de lote (Nahmias, 2007, pag. 250)

Por último, se tiene otra matriz o tabla de valores (el paso 2) con lo siguiente, según el proveedor:

- A= costo de ordenar
- B2 = penalización por faltantes
- D = demanda anual por proveedor
- R = costo de mantener, fue necesario introducir un costo anual de poseer inventario aunque no se tuviese. Como la tasa de interés bancario es del 8% en el juego, se costea según el costo de oportunidad de invertir el dinero en el banco.
  - V = costo de una unidad de inventario
  - Q = Tamaño de la orden, formula EOQ
    - LT = lead time en semanas
    - XL = demanda en el Lead Time
  - Desv = desviación de una semana de material
    - sL= desviación en el leadtime
- SS = inventario de seguridad, multiplicando la desviación del lead time por el factor de seguridad (k)
  - S = punto de reorden, SS + XL

- $Pu(k)$ : la esperanza de eventos de material faltante como porcentaje de los requerimientos
- $K$  = factor de seguridad, hallado por la esperanza de faltantes en porcentaje de unidades de material
  - $Gu(k)$ : esperanza de unidades de material faltantes (porcentaje)
- Costos = De adquisición de material, de ordenar, de mantener ( $Q/2$  y  $SS$ ), de unidades faltantes, y costo el total relevante, también llamado costo de administrar inventario
- Costo total = costo de adquisición de inventario + costo de administrar inventario

*Tabla 6 Notación del Sistema  $S,Q$*

Nos interesa de lo anteriormente mencionado la cantidad a ordenar el inventario de seguridad y el punto de reorden, es decir,  $Q$ ,  $SS$  y  $S$ . Siguiendo una política  $S, Q$ , es decir, revisión continua con punto de reorden,  $SS$  cubre la incertidumbre de la demanda de materiales, mientras que una vez la demanda se encuentre debajo de  $S$ , se realiza una nueva orden, siempre de tamaño  $Q$  unidades.

### **Formula del requerimiento de materiales**

La formulación del requerimiento de materiales para una corrida de producción es la siguiente:

$Ci(pj)$  = Consumo de material  $i$  del producto  $j$ , son 3 tipos de materiales

$M(k)$  = Porcentaje de la mezcla del proveedor  $k$

$Pj$  = Unidades del producto  $j$

$Rk$  = Requerimiento de materiales del proveedor  $k$

Para cada tipo de material ( $A, B$  y  $C$ ):

$$Rk = Mk * \sum_{j=1}^8 (Ci(pj) * Pj)$$

*Ecuación 5 Fórmula de Requerimientos de Materiales para cada tipo ( $A, B, C$ ), según el diseño del Modelo de Optimización.*

### **Segmentación de los productos**

A continuación, se segmentan los productos en 3 familias: productos de alto retorno/ baja demanda, productos de bajo retorno/ cantidades medias de demanda, y productos de alto retorno/ requerimiento de mercado medio a alto. De las últimas 2 familias, se compone 1 familia por razones prácticas: productos de demanda media a alta y retornos variados. La razón por la cual se dividen entre los productos en altos retornos y retornos variados, pero de mayor demanda se debe la posibilidad de cumplir a una mayor porción de la demanda en cantidades limitadas, mientras que el segundo grupo puede permitirse priorizar los productos de mayor retorno, mientras los que con los de menos contribución al margen de utilidades no es necesario priorizarlos utilizando la capacidad limitada de la planta. Por consiguiente, a los productos menos rentables se asigna menor tasa de cubrimiento en función de los más rentables del grupo, mientras los de mayor rentabilidad de demanda limitada deben estar siempre disponibles.

A continuación, se muestra un gráfico de las familias de producto que se tienen en cuenta en el modelo de 2 grupos de productos, divididos retorno vs nivel de confianza superior:

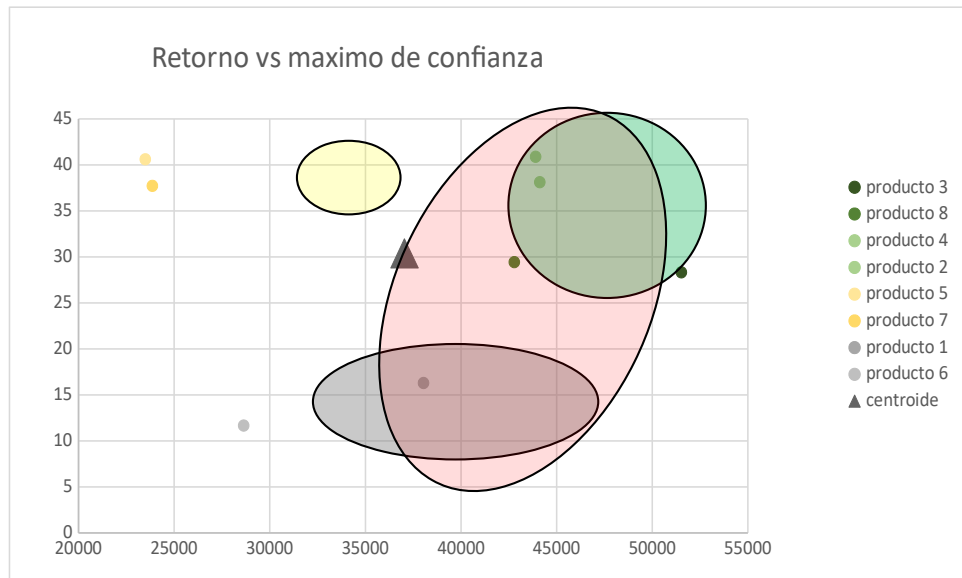


Ilustración 4 Familias de productos divididas entre retorno vs requerimiento máximo de demanda semanal.

### **Mezcla de producto y sus restricciones.**

Debido que la plataforma LOST recibe cifras enteras en las variables de decisión solamente, se realiza una transformación de los cálculos obtenidos del uso de materiales a números enteros.

Como ejemplo se tienen 3 materiales de un mismo tipo:

- M1 = Mayor calidad, mas costoso
- M2 = Relacion calidad / precio
- M3 = Solucion económica, calidad subpar a los requerimientos
- $M1+M2+M3 = M$  o los materiales totales de cada tipo

*Ecuación 6 Suma de los Materiales de todos los Proveedores según su Tipo (A, B,C)*

Si se utiliza solamente M3 no se cumple requerimiento de calidad, mientras que con M1 solamente se excede en calidad, lo cual no se obtiene ningún beneficio real, además se excede en costos de aprovisionamiento sin ningún resultado tangible económicamente. Esto quiere decir que el requisito de calidad es más un mínimo de estándares, consecuentemente el sobrepasarlo no genera ninguna diferenciación que eleve la demanda o incremente el precio de venta. Con solo suplir con M2 es más costo eficiente, sin embargo, en algunos casos no se cumple el mínimo de calidad de esa manera. Para una calidad del 90%, se tiene  $M1+M2+M3 = M$ , es decir, la mezcla de material necesario al menor costo posible. En el total de la producción, en otras palabras,  $M \cdot P$ , la combinación de materiales se debe transformar a enteros. Para realizar la transformación entera acertada, se debe realizar los siguientes redondeos:

- M1 y M2 redondear al entero superior
- M3, la solución barata de calidad inferior, redondear al entero inferior

De este modo se cubre el no completar el requerimiento de la cantidad total de material que se necesita, dejando una holgura de 2 redondeos al límite superior de mayor calidad vs 1 redondeo hacia el límite inferior de material inferior

### ***Tamaño de pedido y punto de reorden.***

Antes de fijar una política de inventario, primero se debe calcular el pedido optimo, así como el punto de reorden, es decir, la cantidad mínima de materiales para realizar una nueva orden, de tamaño Q. Con dicha finalidad en mente se realizó una tabla para calcular el pedido optimo, siendo esta de sistemas de punto de reorden de tamaño de orden fijo. El método de optimización de pedido minimiza la penalización promedio por faltante, teniendo en cuenta las demandas anuales, multiplicado por la tasa de cumplimiento deseada. A continuación, se muestra una captura de pantalla de la aproximación a unidades de materia prima anual (solamente proveedores 1-6) según las demandas anuales de productos, y la última fila muestra para el juego 5 la penalización promedio por una unidad de material faltante.

| 3                                                                                 | Paso 2: Determinar Requerimientos de materiales |             |             |             |             |             |             |             |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                                                   | Proveedor 1                                     | Proveedor 2 | Proveedor 3 | Proveedor 4 | Proveedor 5 | Proveedor 6 | Proveedor 7 | Proveedor 8 | Proveedor 9 |
| Desviación/año/proveedor                                                          | 222,9                                           | 2,9         | 2,3         | 55,6        | 2,6         | 206,5       | 241,5       | 68,6        | 3,1         |
| Demanda/año/proveedor                                                             | 2797,7                                          | 35,8        | 28,6        | 576,0       | 27,4        | 2139,5      | 2829,7      | 803,2       | 36,7        |
| Cv                                                                                | 0,08                                            | 0,08        | 0,08        | 0,10        | 0,10        | 0,10        | 0,09        | 0,09        | 0,09        |
|                                                                                   | Algunas estadísticas para el paso 3             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|                                                                                   | Proveedor 1                                     | Proveedor 2 | Proveedor 3 | Proveedor 4 | Proveedor 5 | Proveedor 6 | Proveedor 7 | Proveedor 8 | Proveedor 9 |
| Lead Time (LT) en semanas                                                         | 2                                               | 1           | 3           | 1           | 2           | 2           | 3           | 3           | 1           |
| Costo de ordenar                                                                  | 600                                             | 700         | 500         | 400         | 500         | 500         | 800         | 900         | 1000        |
| Costo unitario                                                                    | 40                                              | 42          | 38          | 31          | 34          | 32          | 52          | 59          | 58          |
| Lead Time (LT) en años                                                            | 0,1                                             | 0,0         | 0,1         | 0,0         | 0,1         | 0,1         | 0,1         | 0,1         | 0,0         |
| Demanda en el LT                                                                  | 215,2                                           | 1,4         | 3,3         | 22,2        | 2,1         | 164,6       | 326,5       | 92,7        | 1,4         |
| Participación en la mezcla de materiales que será empleada según tipo de material | 0,98                                            | 0,01        | 0,01        | 0,21        | 0,01        | 0,78        | 0,77        | 0,22        | 0,01        |
| Penalización por unidad de material faltante según proveedor                      | 399,36 \$                                       | 5,11 \$     | 4,09 \$     | 89,53 \$    | 4,26 \$     | 332,53 \$   | 245,72 \$   | 69,75 \$    | 3,19 \$     |

*Tabla 7 Tabla de Cálculos necesarios para elaborar el Plan de Abastecimiento*

En la siguiente tabla (proveedores 1-6), señalado en amarillo, está el tamaño de pedido (Q), el inventario de seguridad (SS) y el punto de reorden (S). A continuación, se minimizan los costos totales, minimizando el factor de seguridad (K). Mientras mas bajo sea K, más protección a la incertidumbre habrá, más si K es demasiado bajo, incrementa el costo de mantener inventario, en consecuencia se incrementa el inventario de seguridad, por dicha razón, incrementa el nivel mínimo tolerable de inventario antes de la siguiente orden, o también llamado punto de reorden. Se modificó el factor de seguridad para el material del proveedor 1, en razón de no reflejar la relevancia en la mezcla ese insumo, que ocupa un 97% de la participación en el material tipo A. El plan optimizado de inventario se encuentra a continuación:

| 4                                                                   | Política de inventario según el proveedor |             |             |              |             |              |               |              |             |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|---------------|--------------|-------------|
| Datos                                                               | Proveedor 1                               | Proveedor 2 | Proveedor 3 | Proveedor 4  | Proveedor 5 | Proveedor 6  | Proveedor 7   | Proveedor 8  | Proveedor 9 |
| A (costo fijo de abastecer)                                         | 600,00 \$                                 | 700,00 \$   | 500,00 \$   | 400,00 \$    | 500,00 \$   | 500,00 \$    | 800,00 \$     | 900,00 \$    | 1.000,00 \$ |
| B2 (penalización por unidad de material faltante)                   | 399,36 \$                                 | 5,11 \$     | 4,09 \$     | 89,53 \$     | 4,26 \$     | 332,53 \$    | 245,72 \$     | 69,75 \$     | 3,19 \$     |
| D (demanda de material por año)                                     | 2797,7                                    | 35,8        | 28,6        | 576,0        | 27,4        | 2139,5       | 2829,7        | 803,2        | 36,7        |
| r (tasa de interés o costo de oportunidad)                          | 0,08                                      | 0,2         | 0,2         | 0,08         | 0,2         | 0,08         | 0,08          | 0,08         | 0,08        |
| v (costo por unidad de material)                                    | 40,00 \$                                  | 42,00 \$    | 38,00 \$    | 31,00 \$     | 34,00 \$    | 32,00 \$     | 52,00 \$      | 59,00 \$     | 58,00 \$    |
| Q (tamaño de la orden)                                              | 1024,3                                    | 77,2        | 61,4        | 431,1        | 63,5        | 914,2        | 1043,2        | 553,5        | 125,8       |
| LT (lead time)                                                      | 2                                         | 1           | 3           | 1            | 2           | 2            | 3             | 3            | 1           |
| XL (lead time en unidades de producto)                              | 215,21                                    | 1,38        | 3,30        | 22,15        | 2,11        | 164,57       | 326,50        | 92,68        | 1,41        |
| Desviación estándar de demanda de material por proveedor por semana | 43,71                                     | 0,56        | 0,45        | 10,90        | 0,52        | 40,50        | 47,37         | 13,45        | 0,61        |
| σL (desviación estándar en el lead time)                            | 61,82                                     | 0,56        | 0,77        | 10,90        | 0,73        | 57,27        | 82,05         | 23,29        | 0,61        |
| SS (inventario de seguridad)                                        | 154,55                                    | 2,24        | 3,10        | 43,61        | 2,94        | 229,09       | 328,20        | 0,00         | 2,46        |
| S (punto de reorden)                                                | 369,76                                    | 3,61        | 6,40        | 65,77        | 5,05        | 393,66       | 654,70        | 92,68        | 3,87        |
| Pu(k)                                                               | 0,0073%                                   | 8,4527%     | 10,4961%    | 0,0669%      | 10,8628%    | 0,0103%      | 0,0120%       | 0,0790%      | 8,6043%     |
| k                                                                   | 2,50                                      | 4,00        | 4,00        | 4,00         | 4,00        | 4,00         | 4,00          | 0,00         | 4,00        |
| Gu(k)                                                               | 0,00                                      | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,00        | 0,00         | 0,00          | 0,40         | 0,00        |
| Costo material                                                      | 111.909,11 \$                             | 1.502,62 \$ | 1.087,61 \$ | 17.856,20 \$ | 932,58 \$   | 68.462,48 \$ | 147.142,43 \$ | 47.390,72 \$ | 2.128,36 \$ |
| Costo ordenar                                                       | 1.638,85 \$                               | 324,32 \$   | 233,20 \$   | 534,51 \$    | 215,94 \$   | 1.170,15 \$  | 2.169,92 \$   | 1.306,16 \$  | 291,78 \$   |
| Costo Mantener Q/2                                                  | 1.638,85 \$                               | 324,32 \$   | 233,20 \$   | 534,51 \$    | 215,94 \$   | 1.170,15 \$  | 2.169,92 \$   | 1.306,16 \$  | 291,78 \$   |
| Costo Mantener ss                                                   | 494,55 \$                                 | 18,78 \$    | 23,55 \$    | 108,16 \$    | 19,97 \$    | 586,46 \$    | 1.365,31 \$   | - \$         | 11,40 \$    |
| Costo Faltantes                                                     | 2.797,78 \$                               | 35,78 \$    | 28,62 \$    | 576,01 \$    | 27,43 \$    | 2.139,45 \$  | 2.829,66 \$   | 804,40 \$    | 36,70 \$    |
| Costo total Relevante                                               | 6.570,02 \$                               | 703,20 \$   | 518,56 \$   | 1.753,18 \$  | 479,28 \$   | 5.066,21 \$  | 8.534,81 \$   | 3.416,73 \$  | 631,65 \$   |
| Costo Total                                                         | 118.479,12 \$                             | 2.205,81 \$ | 1.606,17 \$ | 19.609,38 \$ | 1.411,86 \$ | 73.528,69 \$ | 155.677,24 \$ | 50.807,46 \$ | 2.760,02 \$ |
| AÑOS X PEDIDO                                                       | 0,366                                     | 2,158       | 2,144       | 0,748        | 2,315       | 0,427        | 0,369         | 0,689        | 3,427       |
| TIEMPO ENTRE PEDIDOS                                                | 9,519                                     | 56,118      | 55,747      | 19,457       | 60,203      | 11,110       | 9,586         | 17,915       | 89,109      |
| % DEL INVENTARIO (EJEMPLO DE PERÍODO 20)                            | 0,63                                      | 0,11        | 0,11        | 0,31         | 0,10        | 0,54         | 0,63          | 0,33         | 0,07        |
| INVENTARIO A PEDIR (SEGUN EJEMPLO)                                  | 645,63                                    | 8,26        | 6,60        | 132,92       | 6,33        | 493,72       | 653,00        | 185,36       | 8,47        |

Tabla 8 Política de inventario según proveedor. Los valores de tamaño de pedido (Q), inventario de seguridad (SS) y punto de reorden (S) se encuentran resaltados en amarillo

Nota: se debe hacer click en la opción “Actualizar”, en el cuadro emergente que aparece en la parte superior. Esto se debe a la presencia de una formula necesaria para calcular el tamaño de orden más adecuado. Cada vez que se abra el documento de Excel es necesario habilitar esta opción, para que recalcule el tamaño de pedido, que es necesario para optimizar la decisión 3 (tamaño de pedido).

### Compras y proveedores.

Esta decisión se encuentra ubicada en la hoja “DECISION PEDIDOS”, y compone un modelo de “Solver” por separado. En algunos casos, sobre todo al principio del juego, no es posible realizar pedidos completos, además, puede existir pedidos múltiples. Todo esto puede agotar los recursos monetarios. Con un modelo de PL independiente de las decisiones 1 y 2, es posible una mejor toma de decisiones en utilizar adecuada y responsablemente los fondos bancarios para decisiones completamente diferentes.

Las tablas de mayor relevancia son “Unidades totales (z)” (columna A), la tabla de los proveedores y “TOTAL COSTO” (columnas C a L), la tabla llamada “Restricciones LD” (columnas N a W). La tabla anteriormente mencionada contiene los límites máximos de pedidos a proveedores, y el efectivo disponible para gastar en adquisiciones. El pedido máximo se calcula con las tablas “pedido total” y “pedido parcial” (columnas AA a AR). La diferencia entre total y parcial es que el parcial se ve disminuido si hace falta un menor número de semanas que el tiempo entre pedidos menos el Lead Time, es decir, cuando el juego está por terminar y no es sensato realizar un pedido completo.

A continuación, se explica la composición del modelo de Solver para cada semana:

- Función objetivo: “unidades totales” (valor de la columna A)
- Restricción valores enteros para las columnas C hasta la K. Valores de pedido de cada proveedor
- Restricciones lado izquierdo (pedido del proveedor y costo total, columnas C y L) es menor o igual al límite de pedido y efectivo disponible (se arrastran los valores de la columna N hasta la W)
- El método de resolución es no lineal.

### **Decisión de transporte.**

Se calcula con base a la producción de cada semana. Un camión tiene espacio para 1000m<sup>3</sup>, mientras que cada unidad de manejo de productos terminados tiene 1m<sup>3</sup> de volumen. Debido que solo se alquilan camiones completos, es recomendable que se le realice el mayor uso posible. Aun así, el costo se calcula como \$1000 \* (# de camiones).

### **Plan de producción**

Se realizó un modelo de optimización lineal, teniendo en cuenta los requerimientos de materiales, capacidad, económicos y de requerimientos de material. Esta decisión se tomó semana a semana, a medida que se efectúen ventas. En la hoja de decisiones, la variable a optimizar para resolver este problema es la columna O de “ganancia esperada por ventas”, que está compuesta del ingreso esperado de vender la cantidad a producir, semana a semana, menos el costo de los materiales a utilizar según la mezcla seleccionada (costo directo), menos las horas maquina empleadas. Es decir, todo con base en el programa actual de producción.

Las variables de decisión son la cantidad para producir, entradas en la matriz “DECISION 1 – CANTIDAD A PRODUCIR” (columnas AL6:AS31). Las restricciones son las siguientes:

- Tiempo de maquina (matriz “HORAS MAQUINA 1, 2 Y 3”, columnas YZ a AA), debe ser inferior a 4800 minutos.
  - Los valores de decisión (PRODUCTO 1 – 8) deben ser números enteros
- Los valores de decisión también deben ser menores a el máximo requerido de producto (matriz “REQUERIMIENTO P# 1 - 8”, columnas AE a AL)

- “MP USADO 1 - 9” (valores de las columnas P a X), debe ser inferior a los valores de la matriz “MATERIAL DISPONIBLE 1 - 9” (columnas AM a AU)
  - Por último, la columna AB “CERO DINERO”.

El proceso se debe efectuar semana a semana. Ahora se explican las fórmulas dentro de cada uno de los parámetros mencionados.

- Tiempo en maquina= suma producto (cantidades a producir; tiempos de maquina por producto) valores de tiempo en minutos
- Requerimiento máximo = en unidades de producto, la fórmula es = pronostico actual + pronostico futuro – cantidad de inventario de producto actual, el resultado debe ser valores positivos, de lo contrario es cero
- Material utilizado = Redondear al entero superior e inferior (véase el título “mezcla de producto y sus restricciones”) el resultado de: la suma producto entre plan de producción actual, y el consumo de materiales por producto
- Las unidades de material costo-eficiente es el resultado del siguiente procedimiento:
  - De los materiales disponibles según el proveedor, se agrupan por tipos
  - El resultado se utiliza para hallar cuanto se tendría disponible cumpliendo el mínimo costo en materiales utilizados
  - Debido que los resultados del paso anterior pueden ser mayores a las unidades disponibles, se agrega un paso adicional que es calcular el mínimo entre las columnas DG hasta DO (véase el paso anterior) y la columna de material disponible en el primer paso de este procedimiento. Este es el resultante.

### **Finanzas y resultados económicos**

Las decisiones tomadas generan cambios en las finanzas de la compañía. La matriz “Financials” en las columnas B hasta la O.

- En la columna “Banco” está el resultado anterior de la columna “Efectivo final de semana”.
- Costo de tiempo de maquina es la suma de los productos del tiempo total de las máquinas y el costo por minuto de operación de las máquinas, en columna C
- Columna D “Costo materiales utilizados”, suma producto de los materiales utilizados y el costo de materiales por proveedor
  - La columna E es el costo de adquisición de los materiales, por semana, viene de la columna BM, matriz “Decisión 3 – Compra de materiales”
- “Costos Fijos” columna H, de mano de obra, siempre es 9000, debido que la mano de obra es constante
- “Subtotal antes de ingresos”, columna I, es la suma de las anteriores columnas, excepto el costo de los materiales utilizados, por esa razón se calcula con propósitos de optimizar la utilidad
- “Ingresos”, columna J es la suma de los ingresos por ventas en la semana, ubicados en la hoja “resultados”, columna V
- Nuevamente en la hoja “Decisiones”, la columna K, “subtotal”, es la suma de las celdas I y J
  - Columna L “Camiones”, luego de subtotal, es el costo de transporte a las tiendas

- Finalmente, está la columna M, llamada “efectivo final de semana, es el disponible para la siguiente semana, incluye el costo de transporte a tiendas, los intereses bancarios y costo de oportunidad. Éste último es fijo
- “Ingreso esperado producción vendida”, columna N en “Decisiones”, es el ingreso percibido una vez se venda la producción de cada semana. Es solamente para calcular la ganancia neta a maximizar, es decir, todavía no se ha causado. La ganancia esperada es la columna O, es la suma de ingreso esperado de la columna N, el costo de máquina, y el de los materiales utilizados. Solamente variables son relevantes en determinar la máxima ganancia esperada

### **Modelo simplificado de programación lineal.**

Todos estos campos fueron ocultados para evitar confusiones, es por ello que se realizó una nueva tabla, conteniendo los campos del modelo, organizados de manera agrupada para disminuir el esfuerzo requerido en seleccionar las restricciones. En lugar de tener 5 restricciones diferentes, solamente es necesario seleccionar 2 pares de celdas diferentes, incluyendo limitar valores de decisión a enteros. No sobrepasar los fondos disponibles, los productos requeridos, los insumos y el tiempo de producción disponible, todos hacen parte de un solo par de celdas ordenadas. Esto cumple el mismo objetivo con un esfuerzo motriz menor respecto a agregar 5 pares de celdas como restricciones cada turno, en cada juego.

Estos campos de decisión y sus debidas restricciones están ubicados en las siguientes celdas para los turnos 1-26 de manera vertical:

- La función objetivo: Celdas D60:D86
- Lado izquierdo, menor o igual al lado derecho
  - Cantidad a producir: Celdas H60:O86, Productos 1-8, para las 26 semanas
  - Materiales en kg por semana (Etiquetados MP USADO #): Celdas P60:X86, es decir 9 proveedores diferentes para 26 semanas o turnos
  - Tiempo de maquina en minutos (MAQUINA 1-3): Son 3 máquinas, 26 semanas. Celdas Y60:AA86.
  - Restricción LI Dinero: Ubicada también en el lado izquierdo. Es necesario para limitar el presupuesto en producción para no utilizar recursos no disponibles
    - Lado derecho, en el mismo orden del lado derecho
    - Requerimiento P# (en unidades de producto): AE60:AL:86
      - Material Disponible #: AM60:AU86
    - Minutos de Maquina #: 4800 como máximo utilizable, no se puede solicitar horarios extraordinarios ni turnos adicionales
    - Dinero antes de Ventas: En realidad es antes de compras de material y de ventas de producto, porque de la decisión de compras se toma cuando se optimizan los pedidos, según el recurso económico que se dispone antes de ventas, es decir, en la pestaña DECISION PEDIDOS

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### VISTA PREVIA DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta 2 escenarios principales, el primero, emplear la capacidad restante de producción de cada turno para acumular stock de productos menos rentables, y el segundo, producir solamente lo que es indicado en el modelo de programación lineal, se quiere demostrar que emplear solamente el modelo de optimización en la toma de decisiones sin ajustes posteriores brinda resultados más consistentes y evita la sobreacumulación de stock innecesario. En la tabla 10 se muestra los resultados financieros y de fulfillment de demanda para 3 juegos con una tasa de cubrimiento de 96.5%. Como es posible observar, es mucho más bajo en términos de unidades que la tasa esperada. Esto se debe a que el modelo de programación lineal, al tener requerimientos de demanda más altos, prioriza las referencias más rentables. Esto deja atrás a productos como el 1 y el 6, los cuales poseen márgenes de contribución más estrechos. Con adecuado a la capacidad restringida de la planta. Esto puede llevar a mejores resultados financieros, en consecuencia, de un superávit de productos de altas ganancias a expensas de los demás. Éstos rara vez se agotan, pero pueden estar afectando los resultados financieros, debido que se está operando de manera ineficiente. Como se espera mayores retornos, es necesario encontrar una meta más adecuada. El resultado de los juegos haciendo uso de la capacidad restante se compara con los resultados obtenidos con solamente emplear el método cuantitativo, para determinar cuál de estos brinda resultados más consistentes.

Para igualar los retornos y hacer la evaluación de la tasa de cumplimiento comparable entre artículos, se tiene una tasa  $t^*$  = nivel de servicio de producto más rentable, de modo que Ganancia Total (producto,  $t(\text{producto})$ ) = Ganancia Total (producto\*,  $t^*$ ).

Para  $t^* = 96.5\%$ , tenemos lo siguiente:

| Juego | Efectivo Final | Activos Finales | Posicion | Fulfillment Unidades | Fulfillment \$ |
|-------|----------------|-----------------|----------|----------------------|----------------|
| 1     | 797 435,31 \$  | 925 947,53 \$   | 76       | 81,81%               | 88,88%         |
| 2     | 805 431,31 \$  | 926 127,86 \$   | 75       | 78,65%               | 87,31%         |
| 3     | 808 931,81 \$  | 924 201,17 \$   | 78       | 84,23%               | 90,38%         |

Tabla 9 Tabla de Resultados para una Tasa de Cumplimiento de 96.5%

Sin embargo, si se desea satisfacer  $t^* = 94\%$ , el resultado de las pruebas es:

| Juego | Efectivo Final | Activos Finales | Posicion | Fulfillment Unidades | Fulfillment \$ |
|-------|----------------|-----------------|----------|----------------------|----------------|
| 1     | 813 251,31 \$  | 922 032,03 \$   | 92       | 80,62%               | 88,38%         |
| 2     | 846 704,81 \$  | 943 239,68 \$   | 47       | 82,31%               | 90,08%         |
| 3     | 774 488,81 \$  | 904 270,25 \$   | 141      | 79,81%               | 87,46%         |

Tabla 10 Tabla de Resultados para una Tasa de Cumplimiento de 94%

Para un nivel objetivo de cumplimiento del producto\* (el más rentable, tasa t\*) de 90% se tiene los siguientes resultados:

| Juego | Efectivo Final | Activos Finales | Posicion | Fulfillment Unidades | Fulfillment \$ |
|-------|----------------|-----------------|----------|----------------------|----------------|
| 1     | 776 610,31 \$  | 897 160,21 \$   | 158      | 83,19%               | 89,65%         |
| 2     | 770 512,81 \$  | 921 214,02 \$   | 94       | 77,85%               | 85,00%         |
| 3     | 775 777,31 \$  | 911 504,55 \$   | 118      | 81,88%               | 87,81%         |

Tabla 11 Tabla de Resultados para una Tasa de Cumplimiento de 90%.

Como se manifiesta en los resultados, se tienen menores rendimientos económicos gracias a un cambio significativo en el objetivo de cumplimiento de la demanda. Una tasa de cumplimiento ubicada entre las 2 anteriores puede demostrar más indicada para el juego de nivel 1.

Asimismo, en términos de dispersión de los resultados, se resume lo siguiente:

|            | Efectivo Final | Activos Finales |
|------------|----------------|-----------------|
| ns = 96,5  | \$ 797.435,00  | \$ 925.947,00   |
|            | \$ 805.431,00  | \$ 926.127,00   |
|            | \$ 808.931,00  | \$ 924.201,00   |
|            | \$ 803.932,33  | \$ 925.425,00   |
| promedio   | \$ 803.932,33  | \$ 925.425,00   |
| desviacion | \$ 5.892,71    | \$ 1.063,83     |
| cv         | 0,007          | 0,001           |

|            | Efectivo Final | Activos Finales |
|------------|----------------|-----------------|
| ns = 90    | \$ 776.610,00  | \$ 897.160,00   |
|            | \$ 770.512,00  | \$ 921.214,00   |
|            | \$ 775.777,00  | \$ 911.504,00   |
|            | \$ 774.299,67  | \$ 909.959,33   |
| promedio   | \$ 774.299,67  | \$ 909.959,33   |
| desviacion | \$ 3.306,55    | \$ 12.101,17    |
| cv         | 0,004          | 0,013           |

|            | Efectivo Final | Activos Finales |
|------------|----------------|-----------------|
| ns = 94    | \$ 813.251,00  | \$ 922.032,00   |
|            | \$ 846.704,00  | \$ 943.239,00   |
|            | \$ 774.488,00  | \$ 904.270,00   |
|            | \$ 811.481,00  | \$ 923.180,33   |
| promedio   | \$ 811.481,00  | \$ 923.180,33   |
| desviacion | \$ 36.140,52   | \$ 19.509,86    |
| cv         | 0,045          | 0,021           |

Tabla 12 Resumen de resultados haciendo uso el método cuantitativo

Aun así, se obtienen mejores resultados haciendo uso de la capacidad restante. Los siguientes resultados reflejan el anterior planteamiento (se fija una tasa de cumplimiento del pronóstico de 92%):

| Juego      | Efectivo Final | Activos Finales | Posicion | Fulfillment Unidades | Fulfillment \$ |
|------------|----------------|-----------------|----------|----------------------|----------------|
| 1          | 782.796,31 \$  | 945.199,90 \$   | 107      | 87,62%               | 91,27%         |
| 2          | 791.141,81 \$  | 957.991,60 \$   | 50       | 83,96%               | 89,00%         |
| 3          | 745.739,81 \$  | 945.538,06 \$   | 102      | 81,69%               | 86,08%         |
| Desviacion | 24.166,69 \$   | 7.289,63 \$     |          |                      |                |
| Promedio   | 773.225,98 \$  | 949.576,52 \$   |          |                      |                |
| cv         | 0,031          | 0,008           |          |                      |                |

*Tabla 13 Resultados y ranking usando una tasa de cubrimiento objetivo para el producto líder de 92*

Basados en la tabla anterior, la tasa de cumplimiento de la demanda obtenida haciendo uso de la capacidad restante brinda excelentes resultados financieros y mayores posiciones al final del juego.

Como se puede observar en la siguiente tabla, emplear solamente el método cuantitativo brinda mayor consistencia en resultados finales, aunque menores ganancias al final del juego.

| Juego      | Efectivo Final | Activos Finales | Posicion | Fulfillment Unidades | Fulfillment \$ |
|------------|----------------|-----------------|----------|----------------------|----------------|
| 1          | \$ 882.122,00  | \$ 748.509,00   | 509      | 81,88%               | 84,69%         |
| 2          | \$ 875.795,00  | \$ 730.983,00   | 545      | 80,12%               | 84,08%         |
| 3          | \$ 867.886,00  | \$ 740.699,00   | 605      | 82,15%               | 84,69%         |
| Desviacion | \$ 7.132,64    | \$ 8.780,26     |          |                      |                |
| Promedio   | \$ 875.267,67  | \$ 740.063,67   |          |                      |                |
| cv         | 0,01           | 0,01            |          |                      |                |

En la siguiente tabla se encuentra los resultados de tasa de cubrimiento de la demanda por tipo de producto:

|   | Promedio de tasas de cubrimiento por producto |         |        |         |         |        |        |        |
|---|-----------------------------------------------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
| 1 | 64,51%                                        | 100,00% | 92,46% | 100,00% | 92,77%  | 47,31% | 88,04% | 95,03% |
| 2 | 70,03%                                        | 91,72%  | 90,47% | 92,66%  | 99,71%  | 52,25% | 97,38% | 88,63% |
| 3 | 70,96%                                        | 90,05%  | 92,84% | 83,62%  | 97,76%  | 57,23% | 98,73% | 91,75% |
| 4 | 75,75%                                        | 95,62%  | 96,16% | 97,01%  | 98,80%  | 73,40% | 97,85% | 83,68% |
| 5 | 86,42%                                        | 99,75%  | 93,22% | 95,82%  | 100,00% | 73,47% | 95,97% | 87,49% |

*Tabla 14 Tasas promedio de cubrimiento obtenidas para 5 juegos, por tipo de producto*

#### **ANALISIS DE INDICADORES LOGISTICOS Y DE DECISIONES**

La siguiente comparación de indicadores logísticos parte de los resultados obtenidos para los mismos juegos de la tabla 14 de resultados para una tasa objetivo de 92% para el producto líder en aporte a las utilidades.

##### **Utilización de las maquinas**

Basándose en el gráfico, no se percibe diferencia significativa en los resultados del uso de la capacidad de las maquinas. Utilizando el enfoque hibrido, se hace uso máximo de las horas de trabajo en la mayoría de las semanas.

En la maquina 1, se percibe una diferencia entre los juegos en el uso en las semanas 3, 7 y 13. La razón es que algunos productos son muy dependientes de algunas de las maquinas que en otras (maquina 1, 2, o 3). Al producirse más de un producto que de los demás (balones) el uso de una maquina se eleva, al mismo tiempo, no es posible emplear de las horas restantes de las demás maquinas. Ver el siguiente gráfico siguiente:

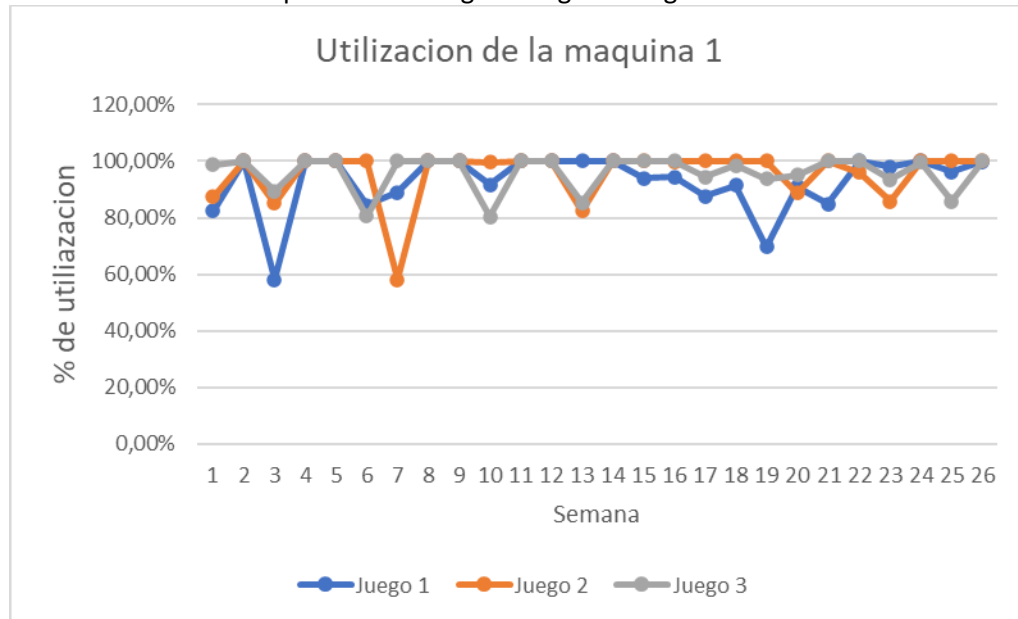


Ilustración 5 utilización de la maquina 1 para 3 juegos haciendo uso de la capacidad restante

Empleando solamente el método cuantitativo, se obtienen mayores diferencias entre el juego 3 y los juegos 1 y 2, debido a la mayor utilización de la maquina 1 al final del juego 3.

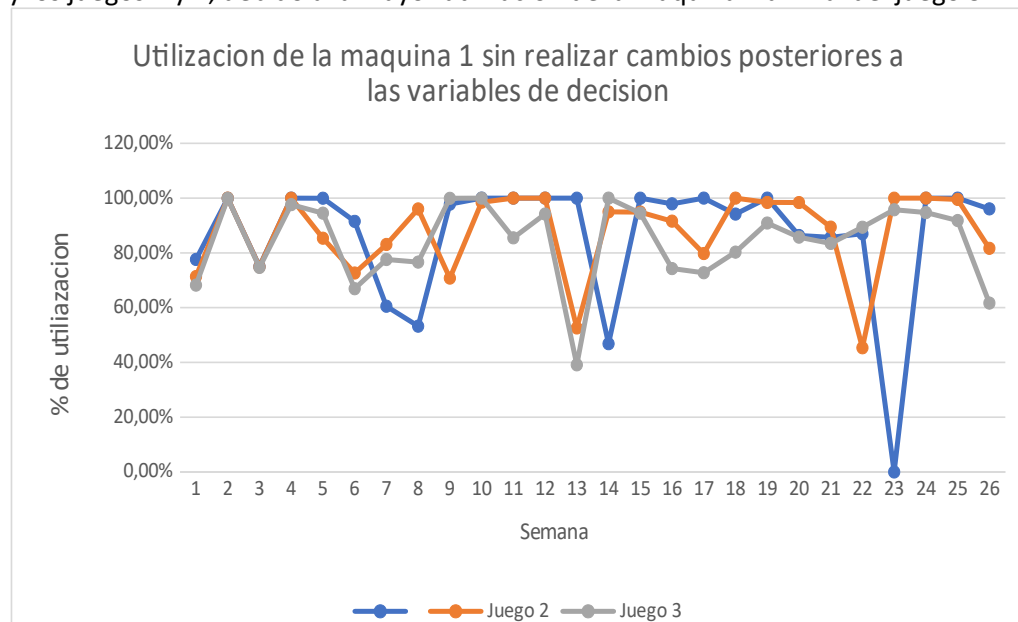
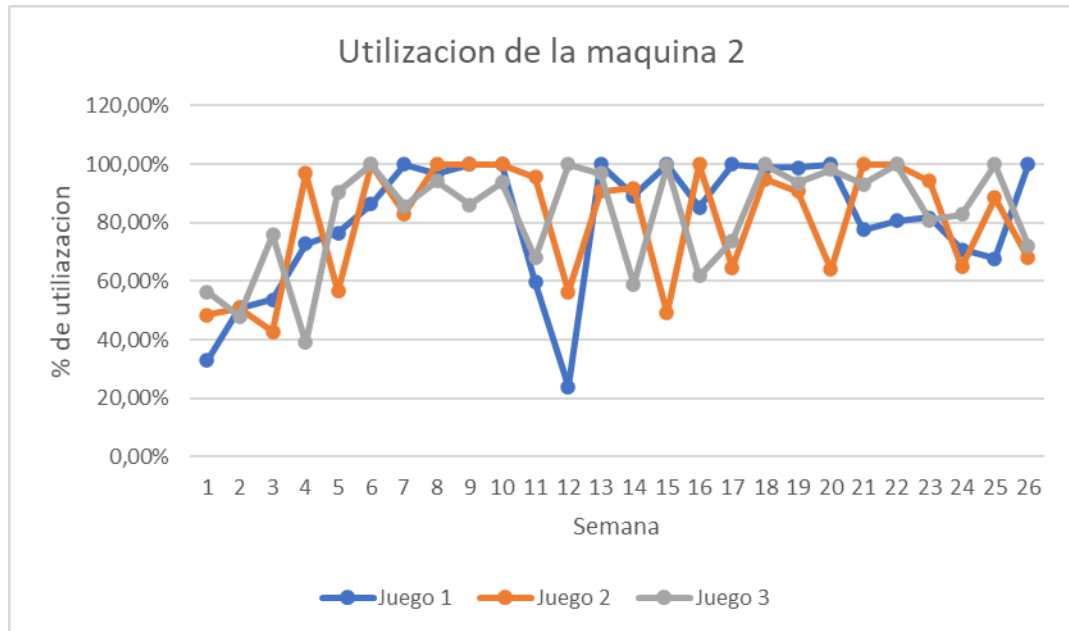


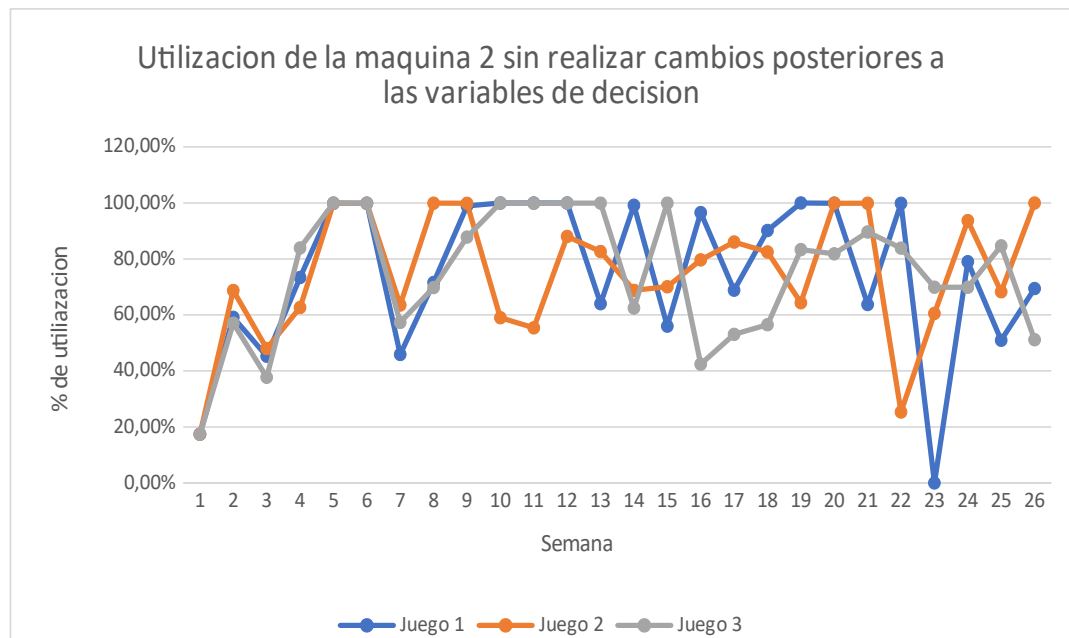
Ilustración 6 Utilización de la maquina 1 sin cambios posteriores a la toma de decisiones

En la maquina 2, las horas de trabajo empleadas en cada turno, y por ende el porcentaje de utilización varían demasiado. Existe una gran diferencia en el uso de la maquina 2 en los turnos jugados. Véase el siguiente gráfico:



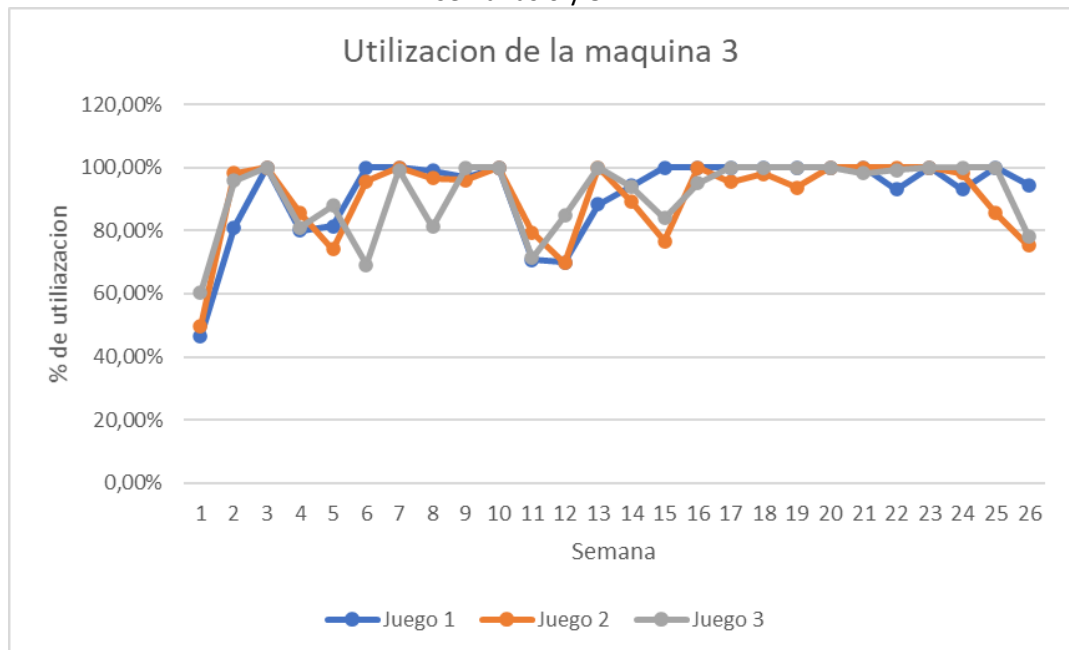
*Ilustración 7 Utilización de la maquina 2 para 3 juegos haciendo uso de la capacidad restante*

La máquina 2 empleando solamente el método cuantitativo, también presenta grandes diferencias entre un juego y otro, consecuentemente los resultados de utilización del recurso tampoco son consistentes



*Ilustración 8 utilización de la maquina 2 sin realizar cambios posteriores a las variables de decisión*

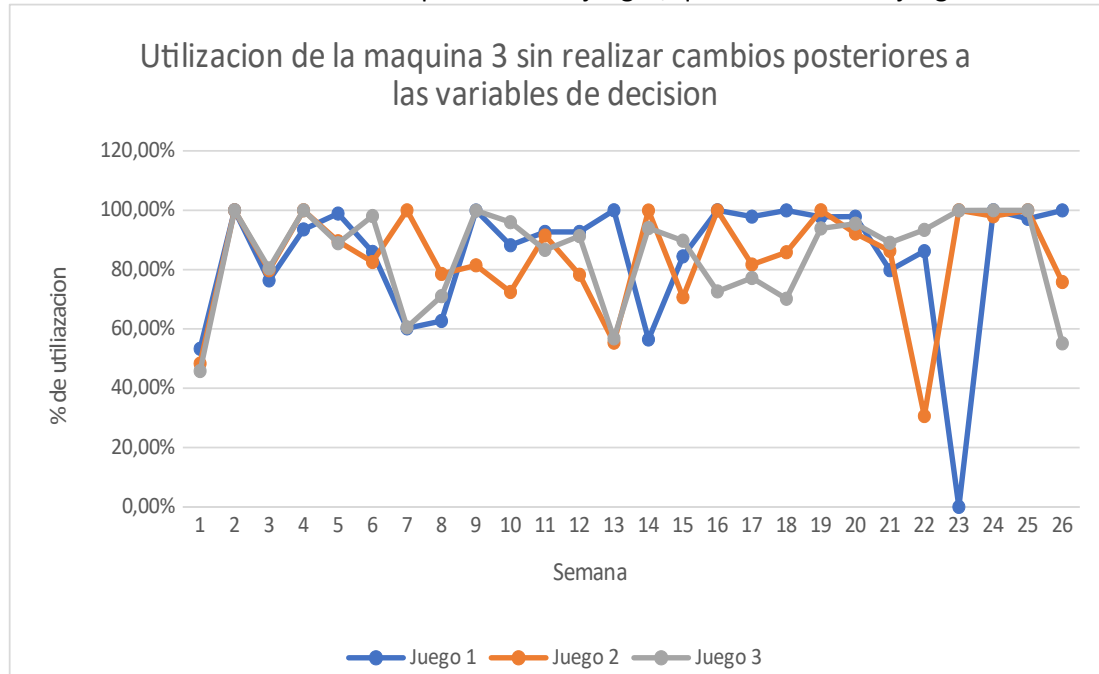
La máquina 3 presenta un comportamiento uniforme de juego a juego. Las variaciones del uso de la capacidad no le afectan como las maquinas 1 y 2. Teniendo de guía el siguiente grafico (ilustración 8), no presenta cambios significativos entre juegos. Las 2 únicas excepciones son las semanas 6 y 8.



*Ilustración 9 Utilización de la maquina 3 para 3 juegos haciendo uso de la capacidad restante*

Sin hacer uso de la capacidad restante para producir más producto, existen mayores diferencias semana a semana en la utilización de la maquina 3, manteniendo diferencias entre el

juego 3 y los demás. Lo anterior se puede explicar por una mayor demanda de producto que agotó el stock de materiales en los primeros dos juegos, que no se da en el juego 3.



*Ilustración 10 Utilización de la maquina 3 sin realizar cambios posteriores en la toma de decisiones*

Otro análisis para realizar es comparar las medias muestrales de los resultados de la utilización de máquina de cada juego. Realizando un análisis de varianza ANOVA, no se ha observado diferencias significativas entre las medias de la utilización de máquinas 1, 2 y 3. La anterior prueba falla en detectar cambios entre las observaciones semana a semana, y solo hace posible detectar cambios en la media y la varianza para 2 o más muestras, independientemente de su tamaño.

|                         |             |             |
|-------------------------|-------------|-------------|
| Valor critico de Fisher | 3,118642128 |             |
| Valor alfa              | 0,05        |             |
|                         | Valores p   | F           |
| Maquina 1               | 0,787930565 | 0,239104362 |
| Maquina 2               | 0,998498406 | 0,001502752 |
| Maquina 3               | 0,977312245 | 0,022956106 |

*Tabla 15 Prueba estadística de varianza (ANOVA) para la utilización de las maquinas 1, 2 y 3*

### **Tasa de cubrimiento de las demandas de producto**

A continuación, se presenta una tabla en formato de mapa de calor, en el cual están marcados en un fondo de color rojo las tasas de cubrimiento más bajas, mientras que para tasas de cubrimiento demasiado altas no tienen ningún color de fondo.

El producto 1 presenta una tasa de cubrimiento similar en las primeras 12 semanas y en las últimas 5, con grandes diferencias en el intervalo que se encuentra entre estas. Es decir, stockouts elevados en algunos juegos y abundancia de producto en otras. Aplicando dicha estrategia, se observan diferencias notables en el cubrimiento de juego a juego en los turnos 5, 6, 13, 21 y 25.

Se observa a continuación que emplear de la capacidad restante que no emplea el modelo cuantitativo basándose en la intuición humana genera sobreabundancia de algunos productos. En caso contrario, esta sobreabundancia de productos mas rentables genera que los materiales se agoten más rápido que lo que predice el modelo, que se gane menos por producir bienes que no se necesitan, para mas tarde tener que hacer sacrificios por tener materiales insuficientes. Para este tipo de estrategia, se observa en los turnos finales, por la escasez de materiales, ocurran episodios de escasez de productos terminados. En resumen, emplear la capacidad en horas restante cada turno lleva a que el modelo cuantitativo falle al estar restringido por materiales insuficientes.

| Producto 1  |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|-------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana      | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 2           | 49,78%  | 82,69%  | 66,13%  | 66,20%   | 16,46%               | 0,25                                                                                  |
| 3           | 0,81%   | 0,00%   | 0,00%   | 0,27%    | 0,47%                | 1,73                                                                                  |
| 4           | 0,00%   | 0,00%   | 50,00%  | 16,67%   | 28,87%               | 1,73                                                                                  |
| 5           | 39,53%  | 44,00%  | 0,00%   | 27,84%   | 24,22%               | 0,87                                                                                  |
| 6           | 73,89%  | 0,00%   | 49,83%  | 41,24%   | 37,69%               | 0,91                                                                                  |
| 7           | 74,91%  | 100,00% | 100,00% | 91,64%   | 14,49%               | 0,16                                                                                  |
| 8           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 11          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 12          | 100,00% | 99,74%  | 100,00% | 99,91%   | 0,15%                | 0,00                                                                                  |
| 13          | 19,56%  | 0,45%   | 100,00% | 40,00%   | 52,83%               | 1,32                                                                                  |
| 14          | 89,26%  | 100,00% | 100,00% | 96,42%   | 6,20%                | 0,06                                                                                  |
| 15          | 65,36%  | 100,00% | 100,00% | 88,45%   | 20,00%               | 0,23                                                                                  |
| 16          | 100,00% | 61,66%  | 100,00% | 87,22%   | 22,14%               | 0,25                                                                                  |
| 17          | 84,95%  | 52,00%  | 100,00% | 78,98%   | 24,55%               | 0,31                                                                                  |
| 18          | 94,94%  | 39,53%  | 100,00% | 78,16%   | 33,55%               | 0,43                                                                                  |
| 19          | 93,17%  | 100,00% | 100,00% | 97,72%   | 3,94%                | 0,04                                                                                  |
| 20          | 100,00% | 82,03%  | 67,36%  | 83,13%   | 16,35%               | 0,20                                                                                  |
| 21          | 100,00% | 0,00%   | 93,02%  | 64,34%   | 55,83%               | 0,87                                                                                  |
| 22          | 86,05%  | 100,00% | 100,00% | 95,35%   | 8,05%                | 0,08                                                                                  |
| 23          | 88,03%  | 100,00% | 100,00% | 96,01%   | 6,91%                | 0,07                                                                                  |
| 24          | 54,15%  | 89,97%  | 41,80%  | 61,97%   | 25,02%               | 0,40                                                                                  |
| 25          | 0,00%   | 0,00%   | 80,97%  | 26,99%   | 46,75%               | 1,73                                                                                  |
| 26          | 16,07%  | 58,54%  | 59,52%  | 44,71%   | 24,81%               | 0,55                                                                                  |
| <=< Promedi | 70,40%  | 65,79%  | 81,10%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 16 Tasa de cubrimiento de producto 1 haciendo uso de la capacidad restante

Sin hacer uso de la capacidad restante, los resultados son similares. Existen discrepancias en los turnos 4, 5, 13, 21, donde se dan valores de 0% (o cercanos) en algunos juegos mientras que en el resto de juegos en el mismo turno se dan valores cercanos a 100% (o 100%). En el método cuantitativo se debe a que el modelo no es del todo infalible, pero en muchas ocasiones se dan diferencias contrarias en otros turnos, es decir, donde la escasez de producto se ocurre en los juegos donde se cubrió por completo (o casi) la demanda anteriormente. A la larga, existen similitudes en la escasez de producto 1, solo que en turnos diferentes, ocasionado por diferencias en la demanda real.

| Producto 1  |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|-------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana      | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 2           | 59,28%  | 65,26%  | 75,00%  | 66,51%   | 7,93%                | 0,12                                                                                  |
| 3           | 0,00%   | 0,00%   | 0,00%   | 0,00%    | 0,00%                | -                                                                                     |
| 4           | 0,00%   | 0,00%   | 0,00%   | 0,00%    | 0,00%                | -                                                                                     |
| 5           | 0,00%   | 0,00%   | 0,72%   | 0,24%    | 0,42%                | 1,73                                                                                  |
| 6           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 7           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 8           | 100,00% | 70,04%  | 100,00% | 90,01%   | 17,30%               | 0,19                                                                                  |
| 9           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10          | 94,14%  | 100,00% | 82,02%  | 92,05%   | 9,17%                | 0,10                                                                                  |
| 11          | 0,00%   | 100,00% | 100,00% | 66,67%   | 57,74%               | 0,87                                                                                  |
| 12          | 100,00% | 81,82%  | 100,00% | 93,94%   | 10,50%               | 0,11                                                                                  |
| 13          | 100,00% | 1,06%   | 100,00% | 67,02%   | 57,12%               | 0,85                                                                                  |
| 14          | 100,00% | 100,00% | 70,47%  | 90,16%   | 17,05%               | 0,19                                                                                  |
| 15          | 100,00% | 100,00% | 0,00%   | 66,67%   | 57,74%               | 0,87                                                                                  |
| 16          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 17          | 100,00% | 59,70%  | 100,00% | 86,57%   | 23,27%               | 0,27                                                                                  |
| 18          | 100,00% | 42,55%  | 100,00% | 80,85%   | 33,17%               | 0,41                                                                                  |
| 19          | 100,00% | 51,00%  | 100,00% | 83,67%   | 28,29%               | 0,34                                                                                  |
| 20          | 100,00% | 1,84%   | 100,00% | 67,28%   | 56,67%               | 0,84                                                                                  |
| 21          | 100,00% | 100,00% | 47,33%  | 82,44%   | 30,41%               | 0,37                                                                                  |
| 22          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 23          | 100,00% | 68,61%  | 90,81%  | 86,47%   | 16,14%               | 0,19                                                                                  |
| 24          | 100,00% | 0,00%   | 0,00%   | 33,33%   | 57,74%               | 1,73                                                                                  |
| 25          | 14,93%  | 0,00%   | 47,62%  | 20,85%   | 24,36%               | 1,17                                                                                  |
| 26          | 54,27%  | 100,00% | 75,07%  | 76,45%   | 22,90%               | 0,30                                                                                  |
| <=< Promedi | 77,79%  | 63,15%  | 72,66%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 17 Tasa de cubrimiento de producto 1 sin ajustes posteriores a las decisiones de la maquina

En el producto 2 los juegos son muy similares, con leves diferencias del juego 1 del resto, donde los stockouts (en español, producto faltante) ocurren más tarde. Para el producto 2, haciendo uso de la capacidad restante no existen diferencias significativas en el cubrimiento de la demanda, al ser de alta prioridad para el modelo, solo se observa escasez en los turnos 1 y 2 para

los juegos 2 y 3. Mientras que en el juego 1 la escasez se da en los turnos 11 y 12. Nuevamente, diferencias nivelatorias en la satisfacción de la demanda para este producto.

| Producto 2  |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|-------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana      | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1           | 91,73%  | 56,17%  | 86,15%  | 78,02%   | 19,12%               | 0,25                                                                                  |
| 2           | 100,00% | 44,55%  | 91,67%  | 78,74%   | 29,90%               | 0,38                                                                                  |
| 3           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 4           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 5           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 6           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 7           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 8           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 11          | 75,87%  | 100,00% | 100,00% | 91,96%   | 13,93%               | 0,15                                                                                  |
| 12          | 79,05%  | 100,00% | 100,00% | 93,02%   | 12,10%               | 0,13                                                                                  |
| 13          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 14          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 15          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 16          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 17          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 18          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 19          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 20          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 21          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 22          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 23          | 88,48%  | 100,00% | 100,00% | 96,16%   | 6,65%                | 0,07                                                                                  |
| 24          | 98,43%  | 100,00% | 100,00% | 99,48%   | 0,91%                | 0,01                                                                                  |
| 25          | 63,09%  | 100,00% | 100,00% | 87,70%   | 21,31%               | 0,24                                                                                  |
| 26          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| <=< Promedi | 96,03%  | 96,18%  | 99,15%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 18 Tasa de cubrimiento de producto 2 haciendo uso de la capacidad restante

Empleando solamente el método cuantitativo para el producto 2, las variaciones en la tasa de cubrimiento juego a juego disminuyen. Estas sutiles diferencias se observan en el turno 14 para el juego 1 y en el 23, 24, 25 y 26 para el juego 2 y 3. Episodios de escasez pero en diferentes turnos para los 3 juegos.

| Producto 2  |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|-------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana      | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 2           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 3           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 4           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 5           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 6           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 7           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 8           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 11          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 12          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 13          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 14          | 54,78%  | 100,00% | 100,00% | 84,93%   | 26,11%               | 0,31                                                                                  |
| 15          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 16          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 17          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 18          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 19          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 20          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 21          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 22          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 23          | 100,00% | 100,00% | 88,32%  | 96,11%   | 6,74%                | 0,07                                                                                  |
| 24          | 100,00% | 98,45%  | 76,53%  | 91,66%   | 13,13%               | 0,14                                                                                  |
| 25          | 100,00% | 60,79%  | 85,10%  | 81,96%   | 19,79%               | 0,24                                                                                  |
| 26          | 100,00% | 80,30%  | 100,00% | 93,43%   | 11,37%               | 0,12                                                                                  |
| <=< Promedi | 98,26%  | 97,67%  | 98,08%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 19 Tasa de cubrimiento de producto 2 sin ajustes posteriores a las decisiones de la maquina

Existe diferencias significativas en los juegos para el producto tipo 3. Haciendo uso de la capacidad restante se observan grandes diferencias en las tasas de cubrimiento de la demanda, en los turnos 2, 3, 4, 5, 7, 24, 26. Se observan coeficientes de variación de el indicador mencionado superiores a un 0.20.

| Producto 3 |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana     | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 2          | 27,07%  | 100,00% | 68,56%  | 65,21%   | 36,58%               | 0,56                                                                                  |
| 3          | 6,87%   | 35,57%  | 0,00%   | 14,15%   | 18,87%               | 1,33                                                                                  |
| 4          | 21,36%  | 77,52%  | 71,43%  | 56,77%   | 30,82%               | 0,54                                                                                  |
| 5          | 100,00% | 100,00% | 13,82%  | 71,27%   | 49,76%               | 0,70                                                                                  |
| 6          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 7          | 100,00% | 100,00% | 18,78%  | 72,93%   | 46,89%               | 0,64                                                                                  |
| 8          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 11         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 12         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 13         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 14         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 15         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 16         | 100,00% | 94,46%  | 100,00% | 98,15%   | 3,20%                | 0,03                                                                                  |
| 17         | 100,00% | 97,00%  | 100,00% | 99,00%   | 1,73%                | 0,02                                                                                  |
| 18         | 100,00% | 86,27%  | 100,00% | 95,42%   | 7,93%                | 0,08                                                                                  |
| 19         | 100,00% | 84,89%  | 100,00% | 94,96%   | 8,72%                | 0,09                                                                                  |
| 20         | 100,00% | 86,32%  | 100,00% | 95,44%   | 7,90%                | 0,08                                                                                  |
| 21         | 96,83%  | 94,38%  | 100,00% | 97,07%   | 2,82%                | 0,03                                                                                  |
| 22         | 47,16%  | 79,13%  | 100,00% | 75,43%   | 26,61%               | 0,35                                                                                  |
| 23         | 78,81%  | 100,00% | 83,03%  | 87,28%   | 11,22%               | 0,13                                                                                  |
| 24         | 0,00%   | 100,00% | 90,50%  | 63,50%   | 55,20%               | 0,87                                                                                  |
| 25         | 94,88%  | 100,00% | 61,22%  | 85,37%   | 21,07%               | 0,25                                                                                  |
| 26         | 1,20%   | 100,00% | 80,55%  | 60,58%   | 52,34%               | 0,86                                                                                  |
| Promedio   | 79,78%  | 93,67%  | 84,15%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 20 Tasa de cubrimiento de producto 3 haciendo uso de la capacidad restante

Para el producto 3 los resultados de tasa de cubrimiento con solamente el método de optimización son más consistentes. Se observan variaciones significativas en el turno 2, 3, 4, 23 y 24, según los coeficientes de variación.

| Producto 3 |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana     | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1          | 100,00% | 95,10%  | 100,00% | 98,37%   | 2,83%                | 0,03                                                                                  |
| 2          | 25,65%  | 0,00%   | 35,95%  | 20,53%   | 18,51%               | 0,90                                                                                  |
| 3          | 100,00% | 39,16%  | 0,00%   | 46,39%   | 50,39%               | 1,09                                                                                  |
| 4          | 56,67%  | 96,19%  | 46,30%  | 66,39%   | 26,33%               | 0,40                                                                                  |
| 5          | 93,48%  | 100,00% | 100,00% | 97,83%   | 3,76%                | 0,04                                                                                  |
| 6          | 89,04%  | 100,00% | 100,00% | 96,35%   | 6,33%                | 0,07                                                                                  |
| 7          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 8          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 11         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 12         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 13         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 14         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 15         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 16         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 17         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 18         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 19         | 100,00% | 92,49%  | 100,00% | 97,50%   | 4,34%                | 0,04                                                                                  |
| 20         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 21         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 22         | 93,23%  | 98,43%  | 98,38%  | 96,68%   | 2,99%                | 0,03                                                                                  |
| 23         | 0,00%   | 31,64%  | 100,00% | 43,88%   | 51,11%               | 1,16                                                                                  |
| 24         | 0,00%   | 100,00% | 100,00% | 66,67%   | 57,74%               | 0,87                                                                                  |
| 25         | 100,00% | 97,93%  | 100,00% | 99,31%   | 1,20%                | 0,01                                                                                  |
| 26         | 83,22%  | 66,82%  | 85,84%  | 78,63%   | 10,31%               | 0,13                                                                                  |
| Promedio   | 86,20%  | 89,14%  | 91,02%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 21 Tasa de cubrimiento de producto 3 sin ajustes posteriores a las decisiones de la maquina

Las tasas de cubrimiento para el producto tipo 4 son muy similares, con 5 leves episodios de agotados en todos los 3 juegos, inferiores a un 0.20 de referencia.

| Producto 4 |         |         |         |          |                      |      |
|------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|------|
| Semana     | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv   |
| 1          | 100,00% | 82,45%  | 100,00% | 94,15%   | 10,13%               | 0,11 |
| 2          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 3          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 4          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 5          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 6          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 7          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 8          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 9          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 10         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 11         | 90,91%  | 100,00% | 100,00% | 96,97%   | 5,25%                | 0,05 |
| 12         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 13         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 14         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 15         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 16         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 17         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 18         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 19         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 20         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 21         | 98,11%  | 100,00% | 100,00% | 99,37%   | 1,09%                | 0,01 |
| 22         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 23         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 24         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 25         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -    |
| 26         | 100,00% | 97,76%  | 100,00% | 99,25%   | 1,29%                | 0,01 |
| Promedio   | 99,58%  | 99,24%  | 100,00% |          | Comportamiento de cv |      |

Tabla 22 Tasa de cubrimiento de producto 4 haciendo uso de la capacidad restante

En el producto 4 las variaciones en tasas de cubrimiento entre juegos presentan mayores variaciones. Las diferencias son altamente notables para las semanas 11, 12, de la 14 a la 18, 21, de la 23 a la 26, teniendo un mínimo de 0.20 de referencia para el Cv.

| Producto 4 |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana     | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 2          | 100,00% | 95,12%  | 100,00% | 98,37%   | 2,82%                | 0,03                                                                                  |
| 3          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 4          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 5          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 6          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 7          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 8          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 11         | 43,41%  | 100,00% | 100,00% | 81,14%   | 32,67%               | 0,40                                                                                  |
| 12         | 34,89%  | 55,96%  | 100,00% | 63,62%   | 33,22%               | 0,52                                                                                  |
| 13         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 14         | 31,16%  | 100,00% | 27,57%  | 52,91%   | 40,82%               | 0,77                                                                                  |
| 15         | 100,00% | 50,79%  | 100,00% | 83,60%   | 28,41%               | 0,34                                                                                  |
| 16         | 100,00% | 100,00% | 59,31%  | 86,44%   | 23,49%               | 0,27                                                                                  |
| 17         | 100,00% | 77,93%  | 54,94%  | 77,62%   | 22,53%               | 0,29                                                                                  |
| 18         | 100,00% | 75,62%  | 59,02%  | 78,21%   | 20,61%               | 0,26                                                                                  |
| 19         | 100,00% | 100,00% | 95,52%  | 98,51%   | 2,59%                | 0,03                                                                                  |
| 20         | 100,00% | 99,39%  | 77,56%  | 92,32%   | 12,78%               | 0,14                                                                                  |
| 21         | 100,00% | 60,63%  | 100,00% | 86,88%   | 22,73%               | 0,26                                                                                  |
| 22         | 82,79%  | 100,00% | 71,23%  | 84,67%   | 14,48%               | 0,17                                                                                  |
| 23         | 0,00%   | 88,37%  | 44,14%  | 44,17%   | 44,19%               | 1,00                                                                                  |
| 24         | 100,00% | 66,32%  | 46,04%  | 70,79%   | 27,26%               | 0,39                                                                                  |
| 25         | 32,53%  | 100,00% | 26,63%  | 53,05%   | 40,76%               | 0,77                                                                                  |
| 26         | 100,00% | 38,42%  | 80,75%  | 73,06%   | 31,50%               | 0,43                                                                                  |
| Promedio   | 85,57%  | 88,79%  | 82,41%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 23 Tasa de cubrimiento de producto 4 sin ajustes posteriores a las decisiones de la maquina

En el producto tipo 5, para los 3 juegos ocurre al final de éstos, 5 episodios de agotados por debajo de 90% de cubrimiento de la demanda y 3 de 90% o superior en el mismo indicador.

Grandes diferencias en los turnos 19, 20 y 25.

| Producto 5  |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|-------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana      | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 2           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 3           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 4           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 5           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 6           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 7           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 8           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 11          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 12          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 13          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 14          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 15          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 16          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 17          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 18          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 19          | 90,55%  | 54,68%  | 100,00% | 81,74%   | 23,91%               | 0,29                                                                                  |
| 20          | 65,77%  | 100,00% | 100,00% | 88,59%   | 19,76%               | 0,22                                                                                  |
| 21          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 22          | 100,00% | 86,05%  | 100,00% | 95,35%   | 8,05%                | 0,08                                                                                  |
| 23          | 100,00% | 93,33%  | 100,00% | 97,78%   | 3,85%                | 0,04                                                                                  |
| 24          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 25          | 71,20%  | 100,00% | 55,84%  | 75,68%   | 22,42%               | 0,30                                                                                  |
| 26          | 92,59%  | 100,00% | 100,00% | 97,53%   | 4,28%                | 0,04                                                                                  |
| <=< Promedi | 96,93%  | 97,46%  | 98,30%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 24 Tasa de cubrimiento de producto 5 haciendo uso de la capacidad restante

En el producto 5, las tasas de cubrimiento tienen de coeficientes de variación mayores en la mayoría de semanas. La variación por turno es notable para las semanas 14, 16, 17, 18, 20, 23, 24 y 26.

| Producto 5  |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|-------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana      | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 2           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 3           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 4           | 85,26%  | 100,00% | 100,00% | 95,09%   | 8,51%                | 0,09                                                                                  |
| 5           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 6           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 7           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 8           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 11          | 100,00% | 72,31%  | 100,00% | 90,77%   | 15,99%               | 0,18                                                                                  |
| 12          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 13          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 14          | 100,00% | 30,68%  | 40,48%  | 57,05%   | 37,51%               | 0,66                                                                                  |
| 15          | 87,10%  | 84,00%  | 100,00% | 90,37%   | 8,49%                | 0,09                                                                                  |
| 16          | 33,74%  | 22,31%  | 100,00% | 52,02%   | 41,95%               | 0,81                                                                                  |
| 17          | 100,00% | 96,92%  | 66,94%  | 87,95%   | 18,26%               | 0,21                                                                                  |
| 18          | 38,73%  | 18,00%  | 100,00% | 52,24%   | 42,64%               | 0,82                                                                                  |
| 19          | 82,05%  | 100,00% | 93,58%  | 91,88%   | 9,10%                | 0,10                                                                                  |
| 20          | 48,55%  | 32,92%  | 68,54%  | 50,00%   | 17,85%               | 0,36                                                                                  |
| 21          | 65,31%  | 76,92%  | 56,04%  | 66,09%   | 10,46%               | 0,16                                                                                  |
| 22          | 58,77%  | 43,09%  | 58,94%  | 53,60%   | 9,10%                | 0,17                                                                                  |
| 23          | 0,00%   | 100,00% | 57,30%  | 52,43%   | 50,18%               | 0,96                                                                                  |
| 24          | 100,00% | 66,25%  | 100,00% | 88,75%   | 19,49%               | 0,22                                                                                  |
| 25          | 100,00% | 94,34%  | 100,00% | 98,11%   | 3,27%                | 0,03                                                                                  |
| 26          | 100,00% | 50,00%  | 100,00% | 83,33%   | 28,87%               | 0,35                                                                                  |
| <=< Promedi | 84,60%  | 80,30%  | 90,07%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 25 Tasa de cubrimiento de producto 5 sin ajustes posteriores a las decisiones de la maquina

Para el producto tipo 6, al estar poco representado en los aportes al margen de utilidad, es de ultima prioridad a la hora de asignar recursos de producción. Por la anterior razón tiene tasas de cubrimiento promedio 58, 57 y 67% en los juegos 1, 2 y 3. Específicamente, los stockouts o faltantes se encuentran dispersos en todo el año (contado en 26 semanas en lugar de 52). El coeficiente de variación del cubrimiento de la demanda también se encuentra disperso a lo largo del año, con picos al principio y al final de cada juego. En casi todos los turnos hay una variación significativa entre juegos. Dicho nuevamente, el modelo cuantitativo pierde su validez cuando se hacen cambios posteriores a las cantidades a producir, debido al mayor agotamiento de materiales y dinero.

| Producto 6  |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|-------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana      | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 2           | 40,09%  | 42,29%  | 53,43%  | 45,27%   | 7,15%                | 0,16                                                                                  |
| 3           | 0,00%   | 0,00%   | 0,00%   | 0,00%    | 0,00%                | #¡DIV/0!                                                                              |
| 4           | 0,00%   | 0,00%   | 100,00% | 33,33%   | 57,74%               | 1,73                                                                                  |
| 5           | 51,81%  | 0,53%   | 7,03%   | 19,79%   | 27,92%               | 1,41                                                                                  |
| 6           | 100,00% | 0,00%   | 79,79%  | 59,93%   | 52,88%               | 0,88                                                                                  |
| 7           | 32,66%  | 100,00% | 7,69%   | 46,78%   | 47,75%               | 1,02                                                                                  |
| 8           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9           | 100,00% | 95,81%  | 93,46%  | 96,42%   | 3,31%                | 0,03                                                                                  |
| 10          | 66,67%  | 100,00% | 100,00% | 88,89%   | 19,24%               | 0,22                                                                                  |
| 11          | 100,00% | 100,00% | 60,09%  | 86,70%   | 23,04%               | 0,27                                                                                  |
| 12          | 27,62%  | 100,00% | 66,67%  | 64,76%   | 36,23%               | 0,56                                                                                  |
| 13          | 0,00%   | 92,14%  | 100,00% | 64,05%   | 55,61%               | 0,87                                                                                  |
| 14          | 100,00% | 65,79%  | 81,37%  | 82,39%   | 17,13%               | 0,21                                                                                  |
| 15          | 100,00% | 91,74%  | 96,62%  | 96,12%   | 4,15%                | 0,04                                                                                  |
| 16          | 85,19%  | 0,00%   | 75,00%  | 53,40%   | 46,52%               | 0,87                                                                                  |
| 17          | 76,19%  | 100,00% | 48,45%  | 74,88%   | 25,80%               | 0,34                                                                                  |
| 18          | 88,38%  | 28,64%  | 76,14%  | 64,39%   | 31,56%               | 0,49                                                                                  |
| 19          | 100,00% | 51,53%  | 100,00% | 83,84%   | 27,98%               | 0,33                                                                                  |
| 20          | 100,00% | 50,76%  | 76,53%  | 75,76%   | 24,63%               | 0,33                                                                                  |
| 21          | 8,81%   | 0,00%   | 46,12%  | 18,31%   | 24,48%               | 1,34                                                                                  |
| 22          | 47,85%  | 88,02%  | 77,14%  | 71,00%   | 20,78%               | 0,29                                                                                  |
| 23          | 0,00%   | 70,09%  | 73,73%  | 47,94%   | 41,56%               | 0,87                                                                                  |
| 24          | 44,64%  | 32,31%  | 61,54%  | 46,16%   | 14,67%               | 0,32                                                                                  |
| 25          | 0,00%   | 24,15%  | 16,52%  | 13,56%   | 12,34%               | 0,91                                                                                  |
| 26          | 44,84%  | 45,26%  | 51,72%  | 47,27%   | 3,86%                | 0,08                                                                                  |
| <=< Promedi | 58,26%  | 56,89%  | 67,27%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 26 Tasa de cubrimiento de producto 6 haciendo uso de la capacidad restante

Los resultados son similares para el producto tipo 6, existe una gran cantidad de espacios rojos en la columna del coeficiente de variación. Para este producto, casi todos los turnos experimentan variación en el cubrimiento de la demanda, parcialmente debido a la baja prioridad que se le da. También se observa que, para tasas de cubrimiento demasiado bajas, el Cv pierde validez, como se observa en los turnos 3, 4 y 5. Es decir, a pesar de que todas las tasas de cubrimiento son cercanas a cero, el numerador (desviación) del coeficiente es de tamaño semejante al denominador (promedio). Eso conlleva a una tasa de cubrimiento de la demanda sea diferente para turnos con resultados similares, como se observa cuando se compara el turno 5 (Cv 1.73) y el 6 (Cv 1.71). Nuevamente, el coeficiente de variación del turno 3 es cero, pero para el turno 4 y 5 es demasiado grande, a pesar de que las diferencias no son muy notables, es decir, la tasa de cubrimiento en los 3 turnos son cercanas a cero.

| Producto 6  |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|-------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana      | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 2           | 46,26%  | 43,69%  | 48,10%  | 46,02%   | 2,22%                | 0,05                                                                                  |
| 3           | 0,00%   | 0,00%   | 0,00%   | 0,00%    | 0,00%                | -                                                                                     |
| 4           | 0,00%   | 0,98%   | 1,01%   | 0,66%    | 0,57%                | 0,87                                                                                  |
| 5           | 0,54%   | 0,00%   | 0,00%   | 0,18%    | 0,31%                | 1,73                                                                                  |
| 6           | 58,97%  | 0,00%   | 0,54%   | 19,84%   | 33,89%               | 1,71                                                                                  |
| 7           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 8           | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9           | 100,00% | 71,83%  | 100,00% | 90,61%   | 16,26%               | 0,18                                                                                  |
| 10          | 95,19%  | 100,00% | 100,00% | 98,40%   | 2,78%                | 0,03                                                                                  |
| 11          | 4,65%   | 100,00% | 53,74%  | 52,80%   | 47,68%               | 0,90                                                                                  |
| 12          | 100,00% | 32,33%  | 100,00% | 77,44%   | 39,07%               | 0,50                                                                                  |
| 13          | 83,33%  | 100,00% | 100,00% | 94,44%   | 9,62%                | 0,10                                                                                  |
| 14          | 100,00% | 76,50%  | 100,00% | 92,17%   | 13,57%               | 0,15                                                                                  |
| 15          | 100,00% | 80,93%  | 100,00% | 93,64%   | 11,01%               | 0,12                                                                                  |
| 16          | 100,00% | 80,79%  | 100,00% | 93,60%   | 11,09%               | 0,12                                                                                  |
| 17          | 75,00%  | 59,70%  | 100,00% | 78,23%   | 20,34%               | 0,26                                                                                  |
| 18          | 0,00%   | 100,00% | 100,00% | 66,67%   | 57,74%               | 0,87                                                                                  |
| 19          | 68,88%  | 66,30%  | 48,90%  | 61,36%   | 10,87%               | 0,18                                                                                  |
| 20          | 100,00% | 0,00%   | 40,32%  | 46,77%   | 50,31%               | 1,08                                                                                  |
| 21          | 82,18%  | 0,53%   | 48,56%  | 43,76%   | 41,04%               | 0,94                                                                                  |
| 22          | 100,00% | 100,00% | 42,66%  | 80,89%   | 33,11%               | 0,41                                                                                  |
| 23          | 47,85%  | 100,00% | 56,94%  | 68,26%   | 27,86%               | 0,41                                                                                  |
| 24          | 0,00%   | 3,60%   | 0,00%   | 1,20%    | 2,08%                | 1,73                                                                                  |
| 25          | 0,00%   | 100,00% | 0,00%   | 33,33%   | 57,74%               | 1,73                                                                                  |
| 26          | 0,00%   | 9,32%   | 17,19%  | 8,84%    | 8,61%                | 0,97                                                                                  |
| <=< Promedi | 60,11%  | 58,71%  | 59,92%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 27 Tasa de cubrimiento de producto 6 sin ajustes posteriores a las decisiones de la máquina

El producto tipo 7 presenta grandes stockouts al final del año en todos los turnos, dándoles un comportamiento similar a los 3 juegos. Al principio presenta stockouts de igual forma. Lo último se debe a los pocos recursos al principio del juego, que deben ser empleados en productos de mayor aporte a los márgenes. Adicionalmente, para la mayoría de los productos de demanda por estaciones al principio de año empiezan los picos de demanda.

| Producto 7 |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana     | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 2          | 80,00%  | 100,00% | 100,00% | 93,33%   | 11,55%               | 0,12                                                                                  |
| 3          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 4          | 100,00% | 92,54%  | 100,00% | 97,51%   | 4,31%                | 0,04                                                                                  |
| 5          | 100,00% | 0,00%   | 100,00% | 66,67%   | 57,74%               | 0,87                                                                                  |
| 6          | 100,00% | 85,19%  | 100,00% | 95,06%   | 8,55%                | 0,09                                                                                  |
| 7          | 83,49%  | 100,00% | 100,00% | 94,50%   | 9,53%                | 0,10                                                                                  |
| 8          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 11         | 100,00% | 100,00% | 91,36%  | 97,12%   | 4,99%                | 0,05                                                                                  |
| 12         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 13         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 14         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 15         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 16         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 17         | 100,00% | 100,00% | 88,89%  | 96,30%   | 6,41%                | 0,07                                                                                  |
| 18         | 100,00% | 100,00% | 97,09%  | 99,03%   | 1,68%                | 0,02                                                                                  |
| 19         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 20         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 21         | 97,16%  | 100,00% | 100,00% | 99,05%   | 1,64%                | 0,02                                                                                  |
| 22         | 100,00% | 10,53%  | 100,00% | 70,18%   | 51,66%               | 0,74                                                                                  |
| 23         | 8,75%   | 100,00% | 100,00% | 69,58%   | 52,68%               | 0,76                                                                                  |
| 24         | 71,94%  | 56,92%  | 47,16%  | 58,67%   | 12,48%               | 0,21                                                                                  |
| 25         | 0,00%   | 0,00%   | 73,77%  | 24,59%   | 42,59%               | 1,73                                                                                  |
| 26         | 100,00% | 48,19%  | 100,00% | 82,73%   | 29,91%               | 0,36                                                                                  |
| Promedio   | 90,05%  | 84,36%  | 96,09%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 28 Tasa de cubrimiento de producto 7 haciendo uso de la capacidad restante

Para el producto 7 los coeficientes de variación empeoran. Por tanto los resultados no son más consistentes que al hacer uso de la capacidad restante para reservar inventario a futuro. Existen grandes diferencias en las semanas 3, 11, 14, 16, 18-24, y 26.

| Producto 7 |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana     | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 2          | 100,00% | 100,00% | 78,81%  | 92,94%   | 12,23%               | 0,13                                                                                  |
| 3          | 100,00% | 100,00% | 0,00%   | 66,67%   | 57,74%               | 0,87                                                                                  |
| 4          | 100,00% | 80,73%  | 100,00% | 93,58%   | 11,13%               | 0,12                                                                                  |
| 5          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 6          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 7          | 82,03%  | 100,00% | 100,00% | 94,01%   | 10,37%               | 0,11                                                                                  |
| 8          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 11         | 0,76%   | 100,00% | 100,00% | 66,92%   | 57,30%               | 0,86                                                                                  |
| 12         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 13         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 14         | 100,00% | 100,00% | 1,03%   | 67,01%   | 57,14%               | 0,85                                                                                  |
| 15         | 100,00% | 99,37%  | 88,00%  | 95,79%   | 6,75%                | 0,07                                                                                  |
| 16         | 100,00% | 73,26%  | 2,78%   | 58,68%   | 50,22%               | 0,86                                                                                  |
| 17         | 98,48%  | 100,00% | 89,80%  | 96,09%   | 5,50%                | 0,06                                                                                  |
| 18         | 100,00% | 100,00% | 2,17%   | 67,39%   | 56,48%               | 0,84                                                                                  |
| 19         | 100,00% | 66,12%  | 100,00% | 88,71%   | 19,56%               | 0,22                                                                                  |
| 20         | 100,00% | 100,00% | 23,85%  | 74,62%   | 43,97%               | 0,59                                                                                  |
| 21         | 100,00% | 100,00% | 39,51%  | 79,84%   | 34,92%               | 0,44                                                                                  |
| 22         | 54,49%  | 100,00% | 48,15%  | 67,55%   | 28,28%               | 0,42                                                                                  |
| 23         | 0,00%   | 11,68%  | 48,85%  | 20,18%   | 25,51%               | 1,26                                                                                  |
| 24         | 0,00%   | 100,00% | 37,68%  | 45,89%   | 50,50%               | 1,10                                                                                  |
| 25         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 26         | 100,00% | 100,00% | 25,27%  | 75,09%   | 43,15%               | 0,57                                                                                  |
| Promedio   | 85,99%  | 93,51%  | 68,69%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 29 Tasa de cubrimiento de producto 7 sin ajustes posteriores a las decisiones de la maquina

En el producto tipo 8, los stockouts son elevados y a lo largo del año, a excepción del juego 3. Debido a lo anterior, no existe un patrón de comportamiento similar en los 3 juegos. Solo en las semanas 2, 6, 7, 21, 23 los resultados discrepan entre juegos.

| Producto 8 |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana     | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1          | 93,56%  | 100,00% | 100,00% | 97,85%   | 3,72%                | 0,04                                                                                  |
| 2          | 0,00%   | 72,73%  | 100,00% | 57,58%   | 51,69%               | 0,90                                                                                  |
| 3          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 4          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 5          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 6          | 61,95%  | 100,00% | 100,00% | 87,32%   | 21,97%               | 0,25                                                                                  |
| 7          | 100,00% | 50,23%  | 100,00% | 83,41%   | 28,73%               | 0,34                                                                                  |
| 8          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 11         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 12         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 13         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 14         | 97,07%  | 100,00% | 100,00% | 99,02%   | 1,69%                | 0,02                                                                                  |
| 15         | 82,30%  | 100,00% | 100,00% | 94,10%   | 10,22%               | 0,11                                                                                  |
| 16         | 68,53%  | 73,31%  | 97,14%  | 79,66%   | 15,33%               | 0,19                                                                                  |
| 17         | 81,16%  | 100,00% | 100,00% | 93,72%   | 10,88%               | 0,12                                                                                  |
| 18         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 19         | 100,00% | 72,79%  | 100,00% | 90,93%   | 15,71%               | 0,17                                                                                  |
| 20         | 97,89%  | 70,90%  | 100,00% | 89,60%   | 16,23%               | 0,18                                                                                  |
| 21         | 59,64%  | 100,00% | 100,00% | 86,55%   | 23,30%               | 0,27                                                                                  |
| 22         | 100,00% | 89,76%  | 100,00% | 96,59%   | 5,91%                | 0,06                                                                                  |
| 23         | 100,00% | 82,30%  | 57,61%  | 79,97%   | 21,29%               | 0,27                                                                                  |
| 24         | 100,00% | 100,00% | 95,97%  | 98,66%   | 2,33%                | 0,02                                                                                  |
| 25         | 70,25%  | 100,00% | 100,00% | 90,08%   | 17,18%               | 0,19                                                                                  |
| 26         | 71,00%  | 100,00% | 100,00% | 90,33%   | 16,74%               | 0,19                                                                                  |
| Promedio   | 87,82%  | 92,77%  | 98,10%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 30 Tasa de cubrimiento de producto 8 haciendo uso de la capacidad restante

Para el producto 8, las tasas de cubrimiento de la demanda son menos consistentes con el método cuantitativo sin modificaciones posteriores.

| Producto 8 |         |         |         |          |                      |                                                                                       |
|------------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Semana     | Juego 1 | Juego 2 | Juego 3 | Promedio | Desviacion           | Cv                                                                                    |
| 1          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 2          | 100,00% | 14,44%  | 16,22%  | 43,55%   | 48,89%               | 1,12                                                                                  |
| 3          | 100,00% | 100,00% | 84,07%  | 94,69%   | 9,20%                | 0,10                                                                                  |
| 4          | 100,00% | 59,65%  | 81,85%  | 80,50%   | 20,21%               | 0,25                                                                                  |
| 5          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 6          | 100,00% | 100,00% | 75,80%  | 91,93%   | 13,97%               | 0,15                                                                                  |
| 7          | 100,00% | 99,51%  | 100,00% | 99,84%   | 0,28%                | 0,00                                                                                  |
| 8          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 9          | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 10         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 11         | 71,74%  | 100,00% | 100,00% | 90,58%   | 16,32%               | 0,18                                                                                  |
| 12         | 22,06%  | 100,00% | 100,00% | 74,02%   | 45,00%               | 0,61                                                                                  |
| 13         | 100,00% | 94,97%  | 100,00% | 98,32%   | 2,90%                | 0,03                                                                                  |
| 14         | 100,00% | 29,83%  | 100,00% | 76,61%   | 40,51%               | 0,53                                                                                  |
| 15         | 98,88%  | 100,00% | 100,00% | 99,63%   | 0,65%                | 0,01                                                                                  |
| 16         | 93,62%  | 82,00%  | 100,00% | 91,87%   | 9,13%                | 0,10                                                                                  |
| 17         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 18         | 100,00% | 88,95%  | 100,00% | 96,32%   | 6,38%                | 0,07                                                                                  |
| 19         | 100,00% | 51,12%  | 100,00% | 83,71%   | 28,22%               | 0,34                                                                                  |
| 20         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 21         | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00%  | 0,00%                | -                                                                                     |
| 22         | 100,00% | 39,11%  | 100,00% | 79,70%   | 35,15%               | 0,44                                                                                  |
| 23         | 41,98%  | 0,00%   | 98,47%  | 46,82%   | 49,41%               | 1,06                                                                                  |
| 24         | 100,00% | 72,88%  | 63,87%  | 78,92%   | 18,81%               | 0,24                                                                                  |
| 25         | 64,81%  | 78,57%  | 100,00% | 81,13%   | 17,73%               | 0,22                                                                                  |
| 26         | 100,00% | 90,76%  | 100,00% | 96,92%   | 5,33%                | 0,06                                                                                  |
| Promedio   | 92,04%  | 80,84%  | 93,09%  |          | Comportamiento de cv |  |

Tabla 31 Tasa de cubrimiento de producto 8 sin ajustes a las decisiones tomadas por el modelo de optimización

En la tabla siguiente son presentados los intervalos de confianza para la media de las tasas de cubrimiento de cada juego. Para ello, se asumen la media como el objetivo de tasa de cubrimiento por producto y que la desviación estándar poblacional se asemeja a la desviación de las observaciones de fulfillment para los 3 juegos. El desfase en el juego 1 se explica por el redondeo efectuado en el modelo de Excel en el uso de los materiales tipo c, que produjo agotamiento prematuro del proveedor 9 (3er proveedor de material tipo c). Como es necesario seguir el modelo de optimización lineal completamente para esa prueba, en el turno 22 no se pudo realizar producción de ningún producto, hasta tener nuevamente existencias, es decir en el turno 23. Algunos de los desfases de los juegos 2 y 3 fueron en el límite superior. Eso explica el numero exagerado de desfases de estos en comparación con el juego 1. Los intervalos de confianza comparan la media de la muestra comparado a su población. También es primordial recordar que los objetivos de tasa de cubrimiento son determinados por una aproximación matemática-estadística, es decir, en la toma de decisiones y con la aleatoriedad de la demanda el resultado real puede ser mucho mayor o menor. Lo anterior no es prueba contundente de un desfase

significativo entre juegos, solamente de diferencias entre cada juego y la tasa de cubrimiento esperada.

|            | Desviacion<br>estandar | Valor esperado de<br>nivel de cumplimiento | Intervalo<br>inferior | Intertvalo<br>superior | Desfase juego 1 | Desfase<br>juego 2 | Desfase<br>juego 3 |
|------------|------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| Producto 1 | 0,3993                 | 0,7992                                     | 0,6457                | 0,7992                 | No              | Si                 | No                 |
| Producto 2 | 0,0766                 | 0,9200                                     | 0,8906                | 0,9200                 | Si              | Si                 | Si                 |
| Producto 3 | 0,2652                 | 0,8845                                     | 0,7826                | 0,8845                 | No              | Si                 | Si                 |
| Producto 4 | 0,2446                 | 0,9142                                     | 0,8202                | 0,9142                 | No              | No                 | No                 |
| Producto 5 | 0,2493                 | 0,9195                                     | 0,8236                | 0,9195                 | No              | Si                 | No                 |
| Producto 6 | 0,4179                 | 0,7196                                     | 0,5590                | 0,7196                 | No              | No                 | No                 |
| Producto 7 | 0,3257                 | 0,9133                                     | 0,7881                | 0,9133                 | No              | Si                 | Si                 |
| Producto 8 | 0,2340                 | 0,8889                                     | 0,7989                | 0,8889                 | Si              | No                 | Si                 |

*Tabla 32 Intervalos de confianza para la tasa de cubrimiento por producto. A la derecha se anota si existe una desviación significativa en cada juego/producto.*

### Ordenes de material

A continuación, se analiza el comportamiento de las ordenes de materiales para producir los balones. Los proveedores no representados en el siguiente análisis no tienen ninguna diferencia en el comportamiento de los órdenes. Eso se debe a que en los primeros 3 turnos las ordenes de materiales de producción son iguales.

A continuación, se tiene una tabla de ordenes de material para el proveedor 1. En el eje y se encuentra el tamaño de la orden, y en el eje horizontal se representa la semana en que se realiza la orden. El comportamiento es similar para el proveedor 1, con la diferencia que se realiza un pedido del tamaño de lote en los juegos 1 y 3 en las semanas 5 y 6 seguidos de un pedido más pequeño para las últimas 10 semanas. En sentido contrario, en el juego 2, el pedido pequeño de 600 se realiza al comienzo, y lote mas grande se ordena al final. El total de material ordenado es similar en los 3 juegos.

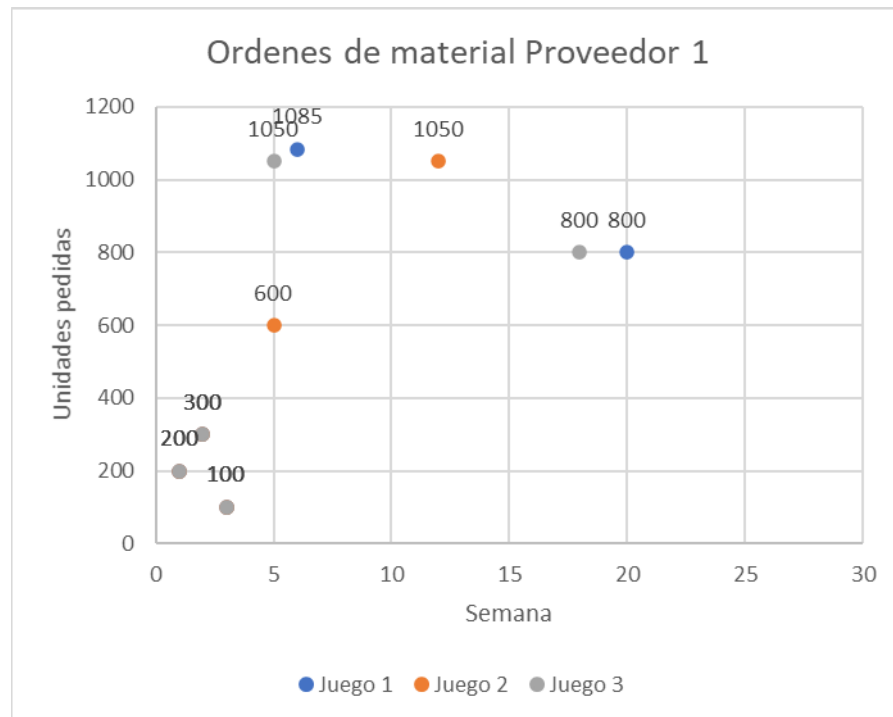


Ilustración 11 Grafico de órdenes del material del proveedor 1 haciendo uso de la capacidad restante

Empleando solamente el método cuantitativo, las ordenes en todos los productos se efectúan en la misma cantidad en periodos consecutivos en los 3 juegos.

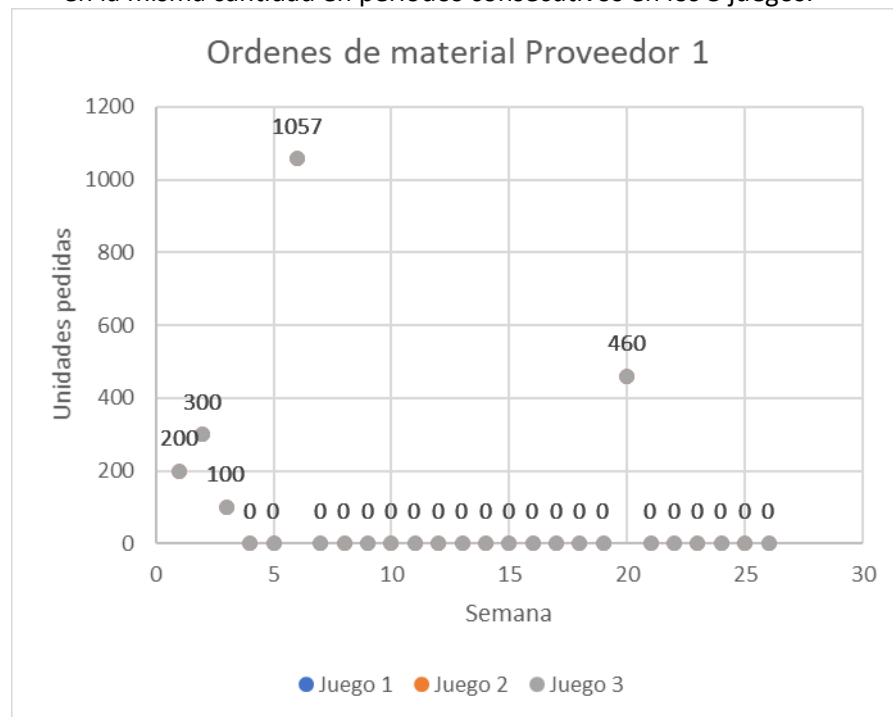
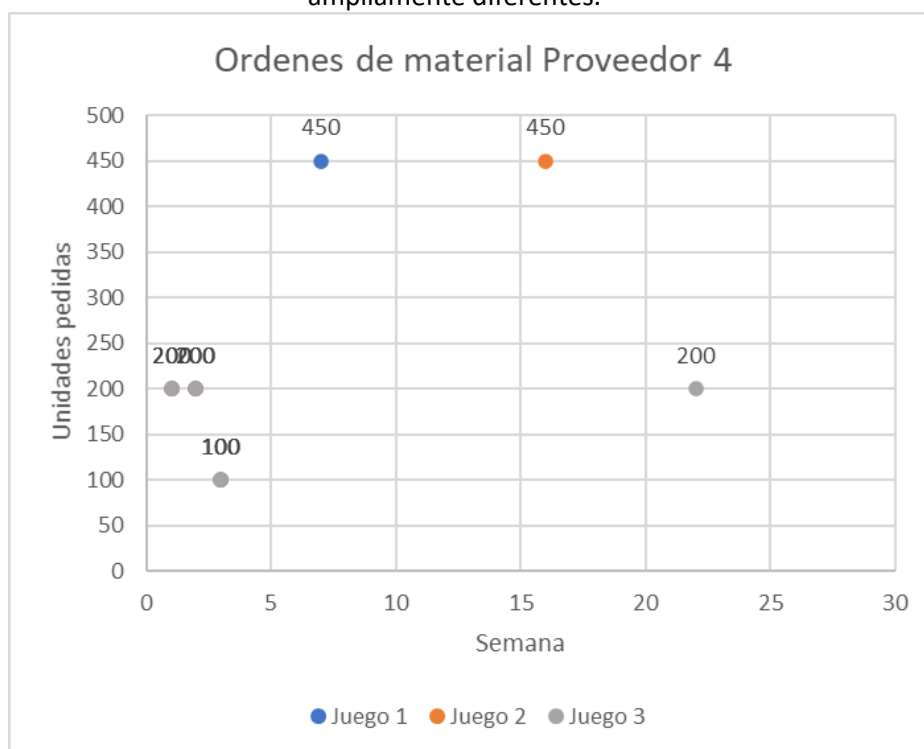


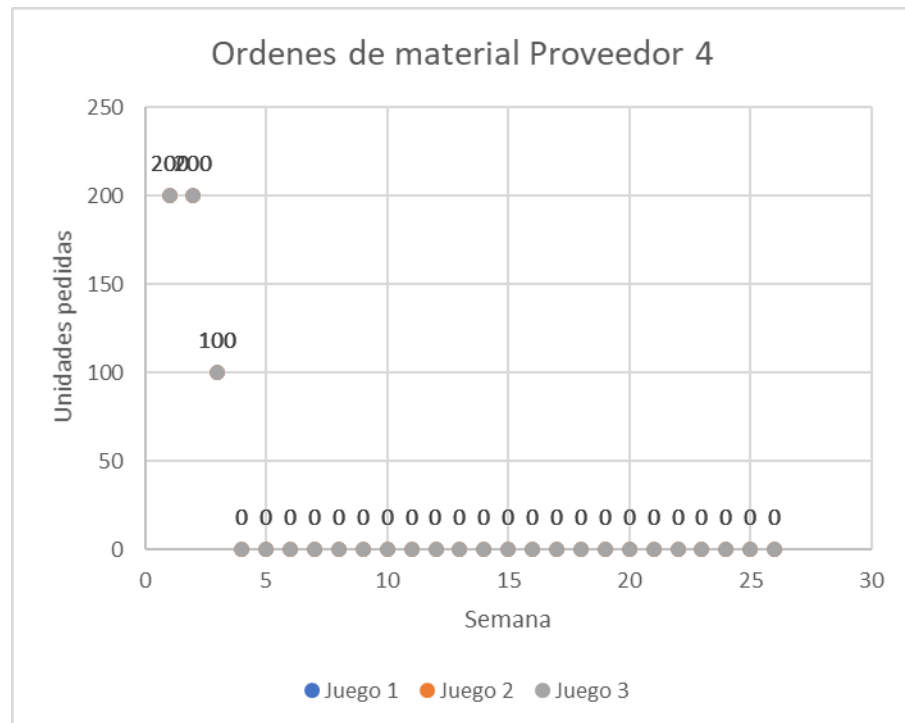
Ilustración 12 Grafico de órdenes del material del proveedor 1 para el escenario de decisión puramente basados en el método cuantitativo

Para los materiales del proveedor 4, existe una gran diferencia en la decisión de aprovisionamiento. El tamaño de la orden y la semana en que se realiza el pedido son ampliamente diferentes.



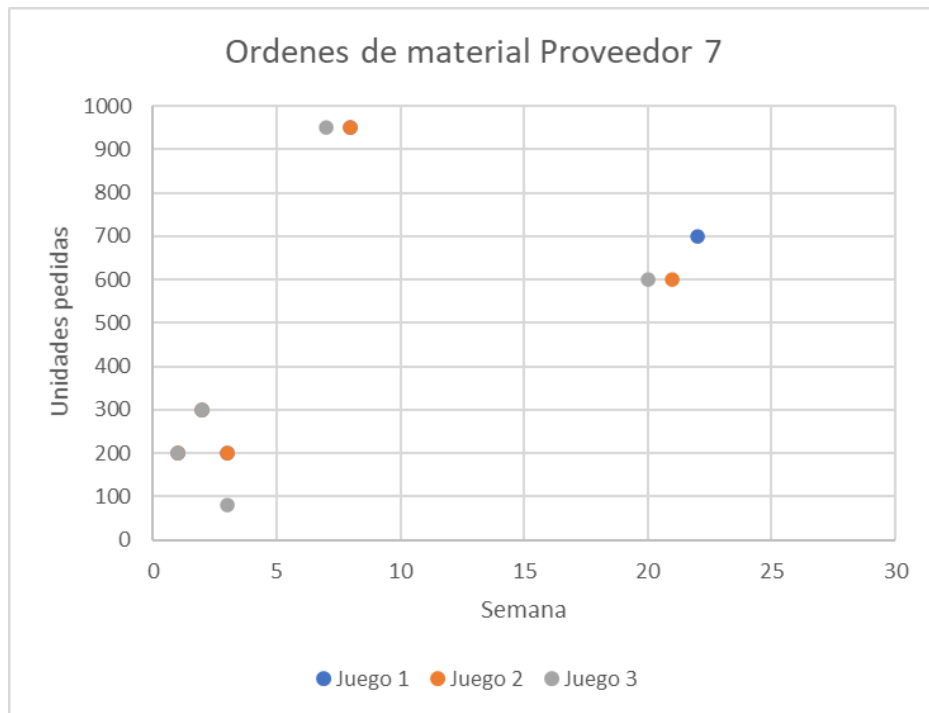
*Ilustración 13 Grafico de órdenes del material del proveedor 4 haciendo uso de la capacidad restante*

Empleando solamente el método cuantitativo, las ordenes en todos los productos se efectúan en la misma cantidad en el mismo periodo en los 3 juegos.



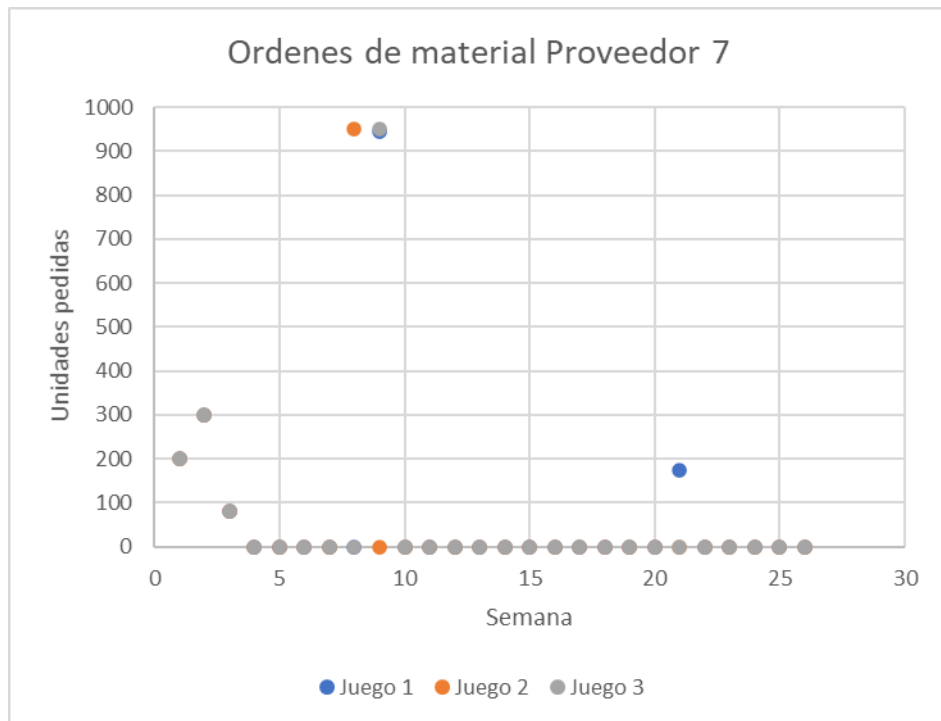
*Ilustración 14 Grafico de órdenes del material del proveedor 4 para el escenario de decisión puramente basados en el método cuantitativo*

En el proveedor 7, al contrario del proveedor 4, el comportamiento de pedido es muy similar. Las diferencias del tamaño de la orden y la semana en que es efectuada son demasiado bajas. Lo anterior se debe a las sutiles diferencias en las demandas de carácter probabilístico observadas en los 3 juegos, en consecuencia, los requerimientos de producción que arroja el modelo no siempre son iguales. Otro factor es que cuando la demanda observada está por encima de la media pronosticada, se puede obtener mayores ingresos por las ventas, y cuando sucede lo contrario se gana menos. Si los ingresos iniciales de un juego son mucho menores a los de otro, se puede comprar la misma cantidad en todos los juegos, pero en turnos diferentes. Se puede observar que para el proveedor 7 se ordenan cantidades diferentes para los juegos 2 y 3, y posteriormente las ordenes se efectúan con la misma cantidad de unidades pero en turnos diferentes.



*Ilustración 15 Grafico de órdenes del material del proveedor 7 haciendo uso de la capacidad restante*

Empleando solamente el método cuantitativo, las ordenes en todos los productos se efectúan en la misma cantidad en el mismo periodo en los 3 juegos. Nuevamente empleando solamente el método cuantitativo, las ordenes se realizan en las mismas cantidades pero en algunas ocasiones en turnos diferentes.



*Ilustración 16 Grafico de órdenes del material del proveedor 7 para el escenario de decision puramente basados en el metodo cuantitativo*

Lo mismo sucede con los materiales del proveedor 8, son muy similares en el tamaño y tiempo de realización de la orden. Como se puede observar, en el ultimo pedido, el juego 1 y el 2 se realizan en periodos consecutivos, mientras que el juego 3 se ordena menores cantidades que el resto y en el mismo periodo que el juego 1.

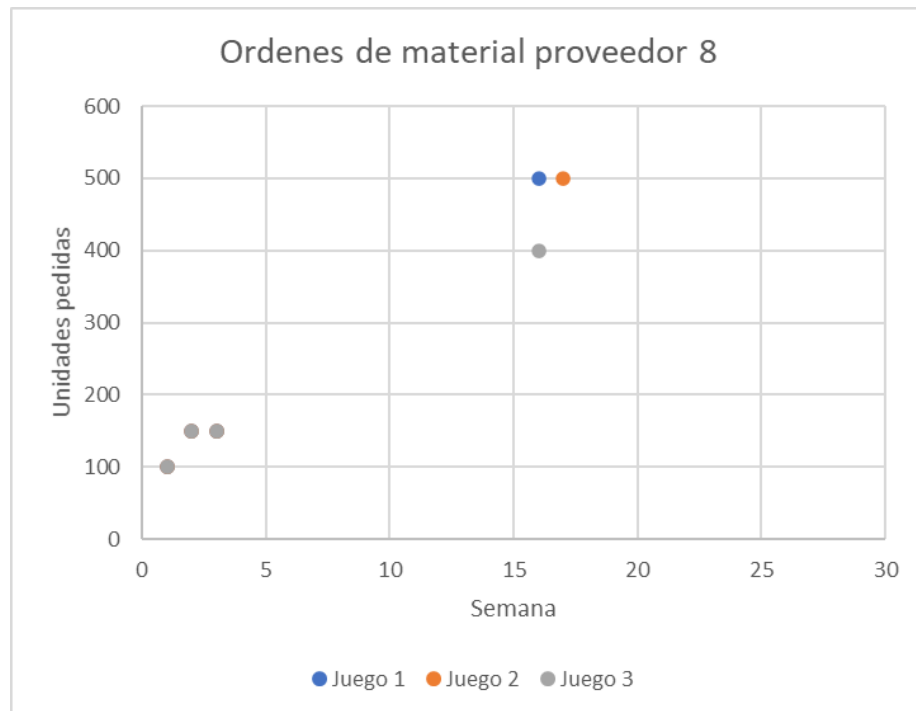


Ilustración 17 Grafico de órdenes del material del proveedor 8 haciendo uso de la capacidad restante

Empleando solamente el método cuantitativo, las ordenes en todos los productos se efectúan en la misma cantidad en el mismo periodo en los 3 juegos. La única diferencia se da en el ultimo pedido, que se realiza en el periodo siguiente para el juego 2.

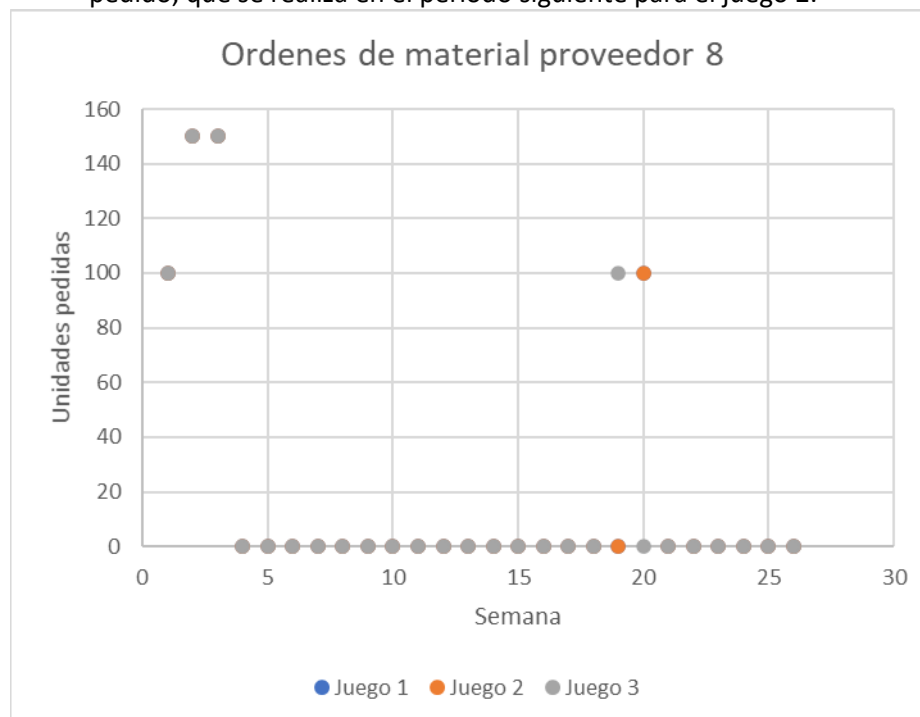
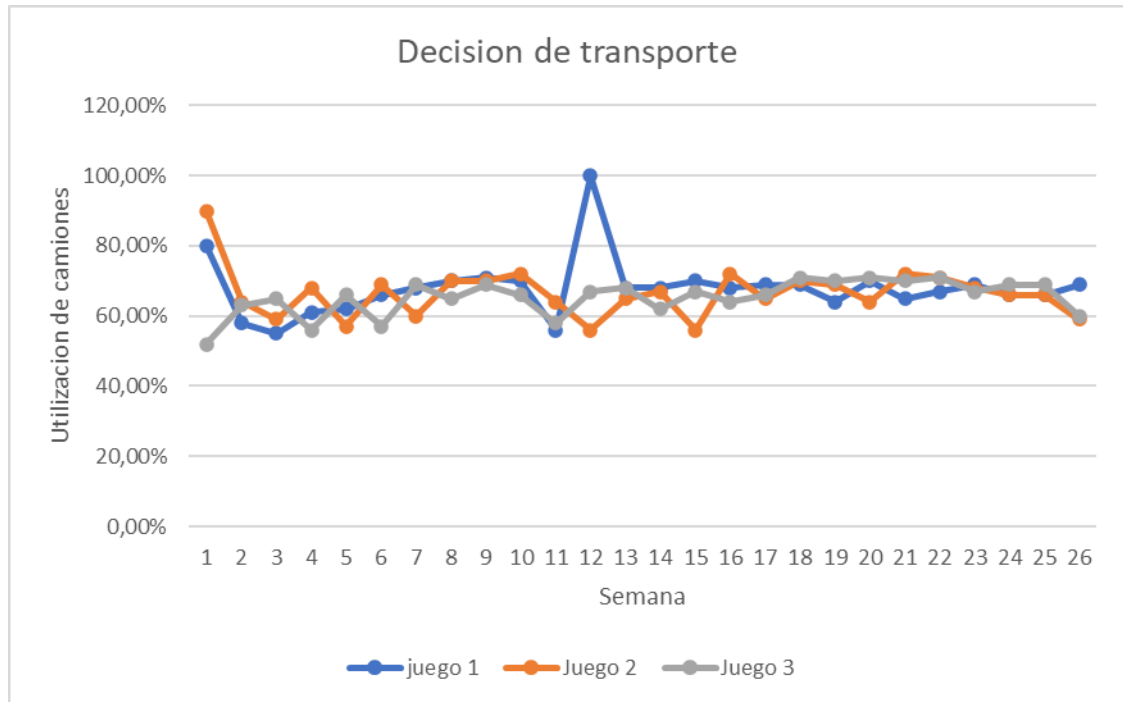


Ilustración 18 Grafico de órdenes del material del proveedor 8 para el escenario de decisión puramente basados en el método cuantitativo

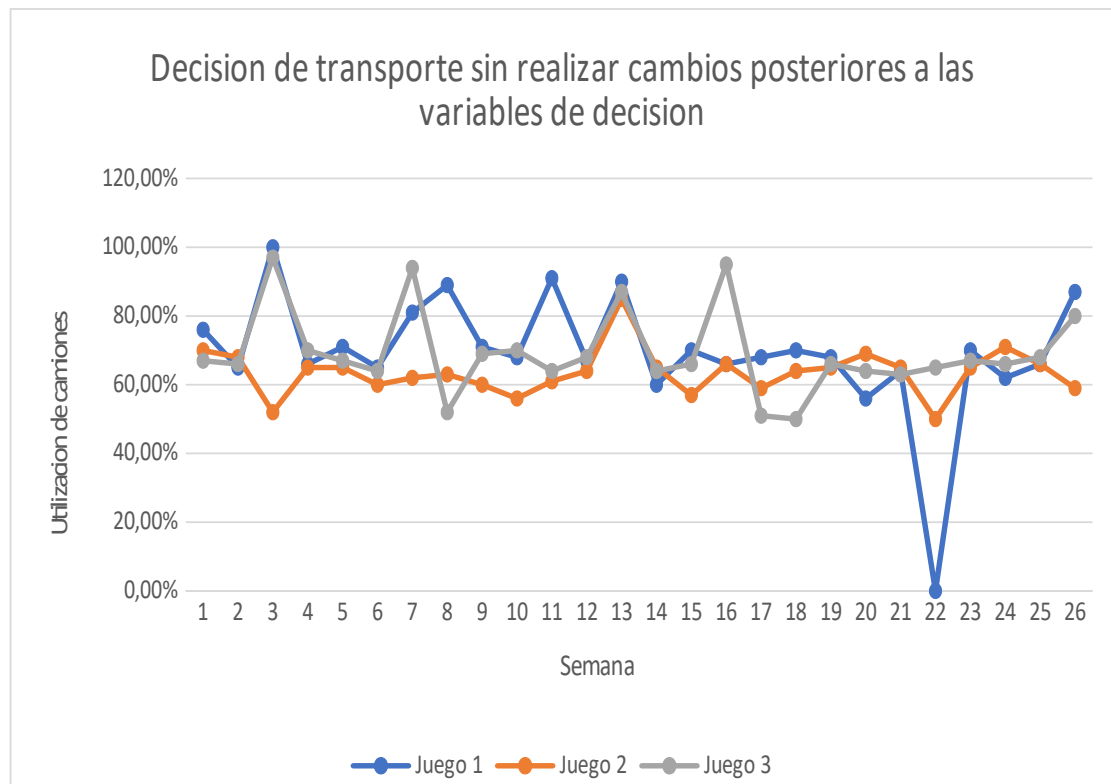
### Decision de transporte

La decisión de transporte, como se puede observar en la gráfica, presenta un comportamiento uniforme en los 3 juegos.



*Ilustración 19 Grafico de la decision de transporte haciendo uso de la capacidad restante*

Sin hacer uso de la intervención humana en la toma de decisiones, empleando solamente el modelo de optimización lineal, la utilización del recurso transporte varía demasiado en comparación con el uso de la intervención humana.



*Ilustración 20 Comportamiento de la decision de transporte a tiendas sin realizar cambios posteriores en las variables de decision*

Con el propósito de evaluar la consistencia en los resultados de la utilización del recurso transporte, se recurre al análisis de varianzas, que permite evaluar la semejanza de promedios de más de dos muestras poblacionales. La hipótesis nula es que todos juegos tienen una utilización promedio de la flota de transporte, en caso de rechazarse la hipótesis nula, se acepta la alterna, que expresa que hay diferencias significativas en por lo menos dos de los 3 juegos. Tomando un valor alfa de 0.05, el valor p para el escenario de no hacer cambios posteriores al modelo de decisión por optimización lineal es 0,18457499. Como el valor p es mayor al valor de referencia, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, los 3 juegos brindan resultados medios semejantes en el uso del recurso transporte.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de realizados los ensayos, se concluye que utilizando un modelo de optimización lineal para la producción de la plataforma LOST y haciendo uso de la capacidad restante en cada turno fabricar referencias próximas a agotarse genera resultados comparativamente superiores a los obtenidos por el resto de los participantes en la plataforma. Asimismo, la incertidumbre en la demanda futura y la volatilidad de esta produce agotamientos que afectan el asertividad del modelo de optimización, y ello obliga a mantener altos stocks para no perder ventas. Mejorar el pronóstico o hacer uso de métodos más avanzados como los de Box-Jenkins servirá de ayuda a aumentar las ganancias finales. Entre ambas aproximaciones a resolver el problema de producción

de balones, haciendo solamente uso de un método cuantitativo de optimización genera mas consistencia en la mayoría de los indicadores mencionados.

- Se encuentra menor dispersión en los resultados de activos finales y efectivo con un nivel de cubrimiento de la demanda esperado de 92%, empleando solamente el modelo cuantitativo de optimización sin cambios posteriores en las decisiones.
- Una tasa de cubrimiento objetivos más baja puede conducir a resultados consistentes, pero si estas son más altas, se obtienen mejores resultados de ganancias monetarias. Si el objetivo es demasiado alto, se genera sobre abundancia de los tipos de pelotas mas rentables.
- A mayor tasa de cubrimiento esperada se garantiza el suministro de productos más rentables con el modelo empleado, a expensas de los productos con un menor margen de utilidad.
- Se hace necesario producir y vender referencias de menor contribución a las utilidades si se desea obtener resultados superiores. Emplear toda la capacidad de fabricación para tipos de balones más rentables (pero de menor demanda) genera sobre stock de éstos y ocasiona agotamientos en los demás productos.
- Se ha observado que utilizando de la capacidad restante para producir bienes que puedan incurrir en faltantes ayuda a conseguir el objetivo esperado en cubrimiento de demanda.
- Para mayor consistencia en las tasas de cubrimiento de la demanda y en la toma de decisión de aprovisionamiento, es mejor emplear solamente métodos de optimización lineal.
- Se observa consistencia en el comportamiento de las ordenes de material. La tasa de cubrimiento empleando solamente el modelo de decisión en los productos tipo 1, 2, 6 y 7 tiene medias no consistentes entre los juegos, según el análisis de varianza entre los juegos (ANOVA de una variable). Para la estrategia mixta existe diferencias amplias para las referencias de producto tipo 1, 2, 6 y 8 en los 3 juegos. El comportamiento de las maquinas 1 y 3 es consistente en el tiempo para ambos escenarios.
- Usar menos proveedores reduce la posibilidad de desabastecimientos de materiales, pero no genera grandes diferencias en el costo de aprovisionamiento.
- Los resultados obtenidos en los intervalos de confianza de las tasas de cubrimiento reflejan un desfase significativo entre los juegos 2 y 3 con los valores esperados. Puede existir un desfase entre juegos, pero lo anterior no es prueba suficiente para ello.

### Resumen del comportamiento de los indicadores

En la siguiente tabla se enumera un resumen de todo lo anteriormente mencionado en cuanto al patrón de comportamiento de los indicadores logísticos. Marcados con la letra X se representan los indicadores donde se percibe un comportamiento uniforme o con diferencias cortas entre los 3 juegos. Cuando no se marca, es decir, el espacio aparece en blanco, no se percibe un patrón en las 3 semanas.

| Indicador\<br>numero | Maquina | Fulfillment | Ordenes de<br>material | Transporte |
|----------------------|---------|-------------|------------------------|------------|
| 1                    | X       |             | X                      | X          |
| 2                    |         |             | X                      |            |
| 3                    | X       | X           | X                      |            |
| 4                    |         | X           |                        |            |
| 5                    |         | X           | X                      |            |
| 6                    |         |             | X                      |            |
| 7                    |         | X           | X                      |            |
| 8                    |         |             | X                      |            |
| 9                    |         |             | X                      |            |

Tabla 33 Resumen de indicadores logísticos. Comportamiento en los 3 juegos haciendo uso de la capacidad restante

Empleando solamente el modelo de programación lineal, sin hacer ajustes en la toma de decisiones, se satisface la consistencia en las ordenes de material efectuada, pero la utilización de transporte de productos no brinda resultados similares entre juegos. La tasa de cubrimiento con el método de optimización lineal solamente, brinda un desempeño constante en el producto 8, pero no en el producto de tipo 7, como sí sucede en las pruebas realizadas empleando el método de optimización haciendo uso de la capacidad restante en producir mas bienes de los requeridos.

| Indicador\<br>numero | Maquina | Fulfillment | Ordenes de<br>material | Transporte |
|----------------------|---------|-------------|------------------------|------------|
| 1                    | X       |             | X                      |            |
| 2                    |         |             | X                      |            |
| 3                    | X       | X           | X                      |            |
| 4                    |         | X           | x                      |            |
| 5                    |         | X           | X                      |            |
| 6                    |         |             | X                      |            |
| 7                    |         |             | X                      |            |
| 8                    |         | X           | X                      |            |
| 9                    |         |             | X                      |            |

Tabla 34 Resumen de indicadores logísticos. Comportamiento en los 3 juegos sin realizar cambios posteriores a las decisiones del modelo de optimización



## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, J. (1983). *Cognitive psychology and its implications (2nd ed)*. New York, NJ: Freeman.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. . *Psychological Review*, 84(2), 191-215.
- Bunchball. (2010). *Gamification 101: An introduction to the use of game dynamics to influence behavior*. Obtenido de <http://www.bunchball.com/gamification101>
- Castro, C. (2018). *Gestión de Inventarios: Artículos Individuales cuando la Demanda es Probabilística*. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2009). *Administración de Operaciones: Producción y Cadena de Suministros*. México D.F, México: McGraw Hill - Interamericana Editores S.A.
- Chentanez, N. B. (2004). Intrinsically motivated reinforcement learning. *Advances in neural information processing systems*, 1281-1288.
- Collier, D., & Evans, J. (2016). *Administración de operaciones : bienes, servicios y cadenas de valor*. Ciudad de México: Cengage Learning.
- Detering, S. S. (2011, May). Gamification. using gamedesign elements in non-gaming contexts. *2011 annual conference extended abstracts on Human factors in computing systems* (págs. 2425-2428). ACM.
- Educase. (2011). *7 things you should know about gamification*. Obtenido de <https://net.educause.edu/ir/library/pdf/ELI7075.pdf>
- Escot Mangas, L., Olmeda Fernandez, E., & Del Pozo García Eva. (2002). Optimización dinamica. *Documentos de Trabajo de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*(08), (No publicado). Recuperado el 1 de Abril de 2019
- Figueroa, J. F. (27 de Noviembre de 2015). Using Gamification to Enhance Second Language Learning. *Digital Education Review*. Obtenido de Digital Education Review.
- Garris, R. A. (2002). Games, motivation, and learning: a research and practice model. *Simulation & Gaming*, 33(4), 441-467.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: experience as a source of learning and development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Lucassen, B., Dempsey, R. B., Haynes, L., & Casey, M. (1996). Instructional applications of computer games. (*ERIC Document Reproduction Service No. ED394500*).
- Nahmias, S. (2007). *Análisis de la producción y las operaciones*. Ciudad de México: McGraw Hill.
- Park, H. M. (16 de 03 de 2020). *Univariate Analysis and Normality Test Using SAS, Stata, and SPSS*. Obtenido de scholarworks.iu.edu: <https://scholarworks.iu.edu/dspace/bitstream/handle/2022/19742/Univariate%20Analysis%20and%20Normality%20Test%20Using%20SAS%2c%20Stata%2c%20and%20SPSS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Prensky, M. (2001). *Digital Game-Based Learning*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Shumsky, T. (29 de Noviembre de 2017). *The Wall Street Journal*. Obtenido de Stop Using Excel, Finance Chiefs Tell Staffs: <https://www.wsj.com/articles/stop-using-excel-finance-chiefs-tell-staffs-1511346601>
- Sipper, D., & Bulfin, R. (1998). Capítulo 4: Pronósticos - Métodos de Series de Tiempo. En *Planeación y Control de la Producción* (págs. 147-166). Mexico, D.F.: McGraw Hill Interamericana Editores.
- Skinner, B. (1963). Operant Behavior. *American Psychologist*, 18(8), pp. 503-515.

- Velez, M., & Castro, C. (Noviembre de 2002). Modelo de Revisión Periódica para el Control de Inventario en Artículos con Demanda Estacional una Aproximación desde la Simulación. *Dyna*, 69(137), 23-34. Recuperado el 1 de Abril de 2019
- Werbach, K. &. (2012). *How Game Thinking Can Revolutionize Your Business*. Philadelphia, PA: Wharton Digital Press.