



Revista Venezolana de Gerencia





Planificación táctica de la producción: Simulación de datos ante escenarios de incertidumbre

Miñan-Olivos, Guillermo Segundo*
Cardoza-Sernaque, Manuel Antonio**
Cisneros-Hilario, César Braulio***

Resumen

El estudio desarrolló un modelo de simulación para su aplicación en pequeñas empresas respecto a problemas de planificación táctica de la producción en escenarios de incertidumbre. Se utilizaron herramientas informáticas como Microsoft Excel con aplicaciones VBA, SPSS 25 y Minitab 18. Los planes agregados de producción siguieron estrategias heurísticas. Se evidenció que una estrategia de nivelación representaba el menor costo de producción (295,984 dólares). La simulación de 1000 escenarios aleatorios para las ventas determinó que en el 96.1% de los casos se debería mantener la estrategia de nivelación. Se demostró que la estrategia de nivelación mantendría costos entre 258,665 y 281,801 dólares en un 50% de escenarios probables, en un 25% los costos superarían los 281,801 dólares, mientras que los montos superiores a 313,268 dólares serían atípicos. El intervalo de confianza para su media estaría comprendido entre los 269,111 y 271,247 dólares. Finalmente, se pudo concluir que la simulación puede reducir el grado de incertidumbre en la toma de decisiones de pequeñas empresas.

Palabras clave: planeación; simulación; números aleatorios; incertidumbre.

Recibido: 28.01.22

Aceptado: 10.09.22

* Docente investigador de la Universidad Tecnológica del Perú – Región Norte. Investigador RENACYT identificado con código P0088180. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9523-8043>, correo: c20342@utp.edu.pe

** Coordinador de Investigación de la Universidad Tecnológica del Perú – Filial Chimbote. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6738-0683>, correo: mcardoza@utp.edu.pe

*** Docente de tiempo completo de la Universidad Tecnológica del Perú – Filial Chimbote. Investigador RENACYT identificado con código P0004417. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6158-7250>, correo: c21246@utp.edu.pe

Tactical production planning. Simulation of data under uncertainty scenarios

Abstract

The study developed a simulation model for application in small businesses regarding tactical production planning problems in uncertain scenarios. Computer tools such as Microsoft Excel were used with VBA, SPSS 25, and Minitab 18 applications. Aggregate production plans followed heuristic strategies. It was shown that a leveling strategy represented the lowest cost of production (\$295,984). The simulation of 1000 random scenarios for sales determined that in 96.1% of cases the leveling strategy should be maintained. It was shown that the leveling strategy would maintain costs between \$258,665 and \$281,801 in 50% of likely scenarios, costs would exceed \$281,801 at 25%, while amounts above \$313,268 would be atypical. The confidence interval for its mean would be between \$269,111 and \$271,247. Finally, it could be concluded that simulation can reduce the degree of uncertainty in small business decision-making.

Keywords: planning; simulation; random numbers; uncertainty.

1. Introducción

En la gestión de la producción, un modelo de simulación permitiría evaluar distintas variables y mejorar la toma de decisiones para reducir costos operativos y financieros (Cerdeja et al, 2021; Salazar y Alzate, 2019; Blanco, León y Acosta, 2020). En ese contexto, por ejemplo, la planeación de la producción podría dificultarse debido a la variabilidad que tiene la demanda en función al tiempo, y si bien existen técnicas cuantitativas para el pronóstico de las ventas, estas no aseguran la predicción exacta de su comportamiento. Entonces, un plan de producción podría tener cambios significativos no contemplados que afectarían severamente la toma de decisiones. Una simulación de distintas posibilidades brindaría a pequeñas empresas la capacidad de determinar

planes de contingencia o un mayor nivel de confianza respecto al plan diseñado. A pesar de los beneficios asociados a la simulación u otros métodos probabilísticos y matemáticos, aún no se ha profundizado su aplicación en la planificación táctica de la producción. Al respecto, una investigación realizada por Silva, Diaz y Galindo (2017) demuestra que muchos de los estudios respecto a la planeación de la producción (82%) solo usan modelos determinísticos y muy pocos (18%) aplican modelos estocásticos (programación lineal o algoritmos).

En concordancia con lo mencionado, la presente investigación ha planteado como problemática de estudio la ausencia de modelos de simulación aplicables a la planificación táctica de la producción para mejorar la toma de decisiones en pequeñas

empresas, sobre todo ante escenarios de incertidumbre en el mercado.

2. Planificación táctica de la producción, simulación y análisis de escenarios: Revisión teórica

Rahmer, Garzón y Garzón (2022) mencionan que el tema de planeación táctica de la producción (planeación agregada) tiene como punto de partida el análisis de pronósticos de ventas y explica el desarrollo de distintas estrategias productivas que logran un equilibrio entre la demanda futura y el coste operativo más bajo. Las estrategias de producción, en un nivel táctico, se pueden clasificar como: puras y mixtas, tales como: persecución, de nivelación, de subcontratación y de horas extras (Cubillos, Aroca y Cortés, 2019; Crespo et al, 2018, Brand et al, 2020; Caicedo, Criado y Morales, 2019). Por otro lado, otros autores proponen resolver problemas de planeación agregada mediante métodos matemáticos como la programación lineal o el uso de algoritmos (Cruz y Benites, 2020; Escobar, Marcelos, y Quevedo, 2020; Madariaga, 2022). Sin embargo, actualmente, el avance de la computación e informática permite la evaluación de escenarios simulados para pronosticar el entorno de la empresa y desarrollar estrategias acordes a los cambios más probables (Yori, Hernández y Chumaceiro, 2011).

Asimismo, la cuarta revolución industrial implica un avance tecnológico que conlleva una transformación empresarial y una interacción más compleja en la toma de decisiones (Araque et al, 2021). Respecto a métodos de simulación y análisis de escenarios, se puede citar algunas investigaciones

relacionadas. Lara, Naranjo y Banguera (2020), llevaron a cabo un estudio donde se puede apreciar como desarrollar un modelo de simulación por el método de Montecarlo para mejorar la gestión de inventarios en PYMES y de esa manera facilitar una solución informática de bajo costo para ese tipo de empresas.

Por su parte, Miñan, Símpalo y Castillo (2020) se dedicaron a estudiar las estrategias de planeamiento agregado de la producción para un intervalo anual y simularon 10000 casos aleatorios de las ventas, obteniendo resultados de gran interés en el tema. Asimismo, Chicaiza et al, (2019) aplicaron un modelo de simulación para la optimización del inventario de una distribuidora, basado en Simulación Monte Carlo y Algoritmo Metaheurístico Genético, el cual permitió una minimización de costos que representó aproximadamente un 10% en comparación a los costos de periodos anteriores.

Otras investigaciones demuestran que se pueden identificar procesos de simulación para evaluar el comportamiento de las ventas y ver el impacto en otras variables (Luna, Guanin y Cordero, 2019; Serrano y Garzón, 2019; Coronado et al, 2019). En ese sentido, la simulación representa una alternativa para evaluar diversos escenarios apoyados en herramientas computacionales (Barrios, Contreras y Olivero, 2019; Jurado et al, 2019; Giraldo, Giraldo y Valderrama, 2018; Shirinkina y Kodintsev, 2018; Herrera et al, 2018; López et al, 2014), e incluso influenciar en el comportamiento de las variables (Samanamud et al, 2020; Cuisano, Chirinos y Barrantes, 2020; Gelisen y Griffis, 2014).

En el caso de la utilización de Microsoft Excel como herramienta de simulación, diversos autores la han

utilizado como solución informática para la simulación de datos (Wang, Akeju y Cao, 2016; Musilek, Hubalovsky y Hubalovska, 2018; Da Silva et al, 2019; Castillo, Lino y Sánchez, 2019).

En la gestión de operaciones, Cano, Campo y Gómez (2018), adoptan la programación mixta con variables estocásticas para diseñar un modelo de simulación que haga uso de eventos discretos, programado en Microsoft Excel y VBAApplications. Demostrando Echeverry (2019) interés por el abordaje de estas herramientas de simulación para la planificación de la producción en el entorno de Microsoft Excel con aplicaciones VBA, y también la mejora del comportamiento de los inventarios reduciendo el volumen innecesario, incrementó el porcentaje de liquidez, redujo costos por almacenamiento de materiales y disminuyó el porcentaje de obsolescencia. Finalmente, resalta Artunduaga (2017) quién empleó un modelo de simulación, programado en Microsoft Excel a través de Visual Basic para aplicaciones (VBA), con la finalidad de realizar proyecciones de la producción.

3. Relevancia de la planificación táctica de la producción en pequeñas empresas

El entorno empresarial de la actualidad expone a las pequeñas empresas a constantes cambios y genera una necesidad de innovación permanente en sus esquemas de funcionamiento para redefinir sus estrategias formales (Peralta et al, 2020). En el aspecto económico, este tipo de investigaciones busca brindar soluciones con impacto positivo en las

decisiones de producción orientadas a la reducción de costos en el mediano plazo de pequeñas empresas.

Actualmente, la teoría plantea soluciones empresariales, mediante el análisis comparativo de costos a partir de distintas estrategias heurísticas de producción (de persecución, de nivelación, de subcontratación y de horas extras) o a través de la optimización de costos (programación lineal); sin embargo, se requiere de una evaluación más dinámica que permita a pequeñas empresas optar por alternativas de producción que requieran menos capacidad de endeudamiento y, por lo tanto, menos gastos financieros. En el aspecto práctico, el planeamiento táctico de la producción no considera el grado de variabilidad que se puede derivar del comportamiento de variables externas como la demanda y, en ese sentido, la presente investigación plantea la simulación de datos como una alternativa de vanguardia.

4. Consideraciones metodológicas de la investigación

La investigación fue del tipo no experimental, ya que no se realizó la manipulación intencional de las variables de estudio. Asimismo, tuvo un alcance descriptivo porque se buscó detallar todas las implicaciones en la resolución de problemas tácticos correspondientes a la planificación de la producción y, al mismo tiempo, alcanzó un nivel explicativo porque permitió comprender como un sistema de simulación de datos contribuye significativamente al momento de evaluar planes de producción.

En cuanto al procedimiento

seguido para la planificación táctica de la producción, esta se inició aplicando las herramientas tradicionales de la planificación táctica de la producción: pronóstico de la demanda, costeo de las estrategias de producción (de ajuste, de nivelación, de subcontratación y de horas extras) y, finalmente, selección

de la estrategia con menor costo de producción. Para ello, se diseñó una hoja de Microsoft Excel que permitiera calcular todos los costos necesarios para atender la demanda pronosticada a partir de una estrategia de producción. El pronóstico de la demanda se presenta a través de la Tabla 1.

Tabla 1
Ventas pronosticadas expresadas en toneladas métricas

| Meses | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 267 | 269 | 270 | 272 | 273 | 275 | 277 | 278 | 280 | 282 | 283 | 285 |

Fuente: Elaboración propia

Para lograr costear las estrategias de la producción se utilizó la Tabla 2. La estrategia de persecución consideró los costos de despidos, los costos de contratación y costos por pagos en horario normal. La estrategia de nivelación incluyó los costos por pagos en horario normal, los costos de

inventario y los costos de escasez. La estrategia de subcontratación adicionó los costos por subcontratar para cubrir escasez de producción. La estrategia de horas extras incluyó el pago de horas normales, el pago de horas extras o sobretiempo y el costo de inventario.

Tabla 2
Información de entrada para el diseño de estrategias de producción

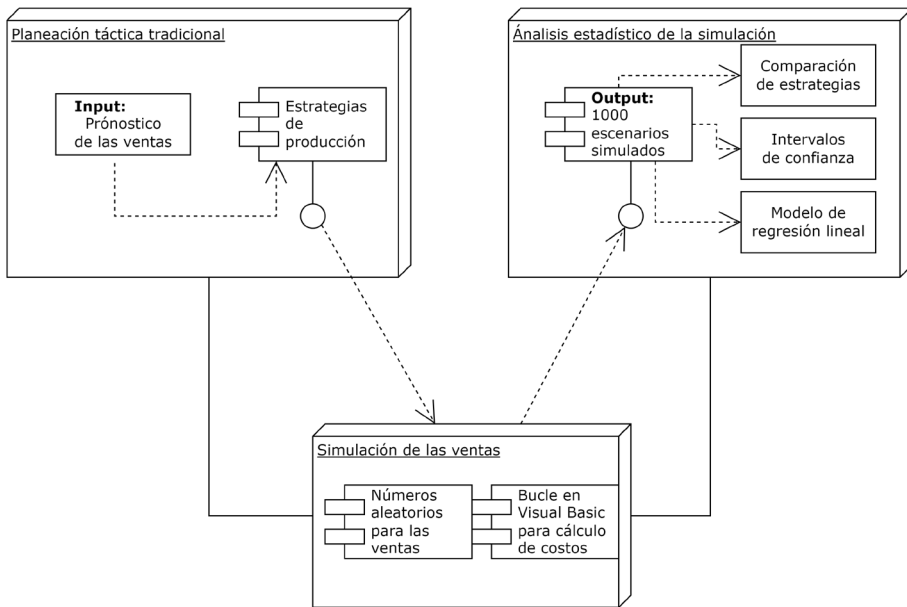
| Ratio | Unidad de medida | Ratio / Costo |
|--------------------------|--|---------------|
| Tasa de producción | Horas hombre por unidad agregada (tm) | 55.00 hh/tm |
| Costos de contratación | Dólares por cada trabajador contratado | \$100.00 |
| Costos de despidos | Dólares por cada trabajador despedido | \$375.00 |
| Costo de inventario | Dólares por cada unidad en inventario | \$20.00 |
| Costo de escasez | Dólares por cada faltante de inventario | \$100.00 |
| Costo de subcontratación | Dólares por cada unidad subcontratada | \$155.00 |
| Costo por hora normal | Dólares por cada hora ordinaria de trabajo | \$1.56 |
| Costo por hora extra | Dólares por cada hora extra de trabajo | \$3.16 |

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la simulación de datos, una vez que se verificó el correcto funcionamiento de la hoja de cálculo diseñada, se procedió a programar dicha hoja para ejecutar procesos

de simulación de datos mediante la generación de números aleatorios respecto a los volúmenes de ventas. El modelo de simulación de puede ver en el diagrama 1.

Diagrama 1 Modelo de simulación para evaluación de estrategias de producción



Fuente: Elaboración propia

En concordancia con el modelo, se hizo uso de la herramienta de Microsoft Excel denominada Análisis de Datos, donde se encuentra la opción generación de números aleatorios. De manera preliminar, se debió determinar qué tipo de distribución seguían los datos y por eso se realizó una prueba de normalidad en función a las ventas históricas, para

ello se utilizó el estadístico de Anderson Darling calculado en Minitab 18, con un nivel de significancia de 0.05, cuyo resultado fue significativo ($p > 0.05$). Una vez que se confirmó que las ventas seguían una distribución normal se ingresaron los datos requeridos. En la ilustración 2 se puede observar los datos ingresados: la media de las ventas (237

toneladas), la desviación estándar de las ventas (51 toneladas), la cantidad de datos aleatorios requeridos por cada

variable (1000 datos) y el número de variables (12 meses).

Ilustración 2 Herramienta de generación de números aleatorios

Generación de números aleatorios

Número de variables: 12

Cantidad de números aleatorios: 1000

Distribución: Normal

Parámetros

Media = 237

Desviación estándar = 51

Iniciar con:

Opciones de salida

Rango de salida: \$C\$6

En una hoja nueva:

En un libro nuevo

Fuente: Microsoft Excel – Office 365

Para ejecutar la simulación “n” veces, se tuvo que hacer uso de la sección programadora de Microsoft Excel para crear un código en Visual Basic que permita calcular y almacenar los costos por cada escenario simulado de las ventas, es decir, se programó un bucle.

El análisis de datos simulados, con la información generada a partir de la simulación, se analizaron los costos anuales por cada estrategia y para ello se emplearon diagramas de cajas y bigotes que permitieron agrupar los datos por cuartiles, identificar valores mínimos y máximos y determinar casos atípicos. De igual forma, en Minitab

18 se determinó, a partir de los costos calculados, la normalidad de los datos y el intervalo de confianza al 95% para la media y la desviación estándar. Por otro lado, se aplicó un análisis de regresión lineal para evaluar la posibilidad de predecir los costos anuales en función al volumen anual de las ventas, siguiendo una estrategia de nivelación.

En concordancia con lo planteado, se verificó el cumplimiento de los siguientes supuestos: linealidad, independencia de los errores, homocedasticidad y normalidad (Vilá, Torrado y Reguant, 2019). El supuesto de linealidad implica que las variables presenten una relación lineal, lo cual

se pudo verificar mediante un gráfico de dispersión. La independencia de errores estipula que los errores en la medición de las variables explicativas sean independientes entre sí, lo cual se pudo comprobar en el SPSS 25 mediante el estadístico de Durbin-Watson correspondiente a 1.896. En el mismo software, se pudo identificar los errores presentaban una varianza constante, es decir, se cumplía el supuesto de homoscedasticidad, ya que el valor predicho estandarizado y los residuos estandarizados no evidenciaron asociación alguna.

La normalidad de las variables (ventas y costos anuales) fue el estadístico de Anderson Darling calculado en Minitab 18, con un nivel de significancia de 0.05, cuyo resultado

fue significativo ($p > 0.05$) para ambas variables. Finalmente, el modelo de regresión lineal determinó los coeficientes no estandarizados de la ecuación y se evaluó mediante el error estándar de la estimación, el R cuadrado y un análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia de 0.05 (Gómez y Martínez, 2017; Hernández et al, 2019).

5. Desarrollo del proceso de simulación

A partir de las ventas pronosticadas, el ratio de producción y los costos asociados a la mano de obra e inventarios; se diseñaron 4 estrategias. Los costos de cada estrategia y su detalle se pueden visualizar en la Tabla 3.

Tabla 3
Costos por cada tipo de estrategia de producción (dólares)

| Costos/Estrategias | Persecución | Nivelación | Subcontratación | Horas Extras |
|--------------------|-------------|------------|-----------------|--------------|
| Contratación | \$ 9,100 | | | |
| Despido | \$ 4,500 | | | |
| Inventario | | \$ 8,376 | \$ 8,376 | \$ 8,376 |
| Escasez | | \$ 858 | | |
| Subcontratación | | | \$ 1,330 | |
| Tiempo Extra | | | | \$ 1,493 |
| Tiempo Normal | \$ 286,488 | \$ 286,750 | \$ 286,750 | \$ 286,750 |
| Costo Total | \$ 300,088 | \$ 295,984 | \$ 296,456 | \$ 296,619 |

Fuente: Elaboración propia

La estrategia de persecución consistió en establecer un régimen de contratación y despidos a partir de la variación de las ventas, en ese sentido, no se consideraron costos por inventarios y la suma total se estimó en 300, 088 dólares. La estrategia de nivelación consistió en mantener una fuerza laboral constante y asumir

excesos de inventario, así como periodos de escasez, con lo cual se calculó un costo total de 295,984 dólares. Para la estrategia de subcontratación y la estrategia de horas extras, se tomó el mismo criterio, pero no se contempló escasez de inventario y se estableció el uso de horas extras y subcontrataciones para cubrir el alza de la demanda. La

estrategia de subcontratación se estimó en 296,456 dólares y la estrategia de horas extras en 296,619 dólares. Posteriormente, se generaron 1000

escenarios aleatorios para las ventas, tal como se puede observar en la ilustración 3.

Ilustración 3 Generación de números aleatorios a partir de una distribución normal de las ventas

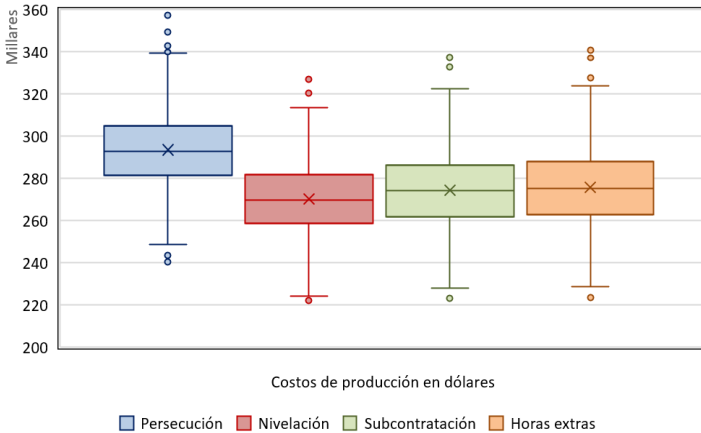
| Simulación de las ventas siguiendo una distribución normal | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Corridos | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Setiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | |
| 986 | 981 | 186.45684 | 194.68912 | 252.46288 | 300.54454 | 243.36606 | 238.24275 | 201.7154 | 236.4362 | 337.15005 | 242.18413 | 198.37214 | 218.32235 |
| 987 | 982 | 313.97277 | 192.23458 | 197.58802 | 327.68511 | 162.77735 | 267.83125 | 211.36796 | 312.59957 | 234.58605 | 240.94243 | 302.05609 | 298.8013 |
| 988 | 983 | 196.3081 | 186.85691 | 255.85299 | 220.16699 | 260.34646 | 281.93194 | 199.41915 | 161.08293 | 160.34264 | 254.12993 | 234.23446 | 184.30149 |
| 989 | 984 | 234.01175 | 136.47192 | 255.59428 | 362.19104 | 293.12411 | 220.03508 | 213.73576 | 158.23772 | 238.91022 | 204.18258 | 303.35334 | 202.18481 |
| 990 | 985 | 187.03375 | 272.49797 | 299.78848 | 228.15621 | 228.46101 | 264.41418 | 175.35281 | 243.74763 | 270.27465 | 254.16704 | 180.51711 | 337.61018 |
| 991 | 986 | 216.02476 | 206.0656 | 282.80118 | 227.212 | 252.92927 | 200.10674 | 228.18392 | 205.62837 | 222.98529 | 291.57731 | 200.03073 | 231.41569 |
| 992 | 987 | 195.65031 | 275.19776 | 297.74154 | 288.28159 | 236.81075 | 197.02282 | 255.25277 | 200.16246 | 245.07642 | 251.63973 | 269.54915 | 304.21771 |
| 993 | 988 | 186.0344 | 232.85406 | 286.72088 | 294.4144 | 279.28885 | 170.45533 | 318.58058 | 263.33836 | 226.03303 | 198.06485 | 274.71409 | 185.42653 |
| 994 | 989 | 248.65873 | 341.91324 | 285.05928 | 230.913 | 314.18058 | 215.97809 | 207.20219 | 218.56824 | 287.61969 | 237.8486 | 297.73366 | 109.54727 |
| 995 | 990 | 197.66681 | 210.86649 | 318.98969 | 253.20804 | 226.99736 | 168.91723 | 265.9092 | 122.75657 | 315.30261 | 199.0599 | 168.29382 | 126.18065 |
| 996 | 991 | 170.18004 | 255.21949 | 163.49004 | 278.69745 | 220.83301 | 235.08201 | 296.26826 | 187.7476 | 238.53543 | 235.85483 | 150.70632 | 281.79406 |
| 997 | 992 | 138.93771 | 325.19776 | 245.78042 | 247.24535 | 219.9691 | 344.86792 | 215.54834 | 273.5444 | 209.77941 | 309.87635 | 294.48061 | 239.81633 |
| 998 | 993 | 260.07389 | 255.57341 | 266.02841 | 212.13092 | 214.79581 | 243.64535 | 228.09284 | 246.00619 | 182.32575 | 96.466916 | 243.5981 | 227.74008 |
| 999 | 994 | 341.49625 | 146.4661 | 230.68502 | 274.03027 | 265.36106 | 151.54378 | 236.72106 | 218.43494 | 294.73909 | 217.97562 | 226.99341 | 224.59106 |
| 1000 | 995 | 192.5377 | 205.76022 | 208.62978 | 199.47029 | 253.33531 | 254.10511 | 358.62316 | 229.16843 | 143.77837 | 220.63599 | 259.10985 | 206.70565 |
| 1001 | 996 | 191.07602 | 185.98929 | 319.64997 | 240.05469 | 197.82945 | 247.67568 | 228.66272 | 259.72868 | 205.06075 | 128.23919 | 215.2923 | 259.16992 |
| 1002 | 997 | 209.06144 | 247.7674 | 253.52021 | 130.16877 | 321.08951 | 214.35748 | 262.86692 | 239.99213 | 234.69151 | 169.68918 | 282.63211 | 228.40958 |
| 1003 | 998 | 222.19757 | 182.10345 | 226.77854 | 209.35111 | 370.15057 | 153.60139 | 240.80936 | 206.94731 | 252.40977 | 310.80891 | 203.82182 | 205.91538 |
| 1004 | 999 | 223.93901 | 228.3225 | 283.0411 | 237.30237 | 243.75552 | 265.50236 | 304.44151 | 366.60125 | 182.11041 | 262.74278 | 304.40417 | 252.44653 |
| 1005 | 1000 | 140.84967 | 286.74604 | 274.28457 | 145.2724 | 193.39859 | 286.47052 | 132.53576 | 210.21931 | 146.22003 | 213.36283 | 279.8138 | 225.53341 |

Fuente: Microsoft Excel

Una vez que los escenarios fueron simulados a partir de una distribución normal de las ventas, se calcularon los costos anuales en dólares para cada

uno de ellos. En el Gráfico 1, se puede visualizar los diagramas de caja para los costos simulados para cada estrategia.

Gráfico 1 Diagrama de caja para los costos simulados por cada estrategia de producción



Fuente: Simulación de datos para 1000 escenarios de ventas

La estrategia de persecución presentó costos entre 281,515 y 304,793 dólares, en un 50% de los casos simulados, mientras que en un 25% de los escenarios; los costos superaron los 304,793 dólares, pero se identificaron como valores atípicos los montos superiores a 339,362 dólares. La estrategia de nivelación presentó costos entre 258,665 y 281,801 dólares, en un 50% de los casos simulados, mientras que en un 25% de los escenarios; los costos superaron los 281,801 dólares, pero se identificaron como valores atípicos los montos superiores a 313,268 dólares. En el caso de la estrategia de subcontratación, se calcularon costos entre 261,667 y 286,262 dólares, en un 50% de los casos simulados, mientras que en un 25% de los escenarios; los costos superaron los 286,262 dólares, pero se identificaron como valores atípicos los montos superiores a 322,413

dólares. Por otro lado, la estrategia de horas extras presentó costos entre 262,749 y 287,924 dólares, en un 50% de los casos simulados, mientras que en un 25% de los escenarios; los costos superaron los 262,749 dólares, identificando como valores atípicos los montos superiores a 323,870 dólares.

A través de la Tabla 4, se pudo establecer que la estrategia de nivelación representó el menor costo en 961 casos de la simulación (96.10%), mientras que las estrategias con base en la subcontratación y al uso de horas extras representaron un costo mínimo en 97 casos simulados, para cada una de ellas. Para el caso de la estrategia de persecución, solo en 39 escenarios probables resultó ser una solución con el menor costo de producción. En algunos escenarios con ventas muy bajas, se identificaron hasta 3 estrategias con el mismo costo de producción.

Tabla 4
Números de escenarios en función al menor costo de producción por cada tipo de estrategia

| Estrategia | N° de escenarios | % |
|-----------------|------------------|--------|
| Persecución | 39 | 3.90% |
| Nivelación | 961 | 96.10% |
| Subcontratación | 97 | 9.70% |
| Horas extras | 97 | 9.70% |

Fuente: Simulación de datos para 1000 escenarios de ventas

La Tabla 5 muestra que solo los costos asociados a una estrategia de nivelación presentaron una distribución normal. De la misma manera, se determinó que la media de los costos, asociados a una estrategia de nivelación, tenían un intervalo de

confianza comprendido entre los 269,111 y 271,247 dólares; en ese sentido, respecto al costo calculado en la Tabla 3 para la estrategia de nivelación, se podía afirmar la existencia de una probabilidad del 95% de obtener un valor monetario por debajo de lo esperado.

Tabla 5
Pruebas de normalidad e intervalos de confianza (I.C.) para los costos anuales simulados por cada estrategia

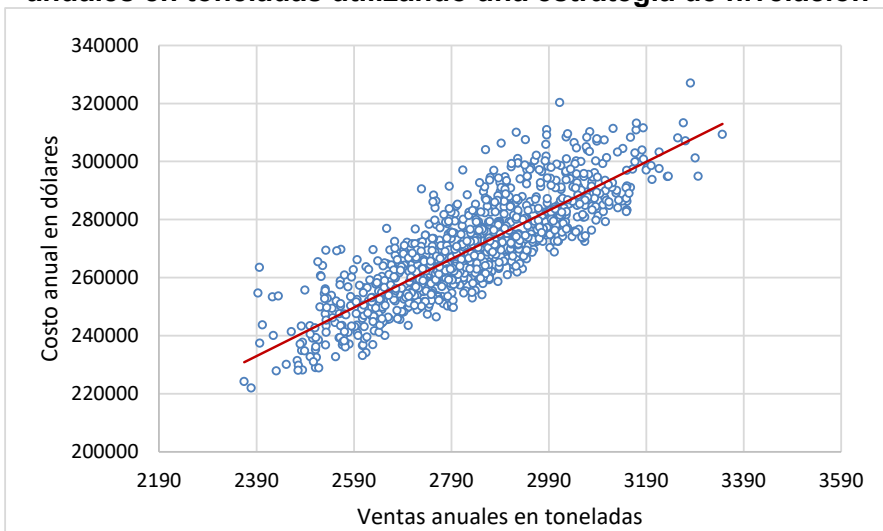
| Estrategia | I.C. al 95% para la media | I.C. al 95% para la desviación estándar | Distribución normal |
|-----------------|---------------------------|---|---------------------|
| Persecución | 292,374 – 294,218 | 17,831 – 19,466 | No ($p < 0.05$) |
| Nivelación | 269,111 – 271,247 | 16,489 – 18,001 | Si ($p > 0.05$) |
| Subcontratación | 273,154 – 275,432 | 17,586 – 19,199 | No ($p < 0.05$) |
| Horas extras | 274,545 – 276,886 | 18,063 – 19,719 | No ($p < 0.05$) |

Fuente: Costos simulados (dólares) procesados en Minitab 18

Por otro lado, la normalidad de los costos a partir de una estrategia de nivelación permitió modelar una relación lineal entre los costos y ventas anuales (Gráfico 2), cuyo coeficiente de Pearson fue de 0.83 (correlación positiva fuerte). Asimismo, el coeficiente

de determinación (r^2) fue de 0.6926, es decir, que a partir del modelo propuesto se puede explicar el 69.26% de la variabilidad de los costos anuales. Por otro lado, el error típico del modelo se determinó en 9,547 dólares.

Gráfico 2
Regresión lineal entre los costos anuales en dólares y las ventas anuales en toneladas utilizando una estrategia de nivelación



Fuente: Simulación de datos en Microsoft Excel

Modelo de regresión lineal: $y = 83.549x + 33370$
 $R^2 = 0.6926$

En la Tabla 6, también se puede

notar que el análisis de la varianza demuestra que el modelo lineal es significativo, al presentar una significancia menor a 0.05.

Tabla 6
Análisis de la varianza para modelo de regresión lineal a partir de las ventas y los costos anuales utilizando una estrategia de nivelación

| Modelo | Suma de cuadrados | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------|-------------------|------------------|----------|------|
| Regresión | 204992995961,047 | 204992995961,047 | 2249,017 | ,000 |
| Residuo | 90965525871,908 | 91147821,515 | | |
| Total | 295958521832,955 | | | |

Fuente: Modelo de regresión lineal en SPSS 25

Una vez que el modelo de regresión ha sido validado, se puede afirmar que la simulación realizada ha permitido cuantificar el impacto de la variación de las ventas sobre los costos de producción. En ese sentido, se puede observar que el modelo de simulación propuesto no resulta en un procedimiento sumamente complejo, lo que facilitaría su implementación en pequeñas y medianas empresas que no han desarrollado un plan de transformación digital; asimismo, la inversión económica en la solución informática sería mínima, ya que se ha utilizado herramientas de libre disponibilidad. Por otro lado, el modelo conlleva a que la toma de decisiones tenga un nivel de confianza del 95%, puesto que se ha evaluado una cantidad significativa de escenarios probables donde cualquier variación en las ventas no debería tomar desprevenida a la empresa que ponga en marcha el modelo de simulación.

6. Conclusiones

La resolución de problemas tácticos de la producción mantiene

una postura convencional en el uso de técnicas de ingeniería, sin embargo, el avance tecnológico permite disponer de métodos más completos y con una capacidad de análisis mucho más profunda. En ese sentido, las pequeñas empresas deben mantenerse a la vanguardia del contexto globalizado, acorde con las herramientas de la cuarta revolución industrial.

Los procesos de simulación pueden reducir el grado de incertidumbre en la toma de decisiones. Asimismo, la investigación demostró que una herramienta diseñada en Microsoft Excel sería accesible para que pueda ser aplicada en pequeñas empresas; con la finalidad de mejorar la toma de decisiones en un nivel táctico productivo, a partir de modelos probabilísticos.

Referencias bibliográficas

Araque, G., Gómez, M., Vélez, J. y Suárez, A. (2021). Big Data y las implicaciones en la cuarta revolución industrial - Retos, oportunidades y tendencias futuras. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(93), 33-

47. <https://doi.org/10.52080/rvg93.04>
- Artunduaga, O. (2017). *Modelo de Simulación en Visual Basic para Aplicaciones (VBA) para la Proyección de la Producción de Hidrocarburos en el Campo Chichimene de Ecopetrol S.A.* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Neiva. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13434/7731600.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barrios, K., Contreras, J. y Olivero, E. (2019). Modelo de Simulación de Alternativas de Productividad para Apoyar los Procesos de Toma de Decisiones en Empresas del Sector Floricultor Antioqueño. *Información Tecnológica*, 30(2), 57-72. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200057>
- Blanco, F., León, E. y Acosta, A. (2020). Toma de Decisiones Estratégicas en Entornos Inciertos. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 30(1), 79-96. <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.3845>
- Brand, H., Mejía, A., Paredes, M., & Arias, N. (2020). Elaboración de un plan maestro logístico en una empresa de la industria de jabones. *Scientia Et Technica*, 25(3), 471-477. <https://doi.org/10.22517/23447214.20961>
- Caicedo, A., Criado, A. y Morales, K. (2019). Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmecánica. *Scientia Et Technica*, 24(3), 408-419. <https://doi.org/10.22517/23447214.16031>
- Cano, J., Campo, E., & Gómez, R. (2018). Simulación de eventos discretos en la planificación de producción para sistemas de confección modular. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 41(1), 50-58. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0254-07702018000100007&script=sci_arttext&lng=en
- Castillo, S., María, L. y Sánchez, C. (2019). Algoritmo Genético para solucionar problemas de Inventarios en Pymes. *Investigación, Tecnología E Innovación*, 11(11), 12-24. <https://doi.org/10.53591/iti.v11i11.87>
- Cerda, V., Pérez, A., Guardado, E., Cerda, G., Diéguez, K., Benítez, I. y González, E. (2021). Simulation Strategy to Reduce Quality Uncertainty in the Sugar Cane Honey Process Design. *Ingeniería e Investigación*, 41(1), 1-11. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v41n1.81484>
- Chicaiza, K., Gómez, A., Ruiz, P. y Cevallos, L. (2019). Modelo de simulación para la optimización del inventario de una distribuidora, basado en Simulación Monte Carlo y Algoritmo Metaheurístico Genético. *Ecuadorian Science Journal*, 3(2), 33-38. <https://doi.org/10.46480/esj.3.2.32>
- Coronado, J., Romero, A., Zapateiro, O., Rios, W. y Umaña, S. (2019). Generación de escenarios de demanda para productos de innovación. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 1(1), 15-20. <https://doi.org/10.17981/bilo.01.01.2019.03>
- Crespo, E., Cossío, N., Santana, K., & Rosero, C. (2018). Plan agregado de una empresa textil. Caso de estudio de Imbabura, Ecuador. *Revista UNIANDÉS Episteme*, 5(3), 263-278. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6756315>
- Cruz, L. y Benites, A. (2020). Planeación jerárquica de la producción y su impacto en la productividad en una planta de incubación. *CentroSur Social Science Journal*, 1(7), 92-

108. <http://centrosuragraria.com/index.php/revista/article/view/39/87>
- Cubillos, A., Aroca, L., & Cortés, K. (2019). Planeación y control de la producción aplicada a una empresa de productos líquidos de aseo. *Semilleros*, 5(9), 91-106. <https://revistas.fio.unam.edu.ar/index.php/semillero/article/view/190>
- Cuisano, J., Chirinos, L. y Barrantes, E. (2020). Eficiencia energética en sistemas eléctricos de micro, pequeñas y medianas empresas del sector de alimentos. Simulación para optimizar costos de consumo de energía eléctrica. *Información tecnológica*, 31(2), 267- 276. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000200267>
- Da Silva, M., Menezes, F., Chambal, P. & Pereira, F. (2019). A simulation-optimization approach using genetic algorithm for dynamic job shop scheduling with stochastic demand. *Ingeniare*, 27(2), 217-222. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000200217>
- Echeverry, F. (2019). *Diseño de simulador de la planificación de la producción en la plataforma Excel y VBA*. [Tesis de pregrado. Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/47329>
- Escobar, J., Marceles, J. y Quevedo, D. (2020). Modelo matemático para la programación de la producción en compañías fabricantes de alambres y cables para la construcción. *Revista Espacios*, 41(24), 297-307. <http://www.revistaespacios.com/a20v41n24/a20v41n24p24.pdf>
- Gelisen, G. y Griffis, F. (2014). Productivity-Based Automated Itinerary and Anime: A Simulation based on the Approach of Time-Cost Analysis Compensation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(4), 1-15. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000685](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000685)
- Giraldo, E., Giraldo, J. y Valderrama, J. (2018). Modelo de Simulación de un Sistema Logístico de Distribución como Plataforma Virtual para el Aprendizaje Basado en Problemas. *Información Tecnológica*, 29(6), 185 – 198. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000600185>
- Gómez, R. & Martínez, E. (2017). Quantitative methods for a linear regression model with multicollinearity. application to yields of treasury bills. *Revista De Métodos Cuantitativos Para La economía y La Empresa*, 24(1), 169-189. <https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2886>
- Herrera, G., Campo, J., Bernal, J. y Tilvesmartinez, R. (2018). Modelo de teoría de restricciones con consideraciones de optimización y simulación - Un caso de estudio. *Revista Espacios*, 39(3), 10-28. <http://www.revistaespacios.com/a18v39n03/a18v39n03p10.pdf>
- Hernández, J., Espinosa, J., García, D. y Bermúdez, V. (2019). Sobre el uso adecuado de la regresión lineal: conceptualización básica mediante un ejemplo aplicado a las ciencias de la salud. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 38(5), 608-614. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_aavft/article/view/17430
- Jurado, X., Peña, J., Veloz, K. y Cevallos, L. (2019). Análisis de un modelo de inventario en productos perecederos aplicando Algoritmo metaheurístico Tabú y simulación Montecarlo. *Ecuadorian Science Journal*, 3(1), 8-14. <https://journals.gdeon.org/index.php/esj/article/view/25/25>
- Lara, H., Naranjo, I. & Banguera, C.

- (2020). Aplicación del modelo Montecarlo-Difuso para la correcta Gestión de Inventarios en empresas Pymes. *Ecuadorian Science Journal*, 4(2), 80-88. <https://doi.org/10.46480/esj.4.2.84>
- López, A., Bringas, C., Iniestra, G. y Vargas, G. (2014). Simulación de la tasa de reciclaje de productos electrónicos un modelo de dinámica de sistemas para la red de logística inversa. *Contaduría y Administración*, 59(1), 9 – 41. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5118470>
- Luna, K., Guanin, J. y Cordero, G. (2019). Aplicación de un proceso analítico jerárquico (AHP) para mejorar la gestión de inventarios en cadenas de abastecimientos. *Ecuadorian Science Journal*, 3(2), 25-32. <https://doi.org/10.46480/esj.3.2.31>
- Madariaga, C., Lao, Y., Curra, D. y Lorenzo, R. (2022). Empleo de algoritmos KNN en metodología multicriterio para la clasificación de clientes, como sustento de la planeación agregada. *Retos de la Dirección*, 16(1), 178-198. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552022000100178
- Miñan, G., Símpalo, W. & Castillo, W. (2020). Diseño y evaluación de estrategias para el planeamiento agregado de una empresa dedicada a la fabricación de conservas de pescado en Ancash – Perú. *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions (LACCEI)*, 1(18). <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.254>
- Musilek, M., Hubalovsky, S., Hubalovska, M. (2018). Mathematical modeling and computer simulation of simple permutation brainteaser in MS Excel. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 428(1), 175-181. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53934-8_21
- Peralta, P., Cervantes, V., Salgado, R. y Espinoza, A. (2020). Dirección estratégica para la innovación en pequeñas y medianas empresas de la ciudad de Barranquilla –Colombia. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25 (89), 229-243. <https://doi.org/10.37960/revista.v25i89.31380>
- Rahmer, B., Garzón, H., & Garzón, J. M. (2022). Análisis comparativo de modelos de planificación agregada. El caso de las empresas manufactureras colombianas. *Revista De Métodos Cuantitativos Para La Economía Y La Empresa*, 33(1), 285–309. <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.3946>
- Salazar, E. y Alzate, W. (2018). Aplicación de la simulación Monte Carlo en la proyección del estado de resultados. Un estudio de caso. *Espacios*, 39(51), 1-8. <http://www.revistaespacios.com/a18v39n51/a18v39n51p11.pdf>
- Samanamud R., Córdova, J., Pacora J., Amado, J., & Gutiérrez, J. (2020). Manufactura esbelta con simulación dinámica estocástica para incremento de productividad, línea de Nuggets en empresa avícola. Región Lima, 2019. *INGnosis*, 5(2), 139–153. <https://doi.org/10.18050/ingnosis.v5i2.1597>
- Serrano, B. y Garzón, V. (2019). Estudio de la caída de las ventas de la farmacia Farmicentro MM a través de la simulación de eventos discretos. *Revista pedagógica de la Universidad de Cienfuegos*, 15(67), 38-44. <http://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado>
- Shirinkina, E. y Kodintsev, A. (2018). Management of human capital in the national economy: Estimation and simulation. *Revista Espacios*, 39(44), 28-36. <http://www.>

- revistaespacios.com/a18v39n44/a18v39n44p28.pdf
- Silva, J., Díaz, C. & Galindo, J. (2017). Herramientas cuantitativas para la planeación y programación de la producción: estado del arte. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 5(18), 99-114. <https://www.redalyc.org/pdf/2150/215052403008.pdf>
- Vilá, R., Torrado, M. y Reguant, M. (2019). Análisis de regresión lineal múltiple con SPSS: un ejemplo práctico. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 12(2), 1–10. <http://doi.org/10.1344/reire2019.12.222704>
- Wang, Y., Akeju, O. y Cao, Z. (2016). Bayesian Equivalent Sample Toolkit (BEST): an-Excel VBA program for probabilistic characterisation of geotechnical properties from limited observation data. *Georisk*, 10(4), 251-268. <https://doi.org/10.1080/17499518.2016.1180399>
- Yori, L., Hernández, J. y Chumaceiro, A. (2011). Planificación de escenarios: una herramienta estratégica para el análisis del entorno. *Revista Venezolana de Gerencia*, 16(54), 274-290. <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/rvg/article/view/10617/10605>