

## **Metodología para el pronóstico de indicadores de la planificación en la industria azucarera: aplicación**

*Methodology for forecasting planning indicators in the sugar refinery industry: application*

Ramiro Infante Roblejo<sup>1\*</sup>  <https://orcid.org/0000-0001-6172-2363>  
Cándido Figueredo Varela<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-5193-5960>  
Misley Milán Graell<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-9954-6091>

Recibido 10 de abril de 2023, aceptado 22 de noviembre de 2023  
*Received: April 10, 2023 Accepted: November 22, 2023*

### **RESUMEN**

El objetivo del artículo es aplicar una metodología para el pronóstico de indicadores esenciales de la planificación en la industria azucarera cubana. En la actualidad, se emplean métodos tradicionales de planificación que limitan su utilización como un instrumento científicamente argumentado para la toma de decisiones eficientes. De aquí que, en la metodología propuesta, se empleen métodos y modelos de pronóstico cuantitativo y estadísticos, como complemento del proceso de planificación a corto plazo, los cuales proporcionan las técnicas para estimar y verificar la validez de la tendencia del tiempo perdido industrial semanal, de los índices de variación estacional y, de los modelos de regresión múltiple del rendimiento industrial. Finalmente, a partir de los índices de variación estacional, se realiza el pronóstico semanal del tiempo perdido industrial, del plan de caña a procesar, y del plan de producción de azúcar. Los pronósticos obtenidos permitieron efectuar un ordenamiento semanal de la producción y realizar una planificación eficiente, en función de lograr un mejor aprovechamiento de las capacidades industriales. El procedimiento validado constituye un instrumento eficaz que contribuye al perfeccionamiento y fundamentación del proceso de planificación corriente en la industria azucarera y garantiza la proyección integrada de indicadores esenciales de producción y eficiencia en el plan económico.

**Palabras clave:** Pronóstico cuantitativo, planificación a corto plazo, tiempo perdido industrial, índices de variación estacional, rendimiento industrial, modelos de regresión múltiple.

### **ABSTRACT**

This article aims to apply a methodology for forecasting relevant planning indicators in the Cuban sugar refinery industry. Nowadays, conventional planning methods are used, which limit the use of planning as a scientifically argued instrument for efficient decision-making. Consequently, in the proposed methodology, quantitative and statistical forecasting methods and models are used as a means of complementing the short-term planning process, providing the techniques to estimate and verify the validity of the weekly industrial lost time trend, the seasonal variation indexes, and the multiple regression models of industrial performance. Finally, based on the seasonal variation indexes, the weekly forecast of industrial lost time, the cane plan to be processed, and the sugar production plan are made. The forecasts obtained made it possible to carry out weekly production scheduling and efficient planning to use of industrial capacities better. The validated procedure constitutes an effective instrument that contributes to the improvement

---

<sup>1</sup> Universidad de Granma. Facultad de Ciencias Económicas. Bayamo, Cuba.

E-mail: rinfanteroblejo@gmail.com; cfigueredov@udg.co.cu; mmilang@udg.co.cu

\* Autor de correspondencia: rinfanteroblejo@gmail.com

and foundation of the current planning process in the sugar refinery industry, allowing the integrated projection of relevant production and efficiency indicators in the economic plan.

Keywords: Quantitative forecasting, short-term planning, industrial lost time, seasonal variation indexes, industrial yield, multiple regression models.

## INTRODUCCIÓN

Desde el año 2002, la industria azucarera cubana ha experimentado un proceso de reestructuración, ocasionado por los altos costo de producción de la industria nacional y los bajos precios del azúcar en el mercado internacional. Como consecuencia, por decisión gubernamental las instalaciones industriales se disminuyen, inicialmente, en un 45%. La baja inversión de capital en la modernización industrial, la elevada obsolescencia tecnológica, los bajos rendimientos agrícolas e industriales, la escasez de combustible y recursos materiales, entre otros factores, han contribuido a que la producción de azúcar y las exportaciones manifiesten una tendencia decreciente hasta el presente [1], [2].

En este contexto y, en coincidencia con estudios realizados por los autores [3], entre las principales limitaciones asociadas a la planificación empresarial en la industria azucarera se destaca que, la planificación no constituye un medio para la toma de decisiones eficientes, pues predomina la aplicación de los métodos tradicionales que limitan el correcto proceso de planificación y el logro de la eficiencia en la actividad productiva y económica. Son los métodos de proyección comúnmente utilizados, presentan una determinada rigidez, que imposibilita un análisis amplio de variantes y alternativas en la toma de decisiones, pues adolecen de la aplicación de instrumentos científicos para fundamentar la planificación a corto y mediano plazo.

En consonancia con lo expuesto, en el proceso de planificación de la industria se utilizan diferentes métodos con esas características; estos tienen como propósito, fundamentar las proyecciones y propuestas de planes, entre los que se encuentran: balance de capacidades, balances materiales y análisis de eficiencia [4], [5].

La experiencia ha demostrado que cuando los métodos económicos o administrativos utilizados para implementar las decisiones de planificación no

tienen un adecuado fundamento técnico y científico, o se instrumentan de forma superficial, pueden proponerse metas poco realistas, de manera que se pierden las ventajas económicas y sociales de la planificación [4].

La situación planteada propició la reflexión en torno a la interrogante siguiente: ¿cómo superar las insuficiencias que prevalecen en la toma de decisiones del proceso de planificación en la industria azucarera?

Las empresas no pueden ser competitivas sin una planificación eficiente de sus procesos productivos [6], los autores consideran que, para lograr la competitividad y eficiencia deseadas, las empresas invierten capital en la reducción de sus tiempos empleados, pues esto traería para ellas una disminución en los costos de operación; a su vez, enfatizan en que la gerencia del tiempo y su disminución constituye uno de los factores de mayor pertinencia en la administración de la producción, ya que coadyuvarían a dar una mejor utilización de las capacidades productivas.

De este modo, el aprovechamiento de la capacidad productiva instalada en la industria azucarera es un indicador de eficiencia esencial para la elaboración y fundamentación de los planes de producción en la industria [4]. Por consiguiente, debe lograrse el mejor resultado entre los indicadores capacidad potencial y operacional de la industria azucarera, ya que existe una razón de carácter tecnológico que los interrelaciona desde el punto de vista productivo y económico. Esta razón se expresa a través del *tiempo perdido industrial*, donde la diferencia porcentual entre la capacidad potencial y operacional es el valor que se considera para proyectar el tiempo que debe perder la industria azucarera diariamente como promedio [7], [8].

Se ha constatado que no existen evidencias de investigaciones recientes relacionadas con el empleo de métodos y modelos de pronóstico para

la planificación de indicadores de producción en la industria azucarera [8]. No obstante, en las condiciones de Cuba, se desarrolló un método para el pronóstico del tiempo perdido, en el cual se estima la ecuación de tendencia del tiempo perdido, apoyándose en el método de los mínimos cuadrados ordinarios [9]. En este caso Morales [7], demuestra que, cuando en el año proyectado existe variación significativa respecto al período precedente, no se obtienen resultados satisfactorios. En consecuencia, este autor propone un método que se combina con el anterior y plantea hacer tres proyecciones para el tiempo perdido: optimista, promedio y pesimista, en dependencia de la causa tiempo perdido por lluvia.

Por otra parte, estas investigaciones no logran presentar una metodología que permita un análisis interrelacionado de indicadores en el proceso de planificación.

Debido a las limitaciones del método de estimación aplicado para analizar la estacionalidad del problema modelado, se propone una metodología que estima el tiempo perdido industrial y su índice de variación estacional considerando como método de suavizamiento de la serie, las medias móviles, donde los resultados obtenidos del tiempo constituyen elementos básicos en la planificación, pues en dependencia de su magnitud, es posible pronosticar indicadores esenciales de producción y eficiencia del plan de producción de la industria azucarera.

En consecuencia, como el propósito es brindar a los administradores información que facilite la toma de decisiones en el proceso de planificación de la industria y predecir la ocurrencia de eventos futuros de manera efectiva y oportuna, el pronóstico cuantitativo es una parte importante de ese proceso [10], [11].

En la búsqueda de soluciones a la problemática descrita, se formuló como *objetivo* del trabajo: aplicar una metodología para el pronóstico de indicadores esenciales de la planificación en la industria azucarera cubana.

Lo trascendental de emplear la metodología en el proceso de planificación consiste en que contribuye a perfeccionar los métodos de planificación a corto plazo que se utilizan en la fundamentación de planes de la industria azucarera, ya que, con

sus resultados, permite ampliar las variantes y alternativas de análisis, antes de adoptar una decisión de planificación, contribuyendo a que los decisores realicen esta de manera más ajustada a la realidad. Así, se facilita el proceso de toma de decisiones a corto plazo, como muestra de que los métodos y modelos propuestos proporcionan los pronósticos adecuados y comprensibles para los administradores.

En respuesta a la problemática existente en la industria azucarera, se desarrolla el estudio con la *finalidad de demostrar* que, si se aplica la metodología propuesta, se dispondrá de los instrumentos que permiten la proyección de indicadores de producción y eficiencia, que posibilitarían el adecuado proceso de planificación y la toma de decisiones fundamentadas en las empresas azucareras.

## METODOLOGÍA

La planificación empresarial es un proceso de toma de decisiones complejas [3] y, en específico, la planificación de la agroindustria azucarera es un problema complejo y multifactorial, pues debe considerar e interrelacionar diversos factores relacionados con el período de maduración de la caña, su recolección, transportación para la industria, así como la capacidad de molienda de la industria azucarera y su aprovechamiento, resultando indispensable y fundamental la integración entre la agricultura y la industria; siendo en esta última, donde se resume la eficiencia de todo el proceso productivo [12].

En un sistema productivo como el descrito, los autores [13] enfatizan que es posible representarlo mediante modelos estadísticos matemáticos, que permiten describir procesos, realizar análisis cuantitativos detallados, predecir el comportamiento de los objetos en diversas condiciones y desarrollar técnicas que permitan establecer estrategias de trabajo para lograr soluciones y producciones satisfactorias.

En relación con lo expuesto, se hace indispensable considerar la dimensión técnica del plan, pues este debe ser el resultado de un análisis riguroso y científicamente fundamentado, todo ello a partir del empleo de técnicas estadísticas y matemáticas, acompañadas de los análisis cualitativos para fundamentar las decisiones que se toman, evitando así las decisiones empíricas de la administración [3].

De este modo, en particular los pronósticos cuantitativos han sido ampliamente utilizados como soporte para el análisis y solución de problemas operativos en los más disímiles contextos de una organización [10], [14]. Su relevancia radica en que son coherentes y pueden manipular grandes series temporales como un todo integrado, en contraste con los métodos tradicionales, donde se utiliza el juicio como única opción para predecir el futuro [15].

Las técnicas de pronósticos son de utilidad para la toma de decisiones en escenarios de incertidumbre; con su aplicación, es posible atenuar la incertidumbre del comportamiento futuro en dichos contextos, mediante la implementación de acciones en conformidad con los intereses de la organización; quienes toman decisiones lo harán mejor si, a partir de la comprensión de las técnicas, las utilizan de manera adecuada [11], [16].

Los pronósticos pueden ser obtenidos usando diversos métodos y modelos, como: las técnicas de pronóstico que se ocupan del estudio de dependencia entre variables (análisis de regresión) y las técnicas que involucran el análisis de series temporales (medias móviles, alisamiento exponencial, modelos autorregresivos, modelos de promedio móvil autorregresivo integrado, etcétera); el modelar series temporales surge para el análisis cuando las variables tienen, de forma natural, un orden secuencial con el paso del tiempo, teniendo cada método sus propias ventajas y limitaciones [11], [17]-[19].

Para desarrollar la metodología que se exhibe y, en correspondencia con el área de estudio relacionada con los métodos y modelos cuantitativos de pronósticos como instrumentos para el proceso de planificación a corto plazo, se considera como referencia el diseño del procedimiento para el pronóstico del tiempo perdido en la industria azucarera, expuesto por Infante y Figueredo [8].

Para la aplicación práctica y validación de la presente metodología, como medio para la proyección de indicadores esenciales de producción y eficiencia en el plan a corto plazo de la industria azucarera, en el contexto de Cuba, se consideran las etapas y pasos que se describen en la Figura 1.

En el desarrollo de la metodología, entre otros *métodos de investigación científica*, se emplea el de modelación, método que fundamenta el proceso de pronóstico y la modelación econométrica.

Teniendo en cuenta que, en los procedimientos formales, las técnicas de pronósticos utilizan datos de series históricas, conduce a que, metodológicamente, se consideren los siguientes pasos en el proceso del pronóstico: formulación del problema y recopilación de datos, manipulación y limpieza de datos, construcción y evaluación del modelo, implementación del modelo y evaluación del pronóstico [11].

De manera similar, en el estudio de los modelos de regresión, se consideran los elementos de la

Fuente: Adaptado de Infante y Figueredo [14].

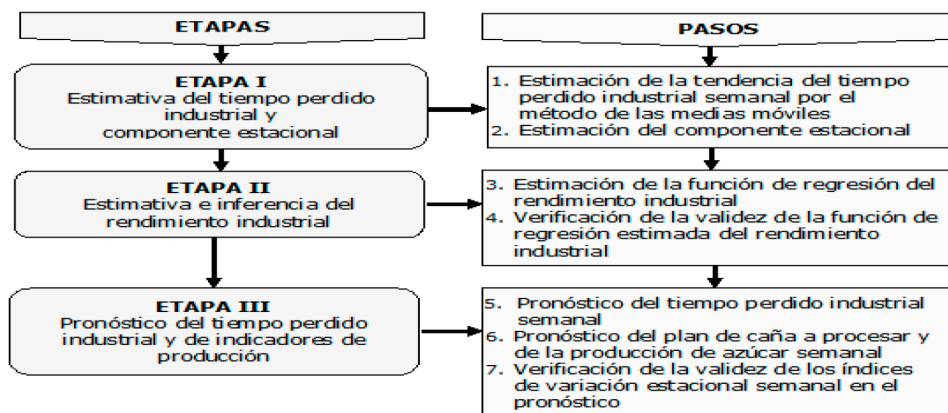


Figura 1. Etapas y pasos de la metodología para el pronóstico de indicadores esenciales de la planificación en la industria azucarera.

metodología de la modelación econométrica expuesta por Gujarati y Porter [20], que en términos generales se ajusta a los siguientes lineamientos: formulación del problema, obtención de datos, estimación de los parámetros del modelo, pruebas de hipótesis, pronósticos y utilización del modelo para fines de planificación y control.

En las situaciones de pronóstico que se estudian en la metodología, se realiza el análisis de datos para generar el pronóstico final. De esta manera, para efectuar el análisis cuantitativo de los datos, se cumplen los siguientes aspectos: se seleccionan los métodos adecuados y modelos comprensibles, se eligen los programas informáticos apropiados para analizar los datos, se analizan mediante pruebas estadísticas las hipótesis planteadas y se verifica la validez de los resultados [11], [16], [17], [20], [21].

En relación con el análisis de datos, es indispensable una *recolección de datos* apropiada, siendo transcendental para la toma de decisiones confiables en la industria azucarera, dada la complejidad del proceso modelado. Por tal motivo, para determinar la utilidad de los datos se aplican como *criterios* que deben ser: fidedignos y precisos, relevantes, consistentes y oportunos [11], complementados por un adecuado proceso de manipulación y limpieza de datos.

### **Etapas I: Estimativa del tiempo perdido industrial y componente estacional**

Teniendo en cuenta el comportamiento irregular y no uniforme que presentan los datos de las series temporales del tiempo perdido industrial, que complejiza su representación matemática, así como el interés de estudiar el *factor o componente estacional de la serie de tiempo semanal*; se consideran las apreciaciones realizadas por Espallarga y Solís [17] en series con características similares, donde la aplicación del método de estimación de los mínimos cuadrados y el pronóstico del análisis de regresión no garantizan una adecuada extrapolación de la tendencia o pronóstico de la serie. Manifiestan que el método de las medias móviles (MMM) proporciona, para este caso, resultados más satisfactorios, ya que, junto con la tendencia, recoge una porción del efecto de los movimientos cíclicos presentes en la serie, lo que permite una estimación más depurada de la estacionalidad.

Independientemente de las características del tiempo perdido, no pudiendo justarse a un patrón específico, la aplicación del método de las medias móviles garantiza una adecuada extrapolación, sin embargo, presenta desventaja, pues a las observaciones recientes no se le asignan mayor peso, como sí lo hacen otros métodos de suavizamiento más complejos y exactos recomendables para pronósticos de corto plazo, tales como los métodos de alisamiento exponencial [11], [17], [21]. Pero estos no son viables por las características de la información del tiempo perdido, que se encuentra asociada a la duración del ciclo productivo de la industria, que no completa el período de un año.

Los semipromedios, como otra alternativa de los métodos de suavizamiento, no garantizan una adecuada estimación de la tendencia para el posterior cálculo del componente estacional, pues los valores obtenidos mediante la media aritmética pueden estar influenciados por los valores extremos de cualquier mitad de la serie [22].

Considerar el método de las medias móviles para estimar la tendencia del tiempo perdido industrial semanal, permite suavizar las variaciones de la serie mediante el cálculo de sucesivas medias correspondientes a subperíodos determinados; consiguientemente, este método se utiliza, pues los movimientos de la serie, no presentan un comportamiento claro por las amplias fluctuaciones en sus componentes cíclicos e irregulares y no se aprecia si hay un efecto descendente o ascendente [11], [16], [17], [23].

No obstante, aunque el método de suavizamiento apropiado para el estudio a realizar es el de las medias móviles, presenta otras desventajas: al calcular las medias se pierde información al inicio y al final de la serie y, el promedio móvil no es posible representarlo por una función matemática; esto último limita su utilización en la estimación de la tendencia [17], [22].

Por último, como es interés estudiar la estacionalidad, el procedimiento propuesto para calcular el componente estacional estimado, o sea, los índices de variación estacional semanales del tiempo perdido, parte del método de relación con la tendencia, aplicando el modelo multiplicativo. En este, se considera como paso inicial para calcular

la estacionalidad multiplicativa, la estimación de la tendencia de la serie a través del método de las medias móviles, por las ventajas que tiene la aplicación de este método en el cálculo de la estacionalidad [17], [ 21].

Los índices de variación estacional constituyen un instrumento científicamente fundamentado que permite calcular el pronóstico semanal del tiempo perdido industrial, realizar un análisis detallado del comportamiento de la serie pronosticada del tiempo perdido industrial, así como calcular el pronóstico del plan de caña a procesar y de la producción de azúcar semanal.

De forma sintetizada y ordenada, los cálculos de la estimación de la tendencia del tiempo perdido y del componente estacional, considerando elementos aportados por los autores [8], [17], [ 21], se muestran a continuación, donde:

- A partir del tiempo perdido industrial en la semana  $t$  de la zafra  $j$  de la serie original ( $Y_{tj}$ ), se estima la tendencia del tiempo perdido industrial en la semana  $t$  de la zafra  $j$  ( $\hat{Y}_{tj}$ ) estimado por el método de las medias móviles.
- Se calcula el tiempo perdido industrial estimado promedio en la semana  $t$  de las zafras seleccionadas  $j$  ( $\hat{Y}_{tjp}$ ). Tiempo que se utiliza para calcular los pronósticos de los indicadores de producción caña a procesar y azúcar a producir, en la etapa III.
- Se calcula el valor del componente estacional irregular, mediante la división entre los valores del tiempo perdido industrial en la semana  $t$  de la zafra  $j$  de la serie original ( $Y_{tj}$ ) y el tiempo perdido industrial estimado en la semana  $t$  de la zafra  $j$  ( $\hat{Y}_{tj}$ ), representado por la razón de la ecuación (1).

$$Razón_{ij} = \frac{Y_{tj}}{\hat{Y}_{tj}} \quad (1)$$

Donde:  $Razón_{ij}$  es la razón que representa el valor del componente estacional irregular.

- Se promedia para cada estación, o sea, por semana, el valor del componente estacional irregular de las zafras consideradas. El resultado obtenido representa la estimación del componente estacional semanal o índice de variación estacional semanal del tiempo

perdido industrial ( $\hat{S}_t$ ), como se muestra en la ecuación (2).

$$\hat{S}_t = \left( \sum_{j=1}^5 \frac{Y_{tj}}{\hat{Y}_{tj}} \right) / n \quad (2)$$

Donde:  $n$  es la cantidad de zafras objeto de estudio.

- Si el resultado no cumple con la restricción que plantea el modelo multiplicativo dado por la ecuación (3), se determina el índice de variación estacional corregido semanal ( $\hat{S}_{tc}$ ), a partir de la ecuación (4).

$$\sum_{t=1}^p \hat{S}_t = p \quad (3)$$

$$\hat{S}_{tc} = C \hat{S}_t \quad (4)$$

Siendo  $C = p / \sum_{t=1}^p \hat{S}_t$

Donde:  $p$  es la estación correspondiente en semanas.

$C$  es el factor de corrección.

Los procedimientos de los métodos de las medias móviles y de relación con la tendencia fueron programados y resueltos mediante la hoja de cálculo del Microsoft Office Excel.

### Etapa II: Estimativa e inferencia del rendimiento industrial

Entre los principales indicadores de eficiencia en la planificación de la industria azucarera, se encuentra el rendimiento industrial [4], indicador que sintetiza el resultado de la operación del proceso productivo industrial en la fabricación del azúcar y representa el peso de azúcar físico producido y en proceso que corresponde a cien partes en peso de caña [7].

Existe un conjunto de variables predictoras que influyen en el rendimiento industrial azucarero, tales como: pol en caña, variables que inciden en las principales pérdidas en el proceso (pérdida en bagazo, en miel final, en cachaza e indeterminadas) y, por otro lado, las variables de operación (entre ellas el aprovechamiento de la norma potencial), a partir de las cuales se pueden obtener modelos de regresión lineal múltiple para pronosticar el rendimiento industrial [24]. Esto es posible, siempre que las variables se puedan determinar cuantitativamente, se logre obtener un número alto de observaciones,

no exista interdependencia entre algunas variables, que las variables independientes sean factibles de control, etcétera.

No obstante, el tiempo relacionado con el período de zafra es un factor de decisión relevante, que hay que tenerlo en cuenta en la cosecha de la caña y en el procesamiento industrial, para que no se comprometan los parámetros de calidad en la producción de azúcar, pues incide en el máximo rendimiento azucarero de las variedades de caña plantadas [25]. El tiempo por sí solo no determina el rendimiento industrial; sin embargo, el rendimiento industrial sí se puede proyectar considerando como variable predictora el tiempo solamente, pues la madurez y el contenido de sacarosa de la caña se modifican en función del tiempo [7], [8].

Como en términos generales, el propósito consiste en estudiar la dependencia entre una variable dependiente (rendimiento industrial), en relación con la variable explicativa (tiempo), con la finalidad de predecir el valor promedio de la variable dependiente en términos de los valores conocidos de las variables explicativa o predictora, la técnica de pronóstico cuantitativa a considerar es el análisis de regresión, ya que proporciona una herramienta útil y robusta para realizar este trabajo de modelación [17], [19], [23], [26], [27].

A partir de la relación de dependencia entre el rendimiento industrial semanal y el tiempo en semanas y, en función del grado de madurez de la caña de azúcar durante la zafra, es posible ajustar curvas continuas, representadas por funciones de regresión polinomial cuadrática o cúbica. Por otra parte, [13] señalan que estos modelos son ventajosos por la simplicidad y exactitud del método matemático empleado en la estimación de sus parámetros, el que genera solución única; enfatizan que modelo con estas características es de mucha utilidad, si el propósito de su empleo es para la estimación y pronóstico.

En esta etapa, se estima la función del rendimiento industrial y se verifica la validez de la función de regresión estimada, mediante la estimativa e inferencia de los modelos de regresión lineal múltiple. Para determinar el modelo matemático de mejor ajuste, se aplica la prueba estadística  $F$  de Fisher.

Para verificar la validez de la prueba estadística  $F$  de Fisher en la significación de la función de

regresión estimada, la confiabilidad y eficiencia de las predicciones obtenidas a partir de la función de regresión estimada, así como los posibles errores en la especificación del modelo referente a la variable explicativa considerada, se procede a verificar los supuestos básicos del modelo, contrastando la veracidad de los supuestos de normalidad, no autocorrelación, homocedasticidad y no multicolinealidad en los que se ha basado la construcción del modelo matemático. O sea, para justificar la precisión y detectar la validez de la función de regresión estimada del rendimiento industrial, se emplean las pruebas Jarque-Bera, Durbin-Watson, Breusch-Godfrey y general de la heterocedasticidad de White [8], [20]. Además, de ser necesario, se realizan las correcciones pertinentes y, de esta forma, se selecciona la mejor función de regresión estimada que sirva de base para el pronóstico.

Se utiliza el programa informático Econometric Views (EViews) para obtener el resultado de las pruebas estadísticas.

### Etapa III: Pronóstico del tiempo perdido industrial y de indicadores de producción

A partir de los índices de variación estacional semanal del tiempo perdido industrial ( $\hat{S}_t$ ) o de variación estacional corregido semanal ( $\hat{S}_{tc}$ ), así como del tiempo perdido industrial estimado promedio en la semana  $t$  de las zafras seleccionadas  $j$  ( $\hat{Y}_{tjp}$ ), se realizan los pronósticos semanales del tiempo perdido industrial, aplicando ecuación (5) o ecuación (6) según sea el caso.

$$PTPIs = \hat{S}_t \cdot \hat{Y}_{tjp} \quad (5)$$

$$PTPIs = \hat{S}_{tc} \cdot \hat{Y}_{tjp} \quad (6)$$

Donde:  $PTPIs$  es el pronóstico del tiempo perdido industrial semanal.

Considerando el porcentaje del tiempo de cumplimiento de la norma potencial ( $PTCNP$ ) dado por la ecuación (7), donde su numerador es el tiempo de cumplimiento de la norma potencial, así como la norma potencial semanal ( $NP_{sem}$ ), se obtiene el pronóstico del plan de caña a procesar semanal ( $PPCPs$ ) o estimado del plan de molienda semanal, representado por la ecuación (8).

$$PTCNP = \frac{168 - (\hat{S}_{tc} \cdot \hat{Y}_{tjp})}{168} \quad (7)$$

Donde: 168 son las horas del tiempo disponible semanal.

$$PPCP_s = NP_{sem} \left[ \frac{168 - (\hat{S}_{tc} \cdot \hat{Y}_{tjp})}{168} \right] \quad (8)$$

Con los resultados obtenidos en ecuación (8), se efectúa el cálculo del pronóstico del plan de azúcar a producir semanal (*PPAPs*), a partir de la ecuación (9), para el que se emplea el rendimiento industrial estimado semanal del promedio en la semana *t* de las zafas seleccionadas *j* ( $\hat{R}_{tjp}$ ).

$$PPAP_s = NP_{sem} \left[ \frac{168 - (\hat{S}_{tc} \cdot \hat{Y}_{tjp})}{168} \right] \hat{R}_{tjp} \quad (9)$$

Esta última etapa de la metodología se sustenta en la información de las dos etapas precedentes, y es donde se integran los resultados de los métodos y modelos de pronóstico utilizados de manera concatenada. Para esto, se considera como aspecto esencial de interrelación el pronóstico del tiempo perdido industrial y su índice de variación estacional.

En el proceso de pronóstico desarrollado, la proyección integrada de indicadores se da por el nexo que existe entre todos sus elementos, o sea, entre el tiempo perdido industrial y los indicadores de eficiencia y producción de la industria azucarera y cómo ellos se complementan y combinan, al calcular sus proyecciones sobre bases científicamente fundamentadas, que aportan los métodos y modelos cuantitativos utilizados.

Para robustecer y autenticar los resultados de los pronósticos semanales del plan de caña a procesar y de producción de azúcar, se verifica la validez de los índices de variación estacional del tiempo perdido en el pronóstico, mediante las pruebas estadísticas de rango de Wilcoxon y *t* de Student, para dos muestras relacionadas. El análisis estadístico de las pruebas se apoya en la aplicación del programa estadístico SPSS.

Los métodos cuantitativos expuestos en la metodología dependen de la manipulación de datos históricos para desarrollar los modelos y utilizar estos para proyectar las variables de interés en el futuro; de este modo, los valores proyectados se convierten en los pronósticos que se utilizan para desarrollar

y fundamentar la planificación; esta práctica es un procedimiento válido si el pronóstico es para el futuro cercano [10], [11].

En relación a lo expresado, en el corto plazo, la estimación del componente estacional y, por consiguiente, la utilización de los índices de variación estacional del tiempo perdido, flexibilizan los análisis realizados a partir de los datos históricos, pues teniendo como referencia la tendencia histórica, se realizan los ajustes pertinentes para realizar un mejor proceso de planificación. Esto es posible, porque los índices permiten conocer las semanas donde históricamente se producen variaciones sensibles, lo que permite planificar más objetivamente o tomar las decisiones oportunas para su reducción.

Al mismo tiempo, en la metodología se establece que los resultados de los pronósticos obtenidos con datos precedentes, donde se utilizan los índices, se contrastan con resultados reales obtenidos en el futuro, mediante el empleo de pruebas estadísticas.

De este modo, los resultados de los índices fundamentados adecuadamente, repercuten en mejorar la calidad de los pronósticos y en el enfrentamiento a la incertidumbre asociada al futuro, lo cual contribuye a mitigar las posibles fallas o deficiencias que pudieron impactar el comportamiento de los indicadores en períodos precedentes.

Con el objetivo de aplicar la metodología para el pronóstico de indicadores de la planificación, se considera como objeto de estudio práctico una Empresa Azucarera de la región oriental de Cuba, donde se consideran las series temporales de indicadores esenciales de producción y de eficiencia, desde la zafra 2016-2017 hasta la 2020-2021.

La metodología aplicada al proceso de planificación y que se encuentra en correspondencia con las necesidades actuales de la planificación empresarial en el sector, presenta valía metodológica.

De esta manera, su valor metodológico se muestra en la aplicación de un procedimiento que permite realizar el pronóstico de indicadores esenciales de la planificación en la industria azucarera que, a través de sus etapas y pasos, proporciona los elementos teóricos, metodológicos y prácticos necesarios,



para lograr la adecuada proyección integrada de indicadores de producción y de eficiencia empleados en el proceso de planificación a corto plazo, lo que permite garantizar una efectiva programación de la zafra y contribuir a la elaboración y fundamentación del plan económico.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Estimación de la tendencia del tiempo perdido industrial semanal por el método de las medias móviles

Para estimar el tiempo perdido semanal en la industria azucarera objeto de estudio, se considera el tiempo perdido industrial semanal de las cinco zafras precedentes a la zafra que se planifica.

Dada la característica cíclica del proceso de producción de la industria azucarera cubana, la capacidad instalada se utilizó aproximadamente en 20 semanas. Por esta situación, la serie semanal original presenta sus peculiaridades, pues no se completan todas las semanas del año.

Para calcular cada media móvil, o sea, el tiempo perdido estimado, se utilizan datos de todo un mes. De este modo, como la serie es semanal, para el cálculo de cada media móvil se utilizan los datos del tiempo perdido de cuatro semanas. Con este número de términos en la media móvil, se garantiza minimizar el cuadrado medio debido al error y la exactitud en el pronóstico de la serie [21]. Además, al no ser alto el número de datos a emplear, se le concede mayor peso a las observaciones más recientes y se pierden menos observaciones al inicio y final de la serie.

De esta manera, como la media móvil a considerar es par, hay que centrar los datos para desarrollar este procedimiento, haciendo posteriormente al cálculo de la media móvil de cuatro semanas contiguas, otra media móvil a partir de las medias obtenidas de dos períodos, siendo esta última calculada, la media móvil centrado [17], [21], [23].

El resultado de aplicar el método de las medias móviles se compendia en la Tabla 1, donde se exhibe el tiempo perdido industrial en la semana  $t$  de la zafra  $j$  ( $Y_{tj}$ ), correspondiente a la serie original, con  $t = 1, \dots, 20$  semanas y  $j = 1, \dots, 5$  zafras, así como el tiempo perdido industrial estimado en la

semana  $t$  de las zafras seleccionadas  $j$  ( $\hat{Y}_{tj}$ ), siendo esta estimación la media móvil centrada.

Teniendo en cuenta el método aplicado y las características de la serie original, es posible calcular solo las medias móviles de la semana 3 de la zafra 2016-2017 hasta la semana 18 de la zafra 2020-2021. Entonces, para calcular las medias móviles de inicio de la serie, semana 1 y 2 de la zafra 2016-2017, así como las de final de la serie, semana 19 y 20 de la zafra 2020-2021, es necesario prolongar la serie original, o sea, hay que estimar los valores del tiempo perdido industrial de las dos últimas semanas de la zafra 2015-2016, como también estimar los valores del tiempo perdido industrial de las dos primeras semanas de la zafra 2021-2022. Para estimar los valores del tiempo perdido correspondiente a esas semanas, se considera la propuesta de cálculo desarrollada por los autores [17].

El resultado final del tiempo perdido industrial estimado por el método de las medias móviles ( $\hat{Y}_{tj}$ ), se resume en la Tabla 2, así como el tiempo perdido industrial *estimado promedio* en la semana  $t$  de las zafras seleccionadas  $j$  ( $\hat{Y}_{tjp}$ ).

Los resultados del tiempo perdido industrial estimado que se exhiben, atenúan la rigidez que se presenta en el proceso de planificación tradicional en la industria, pues permiten estimar el tiempo perdido de molida ajustado a las particularidades de cada semana, en lugar de considerar un tiempo perdido igual, o sea, único para todas las semanas de la zafra. Estos resultados garantizan realizar una planificación de la zafra en función de lograr una mejor utilización de las capacidades instaladas de la industria azucarera.

### Estimación del componente estacional

En la Tabla 3, se sintetiza de forma cuantitativa el procedimiento práctico para determinar los índices de variaciones estacionales semanales del tiempo perdido industrial, o sea, la estimación del componente estacional, a través del modelo multiplicativo, aplicando las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) expuestas en la metodología.

Se determina el índice de variación estacional corregido semanal del tiempo perdido, pues no se cumple de forma estricta la restricción de la ecuación (3).

Tabla 1. Cómputo del tiempo perdido industrial en la semana  $t$  de la zafra  $j$  estimado por el método de las medias móviles.

Zafra	Mes	Semana	Tiempo perdido industrial en la semana $t$ de la zafra $j$ (Serie original) (en horas)	Tiempo perdido industrial en la semana $t$ de la zafra $j$ estimado por el MMM (en horas)	Zafra	Mes	Semana	Tiempo perdido industrial en la semana $t$ de la zafra $j$ (Serie original) (en horas)	Tiempo perdido industrial en la semana $t$ de la zafra $j$ estimado por el MMM (en horas)
2015		19	32,43	-	///// ///// /////				
2016		20	32,43	-					
2016	Diciembre	1	38,76	40,95	2018	Diciembre	1	18,19	55,61
		2	54,26	46,32			2	49,06	58,61
		3	44,28	56,21			3	88,25	63,57
	Enero	4	63,51	64,83		4	80,64	68,96	
		5	86,80	72,35		5	54,47	70,71	
		6	75,18	79,85		6	55,92	71,06	
		7	83,50	83,82		7	95,35	71,51	
2017	Febrero	..	...	...	...	...	...	...	
Marzo	..	...	...	2019	Marzo	..	...	...	
2017	Abril	16	81,85	85,25	16	121,67	118,20		
		17	112,87	93,33	17	134,70	115,32		
		18	98,60	98,24	18	93,40	108,74		
		19	94,52	89,95	19	93,54	94,37		
		20	92,05	75,83	20	105,00	78,17		
///// ///// /////					2019	...	..	...	...
///// ///// /////					2020	...	..	...	...
2017	Diciembre	1	36,40	69,96	2020	Diciembre	1	52,24	90,28
		2	62,10	65,91			2	82,98	76,04
		3	84,02	67,41			3	53,32	73,63
	Enero	4	70,21	73,19		4	85,27	80,31	
		5	70,21	73,56		5	93,63	88,08	
		6	74,53	69,55		6	95,08	95,68	
		7	74,53	64,47		7	103,35	96,77	
2018	Febrero	..	...	...	...	...	...		
Marzo	..	...	...	2021	Marzo	..	...	...	
2018	Abril	16	63,81	57,76	16	126,53	102,71		
		17	62,92	61,39	17	77,90	102,22		
		18	61,46	65,64	18	98,92	99,52		
		19	67,65	61,73	19	105,51	98,61		
		20	77,24	54,59	20	105,00	99,55		
///// ///// /////					2021		1	92,16	-
///// ///// /////					2022		2	92,16	-

Análisis de los resultados del índice de variación estacional del tiempo perdido:

- El índice semanal del 113,36% correspondiente a la semana siete expresa que, en esta semana, existe un incremento promedio del tiempo perdido industrial respecto a la tendencia, de un 13,36%, o sea, en esta semana se pierde un 13,36% más que el promedio semanal. El comportamiento del índice sugiere que, en

semanas con estas características, se deben tomar decisiones productivas y organizativas que contribuyan a reducir el tiempo perdido.

- Como para la semana seis se tiene un índice de 95,35%, en esta semana existe una disminución promedio del tiempo perdido industrial respecto a la tendencia, de un 4,65%, o sea, en esta semana se pierde un 4,65% por debajo del promedio semanal. El comportamiento

Tabla 2. Compendio del tiempo perdido industrial en la semana  $t$  de la zafra  $j$  estimado por el método de las medias móviles y su promedio semanal.

Mes	Semana		Tiempo perdido industrial en la semana $t$ de la zafra $j$ estimado por el método de las medias móviles (Media móvil centrada) (en horas)					Promedio (en horas)
			2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	
Diciembre	2	1	40,95	69,96	55,61	72,82	90,28	65,92
	3	2	46,32	65,91	58,61	68,11	76,04	63,00
	4	3	56,21	67,41	63,57	69,83	73,63	66,13
Enero	1	4	64,83	73,19	68,96	76,45	80,31	72,75
	2	5	72,35	73,56	70,71	78,27	88,08	76,59
	3	6	79,85	69,55	71,06	78,05	95,68	78,84
	4	7	83,82	64,47	71,51	75,76	96,77	78,47
Febrero	...	...	...	...	...	...	...	...
Marzo	...	...	...	...	...	...	...	...
Abril	1	16	85,25	57,76	118,20	89,53	102,71	90,69
	2	17	93,33	61,39	115,32	97,87	102,22	94,02
	3	18	98,24	65,64	108,74	108,75	99,52	96,18
	4	19	89,95	61,73	94,37	109,94	98,61	90,92
Mayo	1	20	75,83	54,59	78,17	100,88	99,55	81,80

del índice revela que, en semanas con estas particularidades, se deben tomar decisiones para proyectar un incremento de los volúmenes de caña a procesar por la industria e incrementar la norma operacional.

Los resultados de los índices de las restantes semanas, con valores superiores e inferiores a uno, se analizan de manera análoga.

En el desarrollo de la etapa III de la metodología, se exhiben las aplicaciones de los índices de variaciones estacionales semanales: en el pronóstico del tiempo perdido industrial semanal, en el pronóstico del plan de caña a procesar semanal y en el pronóstico de la producción de azúcar semanal.

### Estimación de la función de regresión del rendimiento industrial

Para determinar el rendimiento industrial estimado semanal, se considera como información de partida el rendimiento industrial semanal de la serie original ( $R_{jt}$ ) correspondiente a las cinco zafras precedentes y, a partir de este, se calcula el rendimiento industrial promedio semanal de las zafras seleccionadas ( $R_{jtp}$ ), como se muestra en la Tabla 4.

Se prueban varios tipos de modelos; son los de regresión lineal múltiple cuadrático y cúbico los que exhiben mayores coeficientes de determinación.

Considerar estos modelos se fundamenta en el comportamiento del rendimiento industrial, en función del tiempo de duración de la zafra, con respecto al grado de madurez de la caña.

En las condiciones de Cuba, de manera general, el rendimiento industrial es relativamente alto desde el comienzo de la zafra, en el mes de diciembre, hasta el mes de febrero, manifestando una tendencia creciente. Durante los meses de marzo y abril, el rendimiento alcanza sus mayores valores. No obstante, a partir de estos meses, comienza a disminuir al incrementarse el tiempo perdido, entre otras causas: por una mayor incidencia de las condiciones climatológicas debido a las lluvias, desgastes de la maquinaria industrial y agrícola, roturas industriales, falta de caña y cansancio de la fuerza de trabajo [28].

Las condiciones descritas se pueden representar por una función polinómica de grado dos o tres, cuyo gráfico es una parábola cóncava hacia abajo, donde en el vértice tiene su valor máximo.

Lo expuesto permite observar que, existe una relación inversa entre el comportamiento del tiempo perdido de la industria con el rendimiento industrial.

La selección de uno de los dos modelos es factible por su comportamiento con respecto al tiempo

Tabla 3. Índices de variaciones estacionales semanales (Estimación del componente estacional).

Mes	S e m a n a	Valor del componente estacional irregular (Razón entre el tiempo perdido industrial de la serie original y el estimado por el método de las medias móviles)					Índice de variación estacional semanal (Estimación de la componente estacional semanal)
		2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	
Diciembre	1	0,9465	0,5203	0,3271	0,4999	0,5787	0,5745
	2	1,1715	0,9422	0,8371	0,9117	1,0912	0,9907
	3	0,7878	1,2464	1,3882	1,1745	0,7242	1,0642
Enero	4	0,9797	0,9593	1,1693	1,0316	1,0617	1,0403
	5	1,1998	0,9545	0,7704	0,9745	1,0630	0,9924
	6	0,9415	1,0716	0,7870	0,9632	0,9937	0,9514
	7	0,9962	1,1560	1,3333	1,1021	1,0680	1,1311
Febrero	..	...	...	...	...	...	...
Marzo	..	...	...	...	...	...	...
Abril	16	0,9601	1,1048	1,0294	1,0695	1,2320	1,0792
	17	1,2094	1,0249	1,1681	0,9505	0,7621	1,0230
	18	1,0037	0,9363	0,8589	1,0542	0,9939	0,9694
	19	1,0508	1,0960	0,9912	0,9684	1,0699	1,0353
Mayo	20	1,2139	1,4150	1,3432	1,4473	1,0547	1,2948
Suma total del índice de variación estacional semanal, $p = 20$ semanas							19,9560

Mes	S e m a n a	Factor de corrección	Índice de variación estacional corregido semanal (Estimación del componente estacional corregido semanal)	En porcentaje (%)
Diciembre	1	1,0022	0,5758	57,58
	2	1,0022	0,9929	99,29
	3	1,0022	1,0666	106,66
Enero	4	1,0022	1,0426	104,26
	5	1,0022	0,9946	99,46
	6	1,0022	0,9535	95,35
	7	1,0022	1,1336	113,36
Febrero	..	...	...	...
Marzo	..	...	...	...
Abril	16	1,0022	1,0815	108,15
	17	1,0022	1,0253	102,53
	18	1,0022	0,9716	97,16
	19	1,0022	1,0375	103,75
Mayo	20	1,0022	1,2977	129,77

de duración de la zafra y resultados estadísticos similares, sin embargo, el cuadrático presenta como ventaja adicional una expresión matemática más sencilla, que facilita los cálculos.

Por tanto, se ajusta una curva continua representada por el modelo matemático de la función de regresión cuadrática del rendimiento industrial, dado en la ecuación (10). Los estimadores mínimos cuadráticos de la función se obtienen del informe de la Tabla 5.

$$\hat{R}_{tjp} = 8,0759 + 0,2684X_t - 0,0149X_t^2 \quad (10)$$

Donde:  $\hat{R}_{tjp}$  es el rendimiento industrial estimado semanal del promedio en la semana  $t$  de las zafas seleccionadas  $j$  (en por ciento) y  $X_t$  es la variable explicativa tiempo (en semanas).

Se obtiene como resultado que, aproximadamente el 63% de la variación total en el rendimiento industrial se explica por la variación en el tiempo, o sea, el

Tabla 4. Rendimiento industrial promedio y estimado semanal.

Mes	Variable explicativa tiempo $X_t$ (en semana)	Rendimiento industrial en la semana $t$ de la zafra $j$ (serie original) (en por ciento)					Rendimiento industrial promedio en la semana $t$ de las zafras seleccionadas $j$ (en por ciento)	Rendimiento industrial estimado semanal del promedio en la semana $t$ de las zafras seleccionadas $j$ (en por ciento)
		Zafras						
		2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021		
Diciembre	1	9,26	8,90	9,12	8,74	8,08	8,82	8,33
	2	9,49	8,99	9,82	8,89	7,52	8,94	8,55
	3	8,84	8,02	9,77	8,82	6,65	8,42	8,75
Enero	4	10,05	8,40	9,84	8,99	8,08	9,07	8,91
	5	9,93	8,00	9,86	8,92	7,19	8,78	9,04
	6	8,90	8,58	10,40	8,50	7,14	8,70	9,15
	7	8,32	9,07	10,50	8,32	8,40	8,92	9,22
Febrero	...	...	...	...	...	...	...	...
Marzo	...	...	...	...	...	...	...	...
Abril	16	10,11	10,22	8,64	9,03	7,10	9,02	8,55
	17	9,33	10,30	8,50	8,84	6,29	8,65	8,32
	18	9,32	10,00	8,46	7,58	6,23	8,32	8,07
	19	8,95	9,49	7,82	6,47	5,87	7,72	7,78
Mayo	20	5,73	9,63	5,92	5,42	5,92	6,52	7,47

Tabla 5. Informe sobre la función de regresión estimada del rendimiento industrial,

Dependent Variable: Rendimiento industrial				
Method: Least Squares				
Sample: 1 20 Includ observations: 20				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	8,075868	0,315616	25,58763	0,0000
Tiempo	0,268387	0,069220	3,877325	0,0012
Tiempo^2	-0,014937	0,003202	-4,665226	0,0002
R-squared	0,633164	Mean dependent var		8,750500
Adjusted R-squared	0,590007	S.D. dependent var		0,662535
Log likelihood	-9,603785	F-statistic		14,67113
Durbin-Watson stat	0,993121	Prob(F-statistic)		0,000199

Fuente: Obtenido del programa EViews.

tiempo representa, aproximadamente, el 63% de la variación en el rendimiento industrial de la semana uno a la veinte, por tanto, se sugiere que la función de regresión de la muestra se ajusta de forma adecuada a la serie de datos originales [20], [29].

#### Verificación de la validez de la función de regresión estimada del rendimiento industrial

Se acepta la función de regresión estimada ecuación (10) como un modelo significativo para predecir

el rendimiento industrial semanal, en función de los valores semanales del tiempo de duración de la zafra, pues el estadístico  $F$  es estadísticamente significativo, exhibiendo un valor  $p$  calculado de 0,0001, ( $p < 0,05$ ), información obtenida de la Tabla 5.

Se comprueba que los residuos siguen una distribución normal, al efectuar prueba Jarque-Bera ( $JB$ ), a partir de los resultados de la Figura 2, pues el valor  $p$  calculado del estadístico de prueba  $JB$  es 0,75, ( $p > 0,05$ ).

Fuente: Obtenido del programa EViews.

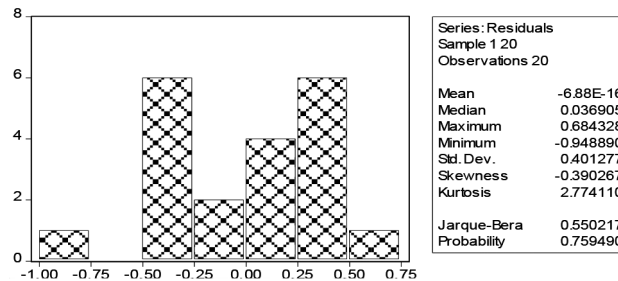


Figura 2. Histograma de los residuos de la regresión. Prueba de normalidad Jarque-Bera.

Al verificar el supuesto de no autocorrelación mediante la prueba de Durbin-Watson, se cumple la condición  $d_L \leq d \leq d_U$ , o sea,  $0,990 \leq 0,993 \leq 1,410$ . Como  $d$  se sitúa en la zona de indeterminación, no se puede concluir si existe o no correlación serial de primer orden.

Dada esta situación y, para evitar algunos elementos de la rigidez presente en la prueba, se aplica la prueba Breusch-Godfrey para autocorrelaciones de orden superior. Considerando dos retardos, se obtiene el resultado que se presenta en la Tabla 6.

No existe autocorrelación de, a lo sumo, segundo orden, ya que el valor  $p$  calculado del estadístico

de prueba  $n \cdot R^2$  es 0,10, y de 0,41 para estadístico de prueba  $t$  correspondiente a la variable con dos retardos (en ambos casos  $p > 0,05$ ).

Al efectuar la prueba de White, a partir de los resultados de la Tabla 7, se confirma el supuesto de homocedasticidad, pues los valores  $p$  calculados de los estadísticos de pruebas  $n \cdot R^2$  y  $F$ , son 0,101 y 0,105, respectivamente, (en ambos casos resultó  $p > 0,05$ ).

Se considera que, en el modelo de regresión lineal múltiple polinomial representado por la ecuación (10), de manera estricta, no viola el supuesto de no multicolinealidad [20].

Tabla 6. Prueba Breusch-Godfrey para la detección de autocorrelación serial.

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:				
F-statistic	2,125652	Probability	0,153898	
Obs*R-squared	4,416639	Probability	0,109885	
Test Equation: Dependent Variable: Resid				
Method: Least Squares Presample missing value lagged residuals set to zero				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Resid(-1)	0,535457	0,314808	1,700902	0,1096
Resid(-2)	0,290123	0,349613	0,829841	0,4196
R-squared	0,220832	Mean dependent var		-6,88E-16

Fuente: Obtenido del programa EViews.

Tabla 7. Prueba general de heterocedasticidad de White.

White Heteroskedasticity Test:			
F-statistic	2,402679	Probability	0,105635
Obs*R-squared	6,211673	Probability	0,101754

Fuente: Obtenido del programa EViews.

El resultado sobre la existencia de normalidad, de no autocorrelación, de perturbaciones homocedásticas y no multicolinealidad, en el estudio de la función de regresión del rendimiento industrial, confirma la validez de la prueba estadística  $F$  de Fisher, así como la confiabilidad y eficiencia de las predicciones obtenidas del rendimiento industrial. En consecuencia, los resultados derivados de las pruebas consideradas demuestran que el modelo obtenido en la ecuación (10) representa la función de regresión cuadrática adecuada para pronosticar el rendimiento industrial semanal.

De manera análoga, a los resultados del tiempo perdido, los resultados estimados del rendimiento industrial que se presentan en la Tabla 4, obtenidos de aplicar el modelo de predicción, eliminan la rigidez que se presenta en el proceso de planificación tradicional, pues permiten pronosticar el rendimiento industrial para cada una de las semanas, en lugar de considerar un rendimiento industrial fijo, o sea, único para todas las semanas de la zafra. Esto garantiza realizar una conveniente y fundamentada proyección de la zafra, en función de lograr una mejor utilización de las capacidades instaladas de la industria azucarera.

#### **Pronóstico del tiempo perdido industrial semanal**

El análisis del pronóstico del tiempo perdido industrial semanal se realiza para la zafra que se planifica 2021-2022. En la Tabla 8, se compendia

la información para determinar el pronóstico del tiempo perdido industrial semanal, mediante la ecuación (6) exhibida en la metodología.

Los resultados obtenidos demuestran que el índice de variación estacional semanal, como instrumento científico, permite fundamentar el cálculo del pronóstico del tiempo perdido industrial semanal. Esta aplicación del índice permite la realización de una planificación técnicamente fundamentada, pues se consideran las variaciones que se producen semanalmente en el aprovechamiento de la capacidad industrial instalada.

#### **Pronóstico del plan de caña a procesar y de la producción de azúcar semanal**

En la Tabla 9, se exhibe el pronóstico del plan de caña a procesar y del azúcar a producir semanal, obtenidos como resultante de aplicar la ecuación (6), ecuación (7), ecuación (8) y ecuación (9) expuestas en la metodología. Se consideran como indicadores base: el pronóstico del tiempo perdido industrial semanal, el porcentaje del tiempo de cumplimiento de la norma potencial y la norma potencial en toneladas de caña. Dichos indicadores permiten calcular el pronóstico del plan de caña a procesar semanal, indicador de producción que, de conjunto con el indicador de eficiencia rendimiento industrial estimado, permite determinar el pronóstico del plan de azúcar a producir semanal.

Tabla 8. Pronóstico del tiempo perdido industria semanal.

Mes	Semana	Tiempo perdido industrial estimado promedio en la semana $t$ de las zafras seleccionadas $j$ (en horas)	Índice de variación estacional corregido semanal (Estimación del componente estacional corregido semanal)	Pronóstico del tiempo perdido industrial semanal para la zafra próxima (PTPIs) (en horas)
Diciembre	1	65,92	0,5758	37,96
	2	63,00	0,9929	62,55
	3	66,13	1,0666	70,53
Enero	4	72,75	1,0426	75,85
	5	76,59	0,9946	76,18
	6	78,84	0,9535	75,17
	7	78,47	1,1336	88,95
Febrero	...	...	...	...
Marzo	...	...	...	...
Abril	16	90,69	1,0815	98,08
	17	94,02	1,0253	96,40
	18	96,18	0,9716	93,44
	19	90,92	1,0375	94,33
Mayo	20	81,80	1,2977	106,16

Tabla 9. Pronóstico del plan de caña a procesar y del plan de azúcar a producir semanal.

Mes	Semana	Tiempo perdido industrial estimado promedio en la semana $t$ de las zafras seleccionadas $j$ (en horas)	Índice de variación estacional corregido semanal	Pronóstico del tiempo perdido industrial semanal para la zafra próxima (PTPIs) (en horas)	Tiempo disponible total semanal 168 horas	Tiempo de cumplimiento de la norma potencial (en horas)	Porcentaje del tiempo de cumplimiento de la norma potencial (PTCNP) (en tanto por uno)
Diciembre	1	65,92	0,5758	37,96	168	130,04	0,7741
	2	63,00	0,9929	62,55	168	105,45	0,6277
	3	66,13	1,0666	70,53	168	97,47	0,5802
Enero	4	72,75	1,0426	75,85	168	92,15	0,5485
	5	76,59	0,9946	76,18	168	91,82	0,5465
	6	78,84	0,9535	75,17	168	92,83	0,5525
	7	78,47	1,1336	88,95	168	79,05	0,4705
Febrero	..	...	...	...	...	...	...
Marzo	..	...	...	...	...	...	...
Abril	16	90,69	1,0815	98,08	168	69,92	0,4162
	17	94,02	1,0253	96,40	168	71,60	0,4262
	18	96,18	0,9716	93,44	168	74,56	0,4438
	19	90,92	1,0375	94,33	168	73,67	0,4385
Mayo	20	81,80	1,2977	106,16	168	61,84	0,3681

Semana	Norma potencial diaria (t de caña en 24 horas)	Norma potencial semanal (t de caña en 7 días)	Pronóstico del plan de caña a procesar semanal (en t de caña por semana)	Rendimiento industrial estimado semanal del promedio en la semana $t$ de las zafras seleccionada $j$ (%)	Pronóstico del plan de azúcar a producir semanal (en t de azúcar por semana)
1	3450	24150	18693,91	8,33	1557,08
2	3450	24150	15158,04	8,55	1296,45
3	3450	24150	14011,01	8,75	1225,49
4	3450	24150	13246,60	8,91	1180,33
5	3450	24150	13198,94	9,04	1193,76
6	3450	24150	13343,97	9,15	1220,77
7	3450	24150	11363,09	9,22	1047,98
..	...	...	...	...	...
..	...	...	...	...	...
16	3450	24150	10050,46	8,55	858,94
17	3450	24150	10292,80	8,32	856,54
18	3450	24150	10717,49	8,07	864,61
19	3450	24150	10589,70	7,78	824,20
20	3450	24150	8890,20	7,47	664,00

Con el pronóstico semanal del plan de caña a procesar y de azúcar a producir, se logra una adecuada distribución del plan de toda la zafra entre cada semana, que garantiza un mayor aprovechamiento de la capacidad instalada de la industria y una mejor gestión económica y productiva de la industria azucarera.

A diferencia de los métodos de planificación utilizados por la entidad, se efectúa una proyección semanal más ajustada del plan de caña a procesar y del plan

de azúcar a producir, pues se considera la variación semanal del índice estacional del tiempo perdido y del rendimiento industrial como indicador que resume la eficiencia de la industria azucarera. De este modo, se ha contribuido a realizar un plan semanal considerando normas operacionales diferentes para cada semana, de forma que el plan se ajuste mejor al contexto real.

Los resultados obtenidos posibilitan que el pronóstico del plan se corresponda adecuada y objetivamente



con el contexto modelado y responda con eficacia ante los problemas inherentes a la incertidumbre.

La proyección integrada de los indicadores esenciales de producción y eficiencia en el plan, a partir de los resultados semanales, se manifiesta inicialmente desde el aprovechamiento de la capacidad productiva en la industria, pues determinado el pronóstico del tiempo perdido y conocida la norma potencial de la industria, se proyecta la norma operacional de la industria que representa el indicador de producción caña a procesar.

De este modo, considerando la interrelación entre el tiempo perdido, la norma potencial y operacional y el indicador de eficiencia rendimiento industrial, se proyecta el indicador de producción azúcar a producir.

La representación sintetizada y práctica de lo expresado se exhibe en los resultados expuestos en la Tabla 9, donde los resultados de los indicadores se complementan y combinan, fundamentados por la aplicación de métodos y modelos cuantitativos de pronóstico y econométricos y sustentados por los índices semanales de variación estacional del tiempo pedido, como instrumento científico.

Con la metodología propuesta, se dispone de las herramientas que garantizan la proyección integrada de indicadores esenciales de producción y eficiencia en el plan a corto plazo y, por consiguiente, permiten un adecuado proceso de planificación y la toma de decisiones técnicamente fundamentadas en la industria azucarera.

#### Verificación de la validez de los índices de variación estacional semanal en el pronóstico

Para comprobar la eficacia de la aplicación de los índices de variación estacional del tiempo perdido industrial en el pronóstico semanal de los indicadores esenciales de producción, considerados en el proceso de planificación, se utiliza la prueba de rangos de Wilcoxon y *t* de Student para dos muestras relacionadas.

Las pruebas se emplean para examinar la correspondencia:

- Entre el pronóstico del plan de caña a procesar semanal y la caña real procesada semanalmente en la zafra proyectada 2021-2022.
- Entre el pronóstico del plan de azúcar a producir semanal y el azúcar real producido semanalmente en la zafra proyectada 2021-2022.

Tabla 10. Pronóstico y real del procesamiento de caña y producción de azúcar.

Mes	S e m a n a	Procesamiento de la caña		Producción de azúcar	
		Pronóstico del plan de caña a procesar semanal (PPCPs) (t de caña por semana)	Caña real procesada semanalmente en la zafra proyectada 2021-2022 (t de caña por semana)	Pronóstico del plan de azúcar a producir semanal (PPAPs) (t de azúcar por semana)	Azúcar real producido semanalmente en la zafra proyectada 2021-2022 (t de azúcar por semana)
Diciembre	1	18693,91	15152,33	1557,08	1029,00
	2	15158,04	15244,33	1296,45	1268,00
	3	14011,01	19409,33	1225,49	1545,67
Enero	4	13246,60	15491,67	1180,33	1355,33
	5	13198,94	12919,00	1193,76	1160,00
	6	13343,97	10978,33	1220,77	888,33
	7	11363,09	15651,00	1047,98	1311,00
Febrero	...	...	...	...	
Marzo	...	...	...	...	
Abril	16	10050,46	13545,00	858,94	1233,20
	17	10292,80	9889,80	856,54	830,20
	18	10717,49	10733,50	864,61	919,50
	19	10589,70	11812,50	824,20	969,00
Mayo	20	8890,20	7626,00	664,00	684,00
Promedio		12843,59	13692,63	1128,66	1181,11
Diferencia de los promedios		849,04		52,45	

El comportamiento semanal de los indicadores mencionados se muestra en la Tabla 10.

Las series de los pronósticos presentan un comportamiento menos brusco que las series de los valores reales, como se muestra en la representación gráfica de las Figura 3 y Figura 4; esto se debe a que la serie

Fuente: Obtenido del programa EViews.

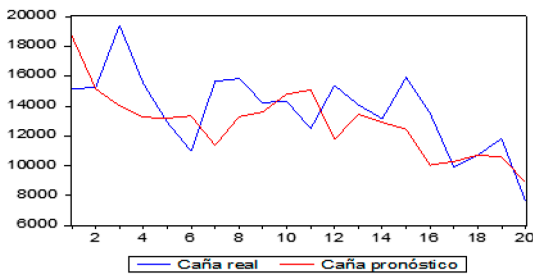


Figura 3. Representación de las series semanal de la caña real procesada en la zafra proyectada y del pronóstico del plan de caña a procesar.

Fuente: Obtenido del programa EViews.

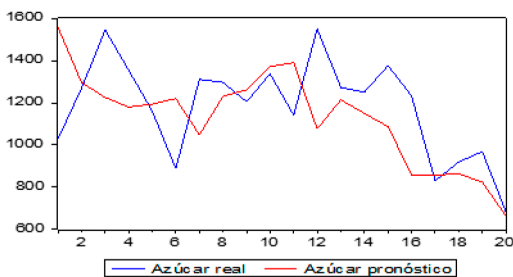


Figura 4. Representación de las series semanal del azúcar real producida en la zafra proyectada y el pronóstico del plan de azúcar a producir.

del tiempo perdido industrial que sirvió de base para el cálculo de los índices de variación estacional y, por consiguiente, para dichos pronósticos, se suavizó mediante el método de las medias móviles.

En ambas situaciones, entre la información que proporciona la serie de los datos reales y la serie pronosticada calculada a partir de los índices de variación estacional, no existen diferencias estadísticamente significativas, pues los valores  $p$  calculados, correspondientes al estadístico de la prueba de Wilcoxon de las series procesamiento de la caña y producción de azúcar son 0,16 y 0,20 respectivamente, (en uno y otro caso  $p > 0,05$ ), como se muestra en la Tabla 11.

Con respecto a la caña a procesar, existe una diferencia de 849,04 toneladas entre los promedios semanales de la caña real procesada y del pronóstico del plan de caña a procesar, pronóstico calculado a partir de los índices de variación estacional, como se muestra en la Tabla 10. No obstante, a partir de los resultados de la Tabla 12, se comprueba que la diferencia entre los promedios no es estadísticamente significativa, pues valor  $p$  calculado del estadístico de prueba  $t$  es 0,13, ( $p > 0,05$ ).

Se confirma el supuesto de normalidad, pues el valor  $p$  calculado del estadístico de prueba asociado a Shapiro-Wilk, de las variables caña real procesada y pronóstico del plan de caña a procesar son 0,58 y 0,41, respectivamente, (en ambos casos  $p > 0,05$ ). Por otra parte, en relación con la producción de azúcar, el promedio semanal del azúcar real producida es superior al promedio del pronóstico del plan de azúcar a producir, existiendo una diferencia de 52,45 toneladas, Tabla 10; la diferencia entre los promedios no es estadísticamente significativa, ya que el valor  $p$  del estadístico de prueba  $t$  es 0,34, ( $p > 0,05$ ).

Tabla 11. Prueba de Wilcoxon para dos muestras relacionadas.

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>		Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
Series procesamiento de caña: Caña Real - Pronóstico del plan de caña		Series producción de azúcar: Azúcar Real - Pronóstico del plan de azúcar	
Z	-1,381 <sup>b</sup>	Z	-1,269 <sup>b</sup>
Sig. asintótica (bilateral)	0,167	Sig. asintótica (bilateral)	0,204
a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon b. Se basa en rangos negativos.			

Fuente: Adaptado del programa SPSS.

Tabla 12. Prueba *t* de Student para la caña real y el pronóstico del plan de caña.

Prueba de muestras emparejadas				
	Media	t	gl	Sig. (bilatera)
Caña real procesada– Pronóstico del plan de caña a procesar	849,04	1,569	19	0,133

Fuente: Adaptado del programa SPSS.

Se considera válido el supuesto de normalidad, ya que, los valores *p* del estadístico asociado a Shapiro-Wilk, de las variables azúcar real producida y pronóstico del plan de azúcar a producir son 0,44 y 0,49, respectivamente, (en ambos casos  $p > 0,05$ ).

Con los resultados favorables de las pruebas estadísticas, obtenidos de la aplicación práctica de este paso de la metodología, se comprueba la efectividad de los índices de variación estacional en la planificación a corto plazo de los indicadores de producción, caña a procesar y azúcar a producir, pues no existen diferencias estadísticamente significativas entre los pronósticos realizados y los resultados reales obtenidos.

Lo expuesto anteriormente, permite confirmar la precisión de los pronósticos utilizados en la proyección semanal de la caña a procesar y el azúcar a producir, como se muestra con los resultados de la Tabla 10.

### CONCLUSIONES

El tiempo perdido industrial estimado mediante el método de las medias móviles y su índice de variación estacional semanal le proporcionan flexibilidad al proceso de planificación, pues permiten pronosticar el comportamiento semanal del tiempo perdido industrial y, de conjunto con el rendimiento industrial estimado, posibilitan realizar una planificación semanal más eficiente de la zafra, en función de lograr un mejor grado de aprovechamiento de la capacidad de producción industrial.

El pronóstico del plan de caña a procesar y del azúcar a producir permite efectuar un ordenamiento semanal del plan de producción industrial, teniendo en cuenta los índices de variaciones estacionales del tiempo perdido y normas operacionales, diferentes para cada semana, de manera que el plan semanal se ajuste adecuadamente a las condiciones reales de la zafra proyectada.

Las insuficiencias existentes en la toma de decisiones, durante el proceso de planificación de la industria azucarera, demuestran lo necesario de utilizar la metodología propuesta en la planificación a corto plazo, como medio para establecer nexos en el plan de producción, entre el tiempo perdido industrial y los indicadores de eficiencia y producción, los que se complementan e interrelacionan al calcular sus proyecciones, mediante el empleo de métodos de pronósticos cuantitativos.

### REFERENCIAS

- [1] J. Triana y H. Blanco, “Reflexiones sobre la nueva estrategia económica cubana”, en *Miradas a la Economía Cubana. Elementos Claves para la Sostenibilidad*, R. Torres Pérez y D. Echevarría León, Eds., Ciudad de Panamá, Panamá: Ruth, 2021, pp. 21-34. [En línea]. Disponible: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/fescaribe/18406.pdf>
- [2] Oficina Nacional de Estadística e Información, Anuario Estadístico de Cuba 2021. La Habana, Cuba: ONEI, 2022, pp. 275-283. [En línea]. Disponible: <https://lc.cx/2pW4C8>
- [3] J. Pozo, T. Zamora, Z. Rodríguez y N. Ruíz, “La planificación empresarial: retos y perspectivas en el marco de la actualización del modelo económico cubano”, *Economía y Desarrollo*, vol. 162, no. 3, pp. 1-28, 2019. [En línea]. Disponible: <https://revistas.uh.cu/econdesarrollo/article/view/1772/1572>
- [4] M. Granadillo y C. Vigoa, *Herramientas Básicas del Planificador*, La Habana, Cuba: Centro de Estudio de Economía y Planificación, Ministerio de Economía y Planificación, 2008, pp. 93-100. [En línea]. Disponible: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/9460/1/Herramientas%20basicas%20del%20planificador.pdf>

- [5] C. Vigoa, *Fundamentos de Planificación*, La Habana, Cuba: Pueblo y Educación, 2010, pp. 107-122.
- [6] L. Freitas, *et al.*, “Analysis and proposal of reduction of lead time in the process of cutting, loading and transportation in a sugar cane factory: a study case,” *Gest. Prod.*, vol. 26, no. 3, pp. 1-14, 2019, doi: 10.1590/0104-530X3446-19.
- [7] A. Morales, *Programación y Economía de Zafra*, La Habana, Cuba: Ciencias Sociales, 1993, pp. 45-46.
- [8] R. Infante y C. Figueredo, “Procedimiento para el pronóstico del tiempo perdido en la industria azucarera cubana”, *Universidad y Sociedad*, vol. 13, no. 2, pp. 119-133, 2021. [En línea]. Disponible: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1949/1940>
- [9] M. Pérez, “Metódica de pronóstico del tiempo perdido industrial en un CAI azucarero”, *Economía y Desarrollo*, no. 95, pp. 188-197, 1986.
- [10] S. Robbin y M. Couter, *Administración*, 10ma ed., Ciudad de México, México: Pearson Educación, 2010, pp. 144-155, 469-473.
- [11] J. Hanke y D. Wichern, *Pronósticos en los Negocios*, 9na ed., Ciudad de México, México: Pearson Educación, 2010, pp. 107-118, 175-187, 283-291, 503-513. [En línea]. Disponible: [https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25599w/L1EF118\\_S1\\_R1.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25599w/L1EF118_S1_R1.pdf)
- [12] R. Junqueira and R. Morabito, “Programming and scheduling sugarcane harvesting fronts: model and solution methods for large-scale problems,” *Gest. Prod.*, vol. 25, no. 1, pp. 132-147, 2018, doi: 10.1590/0104-530X2647-16.
- [13] L. Fernández, L. Rangel, C. Guerra y J. Del Pozo, “Modelación estadístico-matemática en procesos agrarios. Una aplicación en la Ingeniería Agrícola”, *Rev. Cie. Téc. Agr.*, vol. 28, no. 2, pp. 1-7, 2019. [En línea]. Disponible: [https://rcta.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1120/pdf\\_1](https://rcta.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1120/pdf_1)
- [14] A. Pulido, A. Ruiz y L. Ortiz, “Mejora de procesos de producción a través de la gestión de riesgos y herramientas estadísticas”, *Ingeniare*, vol. 28, no. 1, pp. 56-67, 2020, doi: 10.4067/S0718-33052020000100056.
- [15] S. Makridakis, R. Hyndman, and F. Petropoulos, “Forecasting in social settings: the state of the art,” *Int. J. Forecast.*, vol. 36, pp. 15-28, 2020, doi: 10.1016/j.ijforecat.2019.05.011.
- [16] J. García, *Predicción en el Dominio del Tiempo. Análisis de Series Temporales para Ingenieros*, Valencia, España: Universitat Politècnica de València, 2016, pp. 13-40.
- [17] D. Espallarga y M. Solís, *Econometría y Series Temporales. Aplicaciones*, La Habana, Cuba: Félix Varela.
- [18] S. Angelo, *et al.*, “Demand forecast and optimal planning of intensive care unit capacity,” *Pesq. Oper.*, vol. 37, no. 2, pp. 229-245, 2017, doi: 10.1590/0101-7438.2017.037.02.0229.
- [19] E. Hooda, U. Verma, and B. Hooda, “ARIMA and State-Space models for sugarcane yield forecasting in Northern agroclimatic zone of Haryana,” *J. Appl. & Nat. Sci.*, vol. 12, no. 1, pp. 53-58, 2020, doi: 10.31018/jans.v12i1.2229.
- [20] D. Gujarati and D. Porter, *Basic Econometrics*, 5th ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2009.
- [21] D. Anderson, D. Sweeney y T. Williams, *Estadística para la Administración y Economía*, 10ma ed. Ciudad de México, México: Cengage Learning, 2008, pp. 770-777, 787-791.
- [22] C. Guerra, E. Menéndez, R. Barrero y E. Egaña, *Estadística*, 2da ed. La Habana, Cuba: Félix Varela, 2003, pp. 259-265.
- [23] A. Pulido, A. Pizarro, M. Padilla, M. Sánchez y L. De la Rosa, “An optimization approach for inventory costs in probabilistic inventory models: a case study”, *Ingeniare*, vol. 28, no. 3, pp. 383-395, 2020, doi: 10.4067/S0718-33052020000300383.
- [24] M. Ribas, R. Consuegra y M. Alfonso, “Análisis de los factores que más inciden sobre el rendimiento industrial azucarero”, *Centro Azúcar*, vol. 43, no. 1, pp. 51-60, 2016. [En línea]. Disponible: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v43n1/caz06116.pdf>
- [25] R. Junqueira and R. Morabito, “Optimization approaches for sugarcane harvest front programming and scheduling,” *Gest. Prod.*, vol. 24, no. 2, pp. 407-422, 2017, doi: 10.1590/0104-530X1882-16.
- [26] E. Argüelles, E. Menéndez y Y. Guevara, “Elección del mejor modelo de regresión logística mediante el uso de la regresión no paramétrica”, *Investigación Operacional*, vol. 40, no. 5, pp. 610-623, 2019. [En

- línea]. Disponible: <https://revistas.uh.cu/invoperacional/article/view/513/441>
- [27] Q. Mehmood, M. Sial, M. Riaz, and N. Shaheen, "Forecasting the production of sugarcane in Pakistan for the year 2018-2030, using Box-Jenkin's methodology," *The J. Anim. Plant Sci.*, vol. 29, no. 5, pp. 1396-1401, 2019. [Online]. Available: <https://thejaps.org.pk/docs/v-29-05/21.pdf>
- [28] R. Infante, R. Rodríguez, J. Martínez y P. Ricardo, *Modelación Matemática de Procesos Económicos. Aplicaciones*, Cienfuegos, Cuba: Universo Sur, 2019, pp. 40-41. [En línea]. Disponible: <https://www.umet.edu.ec/wp-content/uploads/2022/03/LBR-97.pdf>
- [29] C. Krauss, A. Bonomo y R. Volfovicz, "Modelo predictivo de la intención emprendedora universitaria en Latinoamérica", *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 13, no. 4, pp. 84-93, 2018, doi: 10.4067/S0718-2724201800400084.