

Simulación de procesos para toma de decisiones en un taller de inspección técnica de vehículos pesados

Roberto A. Castaño¹[0000-0002-9219-2446] and Diego Rossit^{1,2}[0000-0002-8531-445X]

¹ Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca 8000, Argentina

² Instituto de Matemática de Bahía Blanca UNS-CONICET, Bahía Blanca 8000, Argentina
roberto.castano@uns.edu.ar, diego.rossit@uns.edu.ar

Resumen. La simulación, herramienta clásica de la investigación de operaciones, ha cobrado renovado protagonismo con la Industria 4.0. Este trabajo presenta un modelo de simulación para analizar el proceso de inspección técnica de vehículos pesados en un taller de Bahía Blanca, Argentina. Pese a la obligatoriedad global de estas inspecciones, son escasos los estudios que aplican simulación a este contexto. La propuesta permite estudiar el sistema sin intervenir en la operación real, lo cual sería costoso. El modelo validado se utiliza para evaluar mejoras en la calidad del servicio y la productividad, considerando escenarios reales. Además, se simula la incorporación de una segunda línea de inspección que comparte operaciones con la existente, analizando los ajustes necesarios en la capacidad de los recursos comunes. Así, se ofrece una herramienta útil para la toma de decisiones en un proceso clave con alcance global.

Palabras clave: Simulación, Calidad de servicio, Taller de inspección técnica vehicular, industria 4.0.

Simulation of decision-making processes in a heavy vehicle inspection shop

Abstract. Simulation, a classic tool of operations research, has gained renewed prominence with Industry 4.0. This paper presents a simulation model to analyze the process of technical inspection of heavy vehicles in a workshop in Bahía Blanca, Argentina. Despite the global mandatory nature of these inspections, there are few studies that apply simulation to this context. The proposal allows studying the system without intervening in the real operation, which would be costly. The validated model is used to evaluate improvements in service quality and productivity, considering real scenarios. In addition, it simulates the incorporation of a second inspection line that shares operations with the existing one, analyzing the necessary adjustments in the capacity of the common resources. Thus, it offers a useful tool for decision making in a key process with global scope.

Keywords: Simulation, Quality of Service, Vehicle Inspection Shop, Industry 4.0.

1 Introducción

Tradicionalmente, la simulación ha sido considerada una herramienta eficaz para el modelado de sistemas orientado a la mejora de procesos (Bratley et al., 2011). Con el auge de la cuarta revolución industrial, conocida como Industria 4.0, la simulación ha cobrado un renovado protagonismo al permitir la experimentación y validación de productos, procesos, diseño de sistemas y predicción del rendimiento (De Paula et al., 2020).

Uno de los avances más recientes en simulación es la integración de modelos de simulación con sistemas físicos, concepto que ha dado origen a los “gemelos digitales” (Sharma et al., 2022). En este esquema, se produce un intercambio de datos en tiempo real entre el sistema físico y su contraparte virtual. Esta interacción permite que el modelo virtual interprete los datos de las entidades físicas, capturando así su estado en tiempo real. Como resultado, es posible predecir, analizar y optimizar los cambios dinámicos del sistema físico, permitiendo su ajuste en tiempo real según los resultados de la simulación.

De este modo, queda claro que la simulación, antes una herramienta tradicional de la investigación de operaciones, ha adquirido nuevas capacidades en el marco de la Industria 4.0, convirtiéndose en un componente indispensable para mejorar el desempeño de los sistemas.

En línea con estos avances, este trabajo presenta el desarrollo de un modelo de simulación destinado a estudiar el proceso de inspección técnica de vehículos pesados en un entorno real, específicamente en un taller de inspección técnica en Bahía Blanca, Argentina. La literatura indica que son pocos los estudios que han aplicado modelos de simulación a los procesos de inspección de vehículos pesados, a pesar de que estas inspecciones son prácticamente obligatorias en todo el mundo (International Motor Vehicle Inspection Committee, 2025). Por lo tanto, el estudio de la línea de proceso de estos sistemas puede aportar información valiosa sobre un procedimiento de relevancia global.

En este contexto, este trabajo contribuye proponiendo y validando un modelo de simulación para inspecciones técnicas de vehículos pesados, lo cual es relativamente poco frecuente en la literatura, y evalúan su desempeño en un caso de estudio real en Argentina. El objetivo es desarrollar un modelo que pueda utilizarse para analizar posibles modificaciones del proceso en etapas futuras, mejorando tanto la calidad del servicio brindado a los clientes como la productividad del sistema. Además, la herramienta de simulación se aplica como apoyo a la toma de decisiones para evaluar las adaptaciones necesarias en los procesos comunes ante la instalación de una segunda línea de inspección. También se evalúan escenarios que involucran escasez de personal —un desafío común en operaciones reales— y mejoras tecnológicas.

El trabajo se estructura de la siguiente manera. La Sección 2 describe brevemente el sistema real del taller de inspección vehicular. La Sección 3 introduce el modelo de simulación propuesto y analiza los primeros resultados obtenidos con dicho modelo. Finalmente, la Sección 4 ofrece las principales conclusiones y posibles líneas de trabajo futuro.

2 Servicio de inspección en talleres de vehículos pesados

El sistema modelado corresponde a un taller de inspección técnica real ubicado en la ciudad de Bahía Blanca, al sur de Argentina. El proceso de inspección técnica de vehículos pesados comprende varias estaciones, las cuales se describen a continuación dividiéndose en tres etapas: previas, dentro y posteriores a la línea de inspección.

2.1 Estaciones previas al ingreso a la línea de inspección

Previo al ingreso a la línea de inspección se presentan las siguientes estaciones:

- Llegada de los clientes: El vehículo llega a las instalaciones del taller y permanece en el estacionamiento. El conductor desciende del vehículo y se dirige a la oficina administrativa.
- Verificación administrativa: El conductor presenta toda la documentación requerida y espera la indicación para ingresar con el vehículo a la línea de inspección.

2.2 Estaciones dentro de la línea de inspección

Superada la etapa previa, los vehículos pesados ingresan en el taller propiamente descrito donde se presentan las siguientes estaciones que constituyen la línea de inspección:

- Alineación de dirección: El vehículo ingresa al taller a través de la línea de inspección y se verifica la alineación de las ruedas directrices.
- Fotovalidación: Se realiza la fotovalidación del vehículo y las imágenes se cargan al servidor en la nube de la Consultora Ejecutiva Nacional del Transporte y la Comisión Nacional de Regulación del Transporte. El tiempo de esta actividad depende en gran medida del tráfico que experimente el sitio web nacional.
- Prueba de frenos: Se prueba el sistema de frenos del vehículo en un frenómetro de rodillos.
- Prueba de emisiones: Se controla que las emisiones contaminantes del escape del vehículo no superen las concentraciones máximas permitidas por la normativa nacional.
- Inspección en fosa: En la fosa de inspección se revisan todos los bajos del vehículo que incluye: el tren delantero y trasero, elementos de dirección y suspensión, estado del chasis y sistema de frenos.

2.3 Estaciones posteriores a la línea de inspección

Finalmente, los vehículos pesados salen de la zona del taller para realizar las siguientes etapas:

- Verificación del registro del modelo: Se realiza la verificación del registro de configuración del modelo, recopilando toda la información técnica del vehículo. Cualquier modificación respecto a la configuración original (como la adición o remoción

de tanques de combustible, ejes, o el cambio de uso de tractor con plato de enganche a camión con caja o viceversa) debe ser registrada.

- Espera de resultados: El cliente espera en el estacionamiento hasta que se le entreguen los resultados de la inspección técnica vehicular.

3 Modelos de simulación: primeros resultados

Como se mencionó anteriormente, el objetivo es evaluar el proceso obligatorio de inspección técnica de vehículos pesados realizado en el taller de inspección técnica. Para abordar ello, se ha desarrollado un marco general basado en la idea de “eventos discretos”, que permite seguir un modelo a lo largo del tiempo y determinar las cantidades de interés (Ross, 2022). En el caso del proceso de inspección técnica simulado, las principales fuentes de incertidumbre están relacionadas con la llegada de los clientes y con los tiempos de servicio en las distintas etapas. Los datos entre llegadas se obtuvieron del programa Rtocent, que es un software de gestión específico que utiliza la empresa para, entre otros aspectos, documentar la llegada de clientes. Utilizándose los datos para un año de trabajo se aplicaron pruebas de bondad de ajuste con el programa Statgraphics Centurion XV. Las pruebas de bondad de ajuste sobre la llegada de clientes permitieron estimar que se ajustan razonablemente a una distribución exponencial negativa [2]. Para implementar el modelo de simulación se utilizó el simulador de eventos discretos Plant Simulation v. 16 (SIEMENS, 2025). Se efectuó una configuración con una única línea de inspección que es la que actualmente se está implementando en el taller, y se realizó una nueva configuración que deseaba estudiar la gerencia, que tiene previsto instaurar un taller con dos líneas de revisión, manteniendo la misma cantidad de recursos humanos (personal). Los recursos humanos actuales son dos empleados calificados.

Los resultados para la ejecución del modelo con ambas configuraciones se presentan en la Tabla 1. El tiempo de simulación fue de 8 horas lo que constituye un día laboral típico. Los tiempos de servicio de las estaciones tuvieron en cuenta los dos empleados calificados que trabajan actualmente (recurso humano presente).

Tabla 1. Resultados de ejecución de modelos de una y dos líneas de revisión.

Número de líneas de revisión	Tiempo medio de revisión técnica por unidad (seg.)	Número de vehículos inspeccionados por día.
1	1066	22
2	983	37

La inclusión de la segunda línea permite aumentar la productividad del sistema aumentando el número de clientes inspeccionados por día desde 22 a 37 (un aumento porcentual 68,18%) y bajar el tiempo promedio de 1066 segundos a 983 segundos (una reducción porcentual de un 7,78%). Esta mejora en la velocidad de atención y la calidad de servicio debe evaluarse en función de la inversión necesaria para armar una segunda línea de revisión. También pueden evaluarse inversiones adicionales en el cuello de botella que actualmente se presenta en la administración.

4 Discusión y trabajo futuro

La simulación es una herramienta versátil que se ha expandido a lo largo de diversas aplicaciones empresariales e industriales, adquiriendo nuevos horizontes en el marco de la Industria 4.0. A pesar de haberse aplicado a numerosos tipos de canales de servicio, su utilización en ciertos servicios específicos aún es incipiente. Un ejemplo de ello son los talleres de revisión técnica vehicular. Debido a su carácter obligatorio en muchos países, mejorar este tipo de servicio puede traducirse en beneficios concretos para una gran cantidad de usuarios.

En este contexto, el presente trabajo propone un modelo de simulación para representar el proceso de inspección de vehículos pesados. Se toma como caso de estudio uno de los talleres de revisión técnica de la ciudad de Bahía Blanca. A través de dicho modelo, se evaluó una modificación al proceso sugerida por la gerencia: la incorporación de una segunda línea de inspección. Los resultados obtenidos muestran que esta nueva línea permitiría incrementar la velocidad de atención a los clientes, elevando la cantidad de vehículos inspeccionados en un día típico de 22 a 37, lo que representa un aumento del 68%.

Como línea futura de investigación, se propone el análisis del cuello de botella identificado en las etapas previas o posteriores al proceso de inspección, con el objetivo de lograr una mejora integral del sistema. Por otro lado, se pueden evaluar incorporación de personal adicional. Sobre esto se podrá tener en cuenta la contratación de personal con experiencia o sin experiencia teniendo en cuenta su impacto en los tiempos de servicio. También se propone evaluar la factibilidad económica del armado de la segunda línea teniendo en cuenta las inversiones necesarias y el periodo de recuperación de la inversión.

Referencias

1. Bratley, P., Fox, B., Schrage, L. (2011). A guide to simulation. Springer Science & Business Media, Berlin.
2. Castaño, R., Rossit, D., Rodriguez, F. (2024). Development of a Simulation Tool for Analyzing Service Quality in a Heavy Vehicle Technical Inspection Workshop. En: 2024 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA'24). IEEE. Bahrain.
3. De Paula, W., Armellini, F., De Santa, L. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106868.
4. International Motor Vehicle Inspection Committee. Accessed: April, 2025. Available: <https://citainsp.org/about-us/>.
5. SIEMENS. Plant Simulation v. 16. Disponible en: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/tecnomatix/products/plant-simulation-foundation/> (último acceso: abril 2025).
6. Ross, S. (2022). *Simulation*. Academic Press.
7. Sharma, A., Kosasih, E., Zhang, J., Brintrup, A., Calinescu, A. (2022). Digital Twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions. *Journal of Industrial Information Integration*, 30, 100383.