



Evaluación del impacto de la industria 4.0 en el plan maestro de producción Evaluation of the impact of Industry 4.0 on the production master plan

Jenny Consuelo Ibarra-Esmeraldas
jenny.ibarra5364@utc.edu.ec

Universidad Técnica de Cotopaxi: Latacunga, Cotopaxi, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0003-6580-6806>

Wilson Santiago Olovacha-Toapanta
wilson.olvacha2238@utc.edu.ec

Universidad Técnica de Cotopaxi: Latacunga, Cotopaxi, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-3377-7049>

RESUMEN

La investigación tiene por objetivo evaluar el impacto de la implementación de la Industria 4.0 en el Plan Maestro de Producción (PMP) de la empresa Codihe, dedicada a la fabricación de asfalto, con el fin de optimizar la eficiencia, reducir costos, aumentar la flexibilidad y elevar la calidad de sus procesos productivos mediante tecnologías de análisis de datos. Para ello, se empleó un enfoque mixto que combinó métodos inductivo y deductivo, aplicando el modelo Holt-Winters en Excel y simulaciones en Crystal Ball, así como el indicador MAPE para validar la precisión de los pronósticos. Los resultados muestran que, pese a disponer de una planta de alta capacidad, la compañía opera por debajo de su potencial debido a deficiencias en la planificación y el control de inventarios. La integración de simulaciones avanzadas facilitó la visualización de escenarios futuros y redujo el margen de error en la programación.

Descriptor: tecnología avanzada; cambio tecnológico; ética de la tecnología. (Fuente: Tesoro UNESCO).

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the impact of implementing Industry 4.0 in the Master Production Plan (MPP) of Codihe, a company dedicated to asphalt manufacturing, in order to optimise efficiency, reduce costs, increase flexibility, and improve the quality of its production processes through data analysis technologies. To this end, a mixed approach was used, combining inductive and deductive methods, applying the Holt-Winters model in Excel and simulations in Crystal Ball, as well as the MAPE indicator to validate the accuracy of the forecasts. The results show that, despite having a high-capacity plant, the company is operating below its potential due to deficiencies in planning and inventory control. The integration of advanced simulations facilitated the visualisation of future scenarios and reduced the margin of error in scheduling.

Descriptors: high technology; technological change; ethics of technology. (Source: UNESCO Thesaurus).

Recibido: 23/03/2025. Revisado: 03/04/2025. Aprobado: 19/04/2025. Publicado: 06/05/2025.

Sección artículos de investigación

INTRODUCCIÓN

La optimización de la producción y la eficiencia operativa se han convertido en factores clave para satisfacer la demanda del mercado y garantizar el éxito. Un ejemplo de esto es Codihe, que busca fortalecer su capacidad productiva mediante la implementación de estrategias y herramientas operativas que le permitan mejorar su control sobre los procesos de producción. A nivel internacional, las medianas y grandes empresas de construcción vial disponen de una planta de asfalto, evitando depender de proveedores; pero el problema generado por este tipo de negocios es la baja productividad, generalmente asociada a la deficiencia en la planificación de la producción de asfalto (Angulo-Sandoval, 2017). A nivel nacional, existen varias empresas que disponen de gran conocimiento y habilidades en la producción y ejecución de proyectos viales; sin embargo, en las empresas que disponen de producción de asfalto, se constata la baja productividad, lo que conlleva a retrasos en el cumplimiento de proyectos de construcción o mantenimiento viales.

En este contexto, las estrategias operativas juegan un papel fundamental, ya que no solo buscan resolver problemas de optimización de recursos, sino también mejorar la competitividad y la calidad en todos los aspectos del proceso productivo. Con la llegada de la Industria 4.0, las empresas tienen a su disposición herramientas avanzadas, como la automatización y la digitalización, que facilitan una toma de decisiones más informada y permiten una mayor eficiencia en los procesos (Paco-Huamani et al., 2024). Este entorno digital transforma la manera en que se gestionan las operaciones, creando nuevas oportunidades para optimizar cada etapa del proceso productivo (Campos-Portugal et al., 2023).

Ante la problemática descrita, se ha planteado el siguiente problema general: ¿Cómo impacta la implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 en la eficiencia y efectividad del Plan Maestro de Producción en la empresa?

Asimismo, se planteó el siguiente objetivo general: Evaluar el impacto de la implementación de la Industria 4.0 en el Plan Maestro de Producción de la empresa Codihe, determinando sus efectos sobre la eficiencia, costos, flexibilidad y calidad de los procesos productivos mediante el uso de las diferentes tecnologías de análisis de datos.

Los objetivos específicos son los siguientes: (i) Analizar las tecnologías de la Industria 4.0 relevantes para la empresa y su influencia en el Plan Maestro de Producción. (ii) Diagnosticar la situación actual de la productividad en la producción de asfalto en la empresa. (iii) Evaluar el impacto de la Industria 4.0 en la eficiencia y efectividad del Plan Maestro de Producción.

La hipótesis fue: La planificación de la producción de asfalto mejora significativamente la productividad en la empresa. Por lo tanto, la presente investigación se justifica de manera teórica, ya que se enfoca en la aplicación de conocimientos de la planificación, la producción de asfalto, así como el uso de herramientas de la Industria 4.0, lo cual contribuirá a la formación del conocimiento de ambas variables de estudio, fundamentándose teóricamente en el contexto donde se desarrolla la misma.

De la misma manera, tiene una justificación metodológica porque se centra en una adecuada gestión de la producción de asfalto, desarrollando metodologías de pronósticos y planificación de la producción, las cuales serán aplicadas en el área de estudio. Por lo tanto, los volúmenes de producción de asfalto se destinarán oportunamente, sin pérdidas ni retrasos. La complejidad de la cadena de suministro aumenta considerablemente debido a factores como la globalización, nuevos canales, más clientes, mayores expectativas de los clientes, productos y mayor personalización de los productos, proveedores, componentes, centros de producción, distribución, competidores, márgenes más apretados, inversionistas más exigentes con los resultados enfocados a corto plazo, ciclos de diseño, y en definitiva, a gusto de los consumidores (Álvarez et al., 2007).

Con estas perspectivas, un proceso de la cadena de suministro tiene relaciones comerciales ineficientes, lo que impacta en los beneficios empresariales. Por lo tanto, se debe ser capaz de entregar las ventas de acuerdo con los pedidos, verificando que estén alineados con la demanda pronosticada y con la capacidad de la entidad (Obando, 2004). La gestión de la cadena de suministro tiene una serie de drivers que sirven a la vez de

indicadores de rendimiento de esta. No se concibe una cadena de suministro si en su planteamiento no se hace referencia a los siguientes puntos:

- **Visibilidad:** la habilidad de poder “ver” los procesos, eventos, datos y la información a través de la cadena de suministro y la comunidad de las organizaciones asociadas.
- **Velocidad:** la dirección y rapidez con la que los productos, procesos, datos e información se mueven a través de la cadena de suministro.
- **Flexibilidad (variabilidad):** la habilidad para gestionar un gran número de combinaciones de entes en la cadena de suministro según cambian en el tiempo. La complejidad continuará siendo un factor de las operaciones del día a día en la cadena de suministro. Las compañías líderes del mercado ven la variabilidad como una fuente de ventaja competitiva.
- **Calidad (y precisión):** la habilidad de desarrollar y mantener un conjunto de datos de planificación consistentes y precisos, así como datos de planificación (cantidades, por ejemplo) a diferentes niveles y grados de agregación, y la habilidad de ejecutar el plan.

El software para la gestión de la cadena de suministro se segmenta en los componentes de planificación y los componentes de ejecución. La parte de planificación trata de lidiar con actividades tales como desarrollar pronósticos de demanda, establecer relaciones con proveedores, planificar y programar las operaciones de fabricación y desarrollar métricas para asegurar unas operaciones eficientes y con coste lo más bajo posible (Álvarez, 2007). Los procesos de planificación también tienen por objetivo administrar las reglas comerciales de las empresas de manera efectiva y alinear el plan de la cadena de suministro con el plan financiero. Las aplicaciones de planificación soportan cada uno de los pasos más importantes en la gestión de la cadena de suministro, desde la planificación de la demanda hasta la función de aprovisionamiento, fabricación y compromiso, entrega y transporte de los pedidos del cliente. Por lo que son responsables de toda la parte de planificación y optimización de los procesos operacionales, así como de dotar de la capacidad para reaccionar a tiempo, gestionar por alertas y realizar simulaciones (Rojas et al., 2021).

Las herramientas APS tienen un peso específico fundamental dentro de la gestión integral de la cadena de suministro. La optimización es un tipo de algoritmo que se utiliza para tratar de optimizar problemas de cadena de suministro, como la secuenciación con el objetivo de reducir el tiempo de cambio (Lapiedra-Alcamí et al., 2021).

Planificación tradicional vs planificación avanzada

Toda empresa que compite lo hace según una estrategia. Estas estrategias pueden ser desarrolladas de forma explícita, a través de un proceso de planificación, o implícita, debido a la interacción de las actividades de las áreas funcionales. El énfasis dado a la planificación estratégica por parte de las empresas más avanzadas y competitivas refleja el hecho de que los beneficios de realizar una planificación estratégica explícita son mayores que los de una planificación implícita, ya que asegura que las políticas de los departamentos funcionales estén coordinadas y dirigidas hacia el mismo objetivo (Martínez, 2023).

Crystal Ball

Es una herramienta de análisis predictivo desarrollada por Oracle. Se integra con Microsoft Excel y permite hacer simulaciones de Monte Carlo, análisis de riesgo, pronósticos y optimización. Es muy usada en negocios y finanzas para tomar decisiones basadas en datos y simulaciones de posibles escenarios. Collier (2017) propone esta herramienta que tiene varias ventajas, tales como:

- Análisis de riesgo y toma de decisiones informadas
- Simulación Monte Carlo
- Integración con Excel
- Pronóstico y modelado predictivo

- Optimización de decisiones
- Reducción de errores y fallas humanas
- Visualización de datos

MÉTODO

Este estudio se desarrolla bajo un enfoque mixto, combinando métodos inductivo y deductivo, con el objetivo de identificar, analizar y optimizar la producción de asfalto, integrando herramientas tecnológicas e industria 4.0 identificando las diferentes características de la producción.

Se utilizó el enfoque científico mediante la evaluación de las condiciones actuales de las carreteras para calcular la cantidad de asfalto necesaria, se examinó la instalación donde se produce el asfalto, se combinaron los datos recopilados y observados, se usó una técnica de proyección fundamentada en un análisis de HOLT – WINTERS para Excel y MAPE en Crystal Ball para determinar la necesidad de asfalto para cada proyecto, además, se llevó a cabo la programación de la producción organizando los requerimientos de materiales y estableciendo un plan maestro de producción.

Un indicador clave para medir la precisión de la producción utilizando el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE) que mide la precisión de ellos resultados pronosticados calculando el promedio de los errores porcentuales absolutos entre la demanda real y el pronóstico demostrando (Forero-Bonilla & Franco-Arana, 2020), es decir la simulación avanzada puede mejorar la exactitud frente a un método básico tradicional. El esquema del indicador es el siguiente:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left| \frac{Demanda Real - Pronóstico}{Demanda Real} \right| \times 100$$

Instrumentos de recopilación de información

Lista de verificación: Los registros pasados de la fabricación de asfalto fueron completados en un Check list proporcionado por la entidad, se tuvo que examinar cada uno de estos registros para ser posteriormente transferidos a la hoja de cálculo. Los registros históricos sobre volumen de producción, cantidad de materias primas, consumibles, energía, datos de productividad tanto mensuales como total, una vez ingresados los datos, fueron tratados en una hoja de cálculo de Excel para realizar los cálculos necesarios.

Herramienta propuesta

Se utilizará diferentes tablas donde se refleja la producción de la planta de asfalto que corresponde a los datos iniciales, pronósticos, MRP, PMP, Control de inventarios e indicadores, de los cuales se toman datos claves para la simulación en Crystal Ball.

Procedimiento

1. Estado de la situación actual de la gestión de riesgo.
Para conocer el estado actual se aplica el método de observación directa en la empresa de todo el proceso que con lleva al producto final que es el asfalto, se consideró la aplicación de una entrevista al personal involucrado en el proceso.
2. Obtención de datos.
En esta fase se analiza los documentos de interés proporcionados por la empresa priorizando los datos relevantes para el desarrollo del estudio propuesto.
3. Desarrollo y procesamiento de datos.
Inicialmente se elaboran los pronósticos pertinentes correspondientes a cada mes, se realiza un control de inventarios, un plan de requerimiento de materiales y un análisis de costos por compuestos tratados durante la producción de asfalto.

4. Obtención de resultados.

RESULTADOS

La capacidad instalada de la planta es de 160 toneladas/h, lo que significa que es una empresa con un buena capacidad de producción, pero la misma solo produce un promedio de 980 toneladas al mes bajo pedido debido a la falta de planificación y control de inventarios. Para simular los diferentes escenarios se toma en cuantos datos principales como el pronóstico de la demanda.

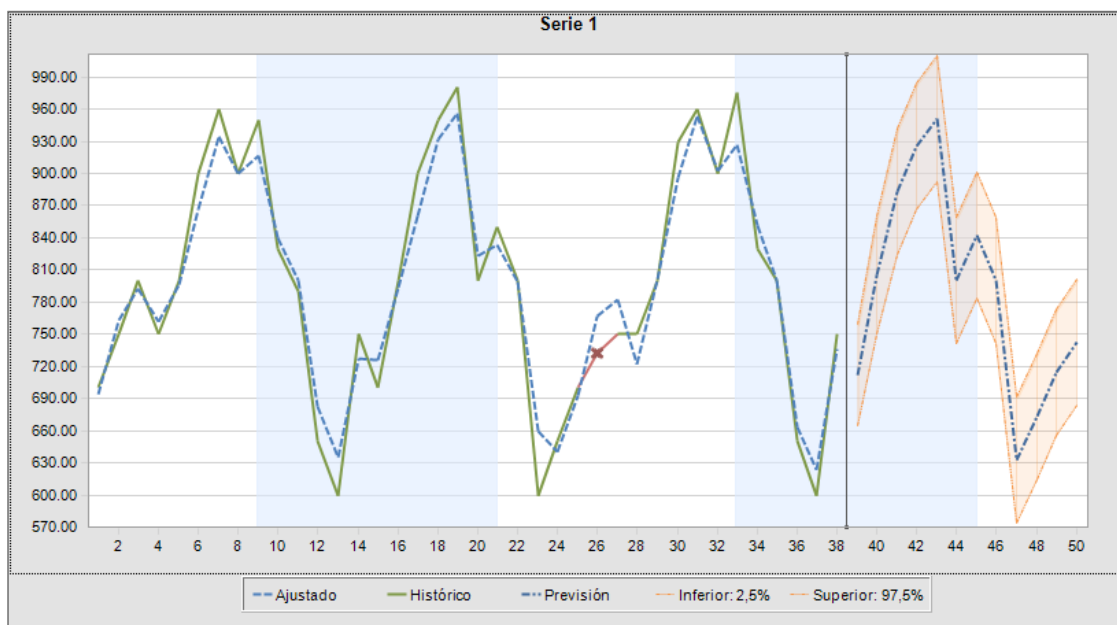


Figura 1. Pronóstico de la demanda. Fuente: Elaboración propia

En el Figura 1 se observa el pronóstico de la demanda con una tendencia cíclica en donde la variación de los datos (MAD) es de 19.33 con una media de 797.

Se elaboran los pronósticos mediante el método de Holt – Winter reflejado en la segunda columna de la Tabla N° 1, de la misma manera se realiza el cálculo de los turnos de trabajo de acuerdo con los días laborables y los ingresos a obtener por cada mes.

Tabla 1. Datos principales para la simulación de escenarios.

Mes	Pronóstico (t)	Demanda	Turnos de trabajo	Turnos por trabajar	Ventas	Ingresos
MAR	712.03	731.33	160	0	712	\$ 56,963
ABR	805.41	0.00	168	0	0	\$ -
MAY	883.05	0.00	192	0	0	\$ -
JUN	925.67	0.00	160	0	0	\$ -
JUL	950.92	0.00	176	0	0	\$ -
AGO	800.20	0.00	160	0	0	\$ -
SEP	842.45	0.00	160	0	0	\$ -
OCT	799.73	0.00	176	0	0	\$ -
NOV	632.50	0.00	160	0	0	\$ -
DIC	673.26	0.00	184	0	0	\$ -
Turnos totales				21	Total ingresos	\$ 56,963

Fuente: Elaboración propia

Al tratar todos los datos Crystal Ball genera un informe en donde presenta una gráfica de rendimiento. Figura 2.

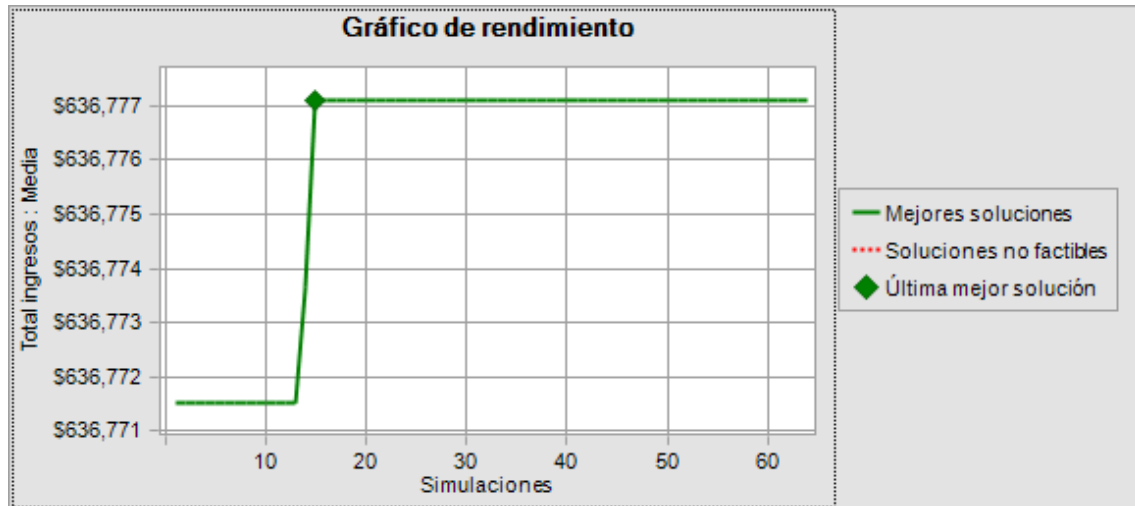


Figura 2. Figura de rendimiento. Fuente: Elaboración propia

El Figura 2 representa el rendimiento del plan maestro de producción al analizar las diferentes situaciones y establecer posibles soluciones en diferentes escenarios de simulación. Dentro de las previsiones de utiliza los valores de ingresos la cual obtuvo un valor estándar de \$74 con el caso base de \$ 56 963 y después de realizar 1000 pruebas, la variación d ellos datos obtenidos se reflejan en el siguiente Figura 3.

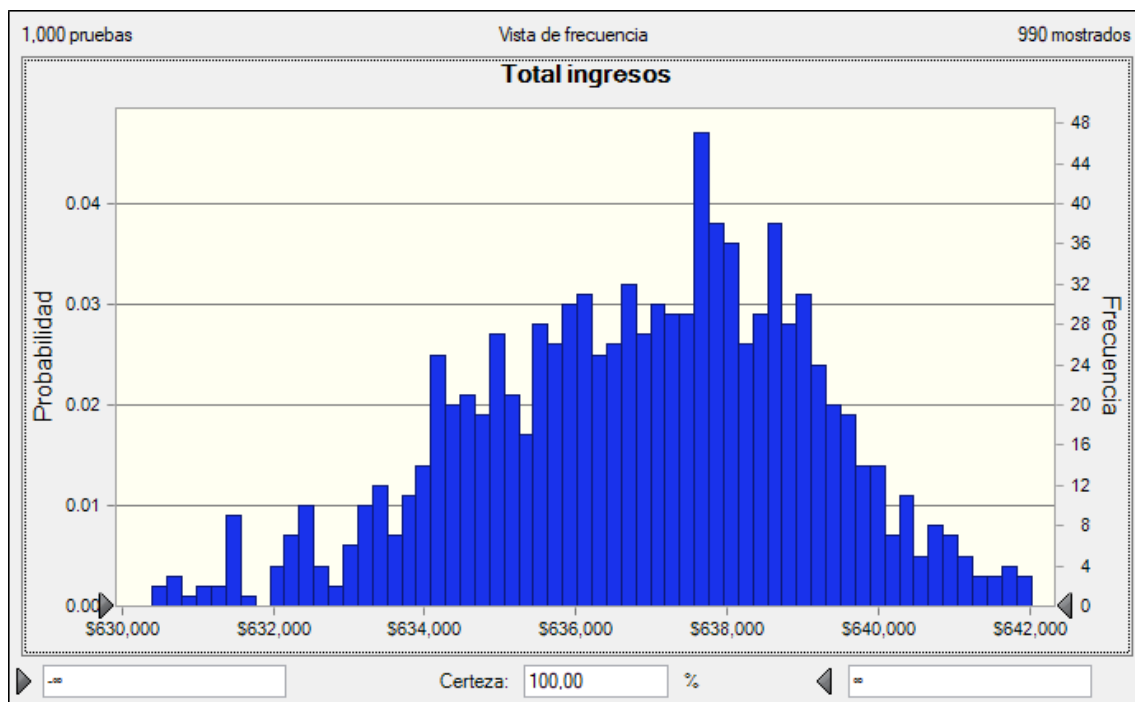


Figura 3. Previsión totales de Ingreso. Fuente: Elaboración propia

Para poder verificar la confiabilidad de los datos obtenidos mediante Crystal Ball se realiza una comparación con indicadores de precisión de pronósticos de producción obteniendo los siguientes resultados:

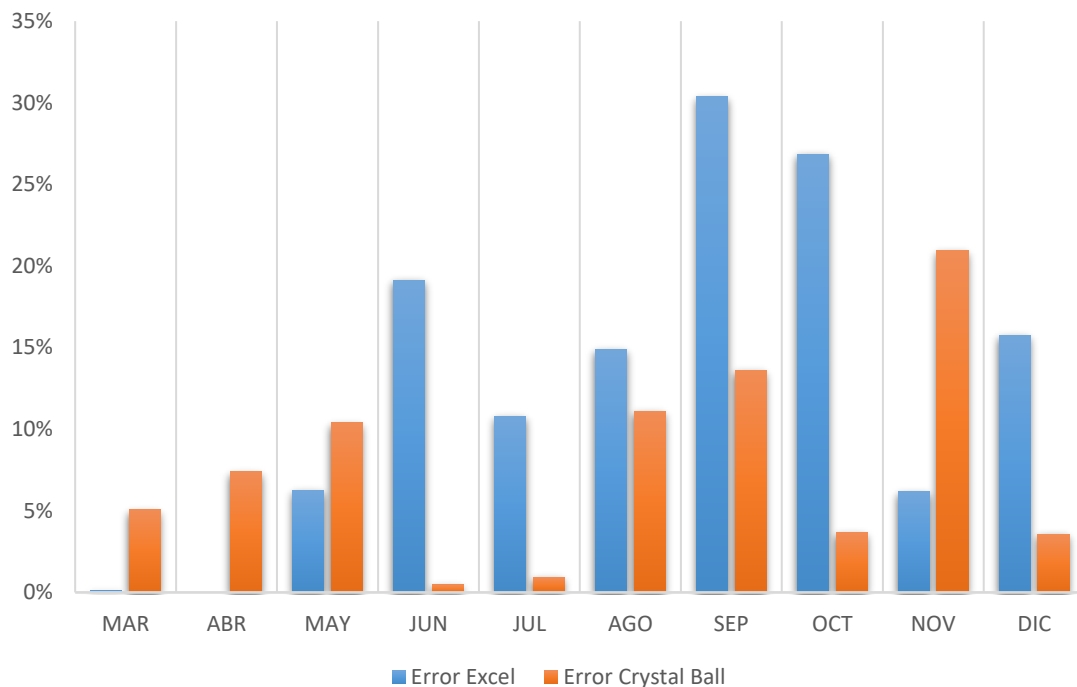


Figura 4. MAPE (Mean Absolute Percentage Error). Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4 se muestra el error de precisión de Excel y Crystal Ball en donde se puede observar que en la mayoría de los meses el error con Excel es mayor que los resultados obtenidos en Crystal Ball.

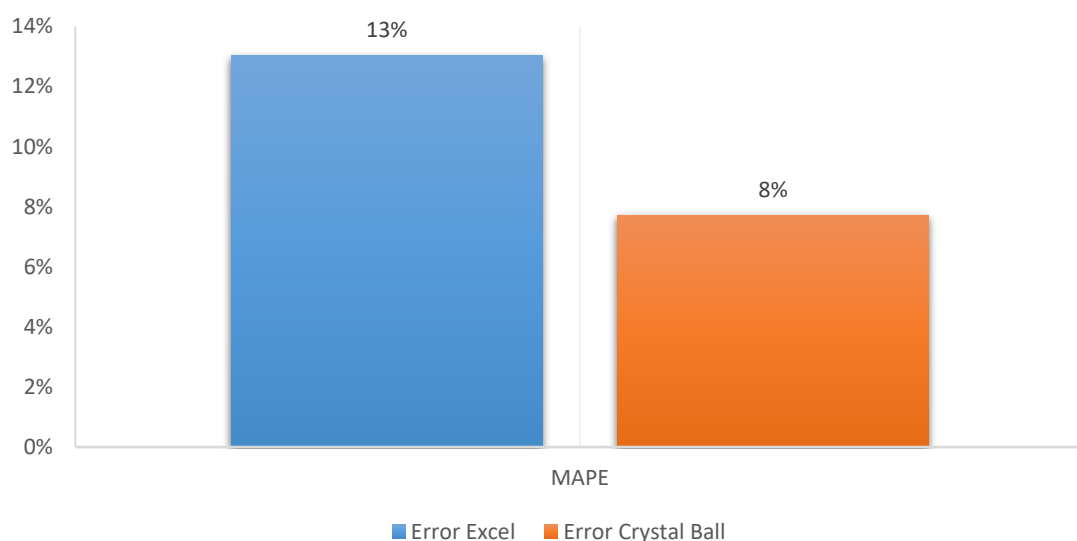


Figura 5. MAPE GENERAL Fuente: Elaboración propia.



En la figura 5 se muestra el cálculo de la precisión global en donde los errores de Excel registran un 13% a diferencia de los errores de Crystal Ball que marcan un 8% lo que demuestra que la Industria 4.0 busca mejorar la precisión de los pronósticos mediante modelos avanzados.

Comparación entre Excel y Crystal Ball

Microsoft Excel es una herramienta ampliamente utilizada para el análisis de datos y la creación de modelos, pero tiene limitaciones cuando se trata de manejar la incertidumbre y el riesgo. En cambio, Oracle Crystal Ball, que funciona como complemento de Excel, permite realizar simulaciones avanzadas, análisis predictivo y evaluación de riesgos, ofreciendo una visión más completa para la toma de decisiones. A continuación, se comparan sus principales características y capacidades:

Tabla 2. Cuadro comparativo.

Aspecto	Excel	Crystal Ball
Capacidad para Manejar Datos	Limitada en la capacidad de manejar grandes volúmenes de datos o datos complejos.	Puede manejar grandes volúmenes de datos, aunque se enfoca en la simulación, no en el análisis de datos puros.
Simulación de Escenarios	No tiene capacidad de simulación avanzada; se requiere modelado manual.	Permite simulaciones de Monte Carlo, análisis de riesgos y evaluación de múltiples escenarios con incertidumbre.
Análisis Predictivo	Se pueden realizar predicciones básicas con fórmulas y herramientas de tendencia, pero sin modelado avanzado.	Ofrece un análisis predictivo avanzado basado en simulaciones de probabilidades.
Algoritmos y Modelos	Limitado a fórmulas estándar y macros; no tiene algoritmos avanzados de aprendizaje automático.	Utiliza simulaciones probabilísticas, pero no incorpora algoritmos de aprendizaje automático.
Tiempo de Implementación	Rápido para tareas simples, pero puede ser muy lento para procesos complejos o grandes volúmenes de datos.	Rápido para configuraciones estándar de simulaciones y análisis predictivos, pero requiere tiempo para aprendizaje inicial.
Integración con Otros Sistemas	Se puede integrar con otras herramientas de Microsoft y bases de datos externas mediante complementos.	Se integra bien con otras herramientas de análisis y bases de datos, aunque depende de la compatibilidad de la licencia.
Requerimientos Técnicos	Requiere conocimientos intermedios de Excel para análisis avanzados, pero no necesita conocimientos técnicos específicos.	Requiere conocimientos básicos de simulación y análisis de riesgos. No se necesitan conocimientos avanzados de programación.
Escalabilidad	Escalable en términos de datos simples, pero limita la capacidad cuando se trata de grandes volúmenes de datos o tareas complejas.	Escalable para simulaciones de gran tamaño y análisis de múltiples escenarios de forma eficiente.
Capacidades de Visualización	Ofrece Figuras básicas para visualización de datos; no tiene visualización avanzada de análisis complejos.	Ofrece Figuras y tablas avanzadas para mostrar resultados de simulaciones.

Fuente: Elaboración propia.



DISCUSIÓN

De acuerdo con el objetivo general, evaluar el impacto de la implementación de la Industria 4.0 en el Plan Maestro de Producción de la empresa, permitió analizar la forma integral de planificación de la producción de la planta de asfalto, considerando no solo el PMP, sino también la optimización avanzada mediante el uso de la tecnología.

El uso de Crystal Ball aportó un valor agregado al estudio, ya que, a través de simulaciones con distribución normal y triangular, logró modelar la incertidumbre de la demanda mensual, lo que permite visualizar posibles escenarios futuros. Mientras que el uso del MAPE como indicador facilita comparar la efectividad de los datos de los modelos desarrollados, confirmando que la metodología avanzada ofrece una visión completa y flexible.

Aunque Excel es una herramienta muy poderosa y versátil para el análisis de datos y la modelación básica, su funcionalidad estándar no permite evaluar de forma efectiva el riesgo o la incertidumbre en los resultados. En este sentido, Crystal Ball representa una mejora significativa, ya que incorpora simulaciones de Monte Carlo y análisis predictivos directamente en Excel. Esto permite a los usuarios tomar decisiones más informadas al considerar múltiples escenarios posibles, algo que no es posible con fórmulas deterministas tradicionales. Así, Crystal Ball complementa y amplía las capacidades de Excel para aplicaciones más complejas y estratégicas.

CONCLUSIONES

La combinación de técnicas tradicionales (Excel) con simulaciones avanzadas (Crystal Ball) ha permitido el desarrollo de un Plan Maestro de Producción flexible y preciso para la planta de asfalto CODIHE, en el que la gestión de inventarios y el pronóstico de la demanda, basados en datos históricos, refuerzan la agilidad operativa. Además, la adopción de herramientas de la Industria 4.0 crea nuevas posibilidades para mejorar los procesos de producción.

Crystal Ball permitió modelar la demanda mensual con distribuciones normal y triangular, simulando incertidumbre y validando la precisión del PMP bajo escenarios variables, permitiendo la visualización de resultados en figuras como histogramas y figuras personalizadas, brindando una comprensión clara de los posibles rangos de producción y riesgos.

La digitalización y el uso de simulación avanzada reflejan un impacto positivo de la Industria 4.0 en la planificación de la producción: mayor capacidad de respuesta ante cambios de demanda y reducción de errores humanos.

FINANCIAMIENTO

No monetario

CONFLICTO DE INTERÉS

No existe conflicto de interés con personas o instituciones ligadas a la investigación.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica de Cotopaxi: Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.



CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Jenny Consuelo Ibarra-Esméraldas: Responsable del diseño metodológico, recolección de datos y análisis cuantitativo. Participó en la redacción del manuscrito y en la interpretación de los resultados.

Wilson Santiago Olovacha-Toapanta: Supervisión académica, aportes al marco teórico y discusión de los resultados. También contribuyó a la revisión y edición final del manuscrito.

REFERENCIAS

- Álvarez, L., Delgado, J., & Ponce, E. (2007). *Gestión eficiente de los procesos logísticos a través de sistemas de planificación avanzada (APS)*. 357–366. http://adigor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2007/manufacturing_management/0357_0366.pdf
- Angulo-Sandoval, J. E. (2017). *Propuesta para la mejora de la productividad en la planta de emulsiones y asfaltos SAC bajo la metodología PHVA*. Lima, Perú: Universidad de San Martín de Porres.
- Campos-Portugal, P. A., Cerrud-Álvarez, F., & González-Tejedor, M. B. (2023). La administración de la cadena de suministro y su importancia en las empresas, como parte de la estrategia en los nuevos modelos de negocios. *Ciencia Latina*, 7(3), 16–25. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6709
- Collier, J. E. D. (2017). *Administración de operaciones*. ITEMEX.
- Forero-Bonilla, C. A., & Franco-Arana, J. D. (2020). *Mejora en el sistema de inventario del almacén de materiales*. Cali, Colombia: Universidad ICESI.
- Lapedra-Alcamí, R., Devece-Carañana, C., & Guiral-Herrando, J. (2021). *Introducción a la gestión*. México: Publicacions de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions.
- Martínez, J. M. (2023). *Metodologías avanzadas para la planificación y mejora: Planificación Estratégica, BSC, SIX SIGMA*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Obando, L. C. (2004). Beneficios de una administración eficiente y eficaz de los sistemas de control de inventarios con demanda dependiente mediante el uso de ERP.
- Paco-Huamani, W. F., De la Cruz-Ccora, J. L., & Cardenas, R. Y. (2024). *El impacto de las TICs en la competitividad global*. Perú: Biblioteca Nacional del Perú. N° 2024-11067.
- Rojas, M. D., Guisao, E., & Cano, J. A. (2021). *Logística integral: Una propuesta práctica para su negocio*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.

Derechos de autor: 2025 Por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>