

CoINI 2019

XIIº Congreso de Ingeniería Industrial

Gestión de Operaciones

y

Logística



CSINI 2019
XIIº CONGRESO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Gestión de
Operaciones
y
Logística**



CoINI 2019

XII° CONGRESO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL SANTA CRUZ



COMITÉ DE HONOR

PRESIDENTE HONORARIO

Ing. Héctor Aiassa
Rector de la Universidad Tecnológica Nacional

VICE - PRESIDENTE HONORARIO

Lic. Sebastián Puig
Decano de la Facultad Regional Santa Cruz

COMITÉ ORGANIZADOR

COORDINACIÓN GENERAL

Dr. Ing. Ind. Ruben Mario Lurbé
Esp. Arq. Miguel Risetto
Lic. María Eva Balcazar
Ing. Ind. Alejandro Aroca Babich

EVALUACIONES

Director General Mg. Ing. Iván Barón
Coordinación General Ing. Juan Sáenz

COORDINADORES POR ÁREA TEMÁTICA:

Mg. Ing. Edgardo Boschín
Ing. Jesica Romero
Mg. Ing. Ariel Morbidelli
Ing. Bruno Romani
Esp. Arq. Miguel A. Risetto
Ing. Lucas Pietrelli
Esp. Ing. Ángel Quiles

EVALUADORES COINI 2019

Ing. Manuela Mercedes Pendón | Dr. Ing. Caracciolo, Néstor | Ing. Fernando Javier Orozco
Ing. Senn, Jorge | Ing. Jaureguiberry Mario Ernesto | Ing. María De Los Ángeles Puente
Dr. Ing. Serra Diego Gastón | Ing. Laguto Sebastián | Lic. Gallegos María Laura
Lic. Herrería, Elisabeth Ruth | Ing. Cruz Eugenio Ruben | Ing. Cariello Jorgelina Lucia
Ing. Rezzonico Ricardo | Ing. Dos Reis María Rosa | Ing. Walas Mateo, Federico
Lic. Cinalli Marcelo Fernando | Ing. Carrizo Blanca Rosa | Dr. Ing. Michalus Juan Carlos
Ing. Zárate Claudia Noemí | Ing. Toncovich, Adrián Andrés | Ing. Esteban Alejandra María
Ing. Rohvein Claudia | Dr. Ing. Viel Jorge Eduardo | Dr. Ing. Adolfo Eduardo Onaine
Dr. Ing. Salazar Arrieta Fernando | Ing. Urrutia Silvia Beatriz | Lic. Martinez Llana, Daniel Jorge Placido
C.P. Bruno, Carolina | Ing. Marcos, Carlos Eduardo | Lic. Blanc, Rafael Lujan
Ing. Morcela, Oscar Antonio | Ing. Corvalan, Soraya | Dr. Ing. Rossetti, German
Lic. Prof. Esteves Ivanisovich María José | Ing. Franco Chiodi | Lic. Noelia Vanesa Morrongiello
Lic. Roseti, Laura Patricia | Ing. Jauré María Florencia | Ing. D'Onofrio María Victoria
Dr. Ing. Fracaro, Anahí Catalina | Dr. Ing. Ferreyra Diego Martín | Dr. Lic. Artola, Eugenia
Lic. Gómez, Daniela Nora | Ing. Aroca Bavich Alejandro Cruz | Dr. Lic. Mansilla, Graciela Analía
Ing. Erck Isolda Mercedes | Dr. Lic. Artigas María Velia

COMITÉ CIENTÍFICO Y DE PUBLICACIONES

Dr. Ing. Mario Lurbe
Mg. Ing. Iván Barón
Esp. Arq. Miguel A. Risetto
Dr. Leandro M. Sokolovsky
Mg. Carlos Alberto Vacca
Mg. Ing. Alejandro Mohamad

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL SANTA CRUZ

Los Inmigrantes 555
Río Gallegos - Santa Cruz - Argentina

+54 2966 429173

info@frsc.utn.edu.ar

<http://www.frsc.utn.edu.ar>

[@utn.frsc](https://www.instagram.com/utn.frsc)



COINI 2019 : XII Congreso de Ingeniería Industrial / Daniel Jorge Martínez Llana...
[et al.] ; compilado por Miguel Ángel Risetto ; Rubén Mario Lurbé ; Iván Barón.-
1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2020.

Libro digital, PDF.

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4998-43-9

1. Ingeniería Industrial. 2. Técnicas de Gestión. 3. Control de Calidad. I. Martínez Llana,
Daniel Jorge. II. Risetto, Miguel Ángel, comp. III. Lurbé, Rubén Mario, comp. IV. Barón,
Iván, comp.

CDD 620.007



Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina

Rector: Ing. Héctor Eduardo Aiassa

Vicerrector: Ing. Haroldo Avetta

Secretaria Académica: Ing. Lilita Raquel Cuenca Pletsch

Secretaria Ciencia, Tecnología y Posgrado: Dr. Horacio Leone



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Cruz

Decano: Lic. Sebastián Puig

Vicedecano: Ing. Pablo Bahamonde



edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional

Coordinador General a cargo: Fernando H. Cejas

Área de edición y publicación en papel: Carlos Busqued

Colección Energías Renovables, Uso Racional de Energía, Ambiente: Dr. Jaime Moragues.

Queda hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723

© edUTecNe, 2020

Sarmiento 440, Piso 6 (C1041AAJ) Buenos Aires, República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina



ISBN 978-987-4998-43-9



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Contenido “Gestión de Operaciones y Logística”

Metodología de trabajo diseñada para la optimización de la gestión de inventarios aplicada a la Cooperativa 1º de Agosto.....	2
“Análisis predictivo de lotes agrícolas para la siembra de soja”	13
Un problema de secuenciación en un entorno de producción <i>just-in-time</i> resuelto mediante un procedimiento metaheurístico	19
Madurez del almacén de suministros de una institución pública de salud	28
Modelado y simulación de eventos discretos de un sistema de producción textil para evaluación del desempeño de una línea de producción.....	37
Simulación de un proceso de logística de salidas con aplicaciones en la nube computacional e internet de las cosas.....	49
La mezcla de producción aplicando la Programación por Metas y el Proceso Analítico de Jerarquías	61
Nuevas tecnologías informáticas para la sustentabilidad logística con soporte criptográfico y mediadas por aplicaciones móviles y web, reingeniería en código abierto.	71
Un estudio comparativo de algoritmos metaheurísticos sobre instancias reales de problemas de recolección de RSU	81
Análisis de la cadena de suministros de una PyME marplatense, en el contexto de la gestión de la innovación tecnológica	90
Redes Neuronales como herramienta para el pronóstico de consumo de combustible en aeronave comercial – Segunda etapa: Mejora del pronóstico.	101
Desarrollo de fórmulas para la medición de operaciones. Caso de aplicación en una Industria de muebles y accesorios de la Región Centro.....	111
Aplicación de la teoría de grafos y la programación lineal en la planificación de recolección de basura	122
“Análisis y selección de lotes y plantas de secado para la exportación utilizando programación lineal”	134
Metodología basada en reportes de siniestros para la optimización de la gestión Municipal sobre seguridad vial.	145

Metodología de trabajo diseñada para la optimización de la gestión de inventarios aplicada a la Cooperativa 1º de Agosto.

Couselo Romina¹, Marcelo Tittone², Romina Pesch³, Ignacio Garrido⁴, Eduardo Williams⁵, Gabriel Crespi⁶, Manuela Pendón⁷, Natalia Cibeira⁸

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.
romina.couselo@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

La crisis económica generó la desindustrialización y la contracción del mercado interno, que trajo aparejado un crecimiento exponencial del desempleo, la exclusión social y consecuentemente la aparición de nuevos movimientos sociales como las empresas recuperadas.

Las empresas recuperadas son una herramienta de inclusión social para que los trabajadores y familias puedan conservar la fuente laboral. Se pueden identificar como empresas cuyos trabajadores, ante la quiebra o cierre del establecimiento, deciden tomarla y volverla a poner en funcionamiento bajo la forma jurídica de cooperativa de trabajo. Estas cooperativas adoptan mecanismos de trabajo específicos para su administración y gestión debido a la naturaleza de las mismas. La autogestión y la nueva forma de trabajo conlleva, muchas veces, a necesitar asistencia profesional. Esta asistencia es, en ocasiones, brindada por alumnos gracias a vínculos entre estas cooperativas y las universidades.

Entre las problemáticas que presentan las cooperativas se prioriza, para la elaboración del presente proyecto, la falta de una gestión de inventario eficiente en las líneas de producción.

Por lo que el objetivo, es diseñar una metodología de trabajo para optimizar la gestión de inventarios de una cooperativa de trabajo de empresa recuperada, que permita a quienes llevan adelante dicha gestión, realizar las tareas de manera eficiente y así facilitar la toma de decisiones.

Para desarrollar esta metodología, se analizan y determinan los parámetros que se ponen en juego en la gestión de inventario, teniendo en cuenta las características particulares de una cooperativa de trabajo de empresa recuperada llamada 1º de Agosto, además de aplicarse técnicas y herramientas administrativas que optimizan la operatoria de la organización.

Palabras Clave: Cooperativas, Inventario, Optimizar, Metodología, Universidades.

ABSTRACT

The economic crisis resulted in deindustrialization and contraction of the domestic market activity, increasing dramatically unemployment, social exclusion, and consequently giving way to the emergence of new social movements such as recovered companies.

Recovered companies are a social inclusion tool, that allows workers and families to keep their labour source. They can be defined as companies whose workers, after the company's bankruptcy or closure, decide to take it over and put it back into operation under the legal form of a worker cooperative.

These co-ops adopt specific work mechanisms for their administration and management due to their nature. Self-management and the new way of working, often require professional assistance. This assistance is, in some cases, provided by students thanks to institutional bonds created between these cooperatives and the universities.

This project aims at tackling the lack of efficient inventory management in the production lines, which is one of the main concerns these workers co-ops have to deal with.

Therefore, the objective is to design a work method to optimize the inventory management of a recovered company co-op, to allow those who carry out such management, to perform tasks efficiently and facilitate decision making.

To develop this methodology, parameters involved in inventory management are determined and analyzed, taking into consideration the particular features of the worker cooperative "1 de Agosto", in addition to applying administrative techniques and tools that optimize the operation of the organization.

1. INTRODUCCIÓN

Las universidades se han visto en la necesidad de brindar herramientas que permitan a los alumnos poner en práctica los conocimientos adquiridos durante su formación académica, y, a su vez, contribuir al desarrollo social. A su vez, las cooperativas de trabajo de empresas recuperadas, persiguen satisfacer, en las mejores condiciones, las necesidades y aspiraciones comunes a todos los asociados, ya sean, económicas, sociales o culturales. Para poder llevar a cabo su objetivo, las cooperativas deben lograr niveles de competitividad similares a los de cualquier empresa ya que, al igual que ellas, llevan sus productos y/o servicios a un mercado común, lo que lleva a la necesidad de requerir asistencia profesional.

Tomando en cuenta la realidad que atraviesa cada organización, es importante desarrollar un espacio de intercambio y vinculación entre ambas que permite, por un lado, a la Facultad, ofrecer a sus alumnos el ámbito propicio para la puesta en práctica de los conocimientos absorbidos en su formación, y por el otro, a las cooperativas, recibir la ayuda profesional necesaria para mantenerse en estado competitivo en el mercado.

En la Facultad de Ingeniería de la UNLP se encuentra el Departamento Ingeniería de la Producción que nuclea a la carrera de ingeniería industrial y de la cual depende la Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia de Formulación y Evaluación de Proyectos (UIDET FyEP). Tal Unidad, creada en el año 2013, tiene como finalidad primordial la búsqueda de nuevos conocimientos en la temática, a través de la realización de tareas de investigación y, subsidiariamente, la contribución a la formación de recursos humanos altamente capacitados para la investigación, así como la transferencia y difusión de los conocimientos, producto de su labor.

Dentro de las tareas de extensión se firma un convenio con FECOOTRA – Federación de Cooperativas de Trabajo de la República Argentina - desde diciembre 2018, para la realización de asesoramiento técnico, colaboración y capacitación a las cooperativas asociadas, dentro de las cuales se encuentra 1º de Agosto Ltda. Es una cooperativa de trabajo que se conformó en el año 2015 luego de que Visteon S.A. cerrara sus puertas en la planta ubicada en la localidad de Quilmes. La empresa Visteon S.A. se dedicaba a la producción de radiadores y mangueras de aluminio para dos modelos de la automotriz Ford. Cuando esta empresa cerró, algunos de sus empleados decidieron continuar trabajando en la organización, formando una cooperativa de trabajo de empresa recuperada.

Actualmente, la cooperativa cuenta con 29 socios y se dedica a la producción de agua desmineralizada para uso industrial y a la producción de mangueras y radiadores de aluminio para los automotores. Además, la cooperativa ofrece servicios de mecánica general, chapa y pintura, arenado, pintura epoxi y herrería.

Mediante el acuerdo entre la Facultad y FECOOTRA, y el impulso dado por la UIDET FyEP de trabajar en el marco del proyecto de extensión con las cooperativas, se lleva adelante la posibilidad de que algunos alumnos del último semestre de la carrera de ingeniería industrial, tengan la posibilidad de realizar sus Prácticas Profesionales Supervisadas PPS en este proyecto dentro de la cooperativa 1 de Agosto.

El proyecto surge a partir de la observación de una gestión administrativa ineficiente fundada en el derroche de servicios y mal uso de recursos, principalmente materiales, en algunos de los sectores de la cooperativa. Debido a que el sector de producción de agua desmineralizada es el más significativo para la cooperativa en cuanto a ingresos de los sectores identificados con esta ineficiencia, se decide diseñar una metodología que optimice la gestión de inventarios del sector antes mencionado para la cooperativa 1 de Agosto, a modo de pronta solución a este problema.

Para desarrollar dicha metodología se aplica la teoría de gestión de inventarios incorporada por los estudiantes en las cátedras del plan de estudio correspondientes, estudiada para grandes empresas y empresas medianas consolidadas, adecuándola según sea necesario al caso de una pequeña organización, caracterizada por la ausencia de gestión administrativa, personal no profesional, escasos conocimientos de manejo de recursos ya sean materiales como humanos, y movimiento de un pequeño número en stocks.

2. OBJETIVO

El objetivo es diseñar una metodología de trabajo para optimizar la gestión de inventarios de una cooperativa de trabajo de empresa recuperada, que permita a quienes llevan adelante dicha gestión, realizar las tareas de manera eficiente y así facilitar la toma de decisiones.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Cooperativa de empresa recuperada 1º de Agosto

Las empresas recuperadas son aquellas empresas en quiebra, cierre y/o con importantes incumplimientos de contratos salariales y que, por consecuencia, sus trabajadores han tomado el cargo y son puestas a producir por ellos, con el objeto de hacer frente al desempleo.

Las cooperativas de trabajo son asociaciones de personas que se reúnen para trabajar en común, con el esfuerzo mancomunado de todos, con el fin de mejorar su situación social y económica, dejando de ser asalariados para transformarse en dueños de su propio destino, poniendo el capital y el trabajo al servicio del hombre, revirtiendo la modalidad de otros tipos de empresas y trayendo paños fríos a la situación actual.

En Argentina se registran 368 empresas autogestionadas por más de 15.323 trabajadores. La forma jurídica utilizada en la gran mayoría de los casos es la cooperativa de trabajo, pero no es excluyente. Lo fundamental es la forma colectiva de gestión.

3.2. Gestión de inventario

3.2.1. Importancia de los stocks

Cualquier tipo de empresa, sea grande, mediana, o pequeña, necesita del aprovisionamiento y con ello, la existencia de inventarios. Tradicionalmente los inventarios han sido vistos dentro de la gestión empresarial como una mal necesario para garantizar la continuidad de su actividad fundamental; sin embargo, la gestión empresarial actual está necesitada de una buena gestión de los inventarios, donde debe primar el criterio de mantener las cantidades mínimas necesarias que garanticen la continuidad de todo el flujo en la cadena logística y que permita absorber el impacto de la variabilidad e incertidumbre asociada a la operación, garantizando la máxima satisfacción del cliente. Sin lugar a dudas, una buena administración de los inventarios es esencial para el funcionamiento exitoso de las organizaciones y resulta ser una de las áreas donde más factible es la reducción de costos sin reducir los ingresos, elemento este de vital importancia para la subsistencia de la organización en los tiempos modernos.

La necesidad de los stocks en la empresa se produce tanto en el aprovisionamiento como en la distribución. En el primer caso, los materiales deben estar disponibles para incorporarse al proceso de fabricación en el momento que son requeridos. Normalmente, la fabricación de un producto conlleva la necesidad de almacenar materias primas, componentes, envases, etc. En el segundo caso, la necesidad de almacenamiento surge porque el ritmo al que se producen los bienes en la empresa y el ritmo de la demanda de estos bienes en el mercado son diferentes, y los stocks actúan como un mecanismo regulador entre ambos. Además, existen otras razones que justifican la existencia de stocks. Entre ellas se pueden destacar las siguientes:

- Las empresas obtienen descuentos al realizar pedidos más grandes, por lo que la compra de productos o materiales por encima de las necesidades implica el almacenamiento de mayor cantidad de stock. Estos descuentos en determinados casos compensan los mayores gastos de almacenaje al aumentar el stock.
- Ante la previsión de una subida de precios, se acumulan stocks para disminuir los costes de los productos. Al igual que ocurre con el caso anterior, este ahorro debe compensar el incremento de los costes que supone almacenar un mayor volumen de stock.
- Un posible retraso en los suministros de los proveedores.
- Oscilaciones en la demanda.

3.2.2. Nivel de servicio, demanda de los productos y pronósticos.

La cantidad de stock que las empresas deben tener almacenada está relacionada con el nivel de servicio que esperan ofrecer a los clientes. Se entiende por nivel de servicio la capacidad que tiene un establecimiento para atender la demanda de los clientes en el momento que solicitan los productos.

Para poder calcular el nivel de servicio que las empresas desean ofrecer a sus clientes, estas deben realizar previsiones sobre la demanda que tendrán. El tipo de demanda que tenga un producto influirá en la fiabilidad de la previsión de ventas de la empresa. Se puede clasificar la demanda de un producto en los siguientes tipos:

- Demanda regular o estable. Aquella que se presenta de forma constante en un determinado periodo de tiempo.
- Demanda estacional. Aquella que se presenta en determinados momentos del año.
- Demanda con tendencia creciente o decreciente. Aquella que presenta una tendencia ascendente o descendente a lo largo del tiempo.
- Demanda irregular. Aquella en la que no se puede encontrar un patrón que se repita.

Cuando la demanda es inestable y hay incertidumbre respecto a su comportamiento, es necesario realizar pronósticos, que permitan determinar los valores de ventas en un periodo futuro. El método más sencillo y el más empleado es el Promedio Móvil Simple. Éste consiste en atenuar los datos al obtener la media aritmética de cierto número de datos históricos para obtener con este el pronóstico para el siguiente periodo. El número de datos a tomar en cuenta para calcular el promedio es una decisión de la persona que realiza el pronóstico.

3.2.3. Tipos de stocks

Los stocks se pueden clasificar según diferentes criterios, a continuación, se listan los diferentes tipos de stocks que surgen tras considerar el tipo de material del que se trate:

- Producto terminado: Stock del producto final destinado a la venta
- Material de acondicionamiento: Stock de envases, embalajes, elementos de protección, etc.
- Materia prima: Materiales que se someterán a un proceso de transformación para realizar el producto final.
- Materiales en curso: Materiales utilizados en el proceso de fabricación.
- Componentes: Productos acabados que se incorporan al proceso de fabricación de otro producto.
- Subproductos: Residuos o desechos originados en la fabricación de un producto.

3.2.4. Gestión de Stocks y Punto de Pedido

La gestión de los stocks trata de garantizar que los costes derivados de la tenencia de los mismos sean los mínimos, almacenando la menor cantidad posible de cada referencia y, a la vez, trata de garantizar el servicio al cliente procurando evitar situaciones indeseadas de roturas de stock. Por ello, debe dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Cuál es el nivel de stock presente en el almacén de cada una de sus referencias? ¿Cuál es el momento óptimo de realizar los pedidos para reponer stocks? ¿Cuál es la cantidad de producto a solicitar en cada pedido?

Un sistema de gestión de stocks permite a la empresa fijar estas variables de la mejor manera posible.

El punto de pedido es el momento en la que se debe realizar un pedido concreto. El nivel de existencias llega a cierta cantidad que indica la necesidad de hacer el pedido.

Las principales ventajas de conocer el punto de pedido son: por un lado, disponer de producto en cantidad suficiente para abastecer a la demanda, y por el otro, reducir los gastos generales al evitar invertir en existencias excedentes.

El punto de pedido ayuda a determinar un punto en el que tiene suficiente inventario para poder responder a la demanda mientras se espera la llegada del próximo pedido. Para poder calcularlo es necesario conocer: la demanda de tiempo de entrega, obtenida al multiplicar el tiempo de entrega por la demanda diaria promedio; y el stock de seguridad.

El stock de seguridad es un término empleado para describir el nivel extra de existencias que se mantienen en almacén para hacer frente a las variaciones de la demanda, suministro o producción.

4. RESULTADOS

4.1. Organización del Trabajo

Para organizar el trabajo, se realizan diferentes reuniones entre los actores involucrados. De las reuniones entre alumnos, se desprenden:

1. Las necesidades y problemáticas de la cooperativa.
2. Los objetivos a cumplir.
3. Las alternativas de posibles soluciones.
4. Un criterio para definir las prioridades que permitan dar un orden para poder planificar las actividades.
5. Los recursos a utilizar para cumplir los objetivos planteados.

Luego, se organizan reuniones entre docentes y alumnos, donde se desprende la planificación de las actividades.

1. Se definen los días de visita a las cooperativas.
2. Se organizan los grupos de trabajo de alumnos que van a realizar viajes a la cooperativa - trabajo de campo- y aquellos que van a trabajar desde la facultad- trabajo de investigación, informes, etc.
3. Se definen las actividades a realizar semanalmente, acciones futuras.
4. Se acuerdan reuniones entre docentes y los grupos de alumnos para ver el grado de avance, resultados obtenidos, dificultades, consulta de inquietudes, controles, redefinición de tareas o actividades. Y para definir las próximas líneas de acción.

En paralelo, se generan reuniones entre docentes y FECOOTRA para presentar el grado de avance, los resultados obtenidos y próximas tareas a llevar adelante.

El presente trabajo se realizó con la información obtenida de la Cooperativa, tanto de forma cualitativa, por observación directa y entrevistas con directivos y empleados, como de forma cuantitativa, por la información obtenida tras el trabajo de la información proporcionada.

4.2. Trabajo en la cooperativa metalúrgica 1º de Agosto

4.2.1. Visitas y relevamiento realizado

En la primera visita a la cooperativa, los alumnos, acompañados de un docente de la universidad, reciben una inducción a la cooperativa, es decir, algunos de sus socios se encargan de explicar cómo es su distribución de trabajo, cuáles son sus futuros proyectos y mostrar los diferentes sectores con los que cuentan.

Para cumplir con los objetivos planteados, se realiza un relevamiento general de la organización teniendo en cuenta la cantidad de puestos, sus funciones y la cantidad de empleados, las maquinarias, la distribución física, y los productos y servicios que ofrecen. Además, se realiza un relevamiento del contexto en el que se encuentra sumergida la organización, considerando el mercado donde compete, las normativas legales, políticas y ambientales.

A partir de esto, se indaga en cada uno de los sectores sobre las actividades realizadas en ellos, la administración de sus recursos y la gestión de su stock, permitiendo conocer de un modo más amplio, cuáles son los productos que ofrecen y los procesos necesarios para obtenerlos, así como también, cuáles son los servicios y de qué manera se brindan.

Por último, se releva información de la marca, la función, las características físicas y los parámetros principales de las distintas maquinarias involucradas en los distintos procesos realizados por la cooperativa. Esto posibilita tener un conocimiento más abarcativo de los procesos productivos y de la distribución física de la planta.

4.2.2. Problemáticas detectadas

A medida que se fueron desarrollando las actividades dentro de la cooperativa, se han ido identificando distintas problemáticas que tienen que ver con:

- la organización del trabajo,
- la gestión administrativa y
- los métodos de producción.

Estas problemáticas han sido detectadas a partir de la observación de los alumnos, así como también del aporte de algunos miembros de la cooperativa, quienes se encuentran con ellas en sus actividades diarias.

Dentro de las problemáticas identificadas, las que se consideran más importantes son:

- la ineficiencia de los procesos productivos,
- la falta de control de stock y la mala administración de inventario,
- el cálculo incorrecto de los costos reales de sus actividades,
- la falta de mantenimiento en sus equipos e instalaciones, y
- el desconocimiento presente del mercado consumidor y competidor.

La ineficiencia de los procesos productivos se evidencia al observar los largos tiempos productivos debido a máquinas instaladas incorrectamente y/o en mal funcionamiento, los largos tiempos ociosos de los trabajadores, la mala distribución de las tareas entre los trabajadores de un sector, el derroche de los insumos y los servicios, y la mala distribución física de la planta.

Se observó que la organización no llevaba adelante un control de ningún tipo de stock (materia prima, producto terminado, producto intermedio, materiales de acondicionamiento, etc), lo que traía como consecuencia el incumplimiento de pedidos al cliente, un mal cálculo del costo anual de almacenaje e incertidumbre en cuanto a cuándo realizar los pedidos de los insumos.

Se observa que ninguno de los sectores de la cooperativa posee una forma para determinar costos de manera correcta, ya que todos lo hacen por estimación, principalmente porque desconocen los costos que realmente están involucrados en cada uno de los procesos

Al tratarse de una cooperativa de empresa recuperada, la mayor parte de las maquinarias y de las instalaciones son antiguas o no se encuentran funcionando plenamente, es por eso que toma real importancia la aplicación de planes de mantenimiento preventivo que eviten la rotura de las mismas y, por consiguiente, prevenga una parada productiva y/o un accidente laboral, situación que no se cumple en la actualidad dentro de la cooperativa.

Por último, como es característico de las cooperativas, que necesitan producir y comercializar de manera inmediata para lograr sobrevivir en el mercado, se lanzan al mismo sin tener en consideración las necesidades del mercado consumidor ni quienes integran el mercado competidor.

4.3. Elaboración de la metodología

Dentro de las problemáticas mencionadas en el apartado previo, se priorizó dar solución a la ineficiente gestión administrativa basada en el derroche y mal uso de recursos, en el sector de producción de agua desmineralizada debido a su importancia en cuanto a ingresos para la cooperativa y la cantidad de insumos que utiliza.

Para esto se diseñó una metodología que agrega en primera instancia una gestión de control de stock, y luego, una disposición de los inventarios para su correcto manejo y almacenaje.

4.3.1. Control de stock

Para trabajar con el control de stock se confecciona una planilla de Excel, la cual permite obtener un control y registro de cuándo y cuánto ingresa y egresa del stock, así como también cuándo se debe ejecutar el pedido de insumos y materiales de acondicionamiento y cuánto debe pedirse, de una manera sencilla y automatizada.

Esto permite a la cooperativa hacer frente al problema de falta de control de stock y mala administración, permitiendo tener una mejor relación con el cliente a partir de un mayor grado de cumplimiento y un mejor control de proveedores.

Como resultado se obtuvo un libro de Excel, el cual cuenta con ocho hojas:

- En la primera hoja denominada “Carga de Inventario”, se encuentran dos tablas, una para insumos productivos (Ilustración 1) y otra para materiales de acondicionamiento (Ilustración 2), cada una tiene listados los distintos elementos que las integran. Para realizar la carga del elemento que ingresa al almacén, el operario debe cargar la fecha de recepción y la cantidad recibida en el renglón correspondiente y pulsar el botón “Agregar elemento”.

Insumo	Fecha de ingreso	Cantidad ingresada	
Sal [kg]			Agregar Sal
Escalante [lt]			Agregar Escalante
Antiespumante [ml]			Agregar Antiespumante
Antioxidante [ml]			Agregar Antioxidante
Fluoresceína [ml]			Agregar Fluoresceína
Colorante Azul [gr]			Agregar Colorante Azul
Colorante Rojo [gr]			Agregar Colorante Rojo
Colorante Amarillo [gr]			Agregar Colorante Amarillo
Jabón Líquido [lt]			Agregar Jabón Líquido
Alcohol Etilico [ml]			Agregar Alcohol Etilico
Etilenglicol [lt]			Agregar Etilenglicol

Ilustración 1: Tabla de ingreso de insumos productivos

Material de Acondicionamiento	Fecha de ingreso	Cantidad ingresada	
Bidón de 1lt			Agregar Bidón 1lt
Bidón de 5lt			Agregar Bidón 5lt
Bidón de 10lt			Agregar Bidón 10lt
Etiquetas Agua Desmin.			Agregar Etiqueta Agua Desmin.
Etiquetas Agua Anticorrosiva			Agregar Etiqueta Agua Anticorrosiva
Etiquetas Limpiaparabrisas			Agregar Etiquetas Limpiaparabrisas
Etiquetas Concentrados			Agregar Etiqueta Concentrado

Ilustración 2: Tabla de ingreso de materiales de acondicionamiento

- La segunda hoja se denomina “Retiro de inventario” y funciona de la misma manera que la anterior, con la diferencia que el usuario deberá poner la cantidad retirada del elemento y la fecha en la cual se retiró. Además posee una columna más donde muestra la cantidad disponible en stock del elemento que el operario puede retirar en ese momento, teniendo en cuenta el stock de seguridad. Cuando la cantidad disponible es cero, la celda correspondiente al elemento se pone color rojo, indicando al operario que debe comunicarse con el proveedor y hacer otro pedido, como se muestra en las Ilustraciones 3 y 4 para los elementos antioxidante, fluoresceína y bidones de 10 litros. La Ilustración 3 muestra la tabla de retiro de insumos, mientras que la Ilustración 4 muestra la tabla para retiro de materiales de acondicionamiento.

Insumo	Fecha de retiro	Cantidad retirada	Cantidad Disponible
Sal [kg]			50
Escalante [lt]			1
Antiespumante [ml]			753
Antioxidante [ml]			0
Fluoresceína [ml]			0
Colorante Azul [gr]			274
Colorante Rojo [gr]			365
Colorante Amarillo [gr]			455
Jabón Líquido [lt]			1,95
Alcohol Etílico [ml]			357
Etilenglicol [lt]			11

Ilustración 3: Tabla para retirar insumos productivos

Material de Acondicionamiento	Fecha de retiro	Cantidad retirada	Cantidad disponible
Bidón de 1lt	20-jul	25	42
Bidón de 5lt			69
Bidón de 10lt			0
Etiquetas Agua Desmin.			844
Etiquetas Agua Anticorrosiva			591
Etiquetas Limpiaparabrisas			932
Etiquetas Concentrados	20-jul	25	984

Ilustración 4: Tabla para retiros de materiales de acondicionamiento

- En la tercera hoja, denominada “Ingresos” se realizará de forma automática un listado de los insumos ingresados sin tener en cuenta los materiales de acondicionamiento, con su correspondiente fecha y cantidad ingresada (Ilustración 5).

Insumo	Fecha	Cantidad Ingresada
Antioxidante [ml]	15/7/2019	10000
Fluoresceína [ml]	15/7/2019	50
Sal [kg]	12/7/2019	100
Escalante [lt]	10/7/2019	2
Antioxidante [ml]	17/6/2019	3000
Fluoresceína [ml]	15/6/2019	25
Sal [kg]	12/6/2019	50
Escalante [lt]	10/6/2019	1
Etilenglicol [lt]	10/6/2019	20
Colorante Azul [gr]	20/5/2019	500
Colorante Rojo [gr]	20/5/2019	500
Colorante Amarillo [gr]	20/5/2019	500
Antiespumante [ml]	17/5/2019	1000
Antioxidante [ml]	17/5/2019	1000
Jabón Líquido [lt]	15/5/2019	3
Alcohol Etílico [ml]	15/5/2019	500

Ilustración 5: Tabla registro de ingresos de insumos productivos

- En la cuarta hoja denominada “Salidas” se mostrará un listado con la cantidad, fecha y nombre de los insumos productivos que se han ido cargando como retiros (Ilustración 6).

Este listado se irá realizando de forma automática a partir de los datos ingresados en la hoja “Retiro de inventario”.

Insumo	Fecha	Cantidad retirada
Etilenglicol [lt]	20/7/2019	6
Alcohol Etilico [ml]	17/7/2019	43
Jabón Líquido [lt]	17/7/2019	0,05
Fluoresceína [ml]	16/7/2019	50
Colorante Azul [gr]	16/7/2019	181
Colorante Rojo [gr]	14/7/2019	90
Antioxidante [ml]	14/7/2019	8770
Antiespumante [ml]	14/7/2019	197
Escalante [lt]	13/7/2019	1
Sal [kg]	13/7/2019	50
Antioxidante [ml]	21/6/2019	3230

Ilustración 6: Tabla registro de salidas de insumos productivos

- En la quinta hoja denominada “Ingresos MA” se mostrará automáticamente un listado, únicamente, de los materiales de acondicionamiento ingresados en la hoja “Carga de Inventario”, con la cantidad ingresada y la fecha correspondiente al ingreso (Ilustración 7).

Material de Acondicionamiento	Fecha	Cantidad Ingresada
Bidón de 1lt	8/7/2019	30
Bidón de 5lt	8/7/2019	285
Bidón de 10lt	8/7/2019	15
Bidón de 10lt	8/6/2019	25
Bidón de 5lt	8/6/2019	285
Bidón de 1lt	8/6/2019	30
Etiquetas Concentrados	10/4/2019	1000
Etiquetas Limpiaparabrisas	10/4/2019	1000
Etiquetas Agua Anticorrosiva	10/4/2019	1000
Etiquetas Agua Desmin.	10/4/2019	1000

Ilustración 7: Tabla registro de ingresos de materiales de acondicionamiento

- La sexta hoja denominada “Salidas MA” funciona de manera similar a la mencionada anteriormente, mostrando automáticamente en ésta, un listado de los materiales de acondicionamiento retirados del almacén, la cantidad retirada de cada uno de ellos y la fecha de retiro (Ilustración 8).

Materiales de Acondicionamiento	Fecha	Cantidad Retirada
Etiquetas Concentrados	20/7/2019	25
Bidón de 1lt	20/7/2019	25
Etiquetas Limpiaparabrisas	17/7/2019	40
Bidón de 5lt	17/7/2019	40
Etiquetas Agua Anticorrosiva	16/7/2019	183
Bidón de 10lt	16/7/2019	23
Bidón de 5lt	16/7/2019	160
Etiquetas Agua Anticorrosiva	14/7/2019	80
Bidón de 5lt	14/7/2019	80
Etiquetas Agua Desmin.	13/7/2019	93
Bidón de 5lt	13/7/2019	93

Ilustración 8: Tabla registro de retiros de materiales de acondicionamiento

- En la séptima hoja denominada “Stock”, se realizará de manera automática, la carga de nuevos ingresos y egresos de insumos y materiales de acondicionamiento, obteniendo para cada uno de los elementos el saldo presente en el almacén (Ilustración 9).

Elemento	Cantidad Ingresada	Cantidad Retirada	Saldo
Sal [kg]	150	50	100
Escalante [lt]	3	1	2
Antiespumante [ml]	1.000	197	803
Antioxidante [ml]	14.000	12.000	2.000
Fluoresceína [ml]	75	50	25
Colorante Azul [gr]	500	181	319
Colorante Rojo [gr]	500	90	410
Colorante Amarillo [gr]	500	0	500
Jabón Líquido [lt]	3	0	3
Alcohol Etilico [ml]	500	43	457
Etilenglicol [lt]	20	6	14
Bidón de 1lt	60	25	35
Bidón de 5lt	570	373	197
Bidón de 10lt	40	23	17
Etiquetas Agua Desmin.	1.000	93	907
Etiquetas Agua Anticorrosiva	1.000	263	737
Etiquetas Limpiaparabrisas	1.000	40	960
Etiquetas Concentrados	1.000	25	975

Ilustración 9: Tabla registro de Stock

- La octava hoja denominada “Punto de Pedido”, cuenta con una tabla, en la cual se dispuso información necesaria para realizar el cálculo del punto de pedido de cada uno de los insumos y materiales de acondicionamiento (Ilustración 10). Dicho punto de pedido se obtuvo empleando el “Modelo de Cantidad Fija de Pedidos (EOQ)”. Para su obtención se empleó la siguiente fórmula:

$$R = dL + z\sigma_L$$

En donde, R es la Reserva de Seguridad (Punto de pedido teórico), d es la demanda diaria, L es el tiempo que tarda en llegar un pedido, z es el número de desviaciones típicas para un nivel de servicio específico, y σ_L es la desviación estándar de utilización durante el plazo ($\sigma_L = \sqrt{L} \cdot \sigma_D$, siendo σ_D la desviación típica de demanda diaria).

Para calcular z, se emplea la tabla de distribución normal estándar, ingresando con el valor de E(z), obtenido con la siguiente expresión:

$$E(z) = \frac{1 - P}{\sigma_L} \cdot Qop$$

Donde P es el nivel de servicio y Qop es la cantidad de unidades por pedido óptima. Esta cantidad se obtiene mediante: $Qop = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$, siendo D= demanda anual, S= costo de preparación de un pedido y H el costo de almacenamiento.

Una vez calculado el punto de pedido teórico, se obtiene el punto de pedido real, que será mayor o igual al óptimo, de acuerdo con los niveles posibles de almacenamiento del elemento.
 En caso de que el saldo de algún elemento en la hoja de Stock, sea igual o menor al punto de pedido real, aparecerá en la hoja "Punto de Pedido" en la columna "¿Pedir?" una celda en rojo que dirá "SI" y en la columna de al lado los datos de contacto del proveedor correspondiente.

Elemento	Nivel de Servicio	Demanda (u/mes)	Stock de Seguridad	Tiempo en llegar (días)	Costo de Pedido (\$)	Costo de Mantenimiento de Stock (\$/año)	Cantidad por pedido	Reserva de Seguridad	Punto de Pedido	¿Pedir?	Contacto Proveedor
Sal [kg]	90%	50	2,8	10	\$ 20	\$ 81,1	50	28	50	NO	
Escalante [lt]	90%	1	-0,03	3	\$ 20	\$ 2.002	20	1	1	NO	
Antesputante [ml]	90%	196,5	-2,3	3	\$ 20	\$ 67,6	1000	27	50	NO	
Antioxidante [ml]	90%	9770	0,0	4	\$ 20	\$ 62,4	1000	1754	2000	SI	Central Química S (011)4555-5555 centralquim@ejem
Fluoresceína [ml]	90%	194	-6,5	3	\$ 20	\$ 15,6	25	22	25	SI	Central Química S (011)4555-5555 centralquim@ejem
Colorante Azul [gr]	90%	180,8	-3,4	5	\$ 20	\$ 37,5	500	42	45	NO	
Colorante Rojo [gr]	90%	72	-2,0	5	\$ 20	\$ 37,5	500	16	45	NO	
Colorante Amarillo [gr]	90%	49	-5,8	5	\$ 20	\$ 37,5	500	22	45	NO	
Jabón Líquido [lt]	90%	0,05	-0,01	2	\$ 20	\$ 37,5	3	1	1	NO	
Alcohol Etilico [ml]	90%	42,8	-1,3	1	\$ 20	\$ 28,8	500	1	100	NO	
Etilenglicol [lt]	90%	6	-0,1	7	\$ 20	\$ 1274	20	3	3	NO	
Bidón de 1lt	90%	28	3,2	10	\$ 20	\$ 3,9	1	18	18	NO	
Bidón de 5lt	90%	263	-11,2	10	\$ 20	\$ 4,9	1	108	108	NO	
Bidón de 10lt	90%	23	4,7	10	\$ 20	\$ 6,5	1	17	17	SI	Pilasco SA Tel: (011)4696-6 mail: pilasco@ejem
Etiquetas Agua Desmin.	90%	84	-0,4	15	\$ 20	\$ 130	1000	63	63	NO	
Etiquetas Agua Antionerosa	90%	197	-1,9	15	\$ 20	\$ 130	1000	146	146	NO	
Etiquetas Limpiaabritas	90%	36	1,0	15	\$ 20	\$ 130	1000	28	28	NO	
Etiquetas Concentradas	90%	16	1,7	15	\$ 20	\$ 130	1000	16	16	NO	

Ilustración 10: Tabla para obtener el punto de pedido

4.3.2. Disposición del inventario

Como se mencionó previamente, la metodología propuesta, involucra una disposición de inventario diferente a la que se encuentra presente en la cooperativa, que facilite el manejo y el análisis del stock con el que se cuenta.

Debido a que no se cuenta con un almacén organizado y próximo al espacio productivo, no se cree necesario la realización y aplicación de un análisis ABC basándose en los precios y las cantidades de los elementos para su ubicación física dentro del almacén, si no, que se considera más adecuado distribuir los elementos de acuerdo a la frecuencia de utilización de los mismos. Por esto último se decide colocar en las zonas más alejadas al sector productivo la sal y el escalante, ya que éstos son utilizados una vez al mes, en el momento que se hace toda el agua desmineralizada (ZONA C), mientras que los materiales de acondicionamiento (especialmente bidones de 5lt que son los más vendidos) se colocaran en las zonas más próximas al sector productivo ya que serán requeridos todos los días (ZONA A) y, por último, el resto de los insumos, principalmente materias primas, se colocaran en la zona intermedia ya que dependerá de que tipo de producción se haga para determinar cuál se utilizará (ZONA B). Debido a que los operarios producen la cantidad de bidones que estiman que van a vender en la jornada, solo se encuentra en stock de producto terminado el sobrante de esa producción diaria, es por esto que la organización no cuenta con demasiado stock de producto terminado. Se decide colocar este stock en las estanterías más alejadas del almacén, ya que estos bidones serán requeridos cuando haya una demanda superior inesperada (ZONA C).

A continuación, la imagen representativa del lay out del sector de agua desmineralizada de la cooperativa de trabajo 1 de Agosto (Ilustración 11). Allí se puede observar la distribución actual de la cooperativa, y en color rojo señaladas las zonas como se propone en el presente apartado.

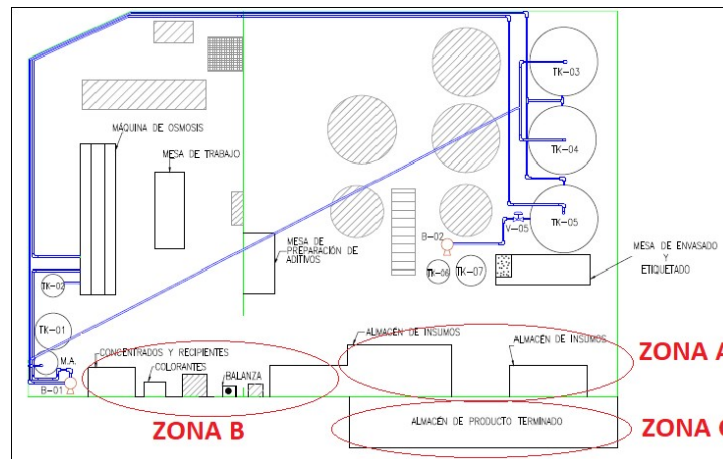


Ilustración 11: Zonas de Clasificación ABC.

5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta las necesidades actuales de las cooperativas de trabajo, y en particular la de la cooperativa 1 de Agosto, de contar con personal profesional, y las necesidades de la Facultad de Ingeniería de ofrecer a los alumnos un ámbito propicio para la puesta en marcha de los conocimientos adquiridos en su formación, es que surge un vínculo de mutuo beneficio donde los alumnos pueden ofrecer sus conocimientos profesionales dentro de cooperativas necesitadas de los mismos.

El trabajo en la cooperativa comenzó con la organización de las actividades a llevar adelante mediante el relevamiento para la detección de las necesidades. De lo que se pone en relevancia la inexistencia de una gestión administrativa eficiente, fundada en el derroche y mal uso de recursos, principalmente materiales, en algunos de los sectores.

Debido a que el sector de producción de agua desmineralizada es el más significativo para la cooperativa en cuanto a ingresos de los sectores identificados, se decide diseñar una metodología que optimice la gestión de inventarios del sector antes mencionado, a modo de pronta solución a este problema, que permita a quienes llevan adelante dicha gestión, realizar las tareas de manera eficiente y así facilitar la toma de decisiones.

Para abordar la problemática destacada, se confeccionó una planilla de control y toma de decisiones en Excel donde se dispone de manera sencilla la información necesaria para la toma de decisiones correspondientes al nivel de existencias y estados de pedidos, en la que se buscó facilitar la tarea de los operarios a la hora de la recepción de los insumos y de la utilización de los mismos, permitiéndoles llevar un control de las fechas donde ingresaron y se retiraron los elementos, la cantidad de existencias disponibles en el almacén y el momento cuando deben realizar un nuevo pedido. Involucra tanto el aprovisionamiento de la empresa como también la distribución física de los recursos materiales.

Por otro lado, se estudió y aplicó una distribución física de los insumos que ofreciera un adecuado manejo y desplazamiento de los mismos mediante el layout de planta, para gestionar de una manera efectiva y eficaz que ayuda a asegurar que los materiales estén disponibles a la hora de producir.

Se pone de relieve que esta metodología de trabajo puede llevarse a cabo en otras cooperativas que posean problemas y características similares, adaptándose para cada caso particular.

6. REFERENCIAS

- [1] Campo Varela, Aurea; Hervás Exojo, Ana María; Revilla Rivas, M. Teresa. (2013). Operaciones de Almacenaje. Madrid. Primera edición. Aurora Aguilella. Madrid.
- [2] <https://ingenioempresa.com/analisis-abc/> (2017) España.
- [3] <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/punto-de-pedido-ajuste-economia-de-costes-y-satisfaccion-del-cliente/> (2017) Madrid, España.

“Análisis predictivo de lotes agrícolas para la siembra de soja”

Mavolo Luca; Xodo Daniel; Mavolo Pablo Antonio

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Trenque Lauquen; CP: 6400 Racedo 298
lucamavolo@gmail.com daniel.xodo@gmail.com pmavolo@gmail.com

RESUMEN

Problema y justificación, determinar el posible rendimiento de un lote agrícola en campos de gran extensión donde varía en gran medida la calidad de suelo y los escenarios climáticos año a año, dificultando una estrategia de siembra óptima. Objetivo, predecir 8 escenarios con el modelo de red neuronal a utilizar y estudiar la solidez del modelo. Luego predecir 7 escenarios viables para lograr una estrategia de siembra con asignación de lotes y tipos de semilla. Por último realizar una predicción a modo de prueba usando el promedio histórico de lluvia en los meses estudiados y observar las variaciones en los rindes de acuerdo a las predicciones anteriores. Método utilizado, es un modelo de Red Neuronal, brindado por el soft RISK Industrial 7.6 (complemento Neural Tools). Resultado: El modelo de red neuronal entrenado, se mostró sólido y permite una predicción con precisión. Se logró una predicción de rendimientos para distintas alternativas que propone el agricultor y los resultados desde el criterio agronómico es coherente. Se descarta el uso de promedios históricos de lluvias para la lograr una predicción aproximada. Conclusión: es una herramienta útil para la empresa al momento de la toma de decisiones en el periodo de siembra sobre todo en lotes tipo B y C de gran variabilidad.

Palabras clave: Red Neuronal; Soja (glycine max); precipitaciones; pronostico rindes.

ABSTRACT

Justification: to determine the feasible productivity of a plot of land in large fields where the quality of the soil and the weather conditions fluctuate every year, hindering optimum soybean production practices.

The aim is to predict 8 sceneries through the artificial neural network model and study its reliability. Then, predict 7 feasible sceneries to achieve a good sowing strategy on certain plots of land and with certain types of seeds. Finally, to make a prediction using the average historical rainfall data collected during the studied months and observe the fluctuations on the yield in accordance with previous predictions.

The artificial neural network is the method used and it was provided by soft RISK Industrial 7.6 (Neural Tools.) The result is going to be compared with the data collected from the company “Nueva Castilla” of Trenque Lauquen (Buenos Aires province, Argentina) to determine the practical and technical feasibility of the model. These data correspond to more than 17 years of climate and weather analysis, soil and soybean yield with different types of seeds.

1. Introducción

La estimación de la producción agrícola es necesaria para la planificación que deben realizar tanto los actores públicos como privados; desde una alerta temprana de la seguridad alimentaria y la sustentabilidad ambiental hasta en el plano científico la validación de modelos biofísicos de cultivos [1]. La información confiable, anticipada y oportuna de rendimiento de los cultivos tiene influencia en la gestión de las actividades de cosecha, almacenamiento, importación/exportación, transporte y comercialización [2].

La agricultura extensiva es el principal uso productivo de la tierra en la zona central de Argentina y una de las mayores fuentes de ingresos económicos. Los cultivos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) y maíz (*Zea mays* L.) constituyen la principal actividad agrícola en la campaña de verano, alcanzando alrededor del 86% del área total sembrada en Argentina. Dentro de estos cultivos se destaca la soja, con 19.781.812 ha sembradas en la campaña 2013/2014, en particular, en la provincia de Córdoba se sembraron aproximadamente el 26% del total del país [3].

En los últimos años información a priori de rendimiento se produce, generalmente, a partir de modelos, ya sea con información sobre el manejo del cultivo, datos del clima y de suelo, entre otros. Varios estudios demuestran el poder de los modelos de crecimiento de cultivos para predecir el rendimiento [4].

Las variaciones en el rendimiento de la soja son consecuencia de efectos del genotipo, del ambiente y de su interacción, siendo el efecto ambiental el que explica la mayor parte de estas variaciones. Las propiedades del suelo (físicas y químicas) en interacción con las variables meteorológicas (radiación, agua y regímenes térmicos) determinan diferentes ambientes para el cultivo de soja [6].

Modelos matemáticos simples permiten describir adecuadamente el rendimiento a obtener en cultivos de soja y maíz a partir de imágenes satelitales obtenidas dos o tres meses anteriores a la cosecha. [5].

El objetivo del proyecto es lograr a través de un modelo de inteligencia artificial, la predicción de rendimiento de soja en lotes conocidos y donde se tiene información relevada a lo largo del tiempo. Donde las variables fundamentales son las características del suelo, el tipo de semilla, fecha de siembra y las precipitaciones en los meses de desarrollo del cultivo.

2. Materiales y métodos

Se utilizó para la predicción de rendimientos, el software NeuralTools (PALISADE) el cual es un complemento de Microsoft Excel de Redes Neuronales. Las Redes neuronales son capaces de descubrir automáticamente relaciones entrada-salida en función de datos empíricos, merced a su capacidad de aprendizaje a partir de ejemplos Bonifacio M (1994). La base de datos utilizada corresponde a una empresa agrícola de la ciudad de Trenque Lauquen, Buenos Aires Argentina. Donde se cuenta con el relevamiento de datos de siembra y cosecha de más de 17 años. La empresa identifica cada lote con un código interno, al cual se le asigna una característica A, B o C donde la misma corresponde a la calidad de suelo donde A reúne las características más ideales, como mayor composición de materia orgánica, tipo de relieve loma y en el otro extremo suelos tipo C donde son más arenosos y con relieves semi loma o bajos. También se identifican las precipitaciones en los meses claves para la acumulación de humedad antes de la siembra para nuestra región septiembre y octubre, el cultivo antecesor al periodo de siembra en cada lote, la fecha de siembra ubicada en bloques de 10 días (ej 1- 10 de octubre), si el cultivo es de ciclo largo o corto y finalmente de la base de datos se seleccionaron dos tipos de semillas DM 3700 y DM 4800, dado que las mismas fueron ensayadas en una correlación mayor a 5 años y permite un análisis con mayor información para utilizar la red neuronal.

Base de datos a utilizar en la red:

Tabla 1 Campaña 2001/02

Year	Class	Var	Cycle	Crop ant	Date	Sept	Oct	KGS/HA
2001/02	B	DM 4800	LARGO	MAIZ	21-31 OCT	214	128	2463
2001/02	C	DM 4800	LARGO	MAIZ	21-31 OCT	214	128	3128
2001/02	B	DM 4800	LARGO	MAIZ	21-31 OCT	214	128	3671
2001/02	A	DM 4800	LARGO	MAIZ	21-31 OCT	214	128	4512
2001/02	A	DM 4800	LARGO	MAIZ	21-31 OCT	214	128	3266
2001/02	A	DM 4800	LARGO	MAIZ	21-31 OCT	214	128	4058

La base de datos posee 311 escenarios desde la campaña 2001/02 hasta 2015/16, donde varían los suelos, semillas, fechas de siembra y factores externos que exceden la decisión del agricultor como las precipitaciones.

3. Resultados

Se realizaron 3 predicciones, para la primera predicción se simularon 8 escenarios para verificar la solidez y precisión del modelo, y donde se aceptaría la herramienta de trabajo para una variación menor 5-6% dado que son los márgenes aceptables desde el criterio agronómico para suelos del tipo A y donde se tiene más tolerancia para suelos B y C, dado que son menos favorables para el desarrollo del cultivo y tienen mayores variaciones en los rendimientos.

Tabla 2 Certeza del modelo

	Class	Var	Cycle	Crop ant	Date	Sept	Oct
Test 1	A	DM 4800	LARGO	PAST	1-10 NOV	31	133
Test 2	B	DM 4800	LARGO	VI	21-31 OCT	50	71
Test 3	C	DM 4800	LARGO	PAST	1-10 NOV	50	71
Test 4	B	DM 4800	LARGO	SOJA	21-31 OCT	19	173
Test 5	B	DM 3700	CORTO	MAZ	21-31 OCT	97	94
Test 6	A	DM 3700	CORTO	MAZ	21-31 OCT	97	94
Test 7	C	DM 4800	LARGO	PAST	1-10 NOV	55	141
Test 8	C	DM 4800	LARGO	FINA/SOJA	21-30 NOV	45	58

TEST	Class	Modo	Kg/ha	Porcentaje
Test 1	A	Predic	3919	96,66%
Test 2	B	Predic	2942	98,58%
Test 3	C	Predic	2116	92,18%
Test 4	B	Predic	1758	98,47%
Test 5	B	Predic	3216	92,70%
Test 6	A	Predic	3930	99,73%
Test 7	C	Predic	434	96,20%
Test 8	C	Predic	2690	96,20%

Como se observa en las tablas anteriores las predicciones realizadas en los lotes de suelo tipo A, se obtuvo una precisión del 96,66% y 99,73%. Y la precisión en los suelos tipo B, varía del 92,70% hasta 98,58% los suelos tipo C varían desde 92,68% hasta 96,20%.

Una vez verificada la precisión del modelo se realizó la predicción de cultivo en escenarios reales para comparar con la campaña actual.

Tabla 3 Predicción del rendimiento del cultivo

	Class	Var	Cycle	Crop ant	Date	Sept	Oct
PREDIC 1	A	DM 3700	CORTO	MAZ	21-31 OCT	66	45
PREDIC 2	B	DM 3700	CORTO	MAZ	1-10 NOV	66	45
PREDIC 3	C	DM 3700	CORTO	MAZ	21-31 DIC	66	45
PREDIC 4	A	DM 4800	LARGO	PAST	21-31 OCT	66	45
PREDIC 5	B	DM 4800	LARGO	PAST	1-10 NOV	66	45
PREDIC 6	C	DM 4800	LARGO	PAST	21-31 DIC	66	45
PREDIC 7	B	DM 3700	CORTO	Soja	1-10 NOV	66	45

PREDIC 1	A	21-31 OCT	DM 3700	3622
PREDIC 2	B	1-10 NOV	DM 3700	2861
PREDIC 3	C	21-31 DIC	DM 3700	2854
PREDIC 4	A	21-31 OCT	DM 4800	3455
PREDIC 5	B	1-10 NOV	DM 4800	2508
PREDIC 6	C	21-31 DIC	DM 4800	2326
PREDIC 7	B	1-10 NOV	DM 3700	2585

También se planteó la posibilidad de lograr una predicción de rendimiento al momento de tomar la decisión para el laboreo de la siembra utilizando el promedio histórico de lluvias de cada mes para cada alternativa del agricultor.

El escenario que se planteo tiene las mismas condiciones donde se evaluó la solidez del modelo de red neuronal. De esta forma se tiene un parámetro de comparación de los resultados obtenidos.

Tabla 4 Comparación de resultados

	Class	Var	Cycle	Crop ant	Date	Sept	Oct
Test average 1	A	DM 4800	LARGO	PAST	1-10 NOV	49	94
Test average 2	B	DM 4800	LARGO	VI	21-31 OCT	49	94
Test average 3	C	DM 4800	LARGO	PAST	1-10 NOV	49	94
Test average 4	B	DM 4800	LARGO	SOJA	21-31 OCT	49	94
Test average 5	B	DM 3700	CORTO	MAIZ	21-31 OCT	49	94
Test average 6	A	DM 3700	CORTO	MAIZ	21-31 OCT	49	94
Test average 7	C	DM 4800	LARGO	PAST	1-10 NOV	49	94
Test average 8	C	DM 4800	LARGO	FINA/SOJA	21-30 NOV	49	94

		Model
Test average 1	3435	61,96%
Test average 2	3347	95,36%
Test average 3	1707	94,72%
Test average 4	3307	59,88%
Test average 5	3394	98,96%
Test average 6	3973	90,28%
Test average 7	1707	19,74%
Test average 8	2780	73,15%

4. Discusión

Como se vio en la primera simulación se verifico que el modelo de red neuronal utilizado es sólido y preciso para la actividad que se quiere realizar. Teniendo una precisión que varía entre el 0,27% al 3,34% para lotes tipo A donde los parámetros tolerables desde el criterio agronómico son 5-6%. Y para lotes tipo B y C donde la variabilidad es mayor por los paisajes y composición que los caracteriza varían entre el 1,48% al 7,30% para los primeros y del 3,80% al 7,42% dando como resultado márgenes tolerables para este tipo de suelo dado que los mismo permiten variar entre el 19-15%.

Las diferencias en los resultados de los suelos tipo A y los B o C, se debe a que ante el aumento de las condiciones desfavorables del cultivo para estos últimos como lo son los bajos, o bajos inundables o suelos arenosos con menos composición de materia orgánica aumentan las variaciones en el rendimiento por disponer de escenarios variables en sí mismos y sensibles a factores externos como lo son las precipitaciones.

De esta forma el modelo es sólido para los dos objetivos principales del proyecto, lograr una predicción real del cultivo soja para las posibles alternativas del agricultor en el periodo de siembra y por otro lado simular escenarios donde se utilice el promedio histórico de precipitaciones para cada lote.

En la predicción de los cultivos de los 7 escenarios propuestos por el agricultor, se predijo un escenario para cada tipo de lote variando la fecha de siembra y el tipo de semilla a utilizar. En los lotes de tipo A se obtuvieron rendimientos de 3622 kg para la semilla DM 3700 y 3455kg para la semilla DM 4800 en el mismo periodo de siembra. Desde el punto de vista agronómico son resultados normales de acuerdo a las condiciones planteadas, pero no excelente. Para los lotes tipo B se obtuvo 2861kg y 2585kg para la semilla DM3700 y 2508 kg para la semilla DM4800 en el mismo periodo de siembra, son rendimientos razonables y estables para las características del suelo. Por ultimo para los suelos tipo C se obtuvo 2854kg para la semilla DM3700 y 2326kg para la semilla DM4800 en el mismo periodo, donde el segundo rendimiento es coherente de acuerdo al tipo de suelo y el primer resultado es optimista de acuerdo a la calidad de suelo. La alta variabilidad entre un resultado y otro es que las características del suelo no permiten una estabilidad de rendimiento por tratarse de relieves donde coexisten pendientes o bajos inundables, y tipo de suelos arenosos. Los resultados bajo la inspección agronómica y experiencia de la empresa son coherentes.

Utilizando el promedio histórico de precipitaciones, el objetivo del modelo era obtener un rendimiento para alguno de los tipos de suelo y se comparó los resultados con los obtenidos en el testeo del modelo donde se verifico la precisión de la red neuronal (tabla 2) y luego con los escenarios reales. En los testeos 2, 3, 5 y 6 se obtuvo variaciones entre el 1,04%-9,32% resultados ideales. Pero en el resto de los escenarios planteados se tienen variaciones desde 26,85% al 80,26%, como en 50% de los ensayos los resultados varían en gran medida, utilizar los promedios históricos de precipitaciones vuelven inestable el modelo y no arroja resultados coherentes ni dentro de los márgenes agronómicos aceptables.

5. Conclusión

En el proyecto se observó la viabilidad de utilizar un modelo de red neuronal para predecir rendimientos agronómicos del cultivo soja. Para esto se debe contar con una base de datos extensa que permita entrenar el modelo para darle mayor solidez. Las variaciones obtenidas siempre estuvieron dentro de los márgenes agronómicos aceptables por lo cual el modelo puede ser de gran utilidad para la empresa al momento de la toma de decisión en la asignación de lotes, tipo de semilla a utilizar y fecha para la realización de la siembra. Se descarta la utilización del promedio histórico de precipitaciones para evaluar escenarios de rendimientos para la toma de decisiones dado que presentan grandes variaciones.

Se propone para futuros trabajos la posibilidad de utilizar un modelo de red neuronal en otro cultivo como lo es el maíz (*Zea mays*) donde las variaciones desde el punto de vista agronómico son mayores y para el agricultor presenta grandes dificultades lograr una estimación del rendimiento.

6. Bibliografía:

- [1]. Lyle, G., Lewis, M., Ostendorf, B.: Testing the Temporal Ability of Landsat Imagery and Precision Agriculture Technology to Provide High Resolution Historical Estimates of Wheat Yield at the Farm Scale. *Remote Sens.* 5, 1549–1567 (2013)
- [2] Lobell, D.B., Asner, G.P., Ortiz-Monasterio, J.I., Benning, T.L.: Remote sensing of regional crop production in the Yaqui Valley, Mexico: Estimates and uncertainties. *Agr. Ecosyst. Environ.* 94, 205–220 (2003)
- [3] Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, Estimaciones Agrícolas: Series Históricas, http://www.siaa.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php (2015)
- [4] Batchelor, W.D., Basso, B., Paz, J.O.: Examples of strategies to analyze spatial and temporal yield variability using crop models. *Eur. J. Agron.* 18, 141–158 (2002)
- [5] Mónica Bocco¹, Silvina Sayago¹, Soraya Violini² y Enrique Willington¹ Modelos simples para estimar rendimiento de cultivos agrícolas a partir de imágenes satelitales: una herramienta para la planificación STS 2015, 2º Simposio Argentino sobre Tecnología y Sociedad.
- [6] Salvagiotti, F., Enrico, J., Bodrero, M. y Bacigaluppo, S. Producción de soja y uso eficiente de los recursos. *Para Mejorar La Producción* 45, 151–154. INTA EEA Oliveros. (2010). <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-produccion-de-soja-y-uso-eficiente-de-losrecursos.Pdf>
- [7] Bonifacio Martin del Brio, & Alfredo Sanz Molina,. (1994). *Redes Neuronales y sistemas borrosos*.
- [8] Ing. Badino, *Estadística rindes y precipitaciones Nueva Castilla* (2018). (n/a).

Un problema de secuenciación en un entorno de producción *just-in-time* resuelto mediante un procedimiento metaheurístico

Toncovich, Adrián Andrés*

*Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur.
Av. Alem 1253, Bahía Blanca, Argentina. atoncovi@uns.edu.ar.

RESUMEN.

Los problemas de programación de la producción pueden plantearse y resolverse a través de formulaciones de optimización basadas en la programación matemática. Sin embargo, estos problemas suelen encontrarse dentro de la categoría de problemas difíciles de optimización combinatoria, por lo cual resulta necesario desarrollar algoritmos aproximados eficientes que proporcionen resultados de calidad aceptable haciendo un uso razonable de los recursos de cómputo disponibles. Este trabajo presenta la aplicación de una metaheurística a la resolución de un problema de secuenciación particular que aparece en el contexto de la implementación de la metodología *just-in-time*. En este problema se busca determinar una secuencia de ensamble final que minimice una función objetivo que evalúa la desviación acumulada entre el uso real y el uso ideal o promedio de los distintos componentes o recursos empleados en la obtención de los artículos finales. La metaheurística propuesta combina un procedimiento constructivo *greedy* con una estrategia de mejora basada en la búsqueda tabú. Con el fin de evaluar el desempeño del procedimiento propuesto y establecer conclusiones referentes a su utilización práctica se desarrollan una serie de experimentos sobre un conjunto de problemas de prueba. A partir de los resultados obtenidos puede concluirse que el procedimiento planteado tiene un desempeño más que adecuado en cuanto a los requerimientos computacionales implicados y la calidad de las soluciones encontradas.

Palabras Claves: Secuenciación, *Just-In-Time*, *Heijunka*, Heurística *Greedy*, Búsqueda Tabú.

ABSTRACT.

Production scheduling problems can be formulated and solved through optimization approaches based on mathematical programming. However, these problems are usually within the category of hard combinatorial optimization problems, so it is necessary to develop efficient approximate algorithms that provide results of acceptable quality making reasonable use of available computational resources. This paper presents the application of a metaheuristic to the resolution of a particular sequencing problem that appears in the context of the implementation of the just-in-time methodology. This problem is aimed at to determine a final assembly sequence that minimizes an objective function that evaluates the accumulated deviation between the actual use and the ideal or average use of the different components or resources used in obtaining the final products. The proposed metaheuristic combines a greedy constructive procedure with an improvement strategy based on tabu search. In order to evaluate the performance of the proposed procedure and establish conclusions regarding its practical use, a series of experiments are carried out on a set of test problems. From the results obtained, it can be concluded that the procedure has a solid performance in terms of the computational requirements involved and the quality of the solutions found.

1. INTRODUCCIÓN.

Un problema de secuenciación consiste en la búsqueda de un ordenamiento de entidades (personas, tareas, artículos, vehículos, clases, exámenes, etc.) de acuerdo con una configuración en el espacio-tiempo, de forma tal que se verifiquen ciertas restricciones asociadas al problema y se alcancen determinados objetivos [1].

La construcción de una secuencia es un problema en el cual, el tiempo, el espacio físico y otros recursos disponibles deben considerarse para hallar el ordenamiento deseado. Las restricciones expresan relaciones entre las entidades o entre las entidades y las configuraciones que limitan los ordenamientos posibles de secuencias. Desde un punto de vista práctico, la actividad asociada a la secuenciación puede abordarse mediante dos perspectivas diferentes: como un problema de búsqueda de una secuencia factible cualquiera, dado el carácter fuertemente condicionado del problema, o como un problema de optimización, en el cual se quiere obtener la mejor secuencia factible existente. En problemas reales, no resulta sencillo especificar las condiciones que hacen a una secuencia más preferible que otra e incorporar esta información en un sistema computacional. Por otra parte, el carácter combinatorio presente en este tipo de problemas obliga a la exploración de grandes espacios de búsqueda y, consecuentemente, la intervención del usuario se vuelve vital al momento de dirigir la búsqueda hacia regiones de utilidad potencial [2].

Los problemas de secuenciación abarcan un conjunto de situaciones relacionadas con la programación de la producción, la organización de eventos, la planificación de actividades de personal y otras. En los problemas reales de secuenciación se pueden establecer distintos objetivos de interés, como por ejemplo: la minimización de la duración de la secuencia, la optimización en el uso de recursos, la minimización del tiempo ocioso asociado con la fuerza laboral (planificación de actividades del personal), la minimización del número de pedidos entregados fuera de término (secuenciación de la producción), el cumplimiento de exigencias derivadas de las reglamentaciones (planificación de horarios en instituciones académicas), etc. Con el correr del tiempo, han aparecido distintas estrategias diseñadas para manejar esta clase de problemas combinatorios.

Esto ha generado un creciente interés en la posibilidad de aplicación de distintas técnicas de optimización a problemas de secuenciación. El propósito de la optimización es encontrar una solución que represente la mejor secuencia en el objetivo elegido. El número de algoritmos propuestos para optimización de problemas de secuenciación ha crecido considerablemente en tiempos recientes, fundamentalmente debido a que los problemas de optimización están presentes, prácticamente, en cualquier área de interés.

Diversas estrategias heurísticas han sido empleadas para diseñar algoritmos adaptados a la resolución de problemas de secuenciación. Entre estas, los algoritmos metaheurísticos han recibido gran atención. En general las estrategias metaheurísticas propuestas están basadas en mecanismos evolutivos, o en métodos de búsqueda local, como, por ejemplo, *simulated annealing* o búsqueda tabú [2-4].

Este trabajo presenta la aplicación de una metaheurística, basada en la búsqueda tabú, a la resolución de un problema de secuenciación que aparece en el contexto de los sistemas de producción *just-in-time*. El objetivo específico establecido es el de desarrollar la aplicación de esta metodología al problema de secuenciación mencionado y evaluar su desempeño con relación a la calidad de las soluciones obtenidas y el esfuerzo de cómputo requerido correspondiente.

El trabajo está organizado de acuerdo con el esquema que se detalla a continuación. La siguiente sección presenta la caracterización general para el problema de secuenciación en ambientes de manufactura del tipo *just-in-time*. A continuación, se desarrolla la aplicación de una estrategia metaheurística de búsqueda tabú a este problema. En las dos secciones que siguen se proporciona el detalle relativo al trabajo de experimentación computacional realizado y se muestran sus resultados. Por último, se presentan las conclusiones finales y algunas consideraciones respecto de las posibles líneas de investigación futuras.

2. EL PROBLEMA DE SECUENCIACIÓN JUST-IN-TIME.

La metodología de producción *just-in-time* (JIT), desarrollada originariamente en empresas japonesas, persigue como estrategia competitiva básica, la reducción de los ciclos de manufactura, el aumento de la flexibilidad y de la calidad y la reducción de costos, a través de un sistema logístico de "arrastre" o sistema "*pull*" [5]. En resumen, la filosofía JIT adopta como principio básico: que los clientes sean atendidos justo en el momento preciso, exactamente en la cantidad requerida, con productos de máxima calidad y a través de un proceso productivo que emplee el mínimo de inventario posible y que se encuentre libre de cualquier desperdicio o costo innecesario.

Los sistemas de manufactura JIT intentan crear un flujo de productos con una adecuada flexibilidad para facilitar su adaptación a las variaciones de la demanda, al mismo tiempo que buscan reducir la magnitud de los desperdicios originados durante el proceso de fabricación. Con el fin de alcanzar estos objetivos, se implementan una serie de metodologías organizativas y tecnológicas denominadas técnicas de producción JIT [6]. Entre estas técnicas se encuentra el nivelado de la producción o *heijunka*, que tiene un impacto determinante sobre la definición de secuencias de

fabricación. La articulación de esta técnica se realiza de acuerdo con el procedimiento que se describirá seguidamente [7]. Como un primer paso, se determina un plan de producción mensual, para la producción de un tipo de artículos, considerando los pronósticos de demanda, los pedidos comprometidos y el inventario existente. El nivelado de la producción implica el establecimiento de una cantidad diaria de producción que no experimente grandes oscilaciones. Esta cantidad no representa las cantidades exactas que deben producirse, sino, más bien, patrones, que les dan a los encargados de los centros de trabajo una perspectiva respecto de sus requerimientos en el corto plazo. La programación definitiva se determina cuando ya se cuenta con los medios requeridos para producir, de forma aproximada, las cantidades establecidas por el nivelado de la producción. Esta programación se distribuye entre las estaciones de la línea de ensamblado, y luego, utilizando un sistema de señales, en el caso típico un sistema *kanban*, se impulsa el proceso de fabricación en las celdas de manufactura que suministran componentes para la línea de ensamblado. En definitiva, se busca que el programa de producción dé lugar a muchas variedades diarias de pequeños lotes y no grandes series de un único producto. De esta forma se tendrá una mayor capacidad de ajuste ante las posibles fluctuaciones de la demanda. Esta estabilidad en las operaciones, obtenida mediante el nivelado de la producción constituye un elemento que distingue a los sistemas JIT respecto de las restantes estrategias empleadas en gestión de la producción.

La estabilidad de la tasa de producción para los distintos tipos de artículos a fabricar, o para el caso más general, la estabilidad de la tasa de utilización de materiales o componentes ha sido el criterio usual aplicado para generar secuencias niveladas en líneas de ensamblado que producen artículos de modelos mixtos [8-10]. Conviene aclarar que en todos estos modelos se asume tácitamente que dentro del sistema de producción se han realizado todas las tareas necesarias para reducir los tiempos de preparación involucrados en el lanzamiento o *setup* de series de producción de artículos de distinto tipo. En la práctica este no resulta ser siempre el caso, y, aunque, siempre conviene arribar a una secuencia con el menor número de lanzamientos, para un cierto nivel de flexibilidad, de aquí en más se supondrá que los tiempos y costos de lanzamiento, tienen una magnitud reducida, y pueden despreciarse. Algunos autores [11-12] han resaltado la relación contrapuesta existente entre estos dos criterios.

Al intentar resolver este problema se buscará generar secuencias de producción niveladas, que alcancen una adecuada (máxima) estabilidad en la tasa de consumo o utilización de los distintos componentes o recursos. Dado que el problema se encuentra dentro de la categoría de problemas de optimización combinatoria, se debe proponer una estrategia que permita resolverlo adecuadamente.

Según se indicara en párrafos anteriores, la secuencias se obtendrán mediante un algoritmo basado en la estrategia metaheurística de búsqueda tabú.

2.1. Caracterización formal del problema de secuenciación en entornos *just-in-time*.

En los sistemas de producción JIT, el problema general de secuenciación puede explicitarse, esencialmente, a través de los siguientes elementos: un número, a , de distintos tipos de artículos, la demanda, d_i , para cada tipo de artículo i ($i = 1, \dots, a$), un número, β , de distintos tipos de componentes o recursos y el consumo unitario, b_{ij} , del componente j ($j = 1, \dots, \beta$) por unidad del tipo de artículo i . Todos los artículos se producen en la misma instalación, en general, una línea de ensamblado de modelos mixtos. D_T es la demanda total para todos los tipos de artículos, N_j es la cantidad total del componente j requerida para producir los D_T artículos y $r_j = N_j/D_T$ se conoce con el nombre de tasa de consumo ideal para el componente j . Por consiguiente, una solución factible para el problema será cualquier secuencia de D_T elementos que verifique, para cada i , con $i = 1, \dots, a$, que el número de elementos dentro de la secuencia sea igual a d_i . El objetivo ideal que se busca alcanzar, desde la perspectiva del nivelado de la producción, implica que, en cada etapa, la línea produzca artículos del tipo i de forma tal que el consumo real de cada componente j iguale el consumo dado por su tasa ideal, r_j . Si una secuencia cumpliera la condición anterior se encontraría nivelada de forma perfecta. Dado que desde un punto de vista práctico una secuencia de tal tipo no puede verificarse, los sistemas de gestión JIT buscan mantener el consumo real de cada componente tan próximo como resulte posible al consumo ideal.

El problema de secuenciación puede plantearse mediante la siguiente formulación de programación matemática, basada en el planteo debido a [13]:

$$\min \underbrace{\max_{k,i,j} F(x_{i,k} \times b_{i,j} - k \times r_j)}_{\text{Máxima desviación}} \quad \text{o} \quad \min \underbrace{\sum_k \sum_i \sum_j F(x_{i,k} \times b_{i,j} - k \times r_j)}_{\text{Desviación total}} \quad (1)$$

s. a:

$$\sum_{i=1}^a x_{i,k} = k, \quad \forall k = 1, \dots, D_T \quad (2)$$

$$x_{i,D_T} = d_i, \forall i = 1, \dots, a \tag{3}$$

$$0 \leq x_{i,k} - x_{i,k-1}, \forall i = 1, \dots, a, \forall k = 2, \dots, D_T \tag{4}$$

$$x_{i,k} \in \mathbb{N}, \forall i = 1, \dots, a, \forall k = 2, \dots, D_T \tag{5}$$

En esta formulación, la variable $x_{i,k}$ corresponde al número de artículos del tipo i producidos hasta la etapa k . El primer conjunto de restricciones [Ecuación (2)] implica que se debe producir k artículos durante las primeras k etapas, y el segundo conjunto de restricciones [Ecuación (3)] obliga a que se verifiquen los requerimientos de demanda de cada tipo de artículo. El tercer grupo de desigualdades [Ecuación (4)] expresa el hecho de que el número de artículos del tipo i crece o se mantiene constante de una etapa a la siguiente. Por último, el siguiente grupo de restricciones [Ecuación (5)] establece que las variables del problema deben ser números enteros y positivos.

Con respecto a la función asociada al objetivo de nivelado de la producción, para cada j , F es una función no negativa y convexa tal que $F(x) = 0$ sí y solo sí $x = 0$. $F(x_{i,k} \times b_{i,j} - k \times r_j)$ castiga la desviación del consumo real, $x_{i,k} \times b_{i,j}$, respecto del ideal, $k \times r_j$. Se pueden considerar dos tipos de funciones objetivo para el problema: una que penalice la máxima desviación, $\min \max_{k,i,j} F(x_{i,k} \times b_{i,j} - k \times r_j)$, o bien, otra que penalice la desviación total, $\min \sum_k \sum_i \sum_j [F(x_{i,k} \times b_{i,j} - k \times r_j)]$. El modelo de máxima desviación para el problema de nivelado de la producción, fue investigado por [14] adoptando $F(x) = |x|$. En este trabajo, se adopta un modelo de desviación total para el objetivo de nivelado de la producción, de acuerdo con la siguiente expresión, debida a [15]:

$$U = \sum_{k=1}^{D_T} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (x_{i,k} \times b_{i,j} - k \times N_j / D_T)^2 \tag{6}$$

U mide la estabilidad de la tasa de consumo de los distintos componentes o recursos y , de forma indirecta, permite obtener una estimación de la estabilidad en la tasa de producción de los distintos tipos de artículos, para la secuencia considerada. Para valores bajos de U se alcanza un mejor nivelado de la producción.

El problema de secuenciación JIT está afectado por las consideraciones generales que les caben a los problemas de optimización combinatoria respecto de su complejidad computacional. Un análisis detallado de estos aspectos puede verse en [16].

El número de secuencias posibles, η , correspondientes a un problema de secuenciación JIT particular, caracterizado por los parámetros a y d_i , $i = 1, \dots, a$, puede determinarse mediante la Ecuación (7).

$$\eta = \left(\sum_{i=1}^a d_i \right)! / \prod_{i=1}^a d_i! \tag{7}$$

Para ejemplificar, supóngase que se debe determinar una secuencia para producir siete unidades del tipo de artículo P_1 , cuatro de P_2 y tres de P_3 y se tienen los valores de b_{ij} indicados en la Tabla 1. El número de secuencias posibles, calculado a través de la Ecuación (9) asciende a 120.120. Al doblar el valor de la demanda para los tipos de artículos P_2 y P_3 , se tendrían 349.188.840 secuencias posibles para el problema.

Tabla 1 Valores de b_{ij} para el ejemplo.

b_{ij}	P_1	P_2	P_3
C_1	1	0	0
C_2	0	1	0
C_3	0	0	1

Para el ejemplo introducido puede proponerse la siguiente secuencia de producción: $P_2P_2P_2P_2P_1P_1P_1P_1P_1P_1P_3P_3P_3$. A esta le corresponde una estabilidad de la tasa de consumo de componentes de 80,6429, obtenida a partir de la Ecuación (6). Otra secuencia factible para el problema es la siguiente: $P_1P_2P_1P_3P_1P_2P_1P_3P_1P_2P_1P_3P_2P_1$, a esta le corresponde un valor de estabilidad de la tasa de consumo de 4,5 y, por lo tanto, da lugar a un mejor nivelado de la producción.

3. METAHEURÍSTICA BASADA EN LA BÚSQUDA TABÚ.

En esta sección se desarrollarán los elementos incluidos en el algoritmo metaheurístico aplicado a la determinación de secuencias eficientes para el problema de nivelación de la producción en un

sistema JIT. El propósito fundamental de esta investigación consiste en establecer si esta estrategia puede considerarse como un mecanismo válido para generar soluciones subóptimas aceptables para el problema analizado.

Con el nombre de algoritmos heurísticos se hace referencia a un conjunto de métodos alternativos a los que se puede recurrir cuando existe la necesidad de resolver problemas difíciles de optimización combinatoria, para los cuales no resulta posible, práctico o económico utilizar métodos exactos de resolución.

Los métodos heurísticos proporcionan soluciones factibles cercanas al óptimo del problema, empleando un tiempo de cómputo menor que el que se invertiría en su resolución a través de un algoritmo exacto. Su uso resulta aconsejable cuando: se tienen recursos de cómputo limitados que fuerzan a considerar métodos de respuesta rápida, en detrimento de la exactitud; cuando las suposiciones sobre las cuales se construyó el modelo hacen que la solución sea solo una aproximación de la real, o cuando no se cuenta con un algoritmo exacto [17].

Siguiendo el esquema propuesto por [18] los algoritmos heurísticos pueden clasificarse en las siguientes categorías: métodos constructivos, de descomposición, de reducción, de manipulación del modelo y de búsqueda por entornos o búsqueda local.

La Búsqueda Tabú (BT) es una metaheurística basada en un procedimiento de búsqueda local propuesta en [19], que incorpora una estrategia globalizadora o diversificadora que permite movimientos hacia soluciones que no mejoran el valor de la función objetivo. Un panorama más detallado y la definición de los conceptos generales de BT pueden verse en [20]. En esencia, BT utiliza la información generada durante el proceso de búsqueda a los fines de escapar de óptimos locales y definir una estrategia para explorar el espacio de soluciones.

Nomenclatura necesaria para describir el algoritmo BT para el problema bajo análisis:

- S: Una secuencia cualquiera propuesta.
- V(S): Entorno de soluciones asociado a S. V(S) estará dado por el conjunto de permutaciones que se pueden obtener a partir de S.
- S₀: Secuencia inicial con la cual se da inicio al algoritmo.
- S_a: Secuencia actual, en una dada iteración de BT.
- S_c: Secuencia candidata a evaluar, en V(S_a), en una etapa de BT.
- A_{a,c}: Atributos de la modificación realizada para obtener S_c.
- U(S): Estabilidad de la tasa de consumo correspondiente a S.
- ΔU: Diferencia entre los valores de U de S_c y S_a, $\Delta U = U(S_c) - U(S_a)$.
- U(S*): Estabilidad de la tasa de consumo correspondiente a la mejor solución encontrada hasta el momento, S*.
- W: Número máximo (entero y positivo) de iteraciones a realizar por BT.
- R: Número de secuencias tentativas a evaluar en una iteración de BT.
- LT: Lista tabú, conjunto de atributos de las últimas soluciones aceptadas durante el proceso de búsqueda.
- N_{LT}: Número de elementos que pertenecen a la lista tabú.
- t: Número de iteraciones actual realizadas por BT.
- N_{sm}: Número de iteraciones realizadas sin mejora.
- N_{stop}: Número máximo de iteraciones permitidas sin mejora.

Para un dado valor de C, en el entorno de S_a se generan aleatoriamente R secuencias. Luego se adopta como S_c a la más eficiente desde el punto de vista de su valor de U. S_c reemplaza a S_a si los atributos de la modificación realizada, A_{a,c} no aparecen en la lista tabú (LT) de atributos de las últimas modificaciones aceptadas. El atributo que se considera en este caso es la posición dentro de la secuencia para los artículos afectados a un intercambio. Entonces, si los atributos de la modificación propuesta aparecen en LT, la secuencia estará prohibida y no podrá adoptarse como S_a. Si U(S_c) fuera inferior a la de todas las secuencias exploradas U(S*), la condición tabú de S_c puede ignorarse y puede aceptarse como S_a. Esto constituye, el criterio de aspiración utilizado para introducir flexibilidad en el algoritmo de BT. Si la modificación asociada a S_c aparece en LT y no se verifica el criterio de aspiración, entonces se efectúa el mismo análisis con la siguiente secuencia generada en la iteración actual. Como la generación de R secuencias, en cada iteración, implica cierto esfuerzo computacional, opcionalmente se puede generar secuencias sucesivas hasta que alguna no caiga en la LT o evada la condición tabú a través del criterio de aspiración. De todas formas, se seleccionará una S_c que tomará el lugar de la S_a. Cuando ocurre esto, se actualiza LT incorporando en el primer lugar los atributos (posiciones de los artículos intercambiados de la secuencia) asociados a la modificación realizada y disminuyendo, simultáneamente, la posición en un lugar para los restantes componentes de la LT, eliminando la condición de prohibido para el último elemento. El procedimiento descrito se repite W veces o hasta que se alcance un número N_{stop} de iteraciones sin mejora en la solución.

Cuando culmina la ejecución del algoritmo, la secuencia entregada será la mejor de todas las S_a inspeccionadas.

Para dar inicio al algoritmo se utiliza una heurística *greedy* o golosa que en este caso cae dentro de la categoría de los procedimientos del tipo constructivo. Estas metodologías generan una solución para el problema a través de un mecanismo iterativo que parte, en general, de una solución vacía a la cual se le van adicionando elementos hasta que se conforma una solución factible. La caracterización de *greedy* viene dada por el hecho de que el método, en cada paso, para elegir el próximo elemento que se incorporará a la solución, considera aquel elemento que provoca el mínimo incremento (en el caso de que se trate de un problema de minimización) en el valor de la función objetivo definida para el problema, en este caso, la estabilidad de la tasa de consumo, U . Seguidamente se detalla la nomenclatura a utilizar para el desarrollo del procedimiento *greedy* utilizado para generar una solución inicial para el algoritmo BT:

- S_p : Una secuencia parcial cualquiera propuesta para el problema.
 - S_{p0} : Secuencia parcial inicial con la cual comienza el algoritmo, para un cierto C . Se adopta $S_{p0} = \emptyset$.
 - S_{pa} : Secuencia parcial actual, en una dada iteración del algoritmo.
 - S_{pki} : Secuencia parcial candidata a evaluar, en la etapa k del algoritmo ($k = 1, \dots, D_T$), obtenida al incorporar el artículo de tipo i a S_{pa} .
- $U(S_{pki})$: Estabilidad de la tasa de consumo correspondiente a la secuencia S_{pki} .

Se espera que, al finalizar, el procedimiento *greedy* determine una secuencia que proporcione un valor de U aceptable, de forma que se cuente con una solución subóptima, en un grado razonable, para el problema particular analizado, que proporcione un buen punto de partida para la mejora posterior mediante BT. El procedimiento *greedy* adiciona uno o más elementos a la secuencia S_{pa} , considerando el comportamiento del valor de la estabilidad de la tasa de consumo de acuerdo al procedimiento que se explicará seguidamente. Para cada tipo de artículo i se determina el valor de U de la secuencia parcial actualizada, S_{pki} , con la incorporación de un artículo del tipo i . Se incorpora, con una cierta probabilidad, el artículo del tipo i que provoque uno de los mínimos incrementos en U , si no se han asignado aún a la secuencia todos los artículos del tipo i considerado. El valor de probabilidad es decreciente en función del incremento que provoca la incorporación del artículo i a la secuencia, es decir, a menor incremento, mayor probabilidad de ser incorporado. Luego se repite el procedimiento D_T veces hasta que se hayan asignado todos los artículos de cada tipo a la secuencia.

El procedimiento general del algoritmo completo de BT implementado se puede resumir a través del siguiente pseudocódigo:

i. Inicio

Se utiliza un procedimiento constructivo *greedy* aleatorizado para generar una solución inicial, S_0 .

Se evalúa $U(S_0)$, empleando la Ecuación (6).

S_0 se adopta como solución actual $S_a \leftarrow S_0$, $t = N_{sm} = 0$, $LT = \emptyset$.

ii. Iteración t

Se generan aleatoriamente R soluciones candidatas en el entorno de S_a , $S_c \in V(S_a)$.

Se evalúa $U(S_c)$ para las R secuencias generadas.

Se calcula $\Delta U = U(S_c) - U(S_a)$ para las R soluciones candidatas.

Si existe S_c tal que $A_{a,c} \notin LT$ o $U(S_c) < U(S^*)$, la nueva solución es aceptada: $S_a \leftarrow S_c$. En caso de existir más de una solución que verifique la condición se elige aquella de menor valor de ΔU .

$N_{sm} \leftarrow 0$

Se actualiza LT incorporando $A_{a,c}$ en la primera posición de la lista, desplazando los primeros $LT - 1$ atributos en una posición, eliminando los atributos ubicados en la posición N_{LT} .

En otro caso, $N_{sm} \leftarrow N_{sm} + 1$.

$t \leftarrow t + 1$

Si $t = W$ o se verifica que $N_{sm} = N_{stop}$, se detiene la ejecución, en otro caso se continúa la ejecución.

4. EXPERIENCIA COMPUTACIONAL.

Mediante el editor de Visual Basic for Applications fue codificado el algoritmo basado en la metaheurística BT utilizado para generar secuencias niveladas en entornos JIT. Este algoritmo trabaja sobre una planilla de cálculo de MExcel, en la cual se pueden cargar los datos del problema

y obtener los resultados finales de la ejecución del algoritmo. La experiencia computacional se desarrolló sobre una CPU con 8GB de memoria RAM y un procesador i-core 7, bajo un sistema operativo de 64-bits.

Se aplicó la metodología propuesta a un conjunto de problemas de prueba de la literatura con el fin de estudiar el desempeño del algoritmo presentado. Las secuencias obtenidas se compararon con las secuencias óptimas conocidas que se indican en [21], correspondientes a los cuarenta y cinco problemas resueltos. Se realizaron treinta réplicas de la ejecución del algoritmo con cada uno de los problemas para evaluar adecuadamente su desempeño.

En la Tabla 2 se indican los valores de los requerimientos unitarios de componentes, b_{ij} , para los tipos de artículos del conjunto de problemas analizado. En la Tabla 3 se muestra la información detallada de cada uno de los problemas resueltos, así como también los valores asociados con el desarrollo de la experiencia computacional.

Tabla 2 Valores de b_{ij} considerados para el conjunto de problemas resueltos.

b_{ij}	P_1	P_2	P_3	P_4
C_1	0	0	0	5
C_2	3	1	0	5
C_3	3	3	5	0
C_4	4	6	5	0

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Como se indicó anteriormente, la información relacionada con la resolución de los problemas de prueba se encuentra detallada en la Tabla 3. Esta muestra, los resultados relativos a la calidad de las soluciones obtenidas mediante el algoritmo BT. Para cada problema, se indica el valor óptimo de la estabilidad de la tasa de consumo de componentes (U_{opt}), el valor promedio de las treinta réplicas obtenido mediante BT (U_{BT}) y el tiempo de cómputo promedio requerido para ejecutar el algoritmo en las treinta réplicas realizadas. Puede concluirse, estudiando la información volcada en la Tabla 3, que, para todos los problemas estudiados, las soluciones obtenidas mediante BT resultan ser, en todos los casos, coincidentes con los valores óptimos que se indican en la literatura.

Los resultados conseguidos a través del algoritmo BT propuesto no presentan ningún tipo de dispersión con relación al indicador empleado para evaluar la calidad de las soluciones obtenidas, lo cual implica que para todos los problemas analizados las secuencias obtenidas a través de BT en todas las ejecuciones del algoritmo coincidieron con las óptimas. Consecuentemente, se puede inferir que las soluciones obtenidas a través de BT proporcionan resultados de muy buena calidad en relación con la estabilidad de la tasa de consumo. Debe destacarse, asimismo, que los tiempos de cómputo se mantuvieron relativamente estables y en valores razonables, guardando cierta proporcionalidad con el tamaño de cada uno de los problemas resueltos, destacándose que las variaciones observadas pueden atribuirse en gran parte a la calidad de la solución inicial que proporciona el procedimiento *greedy*.

6. CONCLUSIONES.

En este trabajo se ha presentado una estrategia metaheurística basada en la búsqueda tabú para resolver un problema de secuenciación que aparece vinculado a los sistemas de producción *just-in-time*.

A partir de un estudio de los resultados obtenidos se concluye que el método propuesto ha sido capaz de generar, en todos los casos, las soluciones óptimas que se encuentran disponibles en la literatura, para el conjunto de problemas estudiado. Asimismo, los resultados no presentan dispersión alguna, con lo cual puede garantizarse una consistencia adecuada en cuanto a la calidad de las secuencias obtenidas. Por otro lado, el desempeño respecto de los tiempos de cómputo resulta ser aceptable tanto en cuanto a sus valores como a su variación asociada al tamaño del problema y la calidad de la solución inicial. Cabe aclarar que inexistencia de dispersión en los resultados obtenidos resulta de gran relevancia teniendo en cuenta la magnitud de los errores que pueden cometerse al generar secuencias de producción para el problema estudiado, por lo cual se considera que, en definitiva, esta herramienta provee resultados inmejorables en cuanto a su calidad, hecho que se refuerza aún más si se considera que los tiempos de cómputo invertidos siempre observan magnitudes relativamente previsibles y uniformes. Por lo tanto, se entiende que esta metodología ofrece solidez en las medidas de desempeño consideradas que la caracterizan como una metodología atractiva para resolver el problema considerado. No obstante, debe consignarse que para generalizar estos resultados preliminares deberían realizarse experimentos adicionales que permitan confirmar la performance del algoritmo con relación a la calidad de las soluciones y el esfuerzo de cómputo requerido en su obtención.

Tabla 3 Resultados de los experimentos computacionales.

Problema	Demandas				η	U_{opt}	U_{BT}	Tiempo promedio (s)
	P_1	P_2	P_3	P_4				
1	17	1	1	1	6840	72,7	72,7	13,95
2	1	17	1	1	6840	133,7	133,7	5,40
3	1	1	17	1	6840	150,7	150,7	6,29
4	1	1	1	17	6840	155,3	155,3	6,12
5	9	9	1	1	18475600	90,3	90,3	29,46
6	9	1	9	1	18475600	99,1	99,1	34,30
7	9	1	1	9	18475600	114,7	114,7	0,39
8	1	9	9	1	18475600	141,3	141,3	4,79
9	1	9	1	9	18475600	149,7	149,7	7,23
10	1	1	9	9	18475600	177,1	177,1	7,49
11	6	6	4	4	8147739600	130,4	130,4	8,45
12	6	4	6	4	8147739600	129,4	129,4	13,14
13	6	4	4	6	8147739600	148,6	148,6	7,38
14	4	6	6	4	8147739600	157,4	157,4	6,74
15	4	6	4	6	8147739600	146,2	146,2	6,50
16	4	4	6	6	8147739600	155,6	155,6	8,80
17	5	5	5	5	11732745024	137,5	137,5	6,38
18	6	6	6	2	3259095840	122,8	122,8	6,95
19	6	6	2	6	3259095840	135,6	135,6	7,13
20	6	2	6	6	3259095840	147,6	147,6	7,65
21	2	6	6	6	3259095840	149,2	149,2	10,21
22	2	4	6	8	1745944200	153,4	153,4	8,53
23	2	4	8	6	1745944200	147	147	7,05
24	2	6	4	8	1745944200	144,8	144,8	10,44
25	2	6	8	4	1745944200	144,8	144,8	32,09
26	2	8	4	6	1745944200	139,8	139,8	7,88
27	2	8	6	4	1745944200	148,6	148,6	25,43
28	4	2	6	8	1745944200	162,2	162,2	5,72
29	4	2	8	6	1745944200	158,2	158,2	7,30
30	4	6	2	8	1745944200	157,4	157,4	5,75
31	4	6	8	2	1745944200	129,4	129,4	16,57
32	4	8	2	6	1745944200	146,8	146,8	8,25
33	4	8	6	2	1745944200	130	130	15,46
34	6	2	4	8	1745944200	125,6	125,6	5,84
35	6	2	8	4	1745944200	125,6	125,6	7,31
36	6	4	2	8	1745944200	129,4	129,4	6,21
37	6	4	8	2	1745944200	118,2	118,2	16,09
38	6	8	2	4	1745944200	128,6	128,6	6,36
39	6	8	4	2	1745944200	117,4	117,4	20,58
40	8	2	4	6	1745944200	141,4	141,4	9,65
41	8	2	6	4	1745944200	116,6	116,6	7,84
42	8	4	2	6	1745944200	137,2	137,2	6,25
43	8	4	6	2	1745944200	118,8	118,8	7,38
44	8	6	2	4	1745944200	111,8	111,8	134,37
45	8	6	4	2	1745944200	112,6	112,6	44,69

En cualquier caso, en caso de no confirmarse los resultados preliminares, esta estrategia metaheurística ofrecería posibilidades de mejora, en una primera instancia, en la instrumentación del procedimiento asociado con la generación de la secuencia inicial, que se obtiene mediante la aplicación del procedimiento constructivo *greedy*. También esta técnica podría emplearse para generar secuencias iniciales de gran calidad, razonablemente buenas, factibles de ser mejoradas a través de otros procedimientos de refinamiento posterior. En relación con esto último resultaría interesante proponer estrategias integradoras con otras metaheurísticas, como por ejemplo *simulated annealing* (SA) o algoritmos genéticos (AG), por ejemplo, que han sido propuestas para atacar este tipo de problemas.

En cuanto a utilización práctica de la solución, el usuario de esta herramienta contaría con la posibilidad de tomar mejores decisiones de planificación, especificando inicialmente la cantidad de productos finales que se deben ensamblar y los requerimientos unitarios de los distintos componentes necesarios para elaborar cada uno de esos artículos, luego de lo cual se ejecutaría el

algoritmo para obtener posteriormente una secuencia que provea una adecuada estabilidad de la tasa de consumo de componentes.

En relación con las posibilidades de trabajo futuro, además de la ampliación del trabajo experimental mencionado anteriormente, se estima conveniente extender el análisis hacia otras metodologías heurísticas para la generación de secuencias subóptimas, a los efectos de explorar las posibilidades de mejora en los resultados obtenidos. De la misma forma, se estima que los avances en el diseño de la estrategia metaheurística empleada, y la búsqueda de estrategias de hibridación, como por ejemplo la mencionada más arriba, podría dar lugar a implementaciones más eficientes con posibilidades de mejora en la performance.

7. REFERENCIAS.

- [1] Wren A. (1996). "Scheduling, timetabling and rostering, a special relationship?". *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 1153, págs. 46-75.
- [2] Landa, J.; Burke, E. (2002). "A tutorial on multiobjective metaheuristics for scheduling and timetabling". *Actas del 1º Workshop on Multiobjective Metaheuristics*. París, Francia.
- [3] Casal, R.; Toncovich, A.; López, N.; Corral, R. (2002). "Metaheurística aplicada a la determinación de secuencias de producción en un sistema just-in-time". *Actas del Simposio en Investigación Operativa - 31 Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa*. Santa Fe, Argentina. Vol. 31, págs. 51-63.
- [4] Casal, R.; Toncovich, A. (2002). "Una estrategia multiobjetivo para el secuenciamiento just-in-time nivelado con consideración de lanzamientos". *Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*. No. 24, págs. 53-72.
- [5] Domínguez Machuca, J. (Editor); García González, S.; Domínguez Machuca, M.; Ruiz Jiménez, A.; Álvarez Gil, M. (1995). *Dirección de operaciones. aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. Editorial McGraw Hill. Madrid, España.
- [6] Marín, F.; Delgado, J. (2000). "Las técnicas justo a tiempo y su repercusión en los sistemas de producción". *Revista de Economía Industrial*. Vol. 1, no. 331, págs. 35-41.
- [7] Monden, Yasuhiro. (1994). *Toyota Production System. An Integrated Approach to Just-In-Time*. New York, EUA. Chapman & Hall.
- [8] Macaskill, J. L. C. (1972). "Production line balances for mixed-model lines". *Management Science*. Vol. 20, no. 4, págs. 423-433.
- [9] Sumichrast, R.; Russell, R. (1990). "Evaluating mixed-model assembly line sequencing heuristics for JIT production systems". *Journal of Operations Management*. Vol. 9, no. 3, págs. 371-390.
- [10] Thomopoulos, N. T. (1967). "Line balancing-sequencing for mixed-model assembly". *Management Science*. Vol. 14, no. 2, págs. 59-75.
- [11] McMullen, P.; Frazier, G. (2000). "A simulated annealing approach to mixed-model sequencing with multiple objectives on a JIT line". *IIE Transactions*. Vol. 32, no. 8, págs. 679-686.
- [12] McMullen, P. (1998). "JIT sequencing for mixed-model assembly lines with setups using tabu search". *Production Planning & Control*. Vol. 9, no. 5, págs. 504-510.
- [13] Brauner, N.; Crama, Y. (2000). "The maximum deviation just-in-time scheduling problem". *Discrete Applied Mathematics*. Vol. 134, págs. 25-50.
- [14] Steiner, G.; Yeomans, S. (1993). "Level schedules for mixed model JIT processes". *Management Science*. Vol. 39, no. 6, págs. 728-735.
- [15] Miltenburg, J. (1989). "Level schedules for mixed-model assembly lines in just-in-time production systems". *Management Science*. Vol. 35, no. 2, págs. 192-207.
- [16] Brauner, N.; Crama, Y.; Grigoriev, A.; Van De Klundert, J. (2001). "On the complexity of high multiplicity scheduling problems". *Actas del Fifth Workshop on Models and Algorithms for Planning and Scheduling Problems MAPSP'01*. Aussois, Francia.
- [17] Díaz, A. (Editor); Glover, F.; Ghaziri, H. M.; González, J. L.; Laguna, M.; Moscato, P.; Tseng, F. T. (1996). *Optimización heurística y redes neuronales*. 1ª edición. Editorial Paraninfo.
- [18] Silver, E.; Vidal, R.; De Werra, D. (1980). "A tutorial on heuristic methods". *European Journal of Operational Research*. Vol. 5, págs. 153-162.
- [19] Glover, F. (1989). "Tabu search. Part I". *ORSA Journal of Computing*. Vol. 1, págs. 190-206.
- [20] Glover, F.; Laguna, M. (1993). "Tabu Search". En: *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. C. Reeves (Editor). Blackwell Scientific Publishing, Oxford. Págs. 70-141.
- [21] Bautista, J.; Companys, R.; Corominas, A. (1996). "Heuristics and exact algorithms for solving the Monden problem". *European Journal of Operational Research*. Vol. 88, no. 1, págs. 101-113.

Agradecimientos

El autor de este trabajo desea agradecer el financiamiento recibido de la Universidad Nacional del Sur para el desarrollo de los proyectos PGI 24/J084 y PGI 24/ZJ35.

Madurez del almacén de suministros de una institución pública de salud

Micaela Oliveto¹, Emilia Spina², Claudia Rohvein³

*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del centro de la Provincia de Buenos Aires.
Av. del Valle 5737*

(1) olivetomicaela@gmail.com, (2) emilia.spina@fio.unicen.edu.ar, (3) crohvein@fio.unicen.edu.ar

RESUMEN

Conocer el nivel de madurez de los procesos representa un punto de partida para aplicar mejores prácticas que conlleven a un mejor desarrollo de los mismos.

La metodología de almacén de clase mundial, debido a su baja complejidad, resulta ser una herramienta adecuada para obtener un diagnóstico general de la situación y, de esa forma, iniciar un camino hacia la mejora continua de los procesos. El presente trabajo utiliza como caso de estudio el depósito de suministros de una institución pública de salud, en donde se evalúan los procesos de recepción, almacenamiento, preparación de pedidos y despacho. El objetivo es aplicar dicha metodología para analizar en forma cualitativa y posteriormente valorizar diez elementos clave que pueden estar presentes en cualquier almacén. Los mismos son manejo de la información y operación, procedimientos, recurso humano, entrenamiento para la gestión, manejo de terceros, automejoramiento, almacenamiento y manipulación, sistema de reabastecimiento, calidad del inventario y organización física. El valor obtenido da como respuesta el nivel de madurez de los procesos involucrados.

Como resultado se obtuvo que los elementos mejor puntuados son el recurso humano y el programa de automejoramiento. Se busca que las acciones futuras contribuyan a aumentar el nivel de madurez.

Palabras Claves: madurez de clase mundial, almacén, institución pública de salud.

ABSTRACT

Knowing the level of maturity of the processes represents a starting point to apply best practices that lead to a better development of them.

Due to its low complexity, the world class warehouse methodology turns out to be an adequate tool to obtain a general diagnosis of the situation and to start the path towards the continuous improvement of the processes. The present work uses as a case study the deposit of supplies of a public health institution, where the processes of reception, storage preparation of orders and dispatch are evaluated. The objective is to apply this methodology to qualitatively analyze and then value ten key elements that may be present in any warehouse. These elements are: information management and operation, procedures, human resources, training for management, third party management, self-improvement, storage and handling, replenishment system, inventory quality and physical organization. The value obtained is the level of maturity of the processes involved.

As a result, it was obtained that the best scored elements are the human resource and the self-improvement program. It is expected that future actions contribute to increase the level of maturity.

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de madurez se utiliza en diversos campos del conocimiento, y a lo largo de la década de los 90 se han desarrollado numerosos modelos para muchas áreas y propósitos diferentes. En general un modelo de madurez es una herramienta para evaluar y mejorar habilidades, capacidades y competencias [1].

Según [2] el término madurez traduce el desarrollo de una etapa inicial a una etapa final en la que hay una evolución de procesos de etapa intermedia, a la plena madurez. Mientras que para [3] el valor de un modelo de madurez radica en su uso como herramienta de análisis y posicionamiento, ya que busca ayudar a las organizaciones a reconocer cuándo y por qué deben avanzar, proporcionándoles una visión de las medidas que deben adoptarse con el fin de lograr el progreso de la madurez.

En el contexto de la gestión de la cadena de suministro, el concepto de madurez del proceso está relacionado con su ciclo de vida, el cual queda determinado por la medida en que ese proceso este explícitamente definido, administrado, medido y controlado. Un modelo de madurez asume que el progreso hacia el logro de metas viene en etapas [4].

En [5] se señala que el concepto básico detrás de la palabra madurez es que organizaciones maduras realizan sus actividades a partir de procesos sistematizados y métodos documentados, mientras que los procesos y los métodos inmaduros varían de acuerdo a los individuos que realizan las tareas. Por lo tanto, teniendo en cuenta que en las organizaciones maduras los datos se recogen y se utilizan con el fin de analizar, controlar, y contrastar el rendimiento de la planificación, estas organizaciones alcanzan sus objetivos, tiempo y costo de manera coherente y eficaz. Por otra parte, a menudo las inmaduras no alcanzan sus objetivos ni los plazos y los costos son superiores a los presupuestados.

En el presente trabajo, la unidad de análisis seleccionada como caso de estudio es una organización pública de salud de la ciudad de Olavarría, provincia de Buenos Aires, Argentina. La misma ofrece diversos servicios médicos como, internación de adultos y materno-infantil, cirugía, consultorios externos, diagnóstico por imágenes, laboratorio de análisis clínicos y farmacia, entre otros.

En ésta instancia, el área en estudio es el depósito de suministros de dicha institución, el cual se encarga de proveer a los diferentes servicios todos los insumos que éstos requieren diariamente. Además, abastece a distintos centros de atención primaria de la salud (CAPS) distribuidos en la ciudad de Olavarría y alrededores, y a hospitales de la zona.

En éste depósito se realizan distintas operaciones logísticas como recepción, clasificación e identificación de mercancía y almacenamiento sumado a la preparación de pedidos internos y externos a la institución, para su posterior despacho y distribución. Este sector se considera clave para que los demás servicios del establecimiento puedan realizar sus funciones convenientemente y dispongan de los insumos necesarios en tiempo y forma.

Según [6] para que un almacén adquiera un nivel competitivo, debe alcanzar elevados estándares que impone el mercado actual, donde el papel del almacén ya no es el del lugar donde reposan las mercancías, sino un centro de distribución y consolidación de productos donde se realizan funciones complejas como recepción, despacho, clasificación e identificación de mercancías e, incluso, operaciones de ensamble y empaque.

Una alternativa para abordar el avance de madurez de los procesos logísticos involucrados en el depósito de suministro de la institución de referencia es utilizar la metodología de Almacén de Clase Mundial. La misma propone estudiar, mediante inspección física y de manera cualitativa, diez elementos clave. Conjuntamente, la metodología adiciona en su análisis cuantitativo la aplicación de un cuestionario y el cálculo de un factor de posicionamiento (F.P.), el cual resulta ser un indicador del nivel de madurez actual de los procesos, permitiendo de este modo definir las medidas que deben adoptarse, los cambios que se deben canalizar y dónde impulsar las mejoras para emprender el camino y convertirse en un almacén de clase mundial [6].

Desde ese punto de vista, un almacén de clase mundial es aquel que presenta las siguientes características: bajo nivel de inventarios, información confiable, bajo nivel de bienes obsoletos, optimización de recursos, mano de obra, instalaciones físicas, equipos, procesos, eliminación de actividades y procesos que no agregan valor y disminución de trámites y papelería [7].

[6] asegura que los resultados que se obtienen de un almacén de clase mundial trascienden más allá del área de inventarios y se convierte en una herramienta estratégica para la organización, ya que son varias las áreas que obtienen servicios e información del almacén.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es evaluar la madurez de los procesos logísticos involucrados en el depósito de suministros de una organización de salud pública de la ciudad de Olavarría, provincia de Buenos Aires, Argentina, bajo la metodología de almacén de clase mundial que permita reconocer las necesidades de implementación de mejores prácticas en pos de alcanzar estados sucesivos de madurez.

2. METODO

La metodología utilizada para realizar la investigación sobre la madurez de los procesos logísticos involucrados en el depósito de suministros está basada en el estudio de caso propuesto por [8] ya que se estudia un fenómeno organizacional que involucra diversas variables que no son sencillas de analizar y este enfoque ayuda a utilizar la experiencia para la transmisión del conocimiento.

Según [8] el estudio de caso es una investigación empírica que estudia un fenómeno dentro de su contexto de la vida real, donde los límites entre el fenómeno y su contexto no son claramente evidentes. Trata una situación donde están involucradas más de una variable de interés y se basa en múltiples fuentes de evidencia, con datos que deben converger en un estilo de triangulación y se beneficia del desarrollo previo de proposiciones teóricas que guían la recolección y el análisis de datos.

Efectivamente, el presente trabajo es un estudio de caso descriptivo ya que su propósito es identificar el estado de situación o nivel de madurez de las dimensiones que caracterizan los procesos logísticos del depósito de suministros según el modelo de madurez de almacén de clase mundial propuesto por [6]. Este diagnóstico da pautas para detectar dónde es necesario aplicar mejores prácticas logísticas y establecer una hoja de ruta para las acciones de mejora al describir el estado sucesivo deseable de madurez.

La investigación busca hacer una reflexión sobre las acciones que permiten alcanzar estados superiores de nivel de madurez del almacén de suministro, mejorar los procesos logísticos de manera que estén definidos, administrados, medidos y controlados, y aumentar el grado de aplicación de buenas prácticas logísticas disponibles.

El trabajo emplea un enfoque mixto, el cual implica la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta para lograr un mejor entendimiento del caso [9].

Para obtener el diagnóstico de la situación actual se recurre a la metodología de almacén de clase mundial propuesta por [6]. En la misma se plantea que para realizar una evaluación del almacén, se requiere hacer un análisis de diez elementos clave (EC), o dimensiones. Las mismas son: manejo de la operación y la información, procedimientos, recurso humano, entrenamiento, manejo de terceros, programa de automejoramiento, almacenamiento y manipulación de mercancías en general, sistema de reabastecimiento, calidad del inventario y organización física. Se complementa la información relevada desde observación directa y base de datos con un cuestionario disponible en [6] que despliega preguntas en cada una de estas diez dimensiones para obtener un diagnóstico exhaustivo del área en estudio. Luego estas respuestas se valoran en una escala par de calificación de 2 a 10, donde su significado es: 2 (nada), 4 (pobre o parcial), 6 (regular), 8 (buena), 10 (excelente) y se resumen estos diez elementos clave en una matriz con el valor promedio de las respuestas a las preguntas que lo componen.

Para finalizar el análisis en forma cuantitativa, se utiliza un factor de posicionamiento. Este paso es muy importante, ya que consiste en resumir el estado general del almacén y llevarlo a una calificación numérica. Esta cifra representa, en porcentaje, el estado actual y muestra claramente que tan cerca o tan lejos se está del almacén de clase mundial. Para determinarlo se utiliza la Ecuación N° 1.

$$F. P. = \frac{1 \times (\#EC \geq 8) + 0,5 \times (\#EC = 6) - 1 \times (\#EC \leq 4)}{N^{\circ} \text{ DE ELEMENTOS CLAVES}}$$

Ecuación N° 1: Factor de posicionamiento. Fuente: [6].

Al realizar el cálculo del F.P. se obtiene un indicador de la situación actual del área que se está evaluando, variable desde -100 a 100%. El mismo representa un indicador de madurez que permite la comparación y la determinación en el grado de avance.

Para efectuar la elección de la unidad de análisis se definen como principales criterios: el tipo de organización, el impacto de los procesos logísticos en su actividad social y el grado de accesibilidad a la misma para el desarrollo de la investigación.

La unidad de análisis seleccionada es una organización pública de salud de la ciudad de Olavarría, Argentina, que realiza actividades de prestación de servicios de salud a la comunidad en representación del Estado. Los procesos logísticos involucrados son gestión de pedidos, almacenamiento, compras, inventarios, distribución de insumos y medicamentos a los CAPS y en los flujos inversos. Sus clientes son habitantes de Olavarría y la zona en todo su rango etario, muchos de los cuales carecen de recursos económicos y cobertura médica. Su estructura en recursos humanos está conformada por 1250 empleados entre administrativos, personal obrero y servicio, técnicos, enfermeros y médicos.

En el presente trabajo, el área en estudio es el depósito de suministros de ésta institución, el cual se encarga de proveer todos los insumos que requieren diariamente los diferentes servicios médicos que ofrece y los centros de atención primaria anexos.

La recolección de datos surge de fuentes primarias mediante la observación directa en el lugar de trabajo y la realización de entrevistas semiestructuradas realizada a personal directivo (2) y

operativo (1) para la aplicación del cuestionario de preguntas abiertas y cerradas, Almacén de Clase Mundial, disponible en el anexo de [6]. Las fuentes secundarias están constituidas por el acceso a la base de datos de la institución. En el almacén operan cinco personas en total, el encargado del depósito, una empleada administrativa y el personal restante para actividades como recepción de mercadería, almacenamiento, preparación de pedidos y despacho.

La información recopilada se analiza sobre la base de las respuestas obtenidas en la entrevista, la caracterización mediante la observación y el acceso a la base de datos. Del análisis cuantitativo de tales resultados se obtienen las conclusiones de cada dimensión estudiada, identificando el nivel de madurez alcanzado y justificando el mismo con situaciones específicas que representan el desempeño de la organización.

3. DESARROLLO

3.1. Evaluación de procesos, procedimientos y recursos del almacén

Los procesos principales llevados a cabo en el depósito de la institución y relevados en el presente trabajo son recepción, almacenamiento, preparación de pedidos y despacho.

A partir de una inspección física del área en estudio, se recolectó información cualitativa que permite el análisis de cada uno de los aspectos tomados en cuenta en el modelo de almacén de clase mundial. Conjuntamente, la aplicación del cuestionario disponible en el anexo de [6] y el análisis de las respuestas, permite valorizar cada una de ellas y dimensionar por medio de un enfoque mixto, el nivel de madurez de cada una de las diez dimensiones estudiadas.

El análisis global de la información recopilada en la entrevista, la observación directa y la base de datos arroja los resultados presentados en la Figura N° 1.

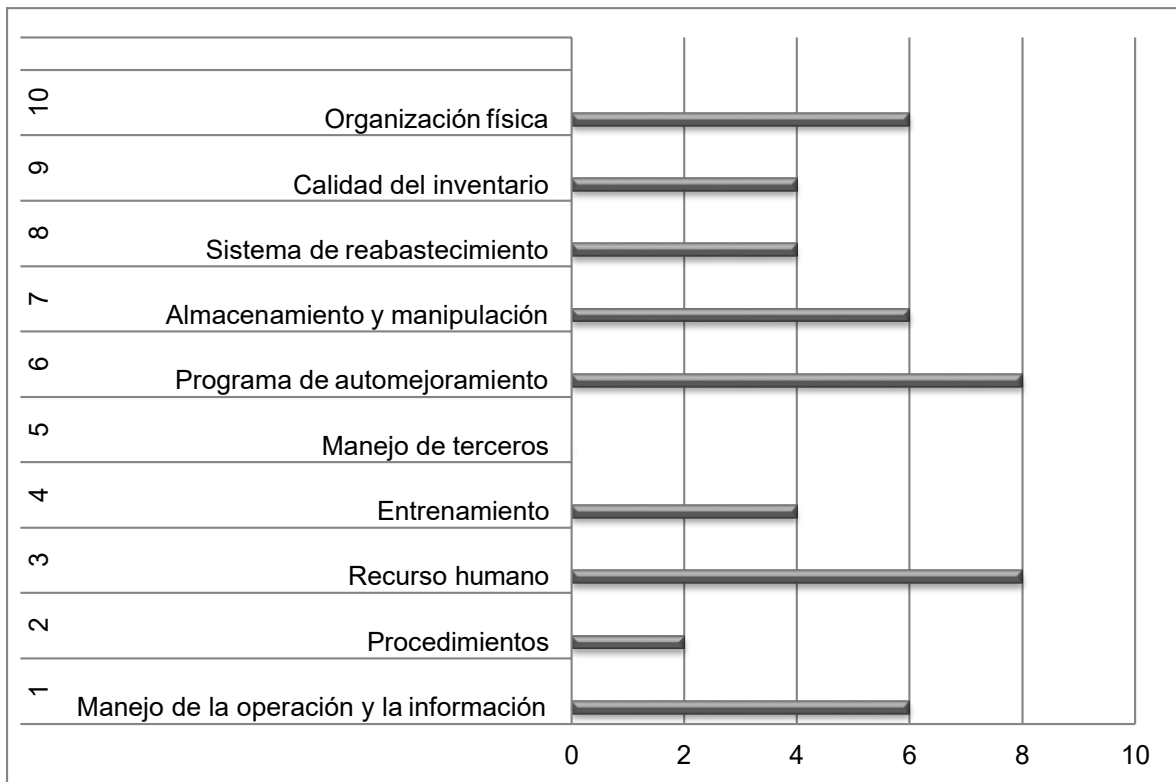


Figura N° 1: Situación actual en el depósito de suministro. Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se brinda un análisis acompañado con datos que justifican la determinación del nivel de madurez en cada dimensión abordada en el modelo de almacén de clase mundial. Las mismas son: manejo de la operación y la información, procedimientos, recurso humano, entrenamiento, manejo de terceros, programa de automejoramiento, almacenamiento y manipulación de mercancías en general, sistema de reabastecimiento, calidad del inventario y organización física.

3.1.1. Manejo de la operación y la información

En ésta dimensión se alcanza un valor cuantitativo igual a 6 como muestra la Fig. N° 1, representado por las siguientes características de funcionamiento.

El depósito cuenta con un sistema informático diseñado para recibir pedidos internos y externos a la institución, como así también realizar remitos y revisar órdenes de compra. Además, dispone información detallada de cada uno de los insumos permitiendo el seguimiento de los mismos desde que ingresan hasta que egresan del depósito. Los campos que maneja el sistema son los siguientes: código de la referencia, descripción, fecha de ingreso y de egreso, cantidad, precio,

proveedor, movimientos, servicio que lo solicita, estado, disponibilidad y número de orden de compra.

El sistema permite hacer un corte para conocer datos de inventario, diferencias y ajustes en el mismo. La depuración de obsoletos se hace de forma sistemática y bajo proceso definido.

Se dispone de indicadores básicos como rotación, meses de inventarios, nivel de obsoletos, entradas y consumos detallados, sin embargo los mismos no se usan sistemáticamente para las mejoras.

Para complementar la información disponible en el almacén, se utilizan planillas de cálculos. En las mismas se cargan las fechas de entrada de los insumos con su respectivo proveedor, número de remito, código, descripción, cantidad y número de lote. Los archivos generados en este programa se comparten con el área de compras y con la dirección administrativa de la institución. Mediante el uso de estos sistemas se cuenta con buena disponibilidad y uso de la información con la salvedad que no todos los insumos se ingresan al sistema informático con fecha de vencimiento y por ende no cuentan con un sistema que alerte sobre la proximidad de vencimiento de los productos.

Asimismo, la organización física no respeta el sistema FEFO (First expired first out), es decir que lo primero que vence es lo primero que sale, lo que conlleva a que muchas referencias se venzan en las estanterías por ausencia de alertas que permitan tomarlo en consideración al momento de preparar los pedidos.

La mayoría de los insumos cuentan con un lugar asignado. No obstante, cuando ingresan al depósito y son ingresados al sistema no se explicita la ubicación de los mismos, como pasillo y estantería.

312 Procedimientos

En la Fig. N° 1 se ve que la segunda dimensión consigue un valor igual a 2 representado por el hecho que todos los procesos efectuados en el depósito, recepción, almacenamiento, preparación de pedidos y despacho, están definidos, el personal debe respetar y seguir determinados pasos para que las actividades se ejecuten de manera correcta. Sin embargo, estos procedimientos no están escritos formalmente, no se miden ni se controlan. Ante un inconveniente, una duda o un error en la ejecución de las tareas el personal debe consultar al encargado del depósito, quien resuelve la situación de manera ad hoc. Cuando surgen cambios de procedimiento, los mismos son comunicados de forma verbal al personal con la consecuente confusión potencial.

Además, no poseen un manual de funciones sobre los diferentes cargos del almacén con criterios de calidad y factores críticos de éxito.

313 Recurso humano

Con respecto al factor recurso humano, la Figura N° 1 ilustra un valor alcanzado igual a 8. En relación a las particularidades de este punto se relevó que el encargado del depósito es quien está a cargo del personal, emite las órdenes y determina la forma de trabajar, ocupando el rol de líder dentro del grupo. Está preparado para ejecutar todas las tareas que se desarrollan en el área de trabajo y conoce sus detalles. La administración, que involucra la gestión de proveedores, la carga de datos y la atención telefónica, son llevadas a cabo por una empleada capacitada para el desarrollo de las mismas. Cuando la situación lo requiere, también participa en el resto de los procesos del almacén. En cambio, las actividades que requieren un mayor esfuerzo físico como recepción de mercadería, almacenamiento, preparación de pedidos y despacho son realizadas por el resto del personal sin asignación predeterminada.

Al observar el desempeño del equipo de trabajo se puede detectar la conformación de subgrupos por afinidad entre las personas. Por otra parte, como aspecto positivo se destaca la flexibilidad y buena predisposición de las personas, demostrando capacidad de aprendizaje y poca resistencia al cambio.

314 Entrenamiento

La dimensión entrenamiento logra un valor igual a 4 como se observa en la Figura N° 1. En este punto la capacitación permite que las personas adquieran mayor información y conocimientos sobre las actividades que desarrollan. Asimismo, el entrenamiento del personal mejora la manera de llevar a cabo las tareas que les han sido asignadas, conociendo sus responsabilidades y permitiendo ser conscientes de sus expectativas personales, fomentando así un aumento del rendimiento y mejores resultados. Sin embargo, la organización de referencia posee una planificación escasa sobre capacitación y entrenamiento.

En el último año, el personal administrativo del depósito fue capacitado en sistemas de gestión. No existe un plan de capacitación sistemático que se cumpla de manera estricta todos los años y para todos los miembros. Además, una vez recibida la capacitación, no se da continuidad al entrenamiento ni a la evaluación por lo que no hay realimentación de los resultados e información sobre el efecto provocado en el desempeño del personal.

Por otra parte, todos los integrantes del equipo de trabajo conocen las tareas que llevan a cabo el resto de sus compañeros, por lo que es posible realizar determinadas rotaciones de puestos en caso de que alguno de ellos se ausente. Es decir, la administrativa y el encargado colaboran en las actividades de recepción de mercadería, almacenamiento, preparación de pedidos y despacho. En cambio, el resto del personal no accede a la gestión de proveedores, la carga de datos y la atención telefónica.

En las situaciones de requerimiento de nuevo personal, el encargado realiza una inducción con el fin de que la persona ingresante se interiorice con el área de trabajo y las actividades a realizar. No obstante, no se lleva a cabo de manera formal ya que no se cuenta con un programa de inducción consecuente.

31.5. Manejo de terceros

El depósito no cuenta con servicios tercerizados, sino que todos los procesos son llevados a cabo en las instalaciones propias y por personal interno. Por lo tanto, este punto no corresponde ser analizado.

31.6. Programa de automejoramiento

El presente punto clave exhibe un valor igual a 8 en la Figura N° 1. Este punto contempla un programa de automejoramiento, el cual permite identificar y corregir aquellas deficiencias que alteran la calidad de los servicios o procesos. En particular, el almacén cuenta con un programa que, si bien no se encuentra explicitado como tal, está destinado a evaluar el cumplimiento de metas y objetivos. Para eso, todos los meses la dirección administrativa de la institución solicita un informe sobre un determinado tema que se quiere analizar. Dicho informe es presentado y explicado por el encargado del depósito en un encuentro denominado "Reunión de objetivos". De esta forma, se logran evaluar los resultados administrativos y operativos del almacén en un momento específico. Si bien los objetivos del depósito están definidos y el personal los conoce, no están formalizados.

Por otra parte, se designa a la autoinspección como la actividad basada en el compromiso de todo el personal, la cual puede derivar en un plan de acción que ayude a corregir las deficiencias que se presenten y mejore el desempeño del almacén. En el caso de estudio, durante los últimos meses se han implementado auditorías propias con la finalidad de mantener el orden y el control de los insumos, sin embargo no se ha definido una periodicidad de aplicación ni se generan informes de los resultados. Los errores más frecuentes se evidencian al revisar el stock y compararlo con el registrado en el sistema.

31.7. Almacenamiento y manipulación

En referencia a la dimensión almacenamiento y manipulación la Figura N° 1 muestra un valor igual a 6. Para caracterizar este punto se recurre a una descripción de los sectores físicos.

El depósito cuenta con planta baja y primer piso. Este último se encuentra dividido en dos partes separadas físicamente y con asignación de productos determinados. A continuación, se explica la situación actual de cada sector de almacenamiento:

- **Planta baja:** Está conformada por la oficina administrativa, los muelles de carga y descarga y puerta de acceso, la zona de preparación de pedidos y la de almacenamiento. Esta última posee 19 estanterías convencionales, donde los insumos se organizan por sector (programas de salud, odontología, nutriciones, descartables, medicamentos en todas sus presentaciones, laboratorio, drogas de fabricación, esterilización, entre otros). También dispone de 2 heladeras y un freezer donde se colocan reactivos y medicamentos que necesitan de refrigeración. Además, cuenta con pallets que permiten almacenar en bloque, la mercadería de mayor peso como, por ejemplo, cajas de leche en polvo, sueros, bidones para limpieza y resmas de hojas.
En este sector se observan pasillos bloqueados por cajas o bolsas con insumos que esperan destino de ubicación de almacenaje o despacho y se percibe ausencia de pasillos señalizados claramente.
- **Primer piso, sector 1:** Cuenta con 9 estanterías convencionales destinadas al almacenamiento de productos de limpieza y de librería. Además, posee 3 estanterías convencionales adicionales reservadas para albergar todas las copias de formularios utilizados por la institución. Aquellos insumos que representan mayor volumen, como los paquetes de papel higiénico, se colocan en pallets. En general, dispone de una buena distribución y uso del espacio. Además, cuenta con un montacargas para subir o bajar gran cantidad de productos.
- **Primer piso, sector 2:** Aquí se dispone de 21 estanterías convencionales. Las mismas almacenan diversos productos como pañales, jeringas, ampollas, frascos, gasas, algodón y bobinas, entre otros. Cuenta con 2 montacargas para el transporte de los insumos.
En este sector se observan diversos inconvenientes como, algunas estanterías no aprovechan al máximo su capacidad de almacenamiento, dado que se encuentran

ubicadas a lo largo de manera consecutiva contra la pared, por lo que no disponen de pasillos que permitan acceder a ambos lados de la misma. Por otro lado, hay pasillos cuyas dimensiones son mayores a las necesarias, teniendo en cuenta el medio de manipulación utilizado para el traslado de insumos; y otros, que se encuentran obstaculizados por cajas con elementos en desuso o cajas que no disponen de estantería o pallets para su almacenamiento. También, se observa que los insumos no están almacenados siguiendo criterios de clasificación o de control de inventario. Se visualiza acumulación de productos en los pasillos del depósito y en los demás espacios libres, dificultando la circulación y el almacenamiento.

31.8. Sistema de reabastecimiento

Inherente al punto sistema de reabastecimiento, el cual alcanza una valoración de 4 puntos como indica la Figura N° 1, la instancia de reponer los insumos se lleva a cabo por medio del sistema de gestión del hospital y por personal ajeno al depósito, realizando el pedido al área de compras. Dicha reposición del inventario, en general, se efectúa mediante el sistema de punto de orden. Es decir, cuando la cantidad disponible de un determinado producto llega a un valor mínimo establecido, se ordena una nueva reposición del mismo. Sin embargo, los medicamentos fabricados en la institución se reabastecen a partir de la planificación de consumo y tiempos de producción. En este caso, se planifica su elaboración. No obstante, si bien ambos sistemas están destinados a evitar el faltante de productos, el almacén no utiliza indicadores que permitan visualizar y comprobar la eficacia de los mismos. Otra debilidad es que, ante la falta de periodicidad de los controles de inventario real versus el de sistema, los datos arrojados por este último en ocasiones no resultan confiables, generándose desajustes.

31.9. Calidad del inventario

En lo concerniente a la calidad del inventario, el cual registra un 4 en la Figura N° 1, el ingreso de mercadería al depósito es controlada por el personal de forma manual con su respectivo remito. Se realiza el conteo abriendo los paquetes o las cajas recibidas y constatando si los insumos que ingresan se corresponden con los solicitados. Se carece de tecnologías de captura y de transmisión de datos como código de barras. Una vez realizada la revisión y el control, se ingresan al sistema informático y actualizan las cantidades recibidas. No obstante, es usual observar diferencias entre las cantidades físicas y las de sistema, representando poca confiabilidad en los datos arrojados por sistema.

Por otra parte, para controlar el inventario disponible en las estanterías, se realizan auditorías bajo la modalidad de inventario rotativo. Es decir, el procedimiento se lleva a cabo mediante sectores, evitando así la interrupción de las demás operaciones del depósito. La periodicidad es de seis meses/un año y es realizado en conjunto con personal externo al depósito. Dicho procedimiento arroja un informe con sugerencias que permitan resolver las deficiencias encontradas. No obstante, las acciones correctivas no siempre son llevadas a cabo.

Otro punto a tener en cuenta en la calidad del inventario es el vencimiento de los insumos. Como se explicó en el apartado manejo de la operación y la información, no toda la mercadería es ingresada al sistema con fecha de vencimiento por lo que, si el personal no está alerta sobre esta situación, los productos se vencen en las estanterías con los consecuentes costos asociados.

3.1.10. Organización física

La dimensión organización física alcanza una valoración de 6 representada en la Figura N° 1. Sobre este aspecto, la recepción de proveedores y el despacho a centros de atención primaria y hospitales zonales se realiza durante la jornada de trabajo sin restricción horaria. En cambio, los pedidos internos solicitados por los servicios se entregan sólo un día definido en la semana.

El área del almacén es de 610 m² donde se cuenta con dos muelles utilizados para la carga y la descarga de mercancías y una puerta de acceso para el ingreso de personal de la institución y despacho de pedidos internos. En todos los casos, el ingreso al depósito es restringido, por lo que las personas ingresan con autorización una vez que se han anunciado.

Cada proceso del almacén tiene un espacio físico designado, relativo a las tareas administrativas, la recepción y almacenamiento de la mercadería y los sectores donde se despachan los pedidos. No obstante, se observa que no hay un área delimitada para la colocación de insumos vencidos o basura a la espera de su recolección.

3.2. Calculo del factor de posicionamiento

Para finalizar el análisis cuantitativo y contar con un valor que resume el estado general del almacén, se calcula el F.P. Para determinarlo se utiliza la Ecuación N° 1.

$$F. P. = \frac{1 \times (2) + 0,5 \times (3) - 1 \times (4)}{9} = -0.055$$

Ecuación N° 2: Factor de posicionamiento actual del depósito de suministro. Fuente: Elaboración propia a partir de [6].

Esta cifra representa el estado actual de madurez, con un valor negativo de 5 %, y muestra que el depósito de suministro de la institución de referencia está a mitad de camino para alcanzar un almacén de clase mundial.

4. CONCLUSIONES

La metodología de almacén de clase mundial facilita la realización del diagnóstico del estado actual del almacén de suministro de la institución pública de salud, caso de estudio del presente trabajo, y conforma una herramienta de análisis y posicionamiento, que permite reconocer dónde están las mayores debilidades, cómo y por dónde avanzar, brindando una visión de las medidas que deben adoptarse con el fin de lograr el progreso de la madurez. Como resultado de este análisis se determina que la organización de referencia está casi a mitad de camino de alcanzar las exigencias del almacén de clase mundial, con un F.P. igual a -5%.

El resultado obtenido en el F.P. refleja que los procesos logísticos recepción, almacenamiento, preparación de pedidos y despacho, están definidos básicamente pero sin medición ni control. Para avanzar en la madurez se debe trabajar sobre el control de inventario de modo de eliminar las diferencias entre las cantidades físicas y las de sistema, invertir recursos en capacitaciones y utilizar el sistema informático disponible para la generación de indicadores que permitan identificar puntos de mejoras. A su vez, en la zona de almacenamiento desarrollar criterios de ubicación para cada insumo, mejorar la distribución de las estanterías y el uso del espacio en el almacén despejando pasillos.

Por otra parte, se observa que los elementos mejores puntuados, recurso humano y programa de automejoramiento, son clave para elevar la calificación de los puntos restantes. Contar con un personal comprometido en sus actividades y dispuesto a trabajar en equipo, sumado al interés por mejorar y evaluar el cumplimiento de metas y objetivos incentiva el trabajo diario.

A futuro resulta factible aumentar el F.P. aplicando mejores prácticas logísticas sencillas en manejo de la operación y la información, almacenamiento y manipulación, calidad del inventario y organización física, gracias al uso de sistemas tecnológicos y principios de diseños en el lugar físico. En cambio, los puntos restantes resultan más complejos de modificar ya que involucran a otras áreas de la institución y no corresponden a tareas exclusivas del almacén.

En este sentido, se destaca que la metodología de almacén de clase mundial incentiva a la mejora continua de los procesos logísticos. El cálculo del F.P. actúa como elemento de motivación constante, cuantificando el avance obtenido y fomentando el trabajo para realizar el próximo diagnóstico, en búsqueda de mejores resultados.

El aporte de esta investigación toma sentido en el contexto social con el logro de ejecución de cambios, haciendo que los procesos logísticos desarrollados en el almacén se tornen más eficientes, los resultados se eleven y la madurez avance. La finalidad es resolver problemas cotidianos e inmediatos y mejorar prácticas concretas, centrándose en brindar información que guíe la toma de decisiones para programas y reformas estructurales. Así, el impacto recae directamente en el servicio de salud brindado repercutiendo de manera indirecta en la sociedad y la población que pertenece al radio de cobertura del hospital municipal de la ciudad de Olavarría, provincia de Buenos Aires. Se busca propiciar el cambio social, transformar la realidad y que las personas tomen conciencia de su papel en ese proceso de transformación.

Las investigaciones futuras deben continuar avanzando en la ejecución de las propuestas enmarcando el trabajo en una investigación – acción, donde tanto los docentes investigadores como los empleados directivos y operativos de la institución interactúan, trabajan de manera conjunta, contribuyen en la implementación de herramientas logísticas y por ende en el avance de la madurez de los procesos logísticos desarrollados en el depósito de suministros.

De este modo, se investiga al mismo tiempo que se interviene, realizando el estudio de una situación social con miras a mejorar la calidad de la acción dentro de ella.

5. REFERENCIAS

- [1] Moradi-Moghadam M., Safari H., Maleki M. (2013). A novel model for business process maturity assessment through combining maturity models with EFQM and ISO 9004:2009. *International Journal Business Process Integration and Management*, v 6, n 2, p. 167-184.
- [2] Lahti, M., Shamsuzzoha, A., Helo, P. (2009). Developing a maturity model for supply chain management. *International Journal of Logistics System and Management*, v 5, n 6, p. 654-678.
- [3] Duffy, J. (2001). Maturity models: blueprints for e-volution. *Strategy Leadership*, v 29, n 6, p. 19-26.

- [4] McCormack Y Lockamy III. (2004). The Development of a Supply Chain Management Process Maturity Model Using the Concepts of Business Process Orientation. *Supply Chain Management Journal*, v 9, n 4, p. 272-278.
- [5] Siqueira, J. (2005). O Modelo de Maturidade de Processos: como maximizar o retorno dos investimentos em melhoria da qualidade e produtividade. In: *ABM Congress*, 60, Belo Horizonte, Brasil.
- [6] Marín Vásquez, R. (2014). *Almacén de clase mundial: “El camino a la rentabilidad en el manejo de almacenes y centros de distribución”*. Medellín, Colombia: Centro Editorial Esumer.
- [7] García, L. A. (2010). *Gestión Logística Integral. Las mejores prácticas en la cadena de abastecimiento*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- [8] Yin, R. (2014). *Case study research: design and methods*. 5th ed. Thousand Oaks, CA, US: Sage Publication, Inc.
- [9] Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C.; Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. 5º ed., México D.F, México: McGraw-Hill.

Modelado y simulación de eventos discretos de un sistema de producción textil para evaluación del desempeño de una línea de producción

(1) Perez Colo, Ivo; (2) De Paula, Mariano;
(3) Roark, Geraldina Yesica; (4) Chiodi, Franco; (5) Urrutia, Silvia*

**Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Av. Del Valle 5737, Olavarría, 7400, surrutia@fio.unicen.edu.ar
(1) ivoperezcolo@gmail.com; (2) mariano.depaula@fio.unicen.edu.ar; (3) groak@fio.unicen.edu.ar;
(4) fchiodi@fio.unicen.edu.ar; (5) surrutia@fio.unicen.edu.ar*

RESUMEN.

La optimización de la producción y reducción de desperdicios con desempeños sustentables mediante el planteo de objetivos tanto económicos, sociales y de impacto ambiental será la base fundamental en los modelos de negocios en la nueva era de la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0. La integración de diversas tecnologías de automatización junto con Internet Industrial de las Cosas ha abierto la posibilidad para las formulaciones de sistemas autónomos para la toma de decisiones y gestión de recursos de planta. En este sentido, estos sistemas de toma de decisiones muchas veces se apoyan en modelos de simulación del sistema productivo. La simulación de eventos discretos es una herramienta atractiva para el desarrollo de modelos de simulación computacionales que sirvan como apoyo a los sistemas de toma de decisiones. Sin embargo, la alta complejidad de los sistemas productivos actuales imponen un desafío para la tarea de modelado donde será imperioso usar otras herramientas de análisis de sistemas. En este trabajo, se propone un modelo de simulación de eventos discretos de una línea de producción de una empresa textil imprescindible para la optimización y planificación de la producción. Se desarrolla una estrategia en etapa, comenzando por el desarrollo del mapa de flujo de valor, para la reducción del tiempo de ciclo y, posteriormente se desarrolla un modelo simplificado de simulación de eventos discretos para la línea de producción textil.

Palabras Claves: Optimización, Mapas de Flujo de Valor, Simulación de Eventos Discretos, Industria Textil

ABSTRACT

The optimization of the production and the reduction of waste with sustainable performance through the establishment of economic, social and environmental impact objectives will be the fundamental basis in business models in the new era of the Industry 4.0. The integration of various automation technologies together with the Industrial Internet of Things has opened the possibility for autonomous system formulations for decision making and plant resource management in the modern factories. In this sense, these decision-making systems often rely on simulation models of the productive system. Simulation of discrete events is an attractive tool for the development of computer simulation models that serve as support for decision-making systems. However, the high complexity of current production systems imposes a challenge for the modeling task where it will be imperative to use other systems analysis tools. In this work, we propose a simulation model of discrete events of a production line of a textile company which is essential for the optimization and production planning. A stage strategy is developed, beginning with the development of the value stream map, for the reduction of the cycle time and, subsequently, a simplified model of simulation of discrete events for the textile production line is developed.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, debido a la creciente irrupción de la tecnología en los canales de comercialización así como la creciente competencia global entre las compañías para fidelizar sus clientes y captar nuevos, ha dado lugar a la posibilidad de la personalización de los productos ofrecidos que van, desde simples productos de uso cotidiano hasta los más complejos, como por ejemplo los automóviles. Por ello, es imperioso para las empresas de producción poder adaptarse no solo a las necesidades, sino también a los requerimientos de los clientes. Ya no sólo se debe satisfacer sus necesidades sino que también se deben atender de manera casi personalizada de acuerdo a sus requerimientos. Lo anterior, sin duda afecta las formas y composición de los sistemas productivos actuales. En este sentido, los sistemas de producción modernos ya no deberían ser concebidos para procesar grandes lotes de productos (economía de escala), sino que también deberán ser más sofisticados para poder adaptarse cada vez más a pequeños lotes de pedidos de producción y, muchas veces, por una única vez [1]. El caso de la industria textil, es un caso típico afectado por los constantes vaivenes de la moda que tienen cada vez ciclos más cortos, con lo cual los sistemas fabriles deberán tener cada vez más aceitadas las estrategias de reconfiguración de sus sistemas productivos para hacer frente a estas situaciones de manera óptima y sustentable [2].

En principio, para responder a cambios rápidos y fluctuaciones de la demanda y así como los constantes cambios de diseño de productos han obligado a la industria manufacturera, como lo es la industria textil, en poner énfasis en la incorporación de sistemas automatizados para mejorar la productividad. Sin embargo, esto sólo no es suficiente para atender eficazmente los requerimientos actuales. La integración de diversas tecnologías de automatización con las tecnologías de información y comunicación junto al nuevo paradigma de Internet Industrial de las Cosas han abierto una plétora de posibilidades para las formulaciones de sistemas autónomos para la toma de decisiones y gestión de recursos de planta [3]. Los modelos de simulación de los sistemas productivos son, sin dudas, herramientas indispensables para la toma de decisiones. Sin embargo, la complejidad de los sistemas productivos actuales hace del modelado de sistemas una tarea compleja y, por ello, es necesario contar con una etapa de análisis exhaustiva del sistema productivo. Los mapas de flujo de valor (que abreviaremos con el acrónimo VSM por su sigla en inglés, *Value Stream Mapping*) es una herramienta proveniente del campo de la manufactura esbelta (*lean manufacturing*) e introducida por la compañía Toyota [4,5] que puede ser usada para la comprensión, descripción, visualización y análisis de un proceso de manufactura completo previo a la fase de modelado y simulación [6].

El desarrollo de VSM en pequeñas y medianas empresas (PYMEs), incluidos diversos entornos de fabricación, no es una tarea fácil [7]. Es aún más desafiante, especialmente cuando el procesamiento del producto es más complicado y presenta flujos no lineales. Además, el análisis de VSM convencional no es una tarea trivial en los entornos de fabricación con mano de obra intensiva. Por ejemplo, en el trabajo [8] se presentó un sistema multi-agente basado en información en línea usando microcomputadoras Raspberry y placas Arduino, para la visualización de un VSM con flujos de materiales no lineales. Los VSM principalmente permiten visualizar el flujo de información y materiales a lo largo de un sistema productivo [9] e incluye todo, es decir tanto las actividades que agregan valor como aquellas sin valor agregado y proporciona una vista gráfica de los elementos del proceso por los que el cliente está dispuesto a pagar [10]. Cuando el VSM se combina con las metodologías de simulación [11,12], tiene un efecto sinérgico positivo. Por una parte, los comportamientos que no se pueden abordar mediante la vista estática, proporcionada por el mapeo del flujo de valor, pueden ser mejorados en la fase de simulación. Por otra parte, el VSM añade un valor agregado para la etapa de conceptualización y desarrollo de los modelos de simulación [13]. Entendiendo la simulación como un proceso de experimentación a través de un modelo lógico - matemático construido en un programa de computadora, a imagen y semejanza de un sistema real [14,15], los VSM aportan información depurada para el análisis y síntesis del sistema estudiado previo a la etapa de modelado computacional.

La metodología de simulación [15], involucra la construcción de un modelo matemático que representa la situación sobre la cual se deben tomar decisiones y su uso para estimar el efecto y resultado de una estrategia, lo que se conoce como análisis de sensibilidad. La ventaja de su aplicación radica en que permite imitar un proceso u operación del mundo real, como herramienta de análisis para evaluar el impacto de cambios, sin que sea necesario modificar el sistema real. Particularmente, los sistemas de producción manufacturera son un caso especial de sistemas dinámicos híbridos, conocidos como sistemas de eventos discretos [16]. En este sentido, pueden ser modelados y simulados bajo el paradigma de simulación de eventos discretos [17]. La simulación de eventos discretos es una herramienta de análisis que se difunde rápidamente en el ambiente empresarial, comprobando su utilidad para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la planeación de la producción y los inventarios, y con el diseño de los sistemas de producción y sus cadenas de suministro [18]. En síntesis, la aplicación de esta herramienta permite simular situaciones complejas de la realidad bajo análisis, permitiendo extraer información y datos

relevantes para la toma de decisiones, como estadísticas e indicadores de seguimiento, que reducen la incertidumbre y riesgos asociados a las decisiones realmente ejecutadas.

Combinando la metodología VSM con la simulación de eventos discretos es posible obtener modelos más acabados de la realidad, sobre todo para sistemas de producción complejos en los que existe la combinación de mano de obra intensiva, con sistemas automatizados y además se presentan flujos no lineales de materiales [19]. En este trabajo, se aborda la problemática de simular el proceso productivo de una planta textil para su posterior análisis y optimización.

2. METODOLOGÍA.

La metodología de trabajo propuesta consiste en dos etapas principales consecutivas para lograr obtener un modelo de simulación computacional fidedigno de la realidad observada. La primera etapa reside en el desarrollo del mapa de flujo de valor de la empresa seleccionada como caso de estudio. Dicho proceso será la base para realizar la segunda etapa del trabajo, la cual consiste en el desarrollo de un modelo simplificado de simulación de eventos discretos para efectuar un análisis integral del estado de situación del proceso de manufactura textil en estudio. Tales etapas se presentan en detalle a continuación.

2.1. Mapas de Flujo de Valor (VSM)

El VSM es un método de diagrama de flujo que se utiliza para ilustrar, analizar y mejorar los pasos necesarios para producir un bien o prestar un determinado servicio. Como elemento clave de la metodología Lean manufacturing, VSM examina el flujo del proceso y el flujo de información de un proceso, desde el punto de partida hasta la entrega al cliente. Al igual que otros tipos de diagramas, utiliza un sistema de símbolos para representar tareas y flujos de información. VSM es particularmente útil para detectar y eliminar desperdicios. Los elementos de un VSM están organizados para indicar si representan o no un valor agregado desde el punto de vista del cliente y así eliminar aquellos que no agregan valor.

2.1.1. Objetivo del VSM

El objetivo principal del método del VSM es eliminar todo tipo de desechos en cualquier proceso, no solo en la fabricación. En un VSM se detalla cada paso importante en el proceso y se determina cómo agrega valor (si lo hay) desde el punto de vista del cliente. Centrarse en el valor permite que el análisis permanezca enfocado en lo que realmente importa, en busca de un incremento de competitividad para la empresa en cuestión. El VSM puede usarse continuamente en un proceso de mejora continua para optimizar gradualmente los pasos del proceso así como también en una etapa de síntesis y análisis del sistema [20].

El VSM, como cualquier buena representación visual, es una herramienta efectiva para la comunicación, la colaboración e incluso el cambio cultural de una organización. Los responsables de la toma de decisiones pueden ver claramente el estado actual de un proceso y las fuentes de desperdicio, incluidos problemas como demoras en el proceso, tiempo de inactividad excesivo, restricciones y problemas de inventario. La construcción de los mapas de flujo de valor permite no solo conocer el sistema analizado, sino también comprender las interrelaciones entre cada uno de los actores involucrados, lo cual es de suma importancia para la subsecuente identificación de puntos de mejora, por ejemplo mediante un análisis exhaustivo en simulación por computadora.

2.1.2. Simbología del VSM

Los símbolos VSM varían según la ubicación, pero todos se dividen en las siguientes cuatro categorías: proceso, bienes, información y general. Estos símbolos pueden ser complicados, aunque algunos tienen un significado entendible al instante, por ejemplo, un ícono de camión para ilustrar envíos o gafas para indicar un artículo para revisar. Entre los símbolos de uso más común encontramos los símbolos relacionados con los materiales, los relacionados con la información y de uso general. En la Figura 1 se presentan los principales símbolos involucrados en los diagramas VSM.

Materiales	Representa	Información	Representa
Procesamiento	Proceso de producción o realización del servicio. Un proceso, máquina, departamento, u operación. El número representa la cantidad de máquinas, departamentos, etc.	←	Fijo manual de información, tales como notas o informes.
XYZ Organización	Fuentes externas. Normalmente se utiliza en el inicio del proceso para representar un proveedor y al final de un proceso para representar al cliente.	⚡	Fijo electrónico de información, como el intercambio electrónico de datos (EDI) o Internet
C/T = 45 seg C/O = 30 min 2 Ciclos 27,600 seg 2 % desperdicio	Recuadro de datos. Indica información importante necesaria sobre otro icono.	Programa semanal	Información
I	Inventario. Inventario almacenado entre dos procesos.	20	Hoja de Producción (si las líneas punteadas indican el recorrido lento)
300 pcs / 1 día	Envíos externos (unidad de transporte)	▨	Retirada Hoja
Lunes & Jueves	El movimiento de material de producción por empuje (PUSH)	▽	Señal Hoja
■■■■■▶	El movimiento de materiales al siguiente paso del proceso	⊙	Sección de trabajo - Pull Ball
→	Supermarket	🖨	Tarjeta Hoja
┌ ├ └	Retirada (Withdrawal)	📁	Hoja arbol por bits
⦿	La transferencia de cantidades controladas de material entre los procesos en una secuencia "Primero en entrar primeros en salir"	OX OX	Niveles de carga
max. 20 piezas — FIFO →		👁	"Go See" Programación de la producción
		📢	Generales: Iconos
			Representa
			"Tabla" Bitárea de mejora"
			Banco inventario de seguridad
			Operador
			Horas disponibles / horario / línea de tiempo
			Tiempo total

Figura 1. Simbología VSM. Versión adaptada de www.lucidchart.com.

2.1.3 Procedimiento de creación de un VSM

La creación de un VSM es un proceso sistemático, de aplicación general que debe ser realizado por etapas y que se puede aplicar para la conceptualización de diversos sistemas. Se puede usar tanto para modelar procesos de fabricación, de ingeniería de software, industria de servicios, servicios de salud u otros. A continuación se presenta una síntesis abreviada de los principales pasos que deben ser tenidos en cuenta para la creación de un mapa de flujo de valor. Para un detalle pormenorizado de las etapas, recomendamos al lector ver el trabajo [4] y las referencias allí indicadas.

1. Identificar el producto y/o familia de productos a estudiar.
2. Obtener soporte administrativo para la obtención de información relevante y pertinente.
3. Definir el proceso, identificando claramente los límites y su alcance.
4. Definir claramente las etapas del proceso, respetando los límites que se definieron en el punto anterior.
5. Estudiar las actividades y los flujos de información que generan valor.
6. Documentar cada paso significativo que se necesita para crear el valor del producto.
7. Recopilar datos de proceso a lo largo del flujo de valor (por ej. el tipo y el tamaño del stock, la duración del ciclo, el tiempo de cambio, la disponibilidad y el tiempo de inactividad del proceso o las máquinas, el número de trabajadores, el trabajo en rotación, las horas de trabajo disponibles y el tamaño de los lotes).
8. Mapear el movimiento del producto y los flujos de información.
9. Identificar inventarios permanentes y temporales.
10. Crear una línea de tiempo identificando los tiempos de proceso y los tiempos de reposición a través de las etapas del proceso.

11. Identificar ineficiencias (por ej. stock excesivo, tiempo de inactividad demasiado largo, problemas de calidad, etc.).
12. Crear el mapa de flujo de valor.

La Figura 2 muestra el gráficamente el proceso de creación de un VSM mediante una síntesis de los pasos previamente descritos. Esta metodología de análisis brinda información valiosa para la generación de los modelos conceptuales para el análisis, síntesis y desarrollo del modelo de simulación de los procesos de fabricación.



Figura 2. Metodología VSM.

2.2. Simulación de eventos discretos

Los modelos de simulación representan procesos y situaciones complejas de la realidad, en función de los eventos que puedan ocurrir, por lo que pueden representar tanto situaciones típicas de un proceso productivo (roturas de inventarios, fallas de equipos, aparición de imponderables, entre otros), como un determinado nivel de utilización de recursos relacionados con dichas situaciones. Asimismo, contempla las probabilidades de que ocurran cada uno de los eventos según se asocian con las características de cada uno de los elementos que intervienen. En su conjunto, todos estos elementos simulan la evolución natural del proceso analizado. De esta forma los modelos permiten conceptualizar sobre un proceso productivo y su gestión en términos de los eventos que puedan suceder y cuyo impacto afecta tanto a los clientes como a otros componentes del sistema (p. ej., el uso de recursos). En definitiva, la simulación de eventos discretos es una técnica que se puede utilizar para estudiar los sistemas y procesos cuyos estados van cambiando con el tiempo de forma discreta. Para llevar a cabo una simulación de un sistema particular se deben seguir una serie de etapas, ampliamente identificadas y discutidas en la literatura científica [21,22] y que a continuación resumimos:

1. Formulación de la problemática y determinación de los objetivos: consiste en establecer de forma clara, cuál es el problema que se pretende abordar, qué objetivos globales se desean alcanzar y con qué recursos será necesario contar para lograrlos en el tiempo previsto.
2. Modelado del sistema: se trata de crear el diseño del sistema que permita su simulación por computadora. El modelo debe reflejar la estructura interna del sistema y sus características, de modo que los resultados que se deriven sean extrapolables al sistema real.
3. Implementación del modelo en computadora.
4. Verificación del modelo de simulación: se debe comprobar que el programa resultante se comporta según lo deseado.
5. Validación del modelo. Consiste en comprobar que el modelo refleja convenientemente el mundo real.
6. Diseño de los experimentos de simulación.
7. Ejecución de la simulación.
8. Análisis de resultados.
9. Documentación de los experimentos.

La Figura 3 muestra la relación entre un modelo de simulación por computadora y la realidad. Como puede verse, a partir de un análisis de "realidad" se establece el modelo conceptual. Para llevar a cabo ese análisis de la "realidad", en este trabajo proponemos el uso de los VSM (explicada en la Sección 2.1). Como lo mencionamos oportunamente, el VSM va a proporcionar información depurada para los requisitos de los puntos 1 y 2 antes mencionados. Una vez desarrollado y validado el modelo conceptual, se debe transcribir dicho modelo a un lenguaje de computadora. Para ello, pueden utilizarse software de simulación específicos. En este trabajo, como indicaremos más adelante, el modelo computacional se desarrolla en el software *Flexim*. Luego de implementado y verificado el modelo computacional, se pueden realizar simulaciones primero para contrastar el modelo con la realidad y segundo para simular diferentes escenarios y

detectar situaciones de mejoras. El resultado del análisis de simulación es sin duda, una herramienta que sirve de apoyo a la toma de decisiones, ya sean para tener que ajustar algún punto del proceso o rediseñarlo parcial o totalmente.

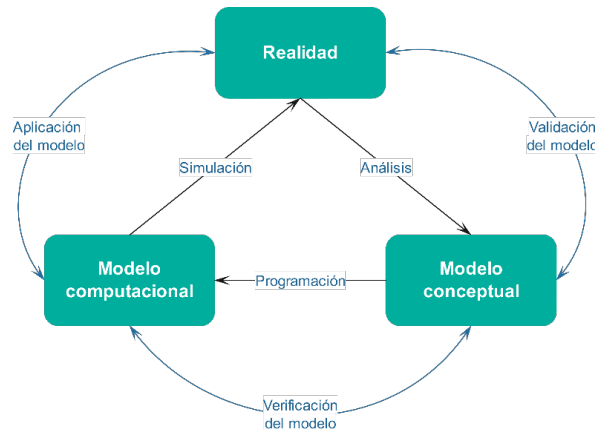


Figura 3. Técnica metodológica para la modelización y simulación de eventos¹.

3. CASO DE ESTUDIO

3.1 Breve descripción de la organización

Como punto de partida es necesario presentar la organización en la que se realizará el presente trabajo. Esto permitirá definir la situación actual y los objetivos y alcance del VSM.

El caso de estudio analizado corresponde a una empresa perteneciente al sector de confección textil que fabrica prendas de vestir para primeras marcas de etiqueta como *Levi's*, *Lee*, *Legacy*, *Wrangler*, *Key Biscayne*, *Le Utthe*, *Bowen*, *Lacoste*, *Penguin*, *Timberland*, *Montagne*, *Kevingston*, entre otras. También ofrecen servicio de confección a diseñadores de indumentaria independientes que deseen mejorar su producción por medio de la industrialización.

Los productos fabricados por la empresa son prendas de vestir confeccionadas íntegramente en la planta. Hasta no hace mucho tiempo atrás, se producían camisas de hombre exclusivamente. Sin embargo, ante el mercado dinámico de la moda y el contexto económico, han tenido que expandirse a la producción de nuevas prendas requeridas por sus clientes. El proceso de producción abarca desde el corte de las telas hasta el planchado y empaque.

3.2 Proceso productivo

El ciclo de operaciones de manufactura implica una serie de tareas consecutivas con un objetivo final, siendo el estándar para el sector textil las descritas a continuación:

1. Selección de materia prima. Los insumos directos comprenden: tela, botones e hilos. Generalmente, con el fin de asegurar la calidad de los textiles, el propio cliente es quien las provee. Sin embargo, existen casos en que la organización se encarga de estos.
2. Digitalización y moldería. En correspondencia con el modelo de la prenda, se realiza el molde base, el cual es digitalizado. En esta etapa, se tienen en cuenta los diversos talles solicitados realizando las progresiones necesarias según la tabla de medidas. Los moldes realizados permiten confeccionar una prenda modelo, la cual debe ser aprobada para comenzar la producción completa.
3. Encimado. Se coloca la tela sobre la mesa de corte, superponiendo una determinada cantidad de capas según la cantidad de prendas a confeccionar y las limitaciones de corte. Se realiza de forma semiautomática desplazando un carro encimador a lo largo de la superficie.
4. Tizado y corte. Mediante uso de software se realiza el ordenamiento de los moldes (tizada) buscando la máxima eficiencia de espacio, tiempo y reducción de desperdicios. Posterior a esto, la tela encimada es transferida hacia la zona de corte. El mismo se realiza de forma robotizada en función de la tizada cargada. Por último, finalizado el corte de todas las piezas, se agrupan en pequeños lotes, generalmente por talle y tipo, para ser enviadas a la zona de preparación.
5. Preparado de partes. Esta tarea se realiza bajo el sistema por paquete. Consta en mantener, a lo largo de todo el recorrido hasta que comienzan a unirse las partes, paquetes de una determinada cantidad de las mismas piezas. La forma de mantenerlas unidas es mediante atadura.²

¹ Adaptado de Trends in Simulation and Planning of Manufacturing Companies. Branislav Bako, Pavol Božek.

² Unidad 1: Sistemas de trabajo en confección. Curso Técnicas de Indumentaria II. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Universidad de Buenos Aires. 2006.

Link: <http://cursos.fadu.uba.ar/apuntes/Tecnicas%20Indumentarias%20II/unidad%20n%201/lectura%20complementaria/4%20-%20produccion%20SISTEMAS%20DE%20TRABAJO%20EN%20CONFECCION%20D3N.doc>

- 5.1. Preparado de partes - Etapa 1
 - 5.1.1. Preparado de cuello. Este comprende tres piezas: solapa, ballenero y pie de cuello.
 - Fusión entretela – solapa del cuello. La entretela da soporte y rigidez a la pieza.
 - Cocido de cada una de las piezas y refilado del cuello y pie de cuello.
 - Planchado de las tres piezas.
 - Unión de pie de cuello, solapa y ballenero.
 - Corte.
 - Etiquetado según la marca de la prenda y talla.
 - 5.1.2 Preparado de puños.
 - Fusión y refilado.
 - Cocido.
 - 5.1.3 Preparado de mangas.
 - Unión de traba fina a cada manga.
 - Atraque de manga.
 - Unión de traba ancha.
- 5.2 Preparación de partes - Etapa 2
 - 5.2.1 Preparado de espalda
 - Pinzado y etiquetado en canesú.
 - Unión de espalda y canesú.
 - 5.2.2 Preparado de delanteros.
 - Planchado de delanteros.
 - Armado delanteros izquierdo y derecho.
 - Realización de ojales.
 - 5.2.3 Unión de espalda y delanteros.
6. Ensamble de partes.
Finalizada la preparación de las partes, comienza la unión final para formar la camisa. En primer lugar se unen las mangas al cuerpo de la camisa. Se cierran ambos laterales. Se unen los dos puños a los extremos de las mangas y también el cuello.
7. Terminación.
 - 7.1. Realización del ruedo inferior.
 - 7.2. Marcado de botones.
 - 7.3. Colocación de botones.
8. Acondicionamiento.
 - 8.1. Deshebrado de la camisa. Los lotes producidos, completos, son enviados a un tercero para esta tarea. En un plazo máximo de un día ingresan nuevamente al proceso general.
 - 8.2. Lavado.
 - 8.3. Secado.
 - 8.4. Planchado.
 - 8.5. Prendido y doblado.
 - 8.6. Etiquetado.
9. Preparación de pedido.
 - 9.1. Empaquetado.
 - 9.2. Embalaje.
10. Envío.

3.2 Estudio de tiempos

Para el estudio de tiempos se usó la herramienta NeoChronos. La Tabla 1 presenta el detalle de los tiempos relevados para cada tarea así como las cantidades procesadas. El lote analizado corresponde a un turno de producción de 1250 camisas de vestir, clásicas masculinas.

Tabla 1. *Estudio de tiempo del proceso de productivo.*

Tareas	Unidades procesadas	Tiempo
Digitalización y moldería	Se realiza una única vez para las 1250 camisas	Proceso: 2,5 días
Encimado	Se enciman 50 capas de tela, correspondiente a 250 camisas. Se repite 5 veces.	Setup: 8 min 5 seg Proceso: 48 min 55 seg
Tizado y corte	250 camisas. Se repite 5 veces.	Setup: 180 seg Proceso: 19 min 35 seg
Empaquetado	250 camisas. Se repite 5 veces.	Proceso: 27 min 4 seg

Tareas		Unidades procesadas	Tiempo
Preparado de cuello	Solapa	Fusión	Lote de 50 piezas. Setup: 120 seg/un (una única vez en el día) Proceso: 272,5 seg
		Refilado	Lote de 50 piezas. Setup: 319,72 seg (una única vez) Proceso: 1668 seg
		Pespunte	Lote de 50 piezas. 842,5 seg
		Dar vuelta	Lote de 50 piezas. 463 seg
		Planchado	Lote de 50 piezas. 1271 seg
	Pie	Fusión	Lote de 50 piezas. 272,5 seg
		Refilado	Lote de 50 piezas. 1668 seg
	Ballenero		Lote de 50 piezas. 2222,5 seg
	Unión solapa, pie y ballenero		Lote de 50 piezas. 3704 seg
	Etiquetado		Lote de 50 piezas. 2114 seg
	Corte		Lote de 50 piezas. 823 seg
Preparado de puños	Fusión		Lote de 50 piezas. 272,5 seg
	Refilado		Lote de 50 piezas. 1668 seg
	Ruedo		Lote de 50 piezas. 281,5 seg
	Pespunte		Lote de 50 piezas. 842,5 seg
	Dar vuelta		Lote de 50 piezas. 463 seg
Preparado de mangas	Pegado traba fina		Lote de 50 piezas. 531 seg
	Atraque		Lote de 50 piezas. 437,5 seg
	Pegado traba ancha		Lote de 50 piezas. 758 seg
Preparado de espalda y frente	Preparado de espalda	Pinzado y etiquetado canesú	Lote de 50 piezas. 4057 seg
		Unión espalda y canesú	Lote de 50 piezas. 1620 seg
	Preparado delanteros	Planchado	Lote de 50 piezas. Setup: 90 seg Proceso: 1500 seg
		Armado delanteros izquierdo y derecho	Lote de 25 piezas. 250 seg
		Realización de ojales	Lote de 50 piezas. Setup: 15 min Proceso: 1725 seg
	Unión espalda y delanteros		Lote de 50 piezas. 2000 seg
Ensamblado de partes	Unión mangas a cuerpo		Lote de 50 piezas. 1890 seg
	Cerrado lateral		Lote de 50 piezas. 2850 seg
	Unión de puños		Lote de 25 piezas. 750 seg
	Unión de cuello		Lote de 25 piezas. 375 seg
Terminación	Ruedo inferior		Lote de 50 piezas. 1500 seg
	Marcado de botones		Lote de 50 piezas. 1200 seg
	Colocación de botones		Lote de 50 piezas. 3677,5 seg

4. RESULTADOS.

El presente análisis se limita al estudio del proceso productivo que va desde la selección de la materia prima hasta la etapa previa al acondicionamiento de las prendas, es decir, hasta la colocación de los botones. En una primera etapa se busca el mapa de flujo de valor del proceso de producción de camisas.

El mapa de procesos actual se puede ver directamente en el diagrama SIPOC (*Supplier- Input- Process- Output- Customer*) relevado y mostrado en la Figura 4a mientras que la Figura 4b muestra el del proceso actual para la confección de las camisas, en el que cada uno de los puntos referenciados se corresponden con las distintas tareas involucradas. Seguidamente, se procedió a la medición de tiempos, adoptando como referencia un puesto de cada tarea y los mismos se muestran en la Tabla 1. Luego, con toda esta información se realizó el Mapa de Flujo de Valor mostrado en la Figura 5.

Es importante resaltar que se consideró un 85% de eficiencia para toda la línea, asumiendo un 15% de tiempos improductivos debido a paradas imprevistas, reemplazo de materiales utilizados en la producción, realimentación de insumos y cualquier otro retraso que pudiera surgir. Además, como se presentó en la Tabla 1, actualmente el proceso productivo avanza por cada lote de 50 unidades. Es decir, por ejemplo, si nos situamos en la tarea de *unión de mangas al cuerpo* (ensamblado de partes), el proceso no avanza hacia *cerrado lateral* hasta tanto se hayan unido 50 mangas al cuerpo. En los casos que existen dos puestos para una misma tarea, se fraccionan los paquetes, obteniendo 25 piezas en cada uno. Esto permite evitar cuellos de botella en el proceso, disponiendo mayor cantidad de operarios en las tareas que ha identificado la empresa como más lentas.

Para los procesos en que no se logró determinar un tiempo de *setup*, se consideró el utilizado para desarmar el paquete que recibían (39 segundos). Hasta el momento, fue posible, en base al relevamiento realizado y la información recolectada, analizar y estudiar el proceso modelándolo.

El modelo de simulación desarrollado en *Flexim*, utiliza la herramienta de animación para discutir y validar mejor los resultados. Las figuras 6a y 6b muestran capturas de pantalla del modelo creado para el proceso productivo relevado.

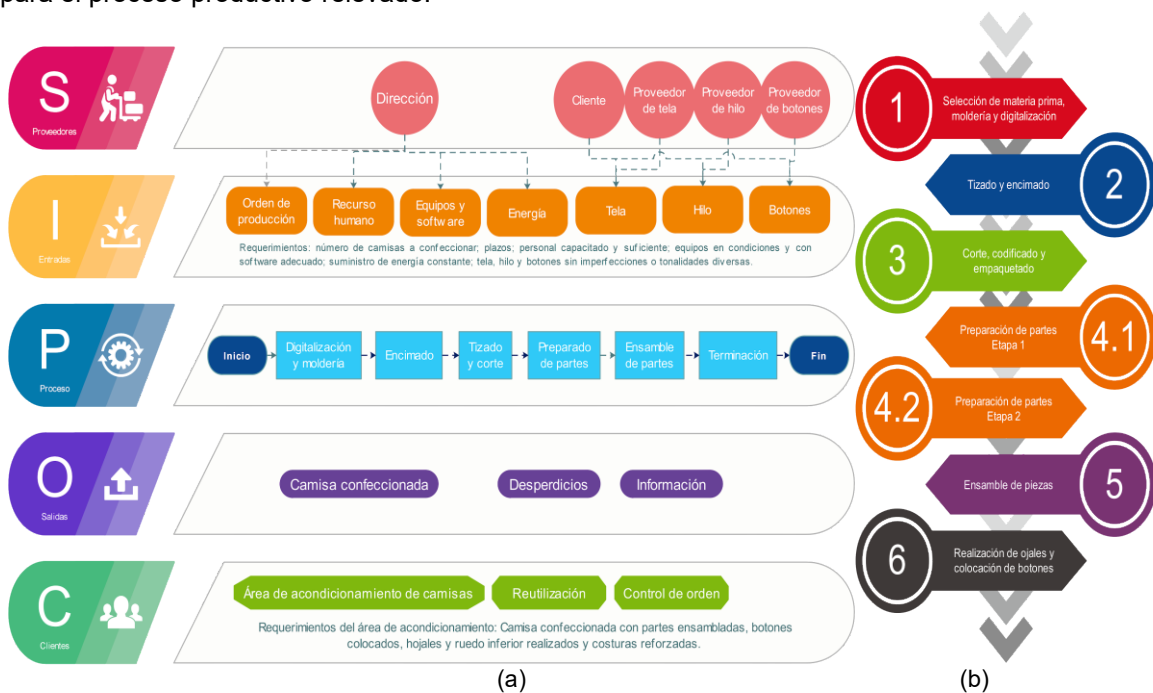


Figura 4. a) Diagrama SIPOC; b) Flujo del proceso de producción.

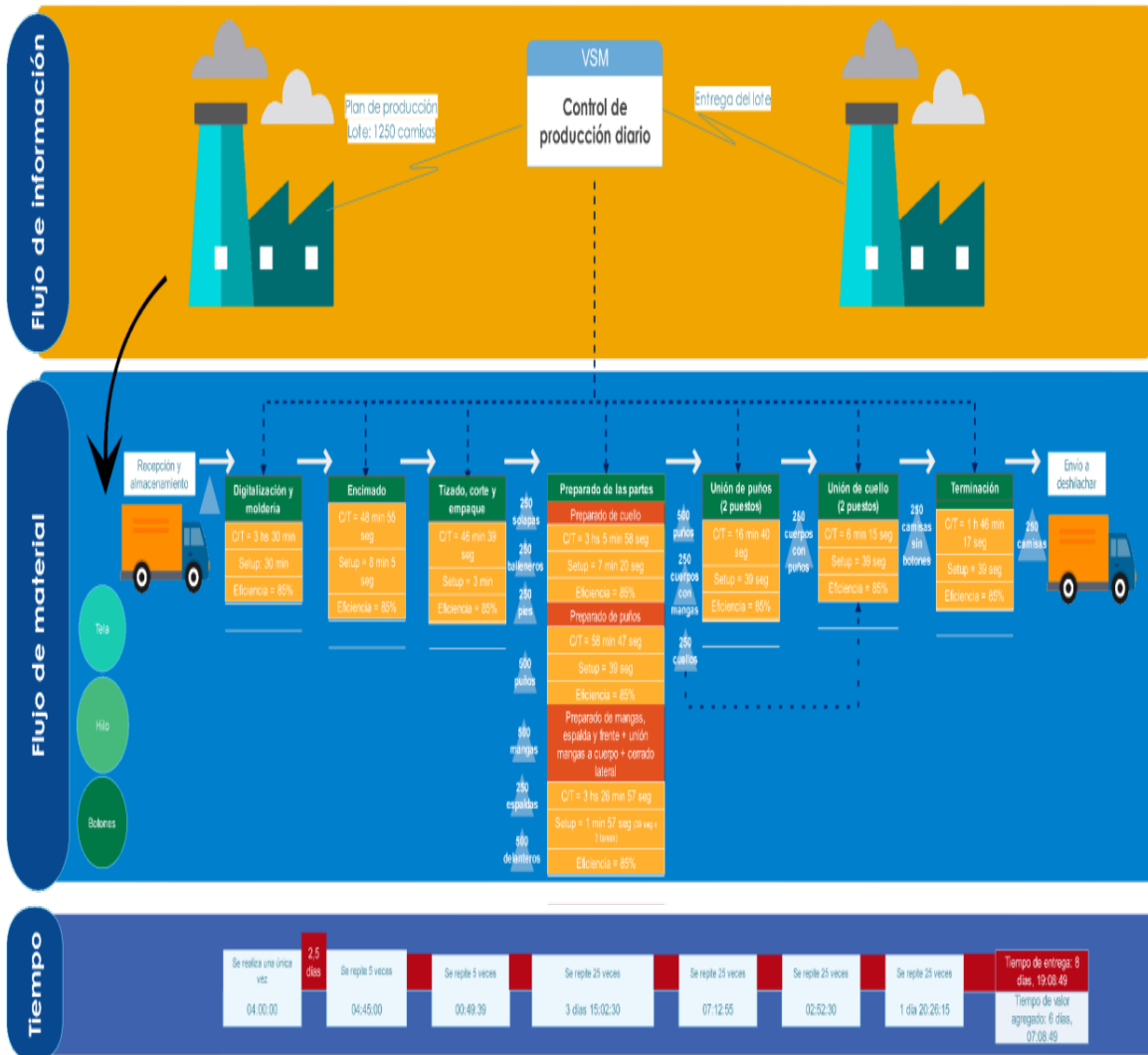


Figura 5. Mapa de flujo de valor del proceso de producción de camisas.

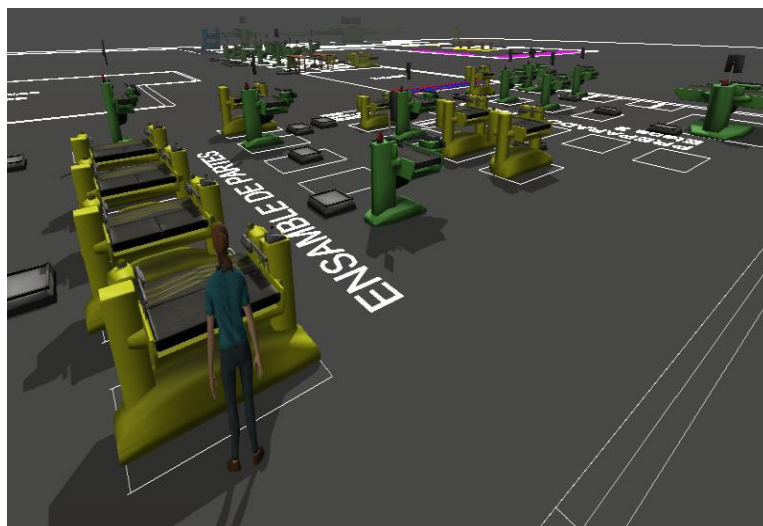


Figura 6 a). Capturas de simulación propia en Flexsim de la Zona de ensamble de partes



Figura 6 b). Capturas de simulación propia en Flexsim de la Zona de corte y preparado de partes.

5. COMENTARIOS FINALES.

En este trabajo se presentó una metodología en etapas para el análisis y optimización de un sistema de manufactura flexible. El análisis VSM permite identificar tanto problemas de producción como de gestión debido a un exceso de actividades sin valor agregado. El mapa de flujo de valor brinda información depurada para el modelado conceptual previo al desarrollo de un modelo de simulación. En este sentido, entendemos que la combinación de la metodología VSM con la simulación de eventos discretos se fusionan en una metodología de análisis de aplicación sistemática que reduce considerablemente el sesgo en el análisis para el modelado conceptual de los sistemas de manufactura. La utilización de este tipo de herramientas y metodologías novedosas, en línea con el desarrollo de la industria 4.0, ponen en el centro de discusión las enormes ventajas y posibilidades de análisis de procesos. Complementando nuevas técnicas y tecnologías con las herramientas conocidas hasta el momento se logra generar un mayor caudal de información, permitiendo reducir el riesgo en la toma de decisiones. La técnica del flujo de valor ha permitido modelizar el proceso de manufactura de camisas básicas, utilizando el modelo para generar su gemelo digital bajo simulación. A pesar de tratarse de eventos discretos, los avances actuales permiten, en mayores plazos, implementar la simulación dinámica para obtener y adecuar el proceso en tiempo real.

Finalmente, el trabajo realizado plantea futuras líneas de mejora y optimización del proceso analizado, identificando cuellos de botella, desperdicios, tiempos improductivos, mejoras en el *layout*, aumento del rendimiento, entre otras.

6. REFERENCIAS.

- [1] B. Schallock, C. Rybski, R. Jochem, H. Kohl, Learning Factory for Industry 4.0 to provide future skills beyond technical training, *Procedia Manuf.* 23 (2018) 27–32. doi:10.1016/j.promfg.2018.03.156.
- [2] F. Baena, A. Guarín, J. Mora, J. Sauza, S. Retat, Learning Factory: The Path to Industry 4.0, *Procedia Manuf.* 9 (2017) 73–80. doi:10.1016/J.PROMFG.2017.04.022.
- [3] I. Mahdavi, B. Shirazi, M. Solimanpur, Development of a simulation-based decision support system for controlling stochastic flexible job shop manufacturing systems, *Simul. Model. Pract. Theory.* 18 (2010) 768–786. doi:10.1016/j.simpat.2010.01.015.
- [4] K. Martin, M. Osterling, Value stream mapping: how to visualize work and align leadership for organizational transformation, n.d.
- [5] T. Ōno, *Toyota production system: beyond large-scale production*, Productivity Press, 1988.
- [6] B. Singh, S.K. Garg, S.K. Sharma, Value stream mapping: literature review and implications for Indian industry, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 53 (2011) 799–809. doi:10.1007/s00170-010-2860-7.
- [7] A.M. Paredes-Rodríguez, Aplicación de la herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio, *ENTRAMADO.* 13 (2017) 262–277. doi:10.18041/entramado.2017v13n1.25103.
- [8] Z. Huang, J. Kim, A. Sadri, S. Dowey, M.S. Dargusch, Industry 4.0: Development of a multi-agent system for dynamic value stream mapping in SMEs, *J. Manuf. Syst.* 52 (2019) 1–12. doi:10.1016/J.JMSY.2019.05.001.
- [9] D.T. Jones, J.P. Womack, *Seeing the whole: mapping the extended value stream*, Lean

- Enterprise Inst, 2000.
- [10] D. Tapping, T. Shuker, Value stream management for the lean office : 8 steps to planning, mapping, and sustaining lean improvements in administrative areas, Productivity Press, 2003.
 - [11] T. McDonald, E.M. Van Aken, A.F. Rentes, Utilising Simulation to Enhance Value Stream Mapping: A Manufacturing Case Application, *Int. J. Logist. Res. Appl.* 5 (2002) 213–232. doi:10.1080/13675560210148696.
 - [12] D. Antonelli, D. Stadnicka, Combining factory simulation with value stream mapping: a critical discussion, *Procedia CIRP.* 67 (2018) 30–35. doi:10.1016/J.PROCIR.2017.12.171.
 - [13] D. Stadnicka, P. Litwin, VSM based system dynamics analysis to determine manufacturing processes performance indicators, *DEStech Trans. Eng. Technol. Res.* (2018) 290–295.
 - [14] H.A. Taha, *Investigación de operaciones*, Pearson Educación, 2004.
 - [15] J. Sterman, *Business dynamics : systems thinking and modeling for a complex world*, McGraw-Hill, New York, 2000.
 - [16] C.G. Cassandras, S. Lafortune, *Introduction to discrete event systems*, Springer Science+Business Media, 2008..
 - [17] N. Furian, M. O’Sullivan, C. Walker, S. Vössner, D. Neubacher, A conceptual modeling framework for discrete event simulation using hierarchical control structures, *Simul. Model. Pract. Theory.* 56 (2015) 82–96. doi:10.1016/J.SIMPAT.2015.04.004.
 - [18] D. Mourtzis, M. Doukas, D. Bernidaki, Simulation in Manufacturing: Review and Challenges, *Procedia CIRP.* 25 (2014) 213–229. doi:10.1016/J.PROCIR.2014.10.032.
 - [19] D. Antonelli, P. Litwin, D. Stadnicka, Multiple System Dynamics and Discrete Event Simulation for manufacturing system performance evaluation, *Procedia CIRP.* 78 (2018) 178–183. doi:10.1016/j.procir.2018.08.312.
 - [20] J.W. Forrester, *Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers*, *Harv. Bus. Rev.* 36 (1958) 37–66. doi:10.1225/58404.
 - [21] B. Bako, P. Božek, Trends in Simulation and Planning of Manufacturing Companies, *Procedia Eng.* 149 (2016) 571–575. doi:10.1016/J.PROENG.2016.06.707.
 - [22] C.A. Chung, *Simulation modeling handbook : a practical approach*, CRC Press, 2004.

Simulación de un proceso de logística de salidas con aplicaciones en la nube computacional e internet de las cosas

¹Romero Palacios, Matías Nicolás*; ¹Chezzi, Carlos María; ¹Tisocco, Fabián Gustavo; ²Tymoschuk, Ana Rosa.

*¹Facultad Regional Concordia, Universidad Tecnológica Nacional.
Grupo de Modelado Simulación y Control (GIMOSIC).
Salta 277, E3200 EKE, Concordia, Entre Ríos.*

matiasromero0811@gmail.com
carlos_chezzi@frcon.utn.edu.ar
fabiangtisocco@yahoo.com.ar

*²Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional.
Departamento Sistemas de Información.*

Lavaise 610, S3004EWB Santa Fe.
anrotym@gmail.com

RESUMEN

Uno de los problemas principales en la Pyme es la inversión en tecnología para la transformación a una nueva estrategia de negocios y particularmente la logística en la entrega del producto. Por ello, el objetivo es presentar una estrategia de simulación para un modelo de logística de salidas con el fin de obtener una solución basada en tecnologías Industria 4.0. En cuanto a la logística y distribución se cuenta con tecnologías innovadoras, de las cuales se destacan Internet de las cosas y su complementación con la nube computacional. A través de la Internet de las cosas se dispone de recursos como medio de comunicación en tiempo real que posibilitan el seguimiento individualizado del producto y con la nube computacional se disponen de servicios que permiten la implementación de plataformas informáticas como soporte de las aplicaciones sin necesidad de una inversión inicial. Lo antes dicho implica una decisión de implementación de cambios para una nueva filosofía de trabajo. Como resultado del trabajo se obtiene un marco conceptual que muestre los recursos e introduzca al desarrollo de soluciones utilizando las mencionadas tecnologías. Se aplica en un modelo de gestión Pull procurando optimizar los costos estructurales relacionados con el almacenamiento de inventarios y aumentando la eficiencia de distribución y entrega del producto. Por otro lado, se puede implementar como estrategia de negocios un modelo low cost para reducir los costos de transporte para la Pyme, lo que permite mejorar el servicio, el beneficio y el tiempo de respuesta al cliente.

Palabras Claves: Industria 4.0, Comercio Electrónico, Logística, Internet de las cosas, Nube Computacional.

ABSTRACT

One of the main problems in the SME is the investment in technology for the transformation to a new business strategy and particularly the logistics in the delivery of the product. Therefore, the objective is to present a simulation evaluation strategy of an outbound logistics process model in order to obtain a solution based on Industry 4.0 technologies. In terms of logistics and distribution, innovative technologies are available, of which the Internet of things and its complementation with the computational cloud stand out. Through the Internet of things, resources are available as a means of real-time communication that allow individualized monitoring of the product and with the cloud computing there are services available that allow the implementation of computer platforms to support applications without the need for an initial investment. The aforementioned implies a decision of implementation of changes for a new work philosophy. As a result of the work, a conceptual framework is obtained that shows the resources and introduces the development of solutions using the mentioned technologies. It is applied in a pull management model trying to optimize the structural costs related to inventory storage and increasing the efficiency of distribution and delivery of the product. On the other hand, a low cost model can be implemented as a business strategy to reduce transportation costs for the SME, which improves service, profit and customer response time.

1. INTRODUCCIÓN.

La informatización de los procesos industriales ha traído la necesidad de repensar los modelos de negocios existentes. Dichos modelos se ven afectados por la innovación necesaria a través de la incorporación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) al proceso industrial y por la reconfiguración de la creación de valor. Esta fusión entre fabricación y TIC es lo que identificamos como Industria 4.0 [1].

Se puede decir que la Industria 4.0 provee las tecnologías necesarias para organizar los procesos de producción, de modo que se interconecten mediante sensores, máquinas y sistemas informáticos a lo largo de la cadena de valor, para comunicar el mundo físico con el virtual y obtener inteligencia del mismo [2].

Este nuevo enfoque exige a la industria un paradigma de modelado con capacidad de innovación, autonomía, dinamismo, personalización y flexibilidad. Existen paradigmas que se basan en TIC, tales como: Business Process Reengineering (BPR) [3], Customer Relationship Management (CRM) [4] y Enterprise Resource Planning (ERP) [5], que se centran en los procesos y son estáticos respecto a los cambios en el ámbito de negocios.

El Modelado de Procesos de Negocios (BPM por su sigla del inglés Business Process Management) es un paradigma que se utiliza para lograr modelos dinámicos que aseguren rápidos cambios frente a nuevas estrategias de negocios o innovación en tecnologías [6, 7]. Bonita [8] es una plataforma de libre licencia para la automatización de un modelo de proceso de negocios que contempla el modelado, la simulación y el diseño de un sistema informático integrado.

El desafío es abordar la construcción de soluciones con tecnologías Industria 4.0, sobre la base del paradigma BPM, de modo que todo el proceso esté orientado a lograr una meta de negocios y con un diseño flexible de la estructura organizacional y sus recursos. Para demostrar el uso de dicho paradigma se considera un caso de estudio de la logística de entrega para una empresa regional dedicada al transporte.

Por ello, el objetivo de este trabajo es presentar una estrategia de evaluación por simulación de un modelo de proceso de negocios de la logística de salidas con el fin de obtener una solución basada en tecnologías Industria 4.0 y un marco conceptual de métricas para la evaluación del modelo diseñado. De las diferentes tecnologías de Industria 4.0, se consideran Internet de las cosas (IoT por su sigla del inglés, Internet of Things) y computación en la nube.

2. INDUSTRIA 4.0 Y SUS TECNOLOGÍAS.

2.1. Concepto de Industria 4.0.

El concepto de Industria 4.0 nace en Alemania en el año 2011 y se refiere a la digitalización de la industria, pudiendo conocerse en el mundo con términos como; fabricación inteligente, internet industrial, fabricación avanzada, industria integrada e industria inteligente [9].

A partir de la exploración bibliográfica se presentan los siguientes conceptos de Industria 4.0:

- “La convergencia de tecnologías como Manufactura Integrada por Computadora (CIM), Smart Manufacturing, Big Data, Robótica Colaborativa, Web 2.0, entre otras; que permitirá que la producción industrial se caracterice por una fabricación flexible, con una fuerte individualización de los productos y una gran integración entre clientes y socios de negocios” [9].
- Es un concepto que consiste en la integración horizontal y vertical en la cadena de valor. En el nivel horizontal se vincula en tiempo real la información y las redes de comunicaciones, con los recursos de producción y servicios. Mientras que, en el vertical, consiste en la conversión de los sistemas clásicos en nuevos controlados vía Web [10].
- Es la capacidad de fusión entre las TIC y la producción, a través de la conexión de información, personas y objetos, que se logra por la posibilidad de conectar el mundo físico con el virtual a través de sistemas ciberfísicos. Esto permite desarrollar un ámbito inteligente [1]. Cuando se habla de sistemas ciberfísicos se refiere a aquellos en los cuales se adiciona capacidades de computación y comunicaciones a sus componentes físicos del ámbito de trabajo, para convertirlos en inteligentes y autónomos.
- “Se refiere a un nuevo modelo de organización y de control de la cadena de valor a través del ciclo de vida del producto y a lo largo de los sistemas de fabricación, con el apoyo de las tecnologías de la información” [11].
- “Industria 4.0 apunta a tener una visión más global, en donde la unidad sea la empresa en su conjunto. Conduce inevitablemente a relacionar los procesos de manufactura, con los de venta, marketing e inversión; pues el objetivo es acumular información sobre cada una de las áreas en un mismo lugar y analizarla relacionándola entre sí. Esto permite un mayor control de la empresa y conduce a eficientizar todos los procesos” [12].

2.2. Tecnologías de la Industria 4.0.

En cuanto a las tecnologías [9] que forman parte de Industria 4.0, se destacan:

- **Big Data y analítica:** comprende el análisis, administración y manipulación inteligente de una gran cantidad de datos a través de modelos de descripción, predicción y optimización para una mejor y más eficiente toma de decisiones. Ejemplo: (i) a través del análisis del comportamiento de los clientes en los sitios de comercio electrónico realizar una segmentación de clientes, (ii) optimización de procesos a través del conocimiento anticipado por el análisis realizado de modelos de comportamiento de los clientes y mercados.
- **Integración horizontal y vertical de sistemas de información:** se busca establecer redes de comunicación horizontal y vertical, como por ejemplo: (i) entre proveedor, fabricante y cliente y (ii) internamente entre las secciones.
- **Internet de las cosas:** conexión de cualquier dispositivo a distancia para la comunicación de datos entre ellos o a uno central con el fin de captarlos en la fuente y tomar decisiones en tiempo real.
- **Simulación:** técnica que busca reproducir el mundo físico a través un modelo virtual. Se plantean escenarios, se experimenta sobre el modelo virtual y se analizan las salidas. De este modo se cuenta con un recurso de predicción que analiza “que pasaría si”, previo a la ejecución.
- **Robótica:** Aporte de robots autónomos, flexibles y cooperativos, logrados por los avances de la inteligencia artificial y la utilización de sensores.
- **Ciberseguridad:** la conectividad está sujeta a vulnerabilidades, por ello se necesita proteger los sistemas, la propiedad intelectual, los datos personales y la privacidad de posibles intromisiones.
- **Computación en la nube:** plataforma de recursos computacionales integrada por servidores, almacenamiento y aplicaciones, que son puestos a disposición para ser utilizados a medida que se requieren y cuyo acceso es posible desde cualquier dispositivo móvil o fijo con acceso a Internet y cuyo costo está asociado al tiempo de uso.
- **Fabricación aditiva o fabricación 3D:** consiste en la fabricación de un cuerpo sólido a partir de la integración de finas capas sucesivas de un material, hasta conformar la figura con forma buscada. Se utiliza en casos como: prototipos o producción de productos personalizados.
- **Realidad aumentada:** tecnologías que incorporan información virtual a la información física, de modo que el usuario observe una situación real a través de un dispositivo tecnológico con el agregado de información gráfica. De esta manera los elementos físicos se combinan con virtuales creando una realidad aumentada en tiempo real. Por ejemplo, un operario equipado con lentes de realidad aumentada puede recibir instrucciones de reparación de una máquina en particular de un grupo.
- **Plataformas sociales:** uso de las capacidades de comunicación en las redes sociales, para una interacción dinámica, compartir conocimientos, favorecer la colaboración y la innovación, y recabar información sobre los clientes.

La Industria 4.0 es un concepto que consiste en un nuevo modelo de negocio basado en la integración total, por medio de las tecnologías de la información y las comunicaciones, con el fin de agregar inteligencia a la gestión y a los procesos de fabricación.

2.3. El modelo de negocio en la nube computacional.

El modelo de negocios en la nube se basa en el concepto de servicios cuyas licencias de uso no están sujetas a una persona o recurso y su fundamento es reemplazar los desembolsos de capital por la inversión en tecnología, por el pago de un servicio de acuerdo a lo utilizado.

Respecto a los costos, los proveedores de servicio de nubes como Amazon, Google, Microsoft, entre otros, ofrecen un esquema de tarifas en función del uso de los recursos. Por ejemplo, lo más común es el cobro de minuto, hora, ciclo de CPU, lecturas o escrituras por demanda [13-15]. Cada proveedor dispone aplicaciones en la Web que permiten estimar los costos de los recursos contratados.

Un aspecto importante de las nubes son los acuerdos de niveles de servicio para asegurar que el proveedor cumpla con la calidad requerida. Es importante destacar que en el largo plazo el pago de una suscripción a los servicios puede ser más costoso que comprar el hardware, por lo que deben ajustarse las estrategias de negocios cuidadosamente.

La nube computacional se clasifica en pública cuando se contrata el servicio o privada cuando se la implementa con equipamiento propio.

2.3.1. Tipos de servicios.

Existen tres tipos de servicios:

- (i) **Software como servicio** (su sigla en inglés SaaS: Software as a Service), donde se contrata la utilización de aplicaciones que se ejecutan en la infraestructura de la nube computacional, ofrecidas por el proveedor.
- (ii) **Plataforma como servicio** (su sigla en inglés PaaS: Platform as a Service), en la que se provee los recursos informáticos para desarrollar aplicaciones en la infraestructura de la nube computacional, tales como lenguajes de programación, bibliotecas, servicios y herramientas.
- (iii) **Infraestructura como servicio** (su sigla en inglés IaaS: Infrastructure as a Service), que proporciona la capacidad de procesamiento, almacenamiento y redes para implementar y ejecutar un *software* determinado, ya sean el sistema operativo y las aplicaciones [16].

2.3.2. Costos en la nube pública.

Los servicios ofrecidos por nube pública se basan en los siguientes modelos de costos:

- **Pago por lo que se usa:** se paga por lo que se usa por hora, con costos variables de acuerdo a los recursos demandados. No se requiere un contrato previo. Se paga un extra por gigabyte para el almacenamiento y la transferencia.
- **Pagar menos cuando se reserva:** se puede invertir en capacidad reservada para ciertos productos y obtener una tarifa por hora con un descuento significativo.
- **Pagar menos por unidad al utilizar más:** se produce un ahorro a medida que se predice un crecimiento de la demanda. Pago por lo que se usa: se paga por lo que se usa por hora, con costos variables de acuerdo a los recursos demandados. No se requiere un contrato previo. Se paga un extra por gigabyte para el almacenamiento y la transferencia.
- **Pagar menos cuando reserva:** se puede invertir en capacidad reservada para ciertos productos y obtener una tarifa por hora con un descuento significativo.

Se considera a EC2 de Amazon un estándar de facto, en el cual se contrata servicios por instancias, considerando una instancia a una máquina virtual en la nube con capacidades de procesamiento y memoria RAM. Su modelo de costos [17], consiste en pagar por el tiempo que se utilizan las máquinas virtuales, teniendo en cuenta las siguientes modalidades:

- **Instancias bajo demanda:** se paga por la infraestructura demandada por hora. No requiere planificación, ni contratos a largo plazo.
- **Instancias reservadas:** se realiza una reserva con el pago reducido único para cada instancia contratada, con el fin de lograr un considerable descuento.
- **Instancias spot:** se calcula un precio spot que cambia según la oferta y la demanda periódicamente. Los clientes cuyas ofertas lo igualen o lo superan obtienen acceso a las instancias disponibles.

2.4. El modelo de Internet de las Cosas.

El modelo IoT consiste en una infraestructura que permite la combinación de objetos inteligentes, tales como, sensores inalámbricos, robots móviles, sistemas de radio frecuencia, entre otros, para diseñar una red inteligente, utilizando diferentes protocolos de comunicación interoperables. En esta infraestructura, las diferentes entidades se descubren, se exploran mutuamente y aprenden a aprovechar los datos de cada una agrupando recursos para tomar decisiones inteligentes en tiempo real [18].

Es decir, es una red que según protocolos establecidos conecta cualquier objeto con Internet con el fin de intercambiar información y comunicación y lograr una identificación inteligente de red, posicionamiento, seguimiento, monitoreo y su administración mediante tecnologías tales como: (i) Identificación por radiofrecuencia (RFID), (ii) Sensores infrarrojos, (iii) GPS (Global Positioning System) y (iv) Dispositivo de escaneo láser, entre otros.

3. LOGÍSTICA.

El caso a presentar se fundamenta en un modelo de logística, por ello para su mayor precisión esta se conceptualiza como la parte del proceso de la cadena de suministro que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes [19]. Para comprender el proceso de logística y modelarlo se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- **Características de los bienes y servicios transportados:** se debe considerar que si se transportan productos cuya relación entre el peso y el volumen es alta, por ejemplo, los materiales de la industria del acero, ladrillos y cemento, se hace una mejor utilización de los espacios en los equipos de transporte y en los almacenes. Por otro lado, los productos perecederos, como las frutas y las verduras, los productos inflamables y explosivos por lo general requieren de un manejo y transporte específico, almacenamiento y transporte refrigerado, áreas de almacenamiento restringidas o con sistemas de seguridad elevados. La gran mayoría de los productos requiere de un embalaje protector que le permite facilitar

su almacenamiento y manejo, favoreciendo el uso de los equipos de transporte y reduciendo reclamaciones por daños y rupturas durante la distribución.

- **Características de los pedidos y del sistema logístico:** es común que, ante situaciones de pedidos pendientes, se opte por diferenciar algún cliente respecto de otro; esto conlleva que el servicio de distribución presente altas variaciones en relación con el tiempo estándar o el tiempo esperado por el cliente. A su vez, los clientes tampoco desean esperar más tiempo por su pedido si este resulta dañado o equivocado. La operación del sistema logístico se puede ver afectado por paros laborales, accidentes de tránsito, incendios, inundaciones y otros eventos inesperados. Para cumplir con el nivel de servicio establecido por la empresa y realizar entregas a tiempo, sin daños y pérdidas, es necesario establecer planes de acción apropiados ante estas situaciones extraordinarias.

La logística en relación con la incorporación de la Industria 4.0 es un medio para lograr la innovación, proponer nuevos modelos de negocios, agregar inteligencia al proceso, tener información para comunicarse y anticiparse a las necesidades del cliente.

3.1. Estrategia de modelado y simulación de los procesos de logística.

Para construir el modelo de proceso de negocios se plantean las siguientes etapas:

1. Descripción de la empresa, de la situación y el problema a estudiar.
2. Planteo de las estrategias de negocios o las ventajas competitivas de base para el diseño del modelo de logística.
3. Establecer las tareas y sus relaciones para configurar los procesos de acuerdo con las metas establecidas.
4. Construir el modelo de procesos de negocios e implementarlo en una herramienta informática de BPM.
5. Parametrizar la simulación: (i) las tareas tienen asociado un tiempo de servicio promedio demandado por el recurso que las ejecuta, (ii) las entradas, que son el número de clientes que solicitan la prestación del servicio (casos) y (iii) el tiempo entre arribos de clientes al servicio.
6. Plantear métricas de desempeño. En general, se obtienen el número de clientes que arriban, el tiempo de simulación y los recursos consumidos. En la Sección 4 se propone un Conjunto de Métricas que profundiza las métricas planteadas.
7. Proponer escenarios de simulación, obtener las salidas y realizar el análisis “que pasaría si”.

4. MARCO DE NEGOCIOS PARA TECNOLOGÍAS EN LA NUBE COMPUTACIONAL E INTERNET DE LAS COSAS.

El Conjunto de Métricas propone una visión general de las principales variables a abordar ante la selección de una alternativa de solución utilizando la nube computacional e IoT. Entre los requerimientos se consideran: (i) la nube computacional pública para el nivel PaaS, (ii) nube computacional privada en comparación con la pública, (iii) requerimientos de IoT, (iv) el desarrollo propio del sistema de información para la gestión de la logística y (v) recursos humanos comunes a todas las tecnologías utilizadas.

Es importante destacar que se puede comparar la alternativa de selección de la nube privada (pagar por el servicio utilizado), con la pública (adquirir la tecnología propia para implementar la nube computacional). Por cada requerimiento se plantean atributos medir que se cuantifican con la métrica (ver Tabla 1).

5. CASO DE ESTUDIO.

El caso de estudio se base en una pyme dedicada exclusivamente a la logística y distribución de cargas por vía terrestre que brinda un servicio de envíos de cargas totales o parciales de todo tipo y volumen. Realizan traslados de mudanzas, correspondencias, maquinarias, encomiendas, cereales, maderas, cítricos, entre otros, desde o hacia sus depósitos ubicados en Buenos Aires y Rosario abarcando las regiones noreste de Entre Ríos y sudeste de Corrientes.

5.1 Descripción de la empresa.

La empresa cuenta con catorce choferes y cuatro acompañantes que son los encargados de las actividades de carga, traslado y descarga. No existe una asignación de personal a cada localidad de destino. Cada equipo de transporte, que cuenta con rastreo satelital, tiene su propio chofer; la asignación de acompañante es dependiente del destino y del tipo de carga trasladada. Las encomiendas paletizadas son cargadas en camiones medianos; las cajas y paquetes pequeños son trasladados en camionetas de menor porte.

Tabla 1 Conjunto de Métricas.

Requerimiento	Atributos	Métrica
Nube Computacional Pública (PaaS)	Ciclo de Facturación de la instancia contratada (máquina virtual)	Instancias bajo demanda (costo variable): se paga por la infraestructura demandada por hora. No requiere planificación, ni contratos a largo plazo.
	Acuerdos de Niveles de Servicio	Calidad del servicio: medir si el nivel de servicio es el establecido en el acuerdo.
	Conexión a internet	Abono del servicio contratado según tipo de conexión (costo fijo).
Nube Privada	Tecnología Informática	Amortización del Servidor (costo fijo) Costo de Mantenimiento y Reparación del equipamiento (costos variables).
	Software de Sistema Operativo (SO), antivirus y seguridad	Costos de licencias del SO, antivirus y de seguridad (costo fijo)
	Operador informático.	Costo de implementación de la infraestructura (costo fijo).
	Energía Eléctrica	Consumo de energía del servidor y del aire acondicionado para refrigeración (costo semivariable).
	Operador informático: mantenimiento y actualización del sistema.	Sueldo mensual + Cargas Sociales (costo fijo).
	Conexión a internet	Abono del servicio contratado por tipo de conexión (costo fijo). Hosting del sitio Web (costo fijo).
IoT	Etiquetas EPC (Código electrónico de producto).	Costos Variables por tipo de etiquetas (con alimentación propia, con mayor autonomía, etc.).
	Identificación inteligente del producto, posicionamiento, seguimiento, monitoreo y su administración	Amortización del Equipo de radiofrecuencia (RFID), sensores infrarrojos, GPS y dispositivo de escaneo láser (costo fijo) Costo de Mantenimiento y Reparación de equipo (costos variables).
	Identificación inteligente del transporte, posicionamiento, seguimiento, monitoreo y su administración	Amortización del Equipo de GPS, GIS y plataforma de videovigilancia (costo fijo) Costo de Mantenimiento y Reparación de equipo (costos variables).
	Operador del sistema de monitoreo	Sueldos y Cargas Sociales del operador (costo fijo)
Sistema de Información para la gestión de la logística	Sistema de Gestión de Logística	Honorarios por desarrollo del Sistema (costo fijo)
	Operador informático: Configuración, instalación del sistema, arranque y mantenimiento	Sueldo mensual del Operador + Cargas Sociales (costo fijo)
Recursos Humanos	Distribución, financiación y administración general	Sueldos Mensuales y Cargas Sociales (costos fijos y hundidos por considerarlos comunes a todas las alternativas analizadas). Costos directos e indirectos

No se cuenta con un patrón de procesos de recolección y almacenamiento de pedidos, estas acciones son adaptaciones que no siguen ningún protocolo de estandarización. No se posee un registro de tiempos computados, debido a que la Pyme no cuenta con un modelo de control de estos. En algunos casos, la distribución regional puede durar apenas unos minutos, mientras que la finalización del servicio en otros casos puede extenderse durante días si se trata de cargas a

granel, frutas cítricas y maderas. Estas cargas también se ven afectadas por condiciones climáticas desfavorables como lluvias y heladas.

Otros problemas particulares que se presentan están relacionados con extravíos, faltantes o roturas de mercaderías durante la distribución. También se puede dar que los remitos y los paquetes no tengan una relación de coincidencia generando demoras en las entregas ya que debe existir un proceso de recuperación de tales encomiendas.

5.2. Estrategia de negocio.

- Aplicando un modelo de gestión Pull se busca optimizar los costos estructurales relacionados con el almacenamiento de inventarios, aumentando también la eficiencia de la distribución y la entrega a tiempo del producto.
- Agregar inteligencia con IoT al conocer la trazabilidad de cada producto y con la nube computacional que registra las transacciones de modo que a través de herramientas analíticas se cuente con información para optimizar los procesos.

5.3 Proceso de logística.

El proceso de Logística 4.0 propuesto comienza cuando un cliente solicita una prestación de servicio de transporte y distribución de cargas. El modelo inteligente de logística puede anticipar la necesidad de la demanda aprovechando la información de clientes que utilizan el servicio de distribución con frecuencia. La solicitud de servicio se puede producir en diferentes modalidades:

1. Por correo electrónico.
2. Telefónicamente.
3. De manera presencial en la empresa.
4. Utilizando la página web de la compañía.

El encargado de recibir y evaluar la solicitud de servicio puede utilizar los datos de la nube computacional para gestionar tiempos de respuestas más cortos ante la petición del servicio. La negación del servicio se puede dar si:

1. El peso o volumen de la carga supera la capacidad de los equipos de transporte.
2. La carga requiere un almacenamiento y traslado especial y la empresa no está adaptada a estos tipos de pedidos.
3. La carga no posee un embalaje adecuado para su almacenamiento y traslado.
4. No se puede cumplir con el tiempo de envío solicitado por el cliente.
5. No se puede cumplir con el nivel de seguridad exigido por el cliente.

En tales casos, el cliente es notificado acerca de la cancelación de la solicitud y puede realizar una nueva solicitud si modifica el o los parámetros que llevaron a la negación del servicio. Si se acepta la solicitud de prestación de servicio, el cliente puede llevar la carga a centro de distribución personalmente o requerir que el paquete sea retirado en domicilio. El gerente realiza las tareas de recepción de remitos, o de confección de estos en caso de que el cliente no los posea.

El encargado del depósito gestiona las tareas de etiquetado de productos con tecnología EPC, de embalaje, control de carga y posterior despacho. Al utilizar las etiquetas de código de producto en los paquetes, cajas y pallets, y gracias a los lectores con tecnología RFID, se puede realizar un control de detección de defectos, estado del producto, maduración del producto, temperatura de carga, tiempo y ubicación de los paquetes, destino, peso, dimensiones, etc. Al realizar el seguimiento de los paquetes en tiempo real, se puede detectar si estos fueron cargados por error en un equipo de transporte con otro destino, lo que elimina la falla de envíos erróneos y los extravíos de paquetes. Además, se pueden percibir daños, rupturas o un mal estado de la carga producidos por un mal embalaje o durante la carga de los paquetes al equipo de transporte, lo que también reduce los tiempos y costos en la gestión de cambios y devoluciones.

Al iniciar la tarea de transporte desde el centro de distribución hacia el destino, el uso de los sensores permite detectar problemas relacionados con un aumento de temperatura y de humedad si se tratan de productos perecederos o inflamables y solucionar estos desvíos antes de que la carga llegue a destino. La tecnología GPS y GIS permite conocer las rutas y caminos más eficientes en tiempo real y evitar las circunstancias que lleven a demoras como los accidentes de tránsito, huelgas y cortes de rutas, zonas peligrosas o afectadas por catástrofes naturales, etc.

Por otro lado, en el modelo de logística inteligente, se puede reducir el número de entregas fallidas ante la ausencia de los receptores en el destino o si estos modifican las preferencias relacionadas con el lugar, la fecha y la hora de entrega. Además, los clientes también pueden realizar el seguimiento de las mercaderías desde que el paquete se encuentra en el centro de distribución hasta el momento en que el receptor final es visitado por la empresa de logística, lo que mejora la calidad del servicio de distribución, reduce los costos de transporte y almacenaje en los centros de distribución y de depósito y afianza la confianza del cliente con la compañía.

5.4. Herramienta BPM de modelización Bonita.

Bonita es una plataforma código abierto de aplicaciones de flujo de trabajo y gestión de procesos. En su versión Bonita Studio, permite al usuario modificar gráficamente los procesos de negocio siguiendo el estándar BPMN (Business Process Model and Notation). BPMN no es un lenguaje de programación; está diseñado para ser "consumido" por los motores de proceso y convertirse en procesos ejecutables. La organización del BPMN básico utiliza pools y lanes que funcionan como el contenedor para el flujo del proceso.

- Pool: contiene un solo proceso completo. El flujo de trabajo no puede abandonar un grupo: necesitamos transferir acciones o datos de un grupo o proceso a otro utilizando colaboraciones.
- Lane: se utiliza para ayudar a organizar el proceso en función de quién y qué hace (actores). El flujo de trabajo cruza los límites de los lanes como si no existieran, procurando mayor claridad organizacional.

El flujo de trabajo incluye actividades, compuertas, eventos y el flujo de secuencia que los conecta [20]. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de diagrama de proceso.

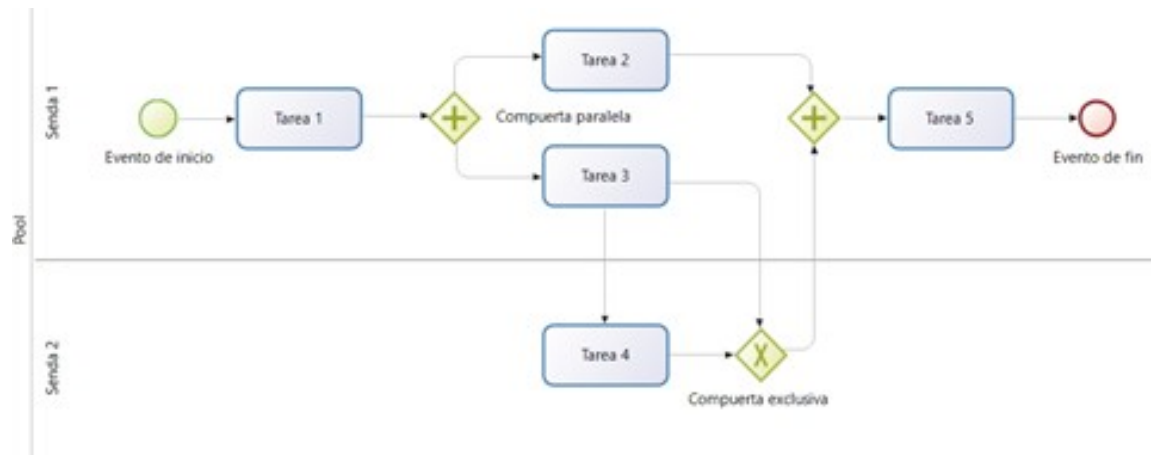


Figura 1 Diagrama de proceso.

Cada uno de los elementos que conforman un diagrama de proceso tiene varios tipos, y todos estos tipos se pueden conectar en una secuencia.

- Tareas: tareas que se realizan en el proceso: por humanos, por automatización o que activan subprocesos. Se configura el tiempo de servicio determinístico o estocástico.
- Eventos: se utilizan para iniciar o finalizar un proceso y para gestionar acciones específicas durante un flujo de trabajo; se desencadena o es el resultado de algo externo al flujo del proceso. Se configura por el número de casos y el tiempo entre ellos.
- Flujos de secuencia: se usa para mostrar cómo se mueve el flujo de trabajo.
- Compuerta de enlace (gateway): se utilizan para separar o unir el flujo del proceso y sus bifurcaciones se basan en probabilidades de ocurrencia. [20].

En la Tabla 2 se presentan algunos de los elementos que componen un BPMN básico, los cuales fueron considerados en el diseño del modelo.

Tabla 2 Elementos de un BPMN básico.

Elemento	Descripción
Tarea abstracta	Sin ejecución específica, actúa como marcador de posición para fines de documentación.
Inicio de evento	Comienza un flujo de proceso.
Fin de evento	Finaliza un flujo de proceso.
Puerta paralela	Todas las entradas deben recibirse (en cualquier orden) antes de que el proceso pueda continuar. Todas las salidas están activadas: el proceso continúa en paralelo.
Puerta exclusiva	Solo se necesita una entrada para que el proceso continúe. Solo se activa una salida: se necesita una condición para determinar cuál.
Puerta inclusiva	Puede disparar múltiples salidas simultáneamente. Admite condiciones en los flujos de secuencia salientes.
Flujo de secuencia	Dirige el flujo del proceso de una actividad a otra.

5.5. Modelo de simulación del proceso de logística.

Para el modelo del proceso de simulación de logística solo se presenta una parte del diagrama por restricciones de espacio. El proceso comienza con el evento de inicio denominado Solicitud de servicio, como se muestra en la Figura 2. El cliente genera la solicitud y es recibida por el gerente del centro de distribución (Figura 3). Al evaluar la prestación del servicio, el gerente toma la decisión de aceptar la misma o denegarla en caso de que no cumpla con los requisitos mencionados. Ante esta última instancia, el cliente puede generar una nueva solicitud, si modifica las condiciones del pedido mencionadas anteriormente o bien, cancelar el servicio generando un evento de Fin. Si la solicitud es aceptada, el flujo del proceso sigue una serie de actividades relacionadas la creación de remitos y la recepción de la carga.

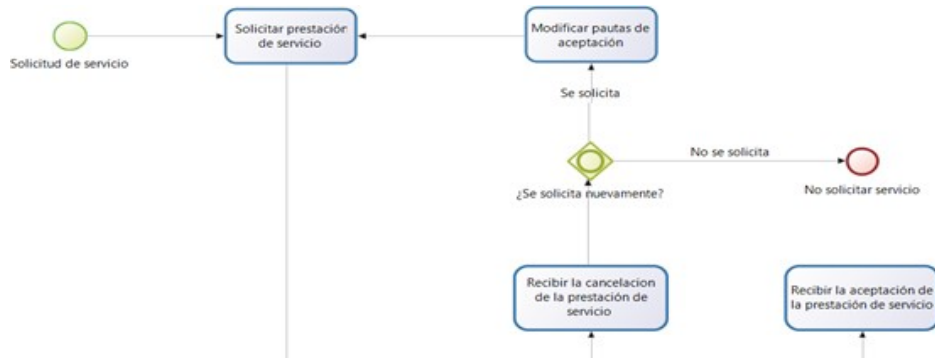


Figura 2 Lane del cliente (Inicio de proceso).



Figura 3 Lane del gerente de depósito.

En la Figura 4 se presentan las tareas realizadas por el supervisor del depósito y el personal de carga. Estas actividades son las que demandan más tiempo promedio debido a que están directamente relacionadas con la manipulación, embalaje, carga y descarga de las encomiendas en el equipo de transporte y con los controles durante dichas tareas.

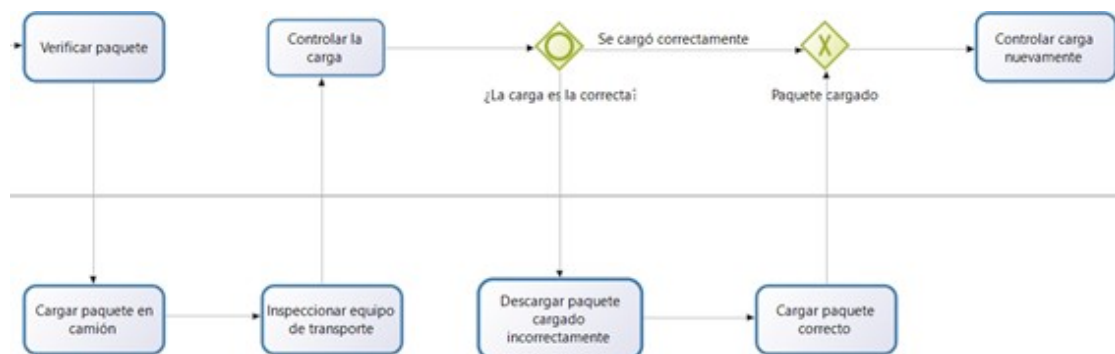


Figura 4 Lane del supervisor de depósito (parte superior) y del personal de carga (parte inferior).

Inmediatamente después de que la carga sale del depósito, tanto el cliente como el receptor reciben una notificación de que su pedido se encuentra en camino (Figura 5). Durante el traslado de las mercaderías, el gerente del depósito, el cliente y el receptor pueden seguir en tiempo real el recorrido de la carga. Cuando el chofer llega al centro de distribución, se envía una notificación de arribo al gerente y este es el encargado de notificar al cliente de la llegada de su carga al centro. Luego de esta actividad, se converge al Evento de Terminación denominado Fin de Servicio, que procede a dar fin al proceso.

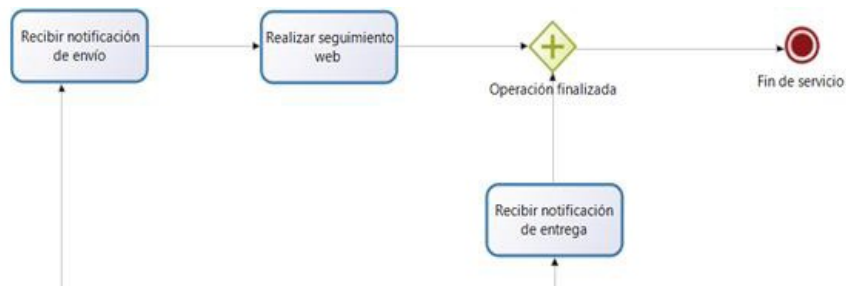


Figura 5 Lane del Cliente (Evento de Fin).

5.6. Resultados.

Al ejecutar cada simulación, un número específico de instancias durante un período de tiempo se ejecuta con datos que emulan la situación real y el resultado acumulado de todas las iteraciones se muestra en un informe [21]. En este caso, cada instancia corresponde a una solicitud de servicio.

Para el caso de estudio, se definió la fecha y la hora del comienzo de la simulación, como también el número total de instancias para ejecutar. Las instancias fueron lanzadas a intervalos de tiempo, siguiendo una distribución exponencial entre arribos. También se definió el tiempo de servicio para cada tarea (estocástico) y se le asignaron recursos humanos y materiales.

En la Figura 6 se presenta una parte del informe del proceso completo que muestra los datos de la fecha y hora del inicio y de la finalización de la simulación para 100 instancias. La ejecución de las 100 instancias tuvo una duración de simulación de 24 horas, 43 minutos y 48 segundos. Este dato nos permite validar el modelo del proceso simulado ya que se corresponde con el tiempo real del proceso de logística.



Figura 6 Informe de simulación para 100 instancias.

Los resultados de la simulación presentados a continuación representan el trabajo del capital humano en la gerencia del depósito. El proceso ejecutado para 10 instancias en la Figura 7 muestra que, para dicha cantidad de arribos, el número máximo de recursos necesarios no supera a la unidad. Los picos que se aprecian corresponden a las instancias en que el flujo del proceso vuelve a la tarea Solicitar prestación, por lo que el recurso es utilizado nuevamente.

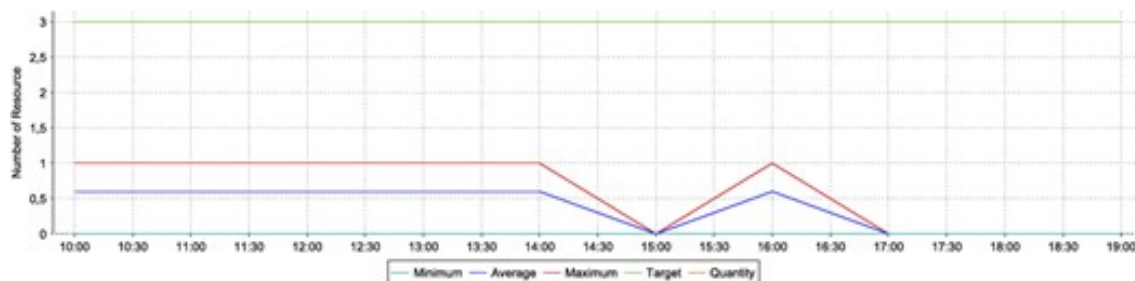


Figura 7 Consumo de Gerencia de depósito para 10 instancias.

En la Figura 8, el proceso fue ejecutado para 50 instancias. En este caso, los picos del recurso alcanzan a 3 unidades. Lo que significa un aumento del número de participantes en la gerencia del depósito si la empresa recibe un total de 50 solicitudes de prestación de servicio.

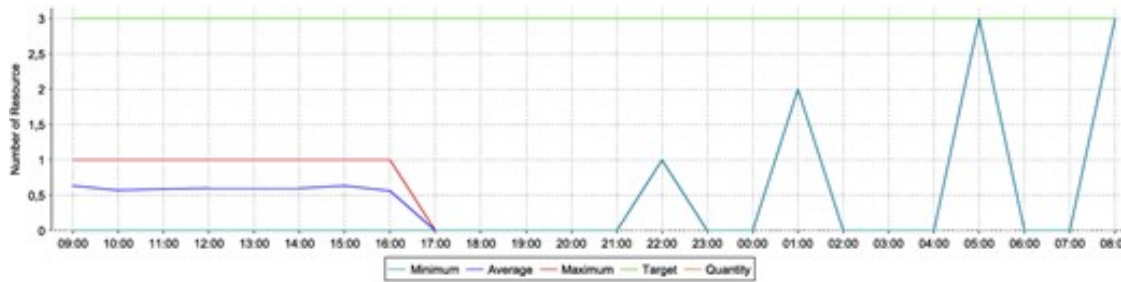


Figura 8 Consumo de Gerencia de depósito para 50 instancias.

En la ejecución de 100 instancias de la Figura 9, nuevamente se aprecia que se necesitan 3 unidades de capital humano mostrando que, para realizar todas las actividades gerenciales, el número de recursos objetivo tiende a 3 unidades. Se puede concluir que bastará contar con 3 gerentes en el depósito para cubrir un total de 100 solicitudes de prestación de servicio.

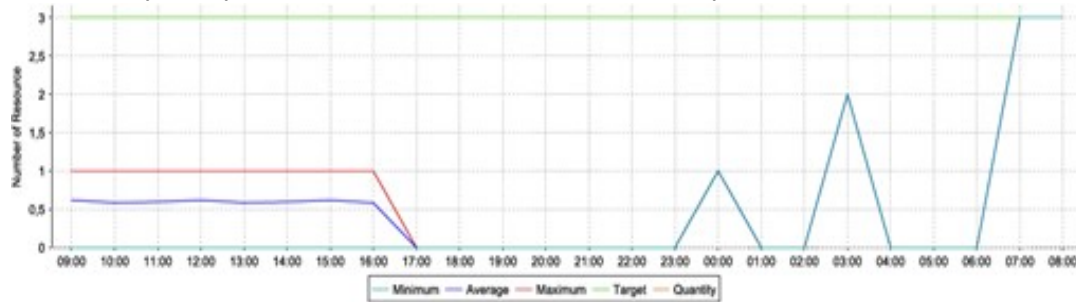


Figura 9 Consumo de Gerencia de depósito para 100 instancias.

La gerencia de la empresa está integrada por sus 2 dueños, por lo que deberá contratar a un tercer administrador para gestionar todas las actividades del área. Al conformar este nuevo equipo, la información permitirá la disminución en los tiempos de respuestas por cada solicitud de servicio y optimizará el servicio.

Con la incorporación del sistema de gestión en la nube computacional la empresa contará con una estrategia de implementación basada en contratar la tecnología informática que necesita y pagar por su uso, sin necesidad de desembolsos iniciales importantes de capital. Además centralizará la información existente en forma distribuida a través de un panel de control que monitorice en tiempo real el desarrollo de las operaciones de la empresa.

Por otro lado, el uso de las tecnologías de IoT reducirá la negación de las prestaciones de servicio, porque se podrán optimizar los pesos y volúmenes de cargas en los equipos de transporte. También, se reducirán los problemas de extravíos, faltantes y roturas de mercaderías gracias al seguimiento individualizado de cada producto. Así como, la mejora en la entrega a tiempo de mercaderías mediante la coordinación en tiempo real con los receptores, reduciendo así las entregas fallidas.

De este modo con el modelo y su simulación se propone un recurso que propicia el análisis de los resultados para diferentes escenarios y permite evaluar el comportamiento de los procesos y su desempeño antes de la implementación. Se pueden obtener otras métricas que profundizan el análisis de las salidas de simulación [21].

6. CONCLUSIONES.

En este trabajo se presenta una estrategia para el diseño de modelos de simulación, aplicada a Logística 4.0. Este se introduce con la presentación de diferentes definiciones de Industria 4.0 de reconocidos autores y se describen sus principales tecnologías. Sabiendo que solo la incorporación de tecnología no logra lo pretendido en Industria 4.0, se determina la necesidad de estudiar una metodología que haga una posible implementación.

Con base en el enfoque sistémico, con una visión desestructurada y tendiendo a la integración total, se selecciona el Modelado de Procesos de Negocios como teoría para la construcción de los modelos, de modo que a partir de estrategias de negocios se desarrollen tareas que interactúen en forma integrada para lograrlas. Es así que en la Sección 3.1 se desarrollan las etapas de la estrategia propuesta para el modelado y simulación de los procesos de logística.

Como complemento a la estrategia se propone en la Sección 4 un Conjunto de Métricas que propicie una visión general de las principales variables a abordar ante la utilización la nube computacional e IoT. Se aborda un caso de estudio en una empresa de transporte y se muestra, utilizando la simulación, la aplicación de la estrategia propuesta.

Como trabajo futuro se prevé la obtención de costos basados en el Conjunto de Métricas presentadas y el inicio del diseño del proceso planteado.

7. REFERENCIAS.

- [1] Ibarra, Dorleta; Ganzarain, Jaione; Igartua, Juan Ignacio. (2018). "Business model innovation through Industry 4.0: A review". *11th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2017. Vol. 22, pp. 4-10*. Tirgu-Mures, Rumania.
- [2] Blanco, Raúl; Fontodrona, Jordi; Poveda, Carmen. (2017). "La industria 4.0: El estado de la cuestión". *Economía industrial, Nº 406, pp.151-164*.
- [3] Kong, Zaojie; Meng, Yingxin; Dong, Ruiguo. (2008). "Study for method of BPR based on supply chain". *IEEE International Conference on Automation and Logistics*. Qingdao, China.
- [4] Steel, Marion; Dubelaar, Chris; Ewing, Michael T. (2013). "Developing customised CRM projects: The role of industry norms, organisational context and customer expectations on CRM implementation". *Industrial Marketing Management. Vol. 42, Nº 8, pp. 1328-1344*.
- [5] Haddara, Moutaz; Elragal, Ahmed. (2015). "The Readiness of ERP Systems for the Factory of the Future". *Procedia Computer Science, Vol. 64, pp. 721-728*.
- [6] Virgilio, Gilart; Pérez, Maciá; Berna-Martinez, Francisco; Gea, José Vicente; Martínez, Jorge, Selva Soler. (2008). "Modelando la maquinaria industrial como servicios: orientando los procesos de fabricación hacia el BPM". *Universidad de Alicante, pp. 77-91*.
- [7] Schmiedel, Theresa; Recker Jan; vom Brocke, Jan. (2019). "The relation between BPM culture, BPM methods, and process performance: Evidence from quantitative field studies *Information & Management*. In Press.
- [8] Bonitasoft: <https://es.bonitasoft.com/>. Último acceso octubre de 2019.
- [9] Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. (2015). "Industria 4.0: escenarios e impactos para la formulación de políticas tecnológicas en los umbrales de la cuarta revolución industrial". *INFOSePP, Año 5, nº 21*. Buenos Aires. Argentina.
- [10] Khan, Maqbool; Wu, Xiaotong; Xu, Xiaolong; Dou, Wanchun. (2017). "Big Data Challenges and Opportunities in the Hype of Industry 4.0". *IEEE International Conference on Communications (ICC 2017), SAC Symposium, Big Data Networking Track*. Paris, Francia.
- [11] del Val Román, José Luis. (2016). "Industria 4.0: la transformación digital de la industria". *Conferencia de directores y decanos de Ingeniería Informática*. Buenos Aires.
- [12] Lempel, Ariel. (2018). "Los robots en la Industria 4.0". *AADECA Revista. Nº 9, pp. 46-48*.
- [13] Amazon EC2: <https://aws.amazon.com/es/ec2/pricing/>. Último acceso septiembre de 2019.
- [14] Google Cloud: <https://cloud.google.com/pricing/>. Último acceso septiembre de 2019.
- [15] Microsoft Azure: <https://azure.microsoft.com/es-es/pricing/>. Último acceso septiembre de 2019.
- [16] Mell, P., Grance, T. (2011). "The NIST Definition of Cloud Computing." *National Institute of Standards and Technology (NIST)*. Special Publication 800-145.
- [17] Amazon EC2: <https://aws.amazon.com/es/ec2/pricing/>. Último acceso octubre de 2019.
- [18] Vermesan, O. Friess, P. (2011). *Internet of Things - Global Technological and Societal Trends: Smart Environments and Spaces to Green ICT*. River Publishers.
- [19] Ballou, Ronald H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Quinta edición. Pearson Educación. México.
- [20] Bonitasoft. Ultimate Guide to BPMN2. 2019. BonitaSoft S.A.
- [21] Bonita Open Solution. BOS 5.5. Simulation Guide. Mayo de 2011. BonitaSoft S.A.

La mezcla de producción aplicando la Programación por Metas y el Proceso Analítico de Jerarquías

Berardi, María Betina; Zárate, Claudia; Esteban, Alejandra María

*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata.
Juan B. Justo 4302 - B7608FDQ Mar del Plata. cnzarate@fi.mdp.edu.ar.*

RESUMEN.

La teoría de las restricciones es un enfoque de la planificación y control de la producción que hace hincapié en la explotación de los cuellos de botella para mejorar el rendimiento de las líneas de producción. Teniendo en cuenta este concepto, en este trabajo se propone la integración de la Programación por Metas Ponderadas con el Proceso Analítico de Jerarquías para la obtención de la mezcla de productos, en un sistema de múltiples cuellos de botella. Se aborda el problema analizando el caso de una empresa que fabrica 4 productos que deben pasar por 6 estaciones de trabajo, si bien con la misma secuencia, todos hacen uso de los recursos en distinta medida. Se plantean metas sobre la maximización del beneficio y la explotación de los cuellos de botella. La priorización de dichos objetivos se obtiene a través del Proceso Analítico de Jerarquías, donde se considera la opinión del decisor. El resultado es una mezcla de producción que, además del beneficio, considera otros factores tales como la importancia relativa en la explotación de las estaciones cuello de botella.

Palabras Claves: Teoría de las Restricciones - Proceso Analítico de Jerarquías - Programación por Metas

ABSTRACT

The theory of constraints is a production planning and control approach that emphasizes the exploitation of bottlenecks to improve the performance of production lines. Taking this concept into account, this work proposes the integration of Weighted Goals Programming with Analytical Process of Hierarchies to obtain the products mixture, in a system of multiple bottlenecks. The problem is addressed by analyzing the case of a company that manufactures 4 products that must pass through 6 work stations, although with the same sequence, they all make use of the resources to a different extent. Goals are raised on profit maximization and the exploitation of bottlenecks. The prioritization of these objectives is obtained through the Hierarchy Analytical Process, where the opinion of the decision maker is considered. The result is a production mix which considers other factors such as the relative importance in the operation of the bottleneck stations, in addition to the benefit.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolla para el caso de una empresa que vende muebles para oficina. El negocio consiste en adquirir los artículos prefabricados y en las instalaciones, se ensamblan, se pintan y se envían al cliente.

La empresa comercializa alrededor de 30 productos distintos aunque el 80% de la facturación es generada por 4 productos:

- X₁: escritorio con mesa para teclado y habitáculo para PC
- X₂: escritorio recto estándar
- X₃: escritorio L estándar
- X₄: escritorio recto con cajonera

En la tabla 1 se detallan los procesos que se desarrollan como así también los medios de transporte interno utilizados para llevar los materiales de un sector a otro:

Tabla 1 *Procesos de obtención de los productos*

Operación	Proceso	Transporte interno
1	Las cajas se descargan en lotes	con autoelevador hasta almacén
2	Los lotes se almacenan en estanterías	con autoelevador a estanterías
3	Se ensamblan en forma unitaria en puesto de trabajo	Carro manual a puesto ensamble
4	Se pintan	Carro manual a puesto pintura
5	Se empacan en forma unitaria	Riel de ganchos a sector empaque
6	Se despachan en camión con autoelevador	con autoelevador

Gradualmente, y como resultado de varias acciones desde la gerencia de comercialización, se han ido incrementando las ventas y si bien, se han tomado algunas decisiones vinculadas al aumento de capacidad en el corto plazo tales como crecimiento del personal, el problema del equilibrio demanda- capacidad se presenta casi habitualmente al momento de programar la producción.

En función de la demanda proyectada, aparecen cuellos de botella, que limitan la satisfacción de la misma. En este caso, la utilización de la Programación Lineal para obtener la mezcla óptima de producción se presenta como la herramienta ideal. No obstante, la aplicación de este modelo sólo considera como único factor de interés la obtención del máximo beneficio.

La Programación por Metas Ponderadas es una metodología que también se suele aplicar para la obtención de la mezcla. La misma, otorga flexibilidad al modelo y permite que otros factores u objetivos que pueden ser tan o más importantes que la obtención del máximo beneficio se consideren en la toma de decisión. Por otra parte, el método del Proceso Analítico de Jerarquías permite al decisor, estimar en forma sistemática el peso de los factores sin incurrir en falta de consistencia al momento de su ponderación [1].

En este trabajo se aplicará el Proceso Analítico de Jerarquías para estimar el peso de ponderación de los factores que el decisor considere importantes y a partir de los mismos se definirán, utilizando la Programación por Metas Ponderadas, distintos escenarios que permiten obtener la mejor solución.

Para la aplicación de los distintos modelos se utiliza el complemento Solver de Excel.

2. MARCO TEÓRICO.

En las complejas organizaciones actuales, en general, las decisiones se deben tomar en situaciones de información incompleta, recursos limitados, multiplicidad de objetivos, conflicto de intereses, entre otras. En estas condiciones no es posible lograr una optimización, pero se puede llevar a cabo una solución satisfactoria, es decir, satisfactoria y suficiente [2].

2.1. El Proceso Analítico de Jerarquías.

El Proceso Analítico de Jerarquías (PAJ) (o AHP, Analytic Hierarchy Process), desarrollado por Thomas L. Saaty, está diseñado para resolver problemas complejos que tienen criterios múltiples. Es un método de trabajo sencillo, lógico y estructurado, basado en la descomposición del problema en una estructura jerárquica.

Parte del proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones objetivas y/o subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios que se seguirán para tomar la decisión. Se utilizan matrices de comparaciones pareadas para establecer dichas preferencias. Las comparaciones pareadas son las bases fundamentales del PAJ. Se emplea la escala de Saaty con valores de 1 a 9, como se muestra en Tabla 2, para calificar las preferencias relativas de los elementos. A través de un desarrollo matemático se calculan los vectores de prioridades [3].

Tabla 2 Escala de Saaty

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación Numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Una consideración importante en términos de la calidad de decisión final se refiere a la consistencia de juicios que muestra el tomador de decisiones en el transcurso de la serie de comparaciones pareadas. La consistencia perfecta es difícil de lograr ya que los juicios son realizados por personas. Esta metodología calcula la relación o razón de consistencia de Saaty, considerando aceptable los valores menores a 0,1. Si el grado de consistencia es aceptable, puede continuarse con el proceso de decisión. Si dicho grado es inaceptable, quien toma las decisiones debe reconsiderar y modificar sus juicios sobre las comparaciones pareadas antes de continuar con el análisis.

2.2 La Programación por Metas Ponderadas.

La Programación por Metas (PM) se apoya en el concepto, introducido por Simon en 1956, que conduce a una teoría de racionalidad acotada en contraste a la teoría clásica basada en una racionalidad perfecta [4].

Este cambio de lógica, implica que el decisor no maximice ni minimice determinada función objetivo, sino que debe intentar que una serie de metas relevantes se acerque lo máximo posible a sus objetivos fijados previamente. Por lo tanto, se deben buscar soluciones razonables mediante el máximo cumplimiento de determinados niveles de aspiración, [5].

La PM es una metodología flexible basada en Programación Lineal, que permite resolver problemas con objetivos múltiples, inconmensurables o no, complementarios o en conflicto.

En PM los objetivos se transforman en restricciones meta, las que se añaden al conjunto de restricciones fijas. Ellas representan limitaciones no rigurosas, debido a que el nivel de aspiración deseado puede ser o no alcanzado. Para ello se introducen desviaciones negativas y positivas, que miden el exceso o falta de cumplimiento de cada meta respecto al objetivo anhelado.

La estructura general de un modelo PM con q metas y m-q restricciones del sistema o restricciones técnicas es el siguiente, ecuaciones 1 a 5:

Función de Logro

$$\min(\sum_{i=1}^q \alpha_i n_i + \beta_i p_i) \tag{1}$$

Sujeto a:

$$f_i(x) + n_i - p_i = t_i \quad \forall i \in \{1, \dots, q\} \tag{2}$$

$$h_i(x) \leq b_i \quad \forall i \in \{q+1, \dots, m\} \tag{3}$$

$$n_i \cdot p_i = 0 \quad \forall i \in \{1, \dots, q\} \tag{4}$$

$$x, n_i, p_i \geq 0 \tag{5}$$

Donde:

n_i y p_i son las desviaciones negativas y positivas, que cuantifican la falta o exceso de logro respectivamente;

$\alpha_i = w_i/k_i$, si n_i es no deseada en caso contrario $\alpha_i = 0$;

$\beta_i = w_i/k_i$, si p_i es no deseada en caso contrario $\beta_i = 0$;

w_i son los pesos de ponderación o de preferencia;

k_i son las constantes de normalización;

$f_i(x)$ o $h_i(x)$ representan las expresiones matemáticas del atributo i-ésimo, es decir una función del vector x de las variables de decisión;

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathfrak{R}^n$ vector de variables de decisión

t_i es el nivel de aspiración asociado al atributo i-ésimo.

La PM admite distintos enfoques respecto al tratamiento de la función de logro. El modelo presentado en la ecuación 1 corresponde al denominado Programación por Metas Ponderadas (PMP), donde se busca minimizar el logro agregado entre las metas. Los pesos w_i permiten diferenciar los distintos objetivos en orden de importancia, valores mayores representan metas más importantes. Los objetivos inconmensurables deben ser tratados en términos de una misma unidad de medida, es por ello que es necesario afectarlos por una constante de normalización. Se puede emplear diferentes constantes de normalización, las más utilizadas son:

- El valor objetivo o *target* $k_i = t_i$, no es aplicable cuando los objetivos son cero.
- La norma Euclídeana, de los coeficientes técnicos del objetivo (a_{ij}), ecuación 6:

$$k_i = \sqrt{\sum_j a_{ij}^2} \quad (6)$$

- La sumatoria de los valores absolutos de los coeficientes técnicos del objetivo, ecuación 7:

$$k_i = \sum_j |a_{ij}| \quad (7)$$

3. DESARROLLO.

A partir del objetivo planteado, esta sección se definirán en primer término, las características técnico económicas del sistema de producción. Seguidamente se plantea como primera alternativa de mezcla de producción la solución que es arrojada por Programación Lineal. Como resultado de aplicar este modelo, se obtienen la mezcla que genera el máximo beneficio y las operaciones cuello de botella que restringen la producción.

Una vez determinados los recursos restrictivos, se aplica el modelo de Programación por Metas Ponderadas, utilizando el Proceso Analítico de Jerarquías a efectos de obtener la ponderación relativa de las desviaciones no deseadas, que de acuerdo a la opinión del decisor son relevantes. Finalmente se analizan los distintos escenarios que son el resultado de aplicar distintos pesos de ponderación.

3.1 Características técnico-económicas del Sistema de Producción.

En la Tabla 3, se muestran los datos brindados por el área de Comercialización, precio de venta y demanda proyectada como así también aquellos provenientes de Finanzas, referidos al costo y beneficio unitario.

Tabla 3 Datos de Comercialización y Finanzas

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
PV	1850	1730	1950	1600
Costo [\$ /u]	1011,25	844,125	870	1147,5
Beneficio [\$ /u]	838,75	885,875	1080	452,5
Demanda Proyectada [u/mes]	800	450	500	600

En Tabla 4 se presentan las capacidades de las actividades desarrolladas en el sistema de operaciones de la organización.

Tabla 4 Capacidad de las actividades

Actividad	Nº de operarios	h/mes
DESCARGA (DC)	4	640
ALMACENAMIENTO (AL)	1	160
ENSAMBLE(EN)	12	1920
PINTURA (PI)	8	1280
EMPAQUE (EQ)	6	960
DESPACHO (DP)	4	640

En la Tabla 5 se muestra los consumos de los recursos en función del producto.

Tabla 5 Consumo de las actividades según el producto

Actividad	X ₁ [h/u]	X ₂ [h/u]	X ₃ [h/u]	X ₄ [h/u]
DESCARGA (DC)	0,33	0,283	0,5	0,025
ALMACENAMIENTO (AL)	0,0167	0,025	0,005	0,04
ENSAMBLE(EN)	0,49	0,361	0,32	0,56
PINTURA (PI)	0,65	0,25	0,42	0,68
EMPAQUE (EQ)	0,65	0,68	0,74	0,62
DESPACHO (DP)	0,6	0,6	0,45	0,3

Finalmente, en Tabla 6, se presenta el análisis de la capacidad de la instalación en función de la demanda proyectada.

Tabla 6 Consumo de los recursos para la demanda proyectada

Actividad	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	h. nec	h. disp.	%utilización
DC	266,7	127,5	250,0	15,0	659,2	640,0	103,0
AL	13,3	11,3	2,5	24,0	51,1	160,0	31,9
EN	392,0	162,5	160,0	336,0	1050,5	1920,0	54,7
PI	520,0	112,5	210,0	408,0	1250,5	1280,0	97,7
EQ	520,0	306,0	370,0	372,0	1568,0	960,0	163,3
DP	480,0	270,0	225,0	180,0	1155,0	640,0	180,5

Se observa que los recursos DC, EQ Y DP se encuentran sobrecargados si se desea satisfacer la totalidad de la demanda. El requerimiento más crítico es el correspondiente a la actividad de despacho y es en consecuencia el recurso cuello de botella o Unidad de Recurso Escaso URE

3.2 Obtención de la mezcla óptima.

A partir de los datos presentados, se aplica el modelo de Programación Lineal, a efectos de obtener la mezcla que maximiza el beneficio. En el cuadro 1 se presentan los resultados:

Cuadro 1 Modelo de Programación Lineal

		X1	X2	X3	X4	DC1	DC2	DC3	DC4	AL1	AL2	AL3	AL4		
FO	1112682,8	27	450	500	429	2	75	100	43	2	75	25	43		
BU		838,75	885,875	1080	452,5	-625	-212,5	-312,5	-31,25	-23,4375	-14,0625	-9,375	-37,5		
DCX1		1				-15								-3	<= 0
DCX2			1				-6							0	<= 0
DCX3				1				-5						0	<= 0
DCX4					1				-10					-1	<= 0
ALX1		1								-15				-3	<= 0
ALX2			1								-6			0	<= 0
ALX3				1								-20		0	<= 0
ALX4					1								-10	-1	<= 0
h DC						5	1,7	2,5	0,25					398,25	<= 640
h AL										0,25	0,15	0,1	0,4	31,45	<= 160
h EN		0,49	0,361	0,32	0,56									575,92	<= 1920
h PI		0,65	0,25	0,42	0,68									631,77	<= 1280
h EQ		0,65	0,68	0,74	0,62									958,53	<= 960
h DP		0,6	0,6	0,45	0,3									638,9	<= 640
V1		1												27	<= 800
V2			1											450	<= 450
V3				1										500	<= 500
V4					1									429	<= 600

Del mismo se puede observar que:

- La mezcla que optimiza el beneficio está formada por 27 unidades de X₁, 450 de X₂, 500 de X₃ y 429 de X₄.
- El beneficio obtenido por la fabricación y venta de esta mezcla es de \$ 1112683.
- Los recursos EQ y DP son los que más se utilizan, aunque no se agotan totalmente.
- El recurso EQ es utilizado en 958,53 h.
- El recurso DP es utilizado en 638,9 h.

3.3. Aplicación del modelo de Programación por Metas Ponderadas (PMP).

A partir de los resultados obtenidos por Programación Lineal, se plantea el modelo de PMP, a efectos de obtener una solución que considere múltiples objetivos que son maximizar el beneficio y maximizar la explotación de los cuellos de botella. La metodología propuesta permite al tomador de decisiones determinar la importancia de los objetivos basado en otros criterios como pueden ser el costo de la hora ociosa de un recurso restrictivo, entre otros.

En consecuencia, se plantean las siguientes restricciones meta para el modelo:

1. Objetivo del máximo beneficio:

$$838,75 X_1 + 885,875 X_2 + 1080 X_3 + 452,5 X_4 - 625 DC_1 - 212,5 DC_2 - 312,5 DC_3 - 31,25 DC_4 - 23,4 AL_1 - 14,0 AL_2 - 9,375 AL_3 - 37,5 AL_4 + n_1 = 1794175$$

2. Objetivo de maximizar el uso del recurso EQ

$$0,65 X_1 + 0,68 X_2 + 0,74 X_3 + 0,62 X_4 + n_2 = 960$$

3. Objetivo de maximizar el uso del recurso DP

$$0,6 X_1 + 0,6 X_2 + 0,45 X_3 + 0,3 X_4 + n_3 = 960$$

Cabe mencionar que las desviaciones positivas no se consideran en el modelo dado que éstas no son factibles debido a las características del sistema operativo.

3.3.1 PMP con metas igualmente ponderadas.

En el cuadro 2 se presenta el modelo de Programación por Metas en el que los coeficientes de las desviaciones no deseadas de la función de logro se encuentran igualmente ponderados y normalizados.

Cuadro 2 Programación por Metas igualmente ponderadas

		X1	X2	X3	X4	DC1	DC2	DC3	DC4	AL1	AL2	AL3	AL4	n1	n2	n3							
FO	0,408115	30	444	500	430	2	75	196	50	2	74	25	43	5,57E-07	0,001041667	0,0015625							
BU		838,75	885,875	1080	452,5	-625	-212,5	-312,5	-31,25	-23,4375	-14,0625	-9,375	-37,5	1	1,98	1,6	1794175	=	1794175				
DCX1		1				-15												0	<=	0			
DCX2			1				-6												-6	<=	0		
DCX3				1				-5												-480	<=	0	
DCX4					1				-10												-70	<=	0
ALX1		1								-15											0	<=	0
ALX2			1								-6										0	<=	0
ALX3				1								-20									0	<=	0
ALX4					1								-10								0	<=	0
h DC						5	1,7	2,5	0,25												640	=	640
h AL										0,25	0,15	0,1	0,4								31,3	<=	160
h EN		0,49	0,361	0,32	0,56																575,784	<=	1920
h PI		0,65	0,25	0,42	0,68																632,5	<=	1280
h EQ		0,65	0,68	0,74	0,62										1						960	=	960
h DP		0,6	0,6	0,45	0,3																640	=	640
V1		1																			30	<=	800
V2			1																		444	<=	450
V3				1																	500	<=	500
V4					1																430	<=	600

Para este modelo:

- la mezcla está formada por 30 unidades de X₁, 444 de X₂, 500 de X₃ y 430 de X₄.
- El beneficio obtenido es de \$ 1794175 - \$ 724043,38 = \$ 1070131,63.
- El recurso EQ utilizado es de 960 h - 1,98 h = 958,02 h.
- El recurso DP utilizado es de 640 h - 1,6 h = 638,4 h.

3.3.2. Programación por Metas Ponderadas según criterio del decisor

Para la ponderación de los criterios se utiliza una matriz de comparaciones pareadas que permite al decisor determinar la importancia relativa de las desviaciones no deseadas. Se definen:

C₁: coeficiente que pondera el beneficio

C₂: coeficiente que pondera explotación de EQ

C₃: coeficiente que pondera explotación de DP

Para este trabajo en particular se plantean dos matrices distintas que se denominan Situación I y Situación II. De esta forma se pretende visualizar el efecto de la distinta ponderación, en la obtención de la mezcla. Las ponderaciones se realizaron utilizando la escala de Saaty.

Situación I: el decisor considera extremadamente preferible obtener la máxima rentabilidad frente a los otros dos factores que consideran la explotación de los cuellos de botella. En la tabla 5a se presenta la matriz de comparaciones pareadas y la tabla 5b presenta la normalización resultante de dicha comparación. Se verificó la consistencia perfecta de la matriz.

Tabla 5a. Comparación pareada de los coeficientes Situación I

	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	9	9
C ₂	1/9	1	1
C ₃	1/9	1	1

Tabla 5b Vector resultante Situación I

	C ₁	C ₂	C ₃	Vector
C ₁	0,8182	0,8182	0,8182	0,8182
C ₂	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909
C ₃	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909

Los coeficientes de ponderación que forman el vector resultante, se normalizan y se introducen en el modelo de PMP, generando los resultados presentados en el cuadro 3.

Cuadro 3 PMP con factores ponderados para Situación I

	X1	X2	X3	X4	DC1	DC2	DC3	DC4	AL1	AL2	AL3	AL4	n1	n2	n3						
FO	0,3156	27	449	500	430	2	75	100	43	2	75	25	43	4,56021E-07	9,4697E-05	0,000142045					
BU	838,75	885,875	1080	452,5	-625	-212,5	-312,5	-31,25	-23,4375	-14,0625	-9,375	-37,5	1	691925,5625	0,53	0,4	1794175	=	1794175		
DCX1	1				-15													-3	<=	0	
DCX2		1				-6													-1	<=	0
DCX3			1				-5												0	<=	0
DCX4				1				-10											0	<=	0
ALX1	1								-15										-3	<=	0
ALX2		1								-6									-1	<=	0
ALX3			1								-20								0	<=	0
ALX4				1								-10							0	<=	0
h DC					5	1,7	2,5	0,25											398,25	<=	640
h AL									0,25	0,15	0,1	0,4							31,45	<=	160
h EN	0,49	0,361	0,32	0,56															576,119	<=	1920
h PI	0,65	0,25	0,42	0,68															632,2	<=	1280
h EQ	0,65	0,68	0,74	0,62											1				960	=	960
h DP	0,6	0,6	0,45	0,3												1			640	=	640
V1	1																		27	<=	800
V2		1																	449	<=	450
V3			1																500	<=	500
V4				1															430	<=	600

Para este modelo:

- la mezcla está formada por 27 unidades de X₁, 449 de X₂, 500 de X₃ y 430 de X₄.
- El beneficio obtenido es de \$ 1794175 - \$ 692925,5625 = \$ 1102249,44.
- El recurso EQ utilizado es de 960 h - 0,53 h = 959,47 h.
- El recurso DP utilizado es de 640 h - 0,4 h = 639,6 h.

Situación II: el decisor considera como extremadamente importante la plena ocupación del centro EQ respecto de los dos factores restantes. La matriz de comparaciones pareadas y la matriz normalizada producto de esta ponderación se presentan en tablas 6a y b. Se verificó además consistencia perfecta de la matriz.

Tabla 6 a Comparación pareada de los coeficientes Situación II

	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	1/9	1
C ₂	9	1	9
C ₃	1	1/9	1

Tabla 6b Vector resultante Situación II

	C ₁	C ₂	C ₃	Vector
C ₁	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909
C ₂	0,8182	0,8182	0,8182	0,8182
C ₃	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909

Procediendo de la misma forma que en Situación I, los valores del vector resultante, normalizados se introducen en el modelo de PMP, generando los resultados en el cuadro 4:

Cuadro 4 PMP con factores ponderados para Situación II

	X1	X2	X3	X4	DC1	DC2	DC3	DC4	AL1	AL2	AL3	AL4	n1	n2	n3						
FO	0,035	34	442	500	431	3	74	100	44	3	74	25	44	5,0669E-08	0,0008523	0,000142045					
BU	838,75	885,875	1080	452,5	-625	-212,5	-312,5	-31,25	-23,438	-14,063	-9,375	-37,5	1	692293,5625	0,12	0,1	1794175	=	1794175		
DCX1	1				-15														-11	<=	0
DCX2		1				-6													-2	<=	0
DCX3			1				-5												0	<=	0
DCX4				1				-10											-9	<=	0
ALX1	1								-15										-11	<=	0
ALX2		1								-6									-2	<=	0
ALX3			1								-20								0	<=	0
ALX4				1								-10							-9	<=	0
h DC					5	1,7	2,5	0,25											401,8	<=	640
h AL									0,25	0,15	0,1	0,4							31,95	<=	160
h EN	0,49	0,361	0,32	0,56															577,582	<=	1920
h PI	0,65	0,25	0,42	0,68															635,68	<=	1280
h EQ	0,65	0,68	0,74	0,62										1					960	=	960
h DP	0,6	0,6	0,45	0,3											1				640	=	640
V1	1																		34	<=	800
V2		1																	442	<=	450
V3			1																500	<=	500
V4				1															431	<=	600

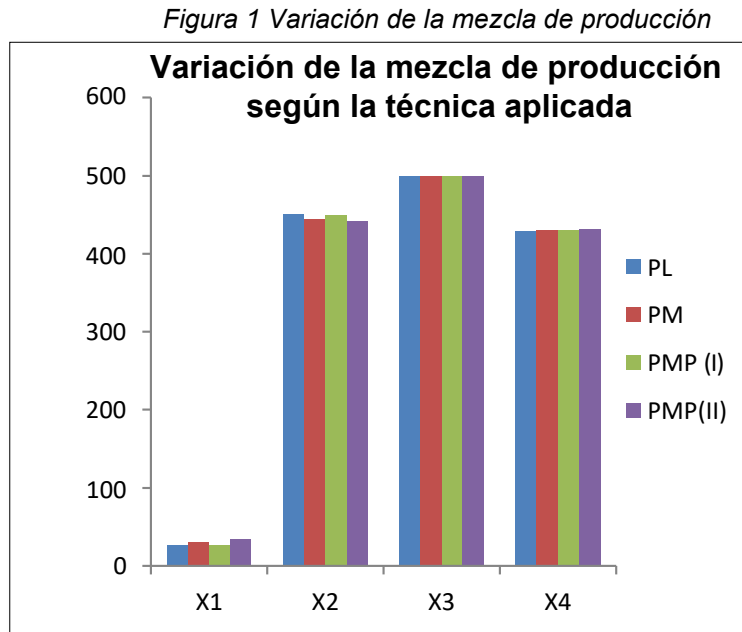
Para este modelo:

- la mezcla está formada por 34 unidades de X₁, 442 de X₂, 500 de X₃ y 431 de X₄.
- El beneficio obtenido es de \$ 1794175 - \$ 692293,5625 = \$ 1101881,44.
- El recurso EQ utilizado es de 960 h - 0,12 h = 959,88 h.
- El recurso DP utilizado es de 640 h - 0,1 h = 639,9 h.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

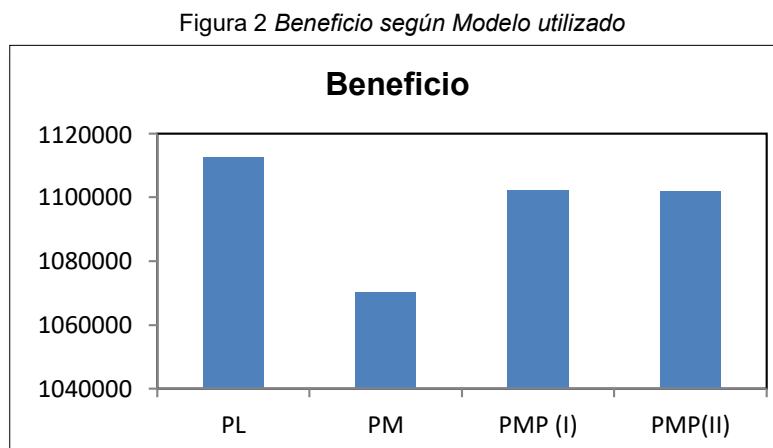
A partir de los resultados presentados en el apartado anterior, es posible visualizar los siguientes logros.

En la figura 1 se observa como varía la mezcla en función del modelo utilizado:



Claramente no existe una única solución al problema, sino que la misma va cambiando según sea el modelo utilizado. Esto es un claro indicador que el decisor deberá plantear distintos escenarios para finalmente decidir cuál es el que mejor ajusta a sus necesidades.

En la figura 2, se observa el efecto en el beneficio según se selecciona la mezcla.



Se observa que el modelo de Programación Lineal es el de máximo beneficio, el de PM es el modelo de beneficio menor y la ponderación de las metas no tiene, en este caso, un efecto definido sobre el beneficio.

En la Tabla 7 se presenta un cuadro resumen para permitir la comparación de resultados.

Tabla 7 Resumen de resultados

	X1	X2	X3	X4	n1	n2	n3	Beneficio	hs EQ	%utilizacion de CB	hs DP	%utilizacion de CB
PL	27	450	500	429				1112682,81	958,53	0,99846875	638,9	0,99828125
C1=C2=C3	30	444	500	430	724043,375	1,98	1,6	1070131,63	958,02	0,9979375	638,4	0,9975
C1=0.818 (situación I)	27	449	500	430	691925,5625	0,53	0,4	1102249,44	959,47	0,99944792	639,6	0,999375
C2=0.818 (situación II)	34	442	500	431	692293,5625	0,12	0,1	1101881,44	959,88	0,999875	639,9	0,99984375

En la misma se puede observar que:

El modelo de PL proporciona la mezcla que maximiza el beneficio, aunque no agota el uso de los cuellos de botella (CB).



Si se analizan los resultados de PMP, se observa claramente como varia la mezcla resultante, el beneficio y las horas de uso de los recursos, según sea el valor de los coeficientes:

- Cuando $C_1=0.818$, y $C_2=C_3=0.091$ la mezcla arrojada por el modelo es la de mayor beneficio y la de menor utilización de los CB
- Cuando $C_2=0.818$ y $C_1=C_3=0.091$, se obtiene el mayor porcentaje de utilización de EQ

5. CONCLUSIONES.

El problema de obtención de la mezcla de producción en un entorno de múltiples cuellos de botella, se resuelve habitualmente utilizando la técnica de Programación Lineal.

No obstante, el empleo de este modelo, considera como único factor a tener en cuenta en el proceso de optimización, aquél que se introduce en la función objetivo, habitualmente el beneficio. La Programación por Metas en cambio, permite la consideración de otros objetivos que el decisor puede suponer importantes en la determinación de la mezcla, confiriendo flexibilidad al modelo.

La Programación por Metas Ponderadas, además permite al decisor introducir su opinión respecto de la importancia de dichos factores. Dicha ponderación se puede realizar utilizando el Proceso Analítico de Jerarquías, de forma tal de no incurrir en inconsistencias al momento de emitir los juicios.

Este trabajo propone una metodología de utilizar en forma conjunta el PAJ y la PMP en la determinación de la mezcla de producción en un sistema de múltiples cuellos de botella, y demuestra a partir de la aplicación directa en un caso real, su efectividad.

6. REFERENCIAS.

- [1] Tanhaie, Fahimeh; Nahavandi, Nasim. (2017). "Solving product mix problem in multiple constrains environment using goal programming". *Journal of Industrial Engineering and Management Studies*. Vol. 4, No. 1, pp. 1-12.
- [2] Bonatti Patricia. (2011). *Teoría de la Decisión*. 1ra. Edición - Buenos Aires, Prentice Hall – Pearson Education, Argentina.
- [3] Saaty, Thomas. (2008). "Decision Making with the Analytic Hierarchy Process". *Int. J. Services Sciences*, vol. 1, No. 1, pp. 83-98. Pittsburg, USA.
- [4] Simon, Herbert. (1956). "Rational Choice and the Structure of the Environment". *Psychological Review*, vol. 63(2), pp.129– 138.
- [5] Tamiz, Mehrdad; Jones, Dylan; Romero, Carlos. (1998). "Theory and Methodology Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art". *European Journal of Operational Research*, Vol. 111, pp. 569–581.

Nuevas tecnologías informáticas para la sustentabilidad logística con soporte criptográfico y mediadas por aplicaciones móviles y web, reingeniería en código abierto.

No, Irma Noemi*; Tornillo, Julián Eloy ; Ciccone, Pablo Luis Antonio; Battaglini, Javier Leonardo

*Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Lomas de Zamora
Ruta 4 (ex-Camino de cintura) – Km. 2, Lomas de Zamora, Buenos Aires (1832)
no.irma@gmail.com; ino@ingenieria.unlz.edu.ar; jtornillo@ingenieria.unlz.edu.ar
pablociccone@hotmail.com; fliabatta@gmail.com*

RESUMEN

Las nuevas tecnologías informáticas que intervienen de manera activa y superadora en los diferentes procesos industriales se orientan a la optimización socioeconómica y ambiental de los mercados. En el área logística las innovaciones derivadas de la digitalización en tareas de planeamiento, ejecución y el respeto ambiental se combinan con nuevas aplicaciones informáticas orientadas a la descentralización y el seguimiento de cada etapa, bajo condiciones de elevada seguridad (de perfil criptográfico) y contratación inteligente. Este artículo recorre las bases de nuestra investigación y producción de un sistema integrado de software libre, orientado a las decisiones sustentables y trazables del ingeniero en empaque, abarcando: la optimización costo-espacial con softwares de paletizado/carga, el cálculo digitalizado de huella de carbono por transportación, las tecnologías de aseguramiento de trazabilidad de productos (cadenas de bloques "Blockchain"), y las nuevas formas de contacto, mediación y contratación, referenciadas aquí bajo el nombre "Uber-logístico".

Palabras Clave: logística sustentable, trazabilidad Blockchain, decisión en empaque, contratos inteligentes.

ABSTRACT

The new computer technologies that intervene in an active way in the different industrial processes are oriented to the socioeconomic and environmental optimization of the markets. In the logistics area, the innovations derived from digitalization in planning, execution and environmental respect tasks are combined with new computer applications oriented to decentralization and monitoring of each stage, under conditions of high security (of cryptographic profile) and intelligent contracting. This article covers the bases of our research and production of an integrated free software system, oriented to the sustainable and traceable decisions of the packaging engineer, covering: cost-spatial optimization with palletizing / loading software, digitized calculation of the footprint carbon produced by transportation, product traceability assurance technologies (blockchain chains), and new forms of contact, mediation and contracting, known as "Uber-Freight".

1. INTRODUCCIÓN

La última encuesta publicada por el Observatorio de Logística Sustentable ITBA [1] sobre el estado de concientización e implementación de políticas, técnicas y herramientas de sustentabilidad logística en grandes, medianas y pequeñas empresas en Argentina, arroja un porcentual aún no satisfactorio (30%) del cumplimiento de las metas y lineamientos sobre eficiencia energética y emisiones de dióxido de carbono (CO2) que determina la Secretaría de Energía de la Nación. Parte de la optimización del cuidado ambiental en operaciones logísticas encuentra hoy, a través de plataformas de georreferenciación y contacto entre partes de la cadena logística, un importante soporte con la incorporación de tecnologías informáticas orientadas a la economía de recursos y eliminación de intermediarios. Se encuentran en fase de inicio plataformas orientadas al transporte de carga (de similares características a los softwares de transportación de personas), en modalidad móvil y web. Para el aseguramiento en la calidad de estos avances tecnológico-digitales aplicados a la ingeniería de suministros y logística, se utilizan recursos criptográficos ya probados en otros campos, específicamente el modelo de “cadena de bloques” (en adelante Blockchain) [2]. Consecuentemente, las ideas de sustentabilidad ambiental, modelos de negocios digitalizados y seguridad informática conforman un área conjunta de estudio, promoviendo mediante su interacción un avance sostenido en el campo de la Ingeniería Industrial.

En este nuevo escenario, la inclusión de recursos de software libre como soporte a digitalización de diferentes procesos de la cadena de suministros, ofrece algunas ventajas competitivas a largo plazo, considerando niveles de sustentabilidad económica y tecnológica y permanente soporte colaborativo masivamente distribuido, a través de plataformas de código abierto y gratuito.

En los siguientes apartados compartiremos los recursos hallados y las metodologías utilizadas hasta el momento para alcanzar el objetivo de: detectar y desarrollar herramientas en el ámbito de la logística sustentable a través de la sinergia: código abierto, control de impacto ambiental, trazabilidad y contratación inteligente; como orientación, se esquematiza en la Figura 1 el nuevo modelo industrial y de negocios 4.0 [3], en el cual el consumidor final (o en su defecto el comerciante minorista) activa el flujo digitalizado de las órdenes de compra dando origen a la cadena de producción/suministro y sus correspondientes registros en blockchain, la agilización del sistema de reparto por transportación bajo el sistema “Uber-Freight”, y la llegada del producto a manos del consumidor final, con etiquetas que comunican: la responsabilidad ambiental de la empresa CO2 (“calculo/reduzco/compenso”) y el origen/trazabilidad del producto (código QR).

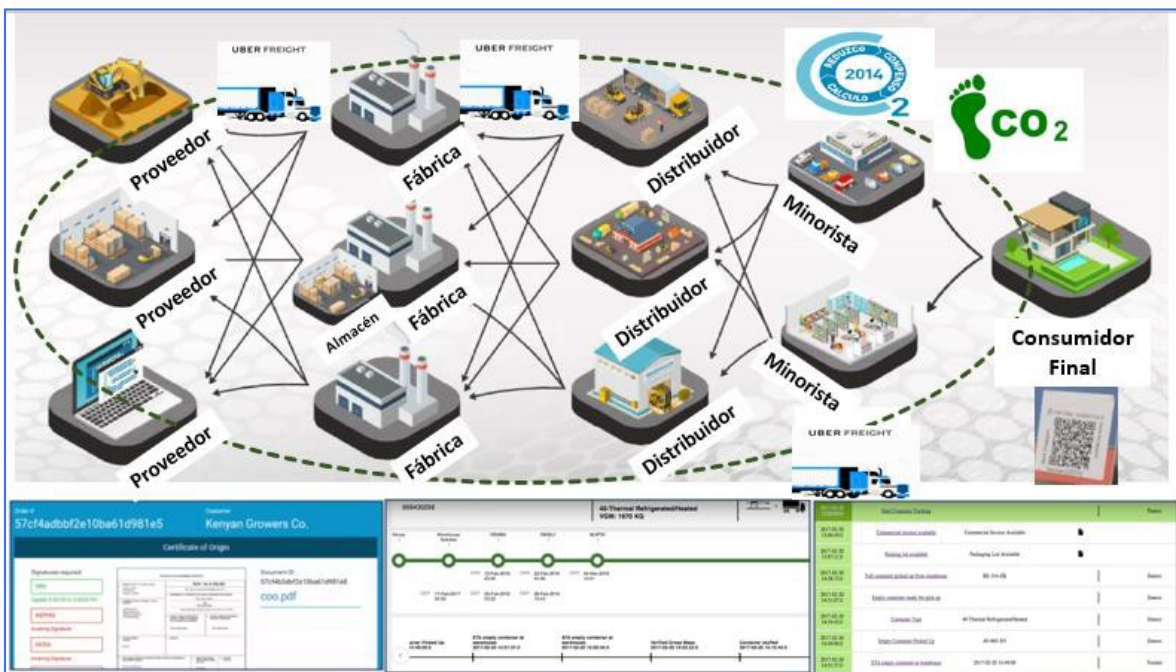


Figura 1 – Modelo Industrial 4.0 Sustentable (Fuente: elaboración propia, elementos autorizados)

2. METODOLOGÍA Y RECORRIDO

El marco de referencia teórico y técnico-profesional orientados al objeto de estudio se inicia mediante prácticas de vigilancia tecnológica, siguiendo el modelo operativo de los cinco pasos “Montes 2014” ajustado al problema [4].

La determinación de los factores críticos de vigilancia y su jerarquización se basa en el recorrido de las plataformas Patentinspiration, Espacenet y PatentScope (se han omitido las plataformas de pago: Vigiale y Miniera siguiendo las decisiones de financiamiento del proyecto). A través de estas bases de datos abiertas, se han logrado extraer: palabras, personas y temas clave. El análisis

exploratorio de las búsquedas anteriores sumadas a las realizadas en diferentes bases bibliográficas de artículos/revistas científicas (Scielo, Redalyc, y otras), demuestran que el abordaje de la temática “logística sustentable” es: muy actual, heterogéneo por regiones y aún no muy exhaustivamente aprovechado.

En orden de magnitud mostramos sólo algunos de los datos recogidos con respecto a la producción de patentes en las diferentes aristas de nuestra temática: Métodos de Paletizado 13667 patentes a la fecha (Figura 2). La importante cantidad de registros incluyen diferentes abordajes y una larga tradición por la búsqueda de un óptimo operativo bajo muy diversas condiciones de contorno y propósitos.

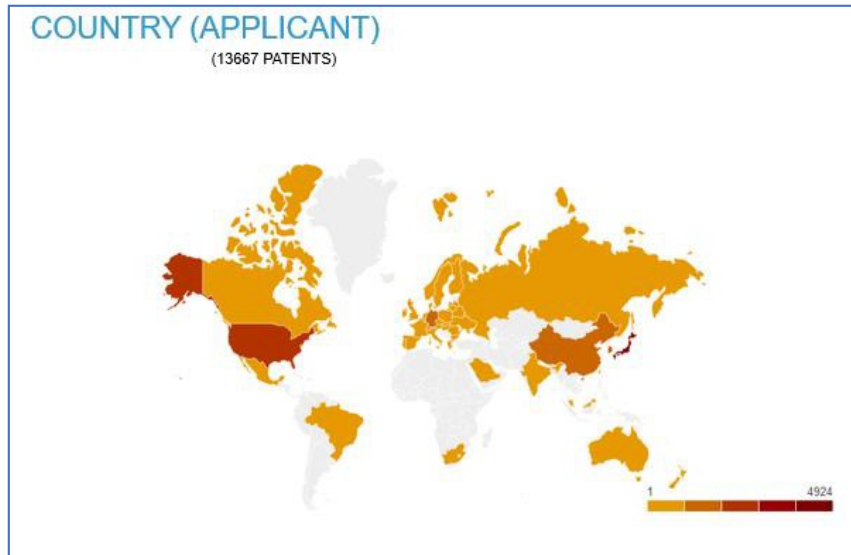


Figura 2- Métodos de Paletizado y Carga - Distribución Geográfica de Empresas propietarias de patente (Fuente: Elaboración propia con asistente visual de Patentinspiration)

Son numerosos los estudios y recursos en medición de huella de carbono, pero al incluir el refinamiento “transportación” en la búsqueda, la cantidad de patentes se reduce muy notablemente (cuarenta y ocho). La “Huella de Carbono por transportación” analizada desde el punto de vista del propietario (applicant) de patente, puede observarse en la Figura 3. Como detalle de interés se destaca que se halló sólo una academia propietaria en la temática: la Universidad de Shanghai.



Figura 3 - Huella de carbono por transportación - Propietarios de Patentes (Fuente: Elaboración propia con asistente visual de Patentinspiration)

La herramienta blockchain como resguardo de aseguramiento criptográfico se está extendiendo a numerosos campos (en instituciones gubernamentales, empresas y academias), muy por fuera de su conocida aplicación originaria destinada al ámbito de las finanzas y las criptomonedas. Constantes noticias de nuevos usos pueden observarse en diferentes medios de divulgación social y periodística (por ejemplo, en el campo de la Blockchain Federal Argentina - BFA.ar).

Básicamente esta cadena de bloques actúa como un dispositivo de trazabilidad mediante la transmisión digital de un activo con la asignación de una pluralidad de claves públicas y la consecuente generación de claves privadas en modo de firma digital, realizando un registro de relaciones de ciertos dígitos correspondientes a activos sucesivos de la cadena, cifrando estos bloques creados y almacenándolos en una cadena de bloques (por ejemplo, mediante un algoritmo tipo hash, transformando datos en una serie de caracteres de longitud fija).

En el área de la cadena de bloques, como método criptográfico de seguridad en transportación, se hallaron treinta y ocho patentes (38), desde 2016 hasta mayo de 2019 (Figura 4). Partiendo de un código abierto, el patentamiento se dirige hacia nuevas aplicaciones o ampliaciones significativas del código en versión propietario.

El principal potencial de esta herramienta informática es su característica de inviolabilidad de la información por el uso de sistemas distribuidos entre pares (p2p).

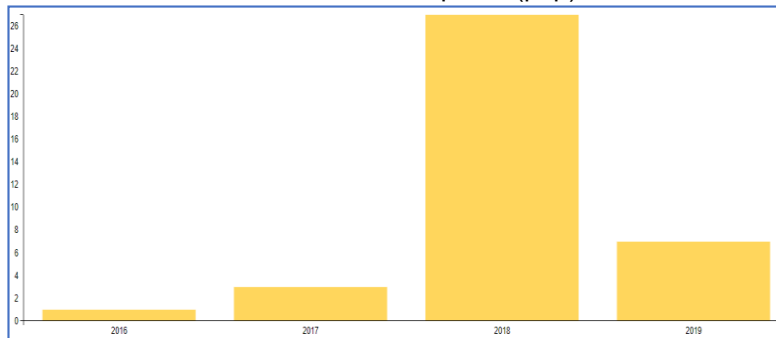


Figura 4 - Cantidad de Patentes en la temática de Blockchain aplicado a la Transportación (hasta mayo 2019)
(Fuente: Elaboración propia con datos de la base Patentinspiration)

Por último, considerar las nuevas formas de contratación logística con intervención de movilidad informática tipo “Uber” demostró algunas ventajas con respecto a los métodos logísticos tradicionales como: la precisión de la información y el rendimiento en tiempo real, la eficiencia operativa de la industria logística y los bajos costos asociados. Existen actualmente plataformas de prueba de esta tecnología, se puede mencionar como ejemplo el Uber logístico, denominado “Freight” utilizado en Texas, US, bajo control de UBER TECHNOLOGIES INC., y amparado por una legislación habilitante y reguladora de la actividad. Otros ejemplos de contratación logística directa con soporte web son Uship, Humber y Coyote.

Las patentes de esta novedosa nueva forma de negocio, y su particular modalidad de contratación, son aún escasas [5] y se basan en el modelo “ganar – ganar” eliminando la intermediación (Figura 5), sumando la posibilidad de la eliminación de ámbitos físicos para el almacenaje y gestionando espacios disponibles en modalidad multicarga.

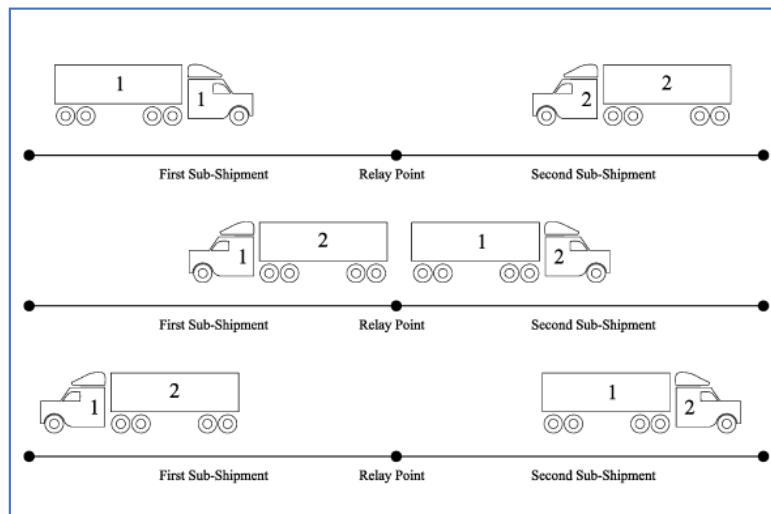


Figura 5 - Modelo de ruteo y control de cargas optimizado- Uber Freight
(Fuente: Patente WO2018136179 (A1) - Fig. 8. [4.3])

La búsqueda bibliográfica, acompañada de la realización de cursos específicos en las áreas de: huella de carbono (“Huella y contrahuella de carbono”, Universidad Politécnica de Madrid, España) y blockchain (“La disrupción del blockchain”, Universidad Austral, Argentina, y “Blockchain: Understanding Its Uses and Implications”, The Linux Foundation), dieron respaldo a la vigencia, oportunidad y empuje de la logística como área de interés para la aplicación de estos conceptos. Con la información recorrida disponible, sumada a la posibilidad de utilizar software de código abierto se elaboró un plan de acción y se iniciaron tareas tendientes a alcanzar los siguientes objetivos:

- 2019.- Producir una ayuda para la toma de decisión sustentable del ingeniero en empaque, a través de la elaboración de un paquete informático ejecutable de manera abierta y gratuita en un entorno de desarrollo integrado (IDE) disponible (elegido: “R”), que ofrezca un conjunto de soluciones de distribución óptimas al problema logístico de paletizado y distribución, bajo

diferentes condiciones de contorno, acompañadas de una medida (indicador) del impacto ambiental por huella de carbono.

- 2020.- Determinar las variables de interés (desagregadas desde las categorías: elementos, funciones, contexto de aplicación, alcance, riesgos y oportunidades), sobre un conjunto reducido de aplicativos informáticos en desarrollo y en uso (unidades de análisis) correspondientes al campo de cadenas de bloques y Uber logísticos sintetizando el recorrido realizado mediante una matriz tipo FODA tecnológico-logística para nuestro contexto regional [6].

Se espera que otros investigadores a través de esta divulgación se sumen al esfuerzo de lograr una logística sustentable y regionalmente sostenible. En el próximo apartado se esbozan algunos detalles del camino iniciado para el logro de los objetivos señalados.

3. EL SOFTWARE LIBRE COMO SOPORTE A LA ACTIVIDAD LOGÍSTICA

El cálculo de huella de carbono se encuentra muy extendido e informatizado por medio de diversas calculadoras web personales y asociadas a actividades específicas; existen además bases de datos con indicadores de daño ambiental por categoría de vehículo/transporte, y por actividad/producto (TCF: transport carbon footprint y PCF: product carbon footprint). En la actualidad el transporte aporta entre el 10 y el 20% de los gases efecto invernadero y la cuarta parte de este impacto es generada por el transporte automotor de cargas [7], motivando estos datos el enfoque de nuestra investigación. Reportes desagregados basados en datos suministrados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) correspondientes a veintiséis países de América Latina y el Caribe, incluyen diversos indicadores (generales, carreteras, ferrocarriles, aéreo, acuático, actividades logísticas), produciendo información denominada “perfil del país en transporte de carga”, disponible web en forma abierta y gratuita [8]. Con los recursos mencionados hasta el momento, se extraen parámetros de interés para los objetivos planteados (en Argentina: indicador CO2/carga=0.08, distancia promedio recorrida por camión=116000 km/año, y otros).

La incorporación de un indicador de huella de carbono en actividades logísticas dentro de un paquete de código libre supone tareas de reingeniería sobre los esfuerzos ya realizados hasta el momento para este fin. En este sentido se utiliza el código de paletizado creado en “R” [9] como alternativa a los programas PLMStackBuilder y Tops PRO [10], para extenderlo a prestaciones de carga y transporte siguiendo la línea de estos programas, sumando el agregado de impacto ambiental por transportación.

La elección del IDE “R” se basa no sólo en su característica de código abierto y gratuito, sino también en su capacidad para interactuar con diversos lenguajes (html, Python, C++, y otros) compilando los códigos creados con una amplia gama de formatos de salida (Word, pdf, html, html5, slides, libros, artículos científicos (con estilo LaTeX y otros), aplicaciones interactivas shiny, etc.). Las continuas aportaciones al crecimiento del entorno de desarrollo “R” posibilita el avance y perfeccionamiento del código de paletizado (versión 1) para el cumplimiento de los objetivos señalados en apartado anterior; por ejemplo: mediante el uso del paquete “raster”, se pueden incorporar distribuciones (mosaicos) a layers, así como asignar propiedades a diferentes grupos de embalajes (Figura 6), aportando avances a la visualización de la unidad de carga. La librería “sf” de “R” añade importantes herramientas para el ploteo y análisis de datos vectoriales, generando objetos espaciales jerarquizados (geometrías) aplicables al problema de distribución y organización de cargas poligonales [11].

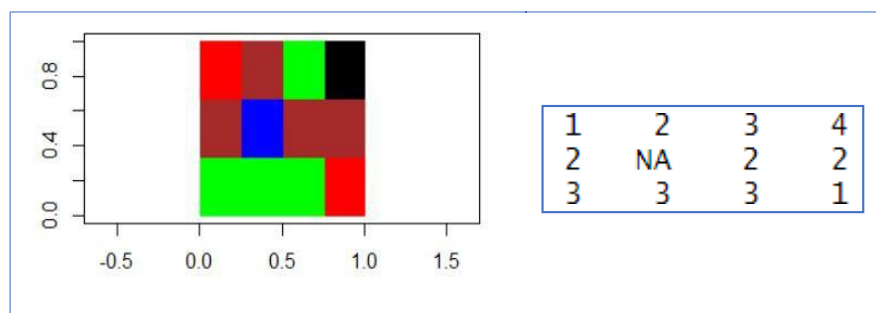


Figura 6 - Librería raster aplicada a paletizado (Fuente: Elaboración propia en R)

El análisis de los cálculos intervinientes en la formulación del indicador de huella de carbono logística se inició mediante la decodificación de herramientas informáticas disponibles en diferentes soportes y contextos. Dada la flexibilidad comentada anteriormente de la interacción del IDE “R” con múltiples plataformas y lenguajes, se realizó un proceso de análisis, reingeniería, rediseño y codificación para la obtención de una calculadora de huella de carbono interfaz usuario capaz de ser aplicada al área de la cadena de suministros.

Enumeramos algunos insumos y tareas realizadas:

- Enfoques metodológicos y tratamiento de datos correspondientes a calculadoras de huella de carbono desarrolladas por diferentes organizaciones y gobiernos:

- Calculadora de Huella de Carbono Alcance 1+2 para organizaciones 2007-2018 – V.14 (Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO) – Gobierno de España /formato Excel).
- Calculadora prospectiva de cambio climático y energético (“The UK 2050 Calculator”) desarrollada por el Departamento de Energía y Cambio Climático del Reino Unido, y sus adaptaciones (bajo convenio) a diferentes países (Colombia y México / versiones Excel y html).
- Calculadoras online disponibles (Carbon Footprint Calculator desarrollo de la organización Carbontrust y Calculadora del Gobierno de Aragón)
- Pruebas de recursos disponibles en el sitio colaborativo Github para el cálculo de la huella de carbono. Se han corregido y rediseñado los códigos disponibles como primeros ensayos de ensamble html-R y Python-R.
- Desagregación de parámetros y variables de interés reservando los datos útiles para el problema logístico en contexto (transporte de carga y sus combustibles en la región Mercosur, factores de emisión (FE: “*Aquellos que convierten los datos de la actividad primaria (energía eléctrica, combustibles fósiles, etc.) en las emisiones de gases de efecto invernadero (en kg Co2equivalente)*” [12], pág. 10).
- Diseño de logos, vistas (Figura 7) y decisiones de interfaz usuario (utilizando formato de salida html a través de “R markdown”).



Figura 7 - Vista de la pantalla inicio del módulo-script "CO2" (Elaboración propia)

Los principales obstáculos para el desarrollo del script “CO2” han sido:

- Algunas herramientas de Python -útiles por su agilidad en su entorno de origen- entorpecen la interfaz R-Python (el framework minimalista “Flask”, por ejemplo), por lo cual se requiere de un esfuerzo adicional de programación.
- Se pretende embeber el cálculo de la distancia origen-destino logístico en el código R, mediante una interfaz visual basada en Google Maps; pero las llaves (key) a nivel “programador” para estas interfaces (API - Google) han comenzado a ser de pago, por lo cual el uso del paquete tendrá un costo bajo este formato, perdiendo la importante propiedad de gratuidad del entorno “R”.

Se decide entonces iniciar el desarrollo en paralelo de dos prototipos: uno con la posibilidad usuario de incorporar una llave API de su propiedad (a ser recordada por el programa y con aviso de fecha de caducidad/remplazo) y otro menos elegante pero más sencillo en el cual el usuario informa el kilometraje del trayecto logístico como input del script. El código final disponible para “R”, con el informe de: diseño óptimo de paletizado, distribución de carga en transporte, y valor final de huella de carbono producida por la tarea logística, se encuentra en la etapa de diseño por bloques (Figura 8).

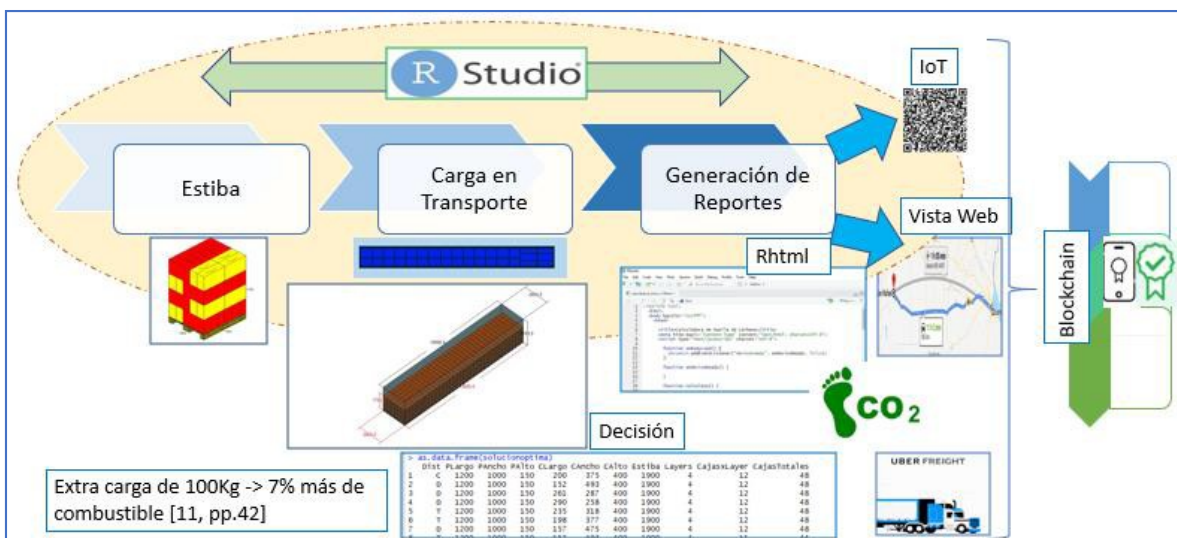


Figura 8 - Bloques de diseño para programación de Scripts en R. (Fuente: Elaboración propia)

Por último, los indicadores de huella de carbono obtenidos servirán de insumo para la elaboración del inventario de emisiones de GEI (gases efecto invernadero) de la empresa, siguiendo las orientaciones de la serie ISO 14064 [13] y considerando el enfoque de control operacional con alcances 1 y 2 [14].

4. TECNOLOGÍAS BLOCKCHAIN Y UBER-LOGÍSTICO EN LA CADENA DE SUMINISTROS

La tecnología blockchain fue creada por Satoshi Nakamoto en el año 2009 como un protocolo de dinero digital basado en un sistema entre pares (p2p). Sus características de elevada seguridad criptográfica y código abierto permitieron extender su alcance a múltiples campos más allá de las conocidas criptomonedas. Usos de recursos compartidos en la nube como las ofimáticas Graphite y Google Drive, el software corporativo SAP, y la emprendedora IBM con diversos productos (entre ellos el importante IBM Food Trust), son algunos ejemplos de su aplicabilidad. La incorporación de la tecnología blockchain a la cadena logística para asegurar la no adulteración de la legitimidad de productos de elevado valor comercial y la conservación adecuada de alimentos frescos, son promovidos por diversas agrupaciones. La Organización Mundial del Comercio (OMC - WTO) impulsa una iniciativa llamada “Blockchain, Supply Chain Traceability Project” (Proyecto Blockchain de trazabilidad de la cadena de suministros) para asegurar el verdadero origen y la rigurosa trazabilidad hasta destino de los productos, incluyendo además en algunos casos, recursos adicionales de IoT para validar y certificar la calidad de los productos (ver figura 9). La OMC considera que el sistema Blockchain proporciona un intercambio seguro de datos y un repositorio a prueba de manipulaciones para documentos y eventos de envío en todos sus niveles (productivos, transportistas, aduaneros y comerciales). Este sistema podría reducir significativamente las demoras y el fraude ahorrando miles de millones de dólares anualmente, y según la OMC, reducir las barreras dentro de la cadena de suministro internacional podría aumentar el PIB mundial en casi un 5% y el volumen total de comercio en un 15% [15].



Figura 9 – Código de seguimiento logístico para mariscos Fish Trax (izq.) – IoT validando la cadena de bloques del pescado fresco (der) (Fuente: <https://fishcoin.co/#seafood-industry>)

En el área de la logística sustentable la utilización de la herramienta blockchain permite al consumidor elegir productos sostenibles y alineados al cumplimiento de los objetivos que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) plantea para la lucha contra el cambio climático proveyendo instrumentos de elevada y fiable trazabilidad, agregando el potencial de automatizar y fortalecer el monitoreo, el reporte y la verificación (MRV) del impacto ambiental de proyectos. Algunas de las soluciones blockchain para combatir el cambio climático son: el monitoreo de bosques, las transacciones de energías renovables y de bonos de carbono, entre otras [16]. Walmart, Unilever y Nestlé son algunas de las empresas que han implementado esta tecnología. En la Tabla 1 se enumeran algunas características de la tecnología Blockchain aplicada a la cadena de suministros, halladas en la revisión bibliográfica de este trabajo:

Tabla 1- Fortalezas y Debilidades básicas de Blockchain en Logística (Fuente: elaboración propia)

Fortalezas	Debilidades
Reducción en la emisión de documentos en soporte rígido (papel).	Gran cantidad de actores involucrados en el sistema.
Agilidad y fiabilidad de datos con el respaldo de un modelo matemático descentralizado.	El nivel de verificación requiere mayor número de transacciones con respecto a un modelo centralizado.
Veloz detección de cuellos de botella en la cadena de suministros.	Heterogeneidad en la incorporación de recursos adicionales de validación/registro
Trazabilidad precisa y en tiempo real de cada eslabón de la cadena de suministro.	Soportes de pago.

Escalabilidad en automatización y sincronización.	Necesidad de capacitación continua para el uso de los softwares y sus actualizaciones.
Creación de pronósticos logísticos fiables, y flexibilidad de reestructuración contractual.	Un modelo global requiere el consenso de todas las partes de la cadena, incluyendo las instancias normativas/gubernamentales.

Los recursos de Internet orientada a las cosas (IoT) aplicados a tareas de transportación permiten monitorear diferentes parámetros, realizar seguimientos y gerenciar recursos, pero están limitados en conectividad y alcance [17], y por el momento no solucionan el tiempo ocioso de circulación de camiones (superior a 65%) ni logran optimizar los tiempos de rotación y espacio en almacenes. En este contexto y en medio de la incesante expansión de aplicaciones tecnológicas surge un nuevo modelo de transportación (que llamamos “Uber-logístico”) basado en un sistema distribuido, conectando de manera directa a profesionales transportistas con las necesidades de transporte de las empresas bajo un modelo ganar-ganar, mediante una plataforma/app informática que contiene los registros y validaciones de ambas partes intervinientes, con capacidad de mensajería y contratación online. Las primeras fortalezas y debilidades que se desprenden del modelo se enumeran en la Tabla 2.

Tabla 2 - Fortalezas y Debilidades básicas de “Uber-Logístico”(Fuente: elaboración propia)

Fortalezas	Debilidades
Mejora de oportunidades de transportación.	Dependencia de la conectividad en ruta.
Disminución de capacidad ociosa de carga.	Necesidad de controles exhaustivos en el otorgamiento de permisos profesionales de transporte.
Negociación directa y ágil.	Dependencia de la calidad de programación de la app y sus sucesivas actualizaciones.
Reducción de tiempo de rotación de inventario.	Conflicto de intereses de asociaciones gremiales y sindicatos.
Veloz acreditación de pagos.	Aseguramiento del estado técnico y legal de cargas.
Escasas necesidades de almacenamiento prolongado, tendiendo a la supresión de almacenes.	Heterogeneidad territorial en el marco legal que reconoce a la app como modelo de negocios.
Modelo de precios “oferta-demanda” (libre mercado)	Modelo de precios “oferta-demanda” (inestabilidades estacionales)

Si bien el funcionamiento de la herramienta Uber-logística en sus diferentes versiones (Uber Freight, Uship, Humber, Coyote, etc.) es similar al extendido sistema de pasajeros “Uber”, su complejidad legal, el grado de responsabilidad empresarial y el impacto mercantil de su uso, ralentizan la implementación global de esta herramienta tecnológica en el área de la cadena de suministros. Uniendo las capacidades de blockchain y del modelo Uber-logístico, la cadena de suministros se caracterizará por su transparencia y agilidad, beneficiando a todas las partes intervinientes.

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE ACCIÓN

El recorrido de los productos a menudo es tan extenso que aporta un valor cercano al 10% del precio final y un elevado porcentual de las emisiones de CO₂ del planeta [17], por ello consideramos relevante su estudio y visualización para la toma de decisiones del ingeniero. Actualmente un 53% de las empresas radicadas en Argentina no está realizando una medición de su huella de carbono, específicamente en el área logística sólo un 9% de las empresas que emitieron algún reporte de sustentabilidad durante 2018 afirman que su medición en el área de cadena de suministros y transporte puede considerarse completo, mientras que un 18% de los reportes contienen valores incompletos en esta temática [1]. Este faltante de informes y reportes puede ser considerado como una oportunidad para la aplicación de las herramientas logísticas digitales que hemos mencionado y estamos desarrollando en los campos de la sustentabilidad y el cuidado ambiental, entendiendo que las obligaciones normadas vigentes en numerosos países [18] constituyen un futuro inmediato para nuestra región.

La medición de la huella de carbono en los procesos logísticos construye un indicador trazable para la mejora, atendiendo recomendaciones como:

- Elegir vehículos que utilizan formas alternativas de energía limpia (híbridos, eléctricos).
- Determinar las dimensiones adecuadas de los vehículos (no sobredimensionar).
- Optimizar rutas.
- Realizar mantenimiento preventivo de vehículos.
- Considerar materiales ecológicos, impulsar procesos de reciclado y la gestión de residuos.
- Favorecer negocios colaborativos, multicargas y conducción responsable.

El enfoque hacia los procesos de transportación dentro de la cadena logística se sustenta en su importante e inextinguible grado de participación en ella (dado que siempre existirá la necesidad de una transportación física), el elevado impacto ambiental que suponen (aproximadamente un 4% del total de GEI [7]), y las oportunidades informáticas que surgen (Blockchain y Uber-logístico) para incluirlos dentro de una economía digital que aliente la permanencia competitiva de la empresa en el mercado.

Por último, entendemos que la incorporación de las herramientas mencionadas en este trabajo supone una importante oportunidad de vanguardismo y ventaja competitiva, además de generar una marca positiva para la imagen corporativa, pero también invita al desarrollo de *nuevos modelos logísticos* que eviten el solapado de esfuerzos (en cálculos duplicados de huella de carbono, por ejemplo), favorezcan la optimización de recursos (cargas/transporte e IoT/trazabilidad) y se orienten hacia una elevada satisfacción de mercado (Uber-logístico en tiempo y reglado), todo ello bajo el cumplimiento del doceavo objetivo ONU para el desarrollo sostenible: "Producción y Consumo responsables".

6. REFERENCIAS

- [1] Encuesta logística ITBA (2018), Disponible en: <https://www.itba.edu.ar/intranet/ols/wp-content/uploads/sites/4/2019/05/2018-Encuesta-Logistica-Sustentable-en-Argentina.pdf>
- [2] Tapscott D., Tapscott A. (2017). *La revolución blockchain: Descubre cómo esta nueva tecnología transformará la economía global*. Publicaciones Deusto - Grupo Planeta. E-book
- [3] Roig, C. (2017). "Industria 4.0: la cuarta (re) evolución industrial". *Harvard Deusto Business Review*, N. 266, pp. 64-70, ISSN 0210-900X. Disponible en: <http://www.ivlogistica.com/es/wp-content/uploads/2017/06/64-71-carlos-roig-industria-4c.pdf>
- [4] San Juan, Y.I., Romero Rodríguez F.I. (2016). "Modelos y Herramientas para la Vigilancia Tecnológica". *Revista Ciencias de la Información*, Vol. 47, N°2, pp. 11-18.
- [5] Patentes
 1. WO2018006267 (A1) 2018-01-11, TONG KA MAN [CN] (+2), SHENZHEN STARPOST SUPPLY CHAIN MAN CO LTD [CN]
 2. US2018339711 (A1) 2018-11-29, BURNETTE DONALD [US], UBER TECHNOLOGIES INC [US]
 3. WO2018136179 (A1) 2018-07-26, BERDINIS ERIC [US] STAUFFER JOHN [US] (+1), UBER TECHNOLOGIES INC [US]
 4. US2013150078 (A1) 2013-06-13, FURUTA SEIICHI [JP], DENSO CORP [JP].
- [6] Ponce H. (2007). "La matriz FODA: una alternativa para realizar diagnósticos y determinar estrategias de intervención en las organizaciones productivas y sociales". *Revista Contribuciones a la Economía Vol. 12 N°1, pp. 113-130, enero-junio 2007*. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/292/29212108.pdf>, <http://www.eumed.net/ce/2006/hpt-FODA.htm>
- [7] Gutiérrez García, C.(2018). "Huella de Carbono y transporte de mercaderías", *Asociación Intermodal de América del Sur – AIMAS*, en *Énfasis Logística (digital)* 09/07/18, Disponible: <http://www.logisticasud.enfasis.com/notas/81105-huella-carbono-y-transporte-mercaderias>
- [8] BID (2012). *Portal Logístico – Perfiles por país*. Base interactiva de datos del Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en: <http://logisticsportal.iadb.org/countryprofiles>
- [9] No, I. (2019) "Paletizado en R versión 1" – Software registrado en guarda No, Irma N. (Ex-2019-00832039-APN-DNDA#MJ / 2019-00949241)
- [10] No, I. Redchuk A. (2018) "Análisis de programas de paletizado y desarrollo de un código para la toma de decisiones de unidades de carga en R" . *Memorias COINI 2018 – XIº Congreso de Ingeniería Industrial. Mendoza, Argentina. pp. 419-429*. Disponible en: <http://ria.utn.edu.ar/handle/123456789/3501>
- [11] Mas, J-F. (2013). *Análisis Espacial con R: Usa R como un Sistema de Información Geográfica*. 1ºEd., European Scientific Institut (ESI), Kocani, República de Macedonia. Disponible en: <http://eujournal.org/files/journals/1/books/JeanFrancoisMas.pdf>
- [12] Dirección Provincial de Bioeconomía y Desarrollo Rural, Dirección de Sustentabilidad, Ambiente y Cambio Climático (2017). *Plan de Bioeconomía, Agricultura sustentable + Industrialización inteligente: Cálculo Huella de Carbono Institucional*. Ministerio de Agroindustria Provincia de Buenos Aires. Disponible en: <https://www.gba.gob.ar/static/agroindustria/docs/direccion-de-sustentabilidad-medio-ambiente-y-cambio-climatico/Informe-Huella-de-Carbono-Institucional-MAIBA-2017.pdf>
- [13] ISO 14064 (1 y 2) (2006). *Gases de efecto invernadero*. Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero. Disponibles en: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:es> <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-2:ed-1:v1:es>

- [14] OSE (2010). *Manual de cálculo y reducción de huella de carbono para actividades de transporte por carretera*. Observatorio de Sostenibilidad de España (OS). Disponible en: http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2013/06/manual_huella-carbono_transporte.pdf
- [15] IBM Blockchain (2019). "Blockchain with Supply Chain". *Blockchain understanding its uses and implications*. Linux Foundation (2019), plataforma Edx. Disponible en: <https://courses.edx.org/courses/course-v1:LinuxFoundationX+LFS170x+2T2018/course/>
- [16] Paris, A. G. (2018) "Blockchain y el cambio climático", transcripción por Federico Ast, para el curso *La Disrupción del Blockchain*, Universidad Austral, 2019. Disponible en: <https://medium.com/astec/el-blockchain-en-la-lucha-contra-el-cambio-clim%C3%A1tico-59c228e3250f>
- [17] Breccia, H. (2019) "Un Tetris infinito". *Revista Énfasis Logística*. Edición junio 2019, pp.82-87.
- [18] Real Decreto 163/2014, España (2014), *Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono*. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/03/14/163>

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Andrés Redchuk por su dirección en la investigación y en su persona a toda la comunidad de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora.

Un estudio comparativo de algoritmos metaheurísticos sobre instancias reales de problemas de recolección de RSU

Fermani, Matías (1º Autor); Rossit, Diego Gabriel (2º Autor); Toncovich, Adrián Andrés (3º Autor)*

(1º Autor) Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur (UNS).
Av. Alem 1253, 8000, Bahía Blanca, Argentina. mati.ferma@gmail.com.

(2º Autor) INMABB, Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET.
Av. Alem 1253, 8000, Bahía Blanca, Argentina. diego.rossit@uns.edu.ar.

(3º Autor) *Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur (UNS).
Av. Alem 1253, 8000, Bahía Blanca, Argentina. atoncovi@uns.edu.ar.

RESUMEN.

La gestión de la recolección de Residuos Sólidos Urbanos es una tarea compleja que deben enfrentar los gobiernos locales, consumiendo gran parte de su presupuesto. La utilización de herramientas computacionales que sirvan de apoyo a la toma de decisiones puede contribuir a mejorar la eficiencia del sistema y disminuir los costos asociados. En el presente trabajo se propone la evaluación de distintas herramientas informáticas exactas y metaheurísticas sobre casos reales de la ciudad de Bahía Blanca. Particularmente, se propone la utilización de CPLEX para resolver un problema de programación matemática y su comparación con algoritmos metaheurísticos basados en las técnicas de *Simulated Annealing* y *Large Neighborhood Search*. Los resultados muestran que CPLEX encuentra limitaciones para resolver los escenarios más grandes. Por otro lado, las herramientas heurísticas propuestas son competitivas, obteniendo valores cercanos a los métodos exactos con tiempos de cómputo mucho menores. Las herramientas heurísticas también son validadas con respecto a conocidos *benchmarks* de la literatura.

Palabras Claves: *Capacitated Vehicle Routing Problem*, Optimización, Algoritmos Metaheurísticos, *Simulated Annealing*, *Large Neighborhood Search*.

ABSTRACT.

The management of the Municipal Solid Waste collection is a complex task that local governments must face, consuming a large part of their budget. The use of computational tools that support decision-making can contribute to improve the efficiency of the system and reduce the associated costs. This paper proposes the evaluation of different exact and metaheuristic tools on real-world scenarios in the city of Bahía Blanca. In particular, the use of CPLEX is proposed to solve a mathematical programming problem and it is compared with two metaheuristic algorithms based on *Simulated Annealing* and *Large Neighborhood Search* techniques. The results show that the exact tool face limitations to solve the larger scenarios. On the other hand, the proposed heuristic tools are competitive, obtaining values that are close to the exact solution in much smaller computing times. The heuristic tools are also validated with respect to well-known benchmarks of the literature.

1. INTRODUCCIÓN.

La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) es una consecuencia inalienable del desarrollo de las sociedades modernas. Sin embargo, el manejo incorrecto de la creciente cantidad de residuos puede generar problemáticas no sólo ambientales, pero también sociales, como el problema de los recolectores informales [1] y económicos, como los costos de remoción luego de una mala disposición inicial que podrían haberse evitado. Las herramientas de apoyo a la toma de decisiones, como la que se presenta en el presente trabajo, son una estrategia válida para mitigar los efectos nocivos que pueden provenir de una mala gestión de los RSU y disminuir los costos que generan para los municipios, que son los principales encargados de la gestión [2].

Las etapas en la cadena logística inversa de los RSU son diversas. Según [3] ellas pueden clasificarse en generación de residuos; manejo, separación, acumulación y procesamiento de residuos en origen; prosiguiendo la recolección; transferencia y transporte; separación, procesamiento y transformación de residuos sólidos; y disposición final. El presente trabajo se enfoca en la segunda etapa de recolección; transferencia y transporte para casos de estudio del área de Bahía Blanca. El sistema actual de recolección de la ciudad de Bahía Blanca consiste en una recolección puerta a puerta sin ninguna clasificación de residuos en origen.

En trabajos previos ([4], [5]) se avanzó con una propuesta de un sistema de contenedorizado en la ciudad que permitiera, por un lado simplificar la logística de recolección debido a la disminución de puntos a visitar en las rutas de recolección [6], y a su vez permitir una clasificación en origen de los residuos. Particularmente, en dichos trabajos se evaluaron la optimización de la disposición de contenedores en algunos barrios de la ciudad de Bahía Blanca y propuestas iniciales para gestionar la logística del transporte donde se encontraron obstáculos para la resolución de los escenarios mediante algoritmos exactos. Debido a esto algunas regiones debieron particionarse en subregiones para disminuir el tamaño del problema.

El objetivo de este trabajo es avanzar en diseño las rutas de recolección. Para superar los obstáculos encontrados previamente, se trabajó con dos metodologías. Por una parte, se incorporaron inecuaciones válidas en la formulación matemática para mejorar el desempeño de la resolución exacta. Por otra parte, se propusieron dos herramientas heurísticas abordar el problema, una basada en el recocido simulado (*Simulated Annealing*, SA) adaptada de los trabajos [7] y [8], y otra basada en la técnica *Large Neighborhood Search* desarrollada por [9]. Se espera que estas técnicas permiten abordar los escenarios reales planteados en los trabajos previos. Para validar las heurísticas se realizan pruebas sobre un conocido conjunto de instancias de la literatura.

1.1. Revisión bibliográfica.

La recolección de RSU en contenedores constituye un caso de aplicación del problema VRP (*Vehicle Routing Problem*). En términos generales, este tipo de problemas consiste en determinar la ruta de mínima distancia que recorra un determinado conjunto de puntos. Su complejidad radica en la gran cantidad de variables de naturaleza entera que contienen, creando así una región factible difícil de evaluar en tiempos razonables, siendo considerados en la literatura como problemas NP-hard [10]. En el caso de estudio que se desarrollará en este trabajo, se presenta un problema VRP en el que se incluye una restricción de capacidad para cada vehículo, conocido como *Capacitated VRP* (CVRP).

El problema de recolección de RSU ha sido abordado por numerosos autores con diversas técnicas, tanto por medio de métodos heurísticos como exactos. En [11] y [12] se desarrollan extensas revisiones sobre estos trabajos. En el caso de Argentina pueden encontrarse algunos trabajos sobre aplicaciones de modelos VRP para resolver el problema de diseño de rutas de recolección. Por ejemplo, en [13] y [14] se implementan modelos de programación matemática para planificar las rutas de recolección de contenedores de residuos en la zona sur de la Ciudad de Buenos Aires. Por otro lado, en [6] se trabaja optimizando las rutas en esta zona teniendo como objetivos minimizar las distancias de recorrido simultáneamente a la minimización del desgaste de los vehículos. En la ciudad de Concordia, [15] presenta una aplicación para diseñar las rutas de recolección de la ciudad haciendo un esfuerzo por minimizar la cantidad de giros para facilitar la implementación de las rutas por las autoridades. Por otra parte, [16] exhibe un algoritmo para resolver la zonificación de la ciudad de San Miguel de Tucumán a los efectos de optimizar el uso de recursos, reasignando camiones hacia la zona céntrica de la ciudad. En [17] y [18] mediante modelos de programación entera se planifica la recolección de residuos reciclables en la ciudad de Morón. En [19] se presenta un enfoque integral que determina la localización de los contenedores, así como el diseño de la ruta que efectúa la recolección de su contenido en instancias simuladas de Bahía Blanca. En la misma ciudad, [20] y [21] exponen modelos de ruteo de vehículos con balanceo de distancias entre las distintas rutas para diseñar los recorridos de los recolectores informales de residuos reciclables.

2. MÉTODOS DE RESOLUCIÓN UTILIZADOS.

El problema del tipo CVRP aquí estudiado puede formalizarse a través del siguiente modelo de programación matemática.

Definición de variables:

- K: conjunto finito de viajes a realizar por el camión.
- $i \in I$: nodos que hacen referencia a los contenedores.
- c: capacidad del vehículo.
- m: cantidad de puntos a visitar (excluido el origen ubicado en Av. Parchappe).
- f_i : volumen de residuos secos a recolectar en nodo i .
- d_{ij} : distancia a recorrer del nodo i hasta j .
- x_{ij}^k : variable binaria, 1 si el camión durante el viaje k circula desde i a j , 0 en el otro caso.
- u_i : variable auxiliar continua para la eliminación de *subtours*.

$$\min \sum_{\substack{i,j \in I \\ k \in K}} x_{ij}^k \cdot d_{ij} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i,j \in I} x_{ij}^k \cdot f_i \leq c, \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in I} x_{ij}^k \leq 1, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} x_i^k \geq 1, \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{j \in I \\ k \in K}} x_i^k = 1, \forall i \neq 1 \quad (5)$$

$$\sum_{\substack{i \in I \\ k \in K}} x_i^k = 1, \forall j \neq 1 \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij}^k - \sum_{i \in I} x_{ji}^k = 0, \forall k \in K, \forall j \in I \quad (7)$$

$$u_i - u_j + m \cdot x_{ij}^k \leq m - 1, \forall k \in K, \forall i, j \neq 1 \in I \quad (8)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, \forall k \in K, \forall i, j \in I \quad (9)$$

$$u_i \geq 0, \forall i \in I \quad (10)$$

El objetivo planteado consiste en minimizar la distancia total recorrida durante la recolección de los residuos secos y húmedos, tal como lo muestra la Ecuación (1). Por su parte, las restricciones impuestas al modelo se presentan desde la Ecuación (2) hasta la (10).

La Ecuación (2) garantiza que la capacidad del vehículo, en cada viaje, no sea superada. Las Ecuaciones (3) y (4) aseguran que el inicio y el fin de cada viaje tenga lugar en las instalaciones de Bahía Ambiental SAPEM, ubicadas sobre Av. Parchappe N°782. Las Ecuaciones (5) y (6) garantizan que cada punto donde se ubican los contenedores, excepto aquel que oficia de inicio y fin de cada recorrido, sea visitado una única vez. La Ecuación (7) refiere a la conservación del flujo en el recorrido mientras que la Ecuación (8) impide la formación de *subtours*. La Ecuación (9) establece la naturaleza binaria de las variables x^k . Por su parte, la Ecuación (10) expresa la naturaleza positiva de la variable u_i .

Luego de pruebas preliminares, al modelo presentado en las Ecuaciones (1)-(10), que fue utilizado en [5], se le adicionaron las expresiones válidas dadas por las Ecuaciones (11) y (12), las cuales han sido frecuentemente utilizadas en la literatura de VRP ([22], [23]). Esto permitió disminuir los tiempos requeridos para obtener las soluciones factibles o, en algunas ejecuciones, obtener el óptimo.

$$\sum_{i \in I} x_{i1}^k \geq \sum_{i \in I} \frac{f_i}{c}, \forall k \in K, \forall j \in I \quad (11)$$

$$x_{ij}^k + x_{ji}^k = 1, \forall k \in K, \forall i, j \in I \quad (12)$$

La Ecuación (11) fija el mínimo número de viajes necesarios para satisfacer la demanda. La Ecuación (12) establece que, si un arco es atravesado en un sentido por un vehículo, este no debe ser atravesado en sentido contrario. La formulación matemática fue implementada y resuelta mediante el software CPLEX.

2.1 Metaheurísticas utilizadas.

En cuanto a las metaheurísticas propuestas, se utilizaron dos procedimientos distintos. El primero es un algoritmo que responde a una estrategia de recocido simulado (SA, *Simulated Annealing* en inglés) y fue adaptada de los trabajos [7] y [8]. SA es un método basado en la búsqueda local que se desarrolló a partir de una analogía con el fenómeno físico de recocido [24] para resolver problemas complejos de optimización. Los métodos de búsqueda local buscan la solución con un mejor valor del criterio elegido en el entorno de la solución actual, la aceptan como la solución actual y repiten este procedimiento hasta que no resulte posible mejorar la solución en el entorno explorado. Mediante la aplicación sistemática de este procedimiento se obtiene, en general, un óptimo local para el problema. Para evitar quedar atrapado en un óptimo local, se debe incorporar un mecanismo de diversificación con el fin de explorar adecuadamente el espacio de soluciones. En la metaheurística de recocido simulado, la estrategia de diversificación permite movimientos, con cierta probabilidad, hacia soluciones que empeoran el valor actual de la función objetivo. Para obtener una buena aproximación a la solución óptima del problema durante el proceso de búsqueda, resulta necesario reiniciar la búsqueda regularmente desde una de las soluciones aceptadas durante el proceso de búsqueda seleccionada al azar. El algoritmo SA incorpora los parámetros clásicos del recocido simulado. Seguidamente se indican los parámetros y variables correspondientes al algoritmo SA implementado:

- t: Iteración actual.
- S₀: Solución inicial.
- S_A: Solución actual.
- S_C: Solución candidata.
- V(S): Entorno de la solución S, dado por el conjunto de soluciones que pueden obtenerse a partir de S mediante un movimiento o perturbación elemental.
- T: Parámetro de control, que simula la temperatura en el proceso metalúrgico del recocido), valor positivo que varía desde un valor inicial mayor, T₀, a otro que es menor, T_f, durante la ejecución del algoritmo.
- N_T: Número de iteraciones realizadas por el algoritmo para cierto valor de T.
- α: Función en T, α = α(T), que determina la variación de T. En general α(T) = α T, en la práctica α ∈ [0,8;0,99].
- N_{cont}: Número de iteraciones sin mejora en la iteración t.
- N_{stop}: Número máximo de iteraciones permitidas sin mejora.

Se aplica el siguiente pseudo-código para determinar una solución potencialmente óptima.

i. Inicio

Se utiliza un procedimiento constructivo aleatorizado para generar una solución inicial, S₀.
Se evalúa la función objetivo, FO(S₀), empleando la Ecuación (1).
S₀ se adopta como solución actual S_A, N_{cont} = t = 0, T = T₀.

ii. Iteración t

Se genera aleatoriamente una solución candidata en el entorno de S_A, S_C ∈ V(S_A).
Se evalúa FO(S_C).
Se calcula ΔFO = FO(S_C) - FO(S_A).

Si ΔFO ≤ 0, la nueva solución es aceptada: S_A ← S_C, N_{cont} = 0.

En otro caso, S_C es aceptada con la siguiente probabilidad PA = e^{-ΔFO/T}.

Se genera un número aleatorio ξ uniformemente distribuido en el intervalo [0;1]:

$$\begin{cases} \text{si } \xi \leq PA, S_A \leftarrow S_C, N_{cont} = 0, \\ \text{si } \xi > PA, S_A \leftarrow S_A, N_{cont} = N_{cont} + 1. \end{cases}$$

t ← t + 1: Si t es un múltiplo de N_T, entonces T = α T, en otro caso el valor de T se mantiene. Si N_{cont} = N_{stop} o T < T_f, se detiene la ejecución, en otro caso se continúa la ejecución.

La otra metaheurística utilizada es la desarrollada por Erdoğan [9]. Este algoritmo fue adaptado a partir de la heurística conocida como Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) desarrollada por Pisinger y Ropke [25] que extiende la heurística original de Shaw [26]. Una explicación simplificada de su funcionamiento y pseudo-código (Figura 1) puede consultarse en [27].

El funcionamiento de la heurística está constituido por dos etapas principales. La primera, es la construcción de una solución inicial que se forma insertando clientes en las rutas disponibles de acuerdo con el objetivo a minimizar (operador *Sol-Inicial*). Luego, se realiza una mejora mediante el operador *Local-Search* que aplica cuatro técnicas de búsqueda local. Las primeras tres son conocidas como *Exchange* (se intercambian dos clientes), *1-OPT* (se extrae un cliente de una ruta y reinserta en otra) y *2-OPT* (se intercambian dos segmentos de rutas). Estos operadores se encuentran detallados en [28]. El cuarto operador de búsqueda local es *Vehicle-Exchange*. Este operador intenta intercambiar los vehículos asignados a dos rutas, por lo cual es útil cuando se trabaja con flota heterogénea.

La segunda etapa es donde se intenta un mejoramiento de la solución inicial. Se aplica, el operador *Destroy-And-Rebuild* que altera de manera considerable la solución actual para explorar otra región del espacio de búsqueda y así poder escapar de óptimos locales. Particularmente, se extraen tramos extensos de rutas de la solución actual y los clientes extraídos vuelven a reinsertarse en aquellas posiciones que minimicen la función objetivo (*Cost*). Una solución es aceptada si tiene un mejor costo que la mejor solución hallada hasta el momento o, en caso de que una solución no tenga mejor costo que la solución anterior, puede incluso ser aceptada con una probabilidad *p-value*. Este proceso se repite cíclicamente hasta el límite temporal impuesto por el usuario.

```

1: procedure LNS(input)           ▷ Como input se ingresa la información
    correspondiente a los clientes, vehículos y lugares de descarga (depots)
2:    $S \leftarrow SolInicial()$ 
3:    $S' \leftarrow LocalSearch(S)$ 
4:    $BestS \leftarrow S'$ 
5:   repeat
6:      $S' \leftarrow DestroyAndRebuild(S')$ 
7:      $S' \leftarrow LocalSearch(S')$ 
8:     if ( $Cost(S') \leq Cost(S')$ ) then
9:        $BestS \leftarrow S'$ 
10:    else
11:       $p \leftarrow Random(0, 1)$ 
12:      if ( $p \leq pvalue$ ) then
13:         $S' \leftarrow BestS$ 
14:      end if
15:    end if
16:  until  $Time\ elapsed > Time\ limit$ 
17:  return  $BestS$ 
18: end procedure

```

Figura 1 Algoritmo ALNS implementado en [9]. Fuente de la imagen: [27].

3.RESULTADOS.

Los resultados consistieron en la resolución de cuatro escenarios reales de la logística de recolección de RSU de Bahía Blanca construidos en los trabajos de [4] y [5]. Asimismo, la experimentación correspondiente a los enfoques metaheurísticos fue ampliada con la resolución de dos conocidos *benchmarks* de la literatura.

3.1 Pruebas realizadas sobre escenarios reales.

Los escenarios planteados en [4] y [5] constituyen casos reales diseñados en función del problema de RSU existente en la ciudad de Bahía Blanca.

Se estudian dos planificaciones distintas para la disposición de los contenedores, considerando la recolección de ambas fracciones de residuos: tanto los secos como los húmedos. Dichas planificaciones contemplan la opción de separar los contenedores en residuos húmedos y secos a la vez que consideran la opción de utilizar diferentes frecuencias de recolección. Las planificaciones difieren fundamentalmente en cuanto a la frecuencia con la cual se plantea recolectar los residuos secos, conformando de esta manera los siguientes cuatro escenarios:

Escenario 1:

- Frecuencia de recolección [veces/semana]: 6.
- Tipo de residuo a recolectar: húmedo.

Escenario 2:

- Frecuencia de recolección [veces/semana]: 4.
- Tipo de residuo a recolectar: seco.

Escenario 3:

- Frecuencia de recolección [veces/semana]: 6.

- Tipo de residuo a recolectar: húmedo.
- Escenario 4:
- Frecuencia de recolección [veces/semana]: 3.
 - Tipo de residuo a recolectar: seco.

Resulta necesario aclarar que las diferencias indicadas entre los distintos escenarios repercuten esencialmente en la cantidad de contenedores que se utilizarán, sin embargo, la explicación de este hecho no forma parte de los objetivos planteados para este trabajo.

La resolución exacta se implementó mediante el software CPLEX versión 12.6.0.0 en un entorno de GAMS, utilizando la versión de paralelismo oportunista de dicho software. Las ejecuciones fueron realizadas en un computador personal con un procesador Intel Core i7-4790 @ 3,60GHz con 32 GB de memoria RAM con sistema operativo Windows 10. Se fijó un límite de tiempo para cada ejecución de 15 000 segundos.

El algoritmo de *Simulated Annealing* fue programado mediante la interfaz de Visual Basic for Applications (VBA) de MSEXCEL y se ejecutó en una PC con procesador i7-260M CPU @ 2,7GHz y 8,00 GB de memoria RAM con un sistema de operativo de 64 bits. En tanto que para la resolución de los escenarios mediante ALNS fue utilizado el mismo ordenador que para la resolución exacta descripto previamente.

Los resultados obtenidos se exponen a continuación en las Tablas 1 y 2. En la primera se puede evaluar la distancia obtenida para cada escenario, como así también sus respectivos errores (GAP), y en la segunda tabla se ven reflejados los tiempos insumidos, expresados en segundos, para llegar a la solución, al igual que la cantidad de iteraciones realizadas.

Tabla 1 Resultados de la resolución de los escenarios reales.

Instancia	Planteo exacto		SA		ALNS	
	Dist. óptima	Nº de rutas óptimo	Dist. SA	GAP*	Dist. ALNS	GAP*
Escenario 1	22613,9	3	23317,14	0,031096	23268,51	0,028946
Escenario 2	41533,28**	8	44156,44	0,063158	44194,28	0,064069
Escenario 3	27150	3	27829,61	0,025032	27728,61	0,021312
Escenario 4	62800,63**	12	66281,93	0,055434	65944,34	0,050059

*El GAP fue calculado como la diferencia entre los valores del planteo exacto y el heurístico dividida por el valor del planteo exacto.

**Debido a que no se encontró la solución óptima para estos escenarios, los valores corresponden al mejor valor posible estimado por CPLEX (*Upper Bound*).

Tabla 2 Esfuerzo computacional requerido para la resolución de los escenarios reales.

Instancia	CPLEX		SA		ALNS	
	Tiempo	Iteraciones	Tiempo (s)	Iteraciones	Tiempo (s)	Iteraciones
Escenario 1	1871,08	2506415	1223,55	10090887	1260	2798
Escenario 2	15000,00	12309162	1226,28	9429109	1260	4979
Escenario 3	4344,25	13475167	1411,52	10053621	1440	2110
Escenario 4	15000,00	5495456	1053,68	8910059	1440	3930

3.2. Pruebas realizadas sobre *benchmarks* de la literatura.

Para la validación de los resultados de las metaheurísticas fueron utilizados dos conjuntos de *benchmarks* ampliamente utilizados en la literatura, el *benchmark* propuesto en [29], denominado Conjunto E, y el *benchmark* propuesto en [30], denominado Conjunto M. Tanto las instancias como las mejores soluciones encontradas fueron descargadas del repositorio digital VRP-REP [31]. En la Tabla 3 se reflejan los rendimientos tanto de SA como de ALNS comparados contra la solución óptima conocida mediante el GAP.

A partir del análisis de los resultados se verifica que ambos procedimientos metaheurísticos resultan válidos para utilizarlos en la resolución de los problemas del tipo CVRP. A modo de evaluar su desempeño se registró la información correspondiente al tiempo, medido en segundos, que requirieron para resolver cada instancia, junto con el número de iteraciones que se realizaron (Tabla 4).

3. CONCLUSIONES.

Encontrar nuevas herramientas para volver más eficiente la logística de residuos sólidos urbanos (RSU) constituye una inquietud acuciante en las sociedades actuales. Este trabajo está centrado en la resolución de problemas de recolección de residuos para el área de Bahía Blanca. Particularmente se aborda una problemática encontrada en trabajos previos donde la resolución exacta de problemas de recolección de residuos resultaba ineficiente, debido a que se requería la

partición de los escenarios en porciones más pequeñas para lograr la convergencia a una solución factible aceptable.

Por ello, en este trabajo se presenta un estudio comparativo de tres métodos de resolución para el problema de la recolección de RSU en Bahía Blanca. Se aplican métodos de resolución exactos y heurísticos. La resolución exacta está basada en una formulación de programación matemática del modelo CVRP extendido con la incorporación de inecuaciones válidas que se implementa computacionalmente mediante el software CPLEX. Por otro lado, en lo que concierne a la resolución metaheurística se utilizan dos algoritmos, un algoritmo basado en el recocido simulado y otro tomado de la literatura basado en Large Neighborhood Search. Se encuentra que la resolución exacta con la incorporación de las inecuaciones válidas resulta más eficiente, pudiendo hallar una solución para todos los escenarios propuestos. Los dos métodos metaheurísticos también resuelven eficientemente las instancias, obteniendo valores cercanos a los obtenidos por CPLEX.

Tabla 3 Resultados de la experimentación realizada sobre los benchmarks.

Instancia	Solución óptima		SA		ALNS	
	Dist. óptima	Nº de rutas óptimo	Dist. SA	GAP*	Dist. ALNS	GAP*
E n13 k4	247	4	247	0	247	0
E n22 k4	375	4	382	0,018667	375	0
E n23 k3	569	3	569	0	619	0,087873
E n30 k3	534	3	534	0	534	0
E n31 k7	379	7	379	0	379	0
E n33 k4	835	4	837	0,002395	835	0
E n51 k5	521	5	521	0	521	0
E n76 k7	682	7	683	0,001467	692	0,014663
E n76 k8	735	8	739	0,005442	744	0,012245
E n76 k10	830	10	830	0	837	0,008434
E n76 k14	1021	14	1028	0,006856	1033	0,011753
E n101 k8	815	8	820	0,006135	827	0,014724
E n101 k14	1067	14	1082	0,014058	1084	0,015933
M n101 k10	820	10	820	0	865	0,054878
M n121 k7	1034	7	1035	0,000967	1068	0,032882
M n151 k12	1015	12	1033	0,017734	1038	0,022660
M n200 k16	1274	16	1324	0,039246	1394	0,094192
M n200 k17	1275	17	1315	0,031373	1323	0,037647

*El GAP fue calculado como la diferencia entre los valores óptimo y heurístico dividida por el valor óptimo.

Tabla 4 Esfuerzo computacional requerido para la resolución de los benchmarks.

Instancia	SA		ALNS	
	Tiempo (s)	Iteraciones	Tiempo (s)	Iteraciones
E n13 k4	16,13	105817	234	85151
E n22 k4	24,60	165570	396	40246
E n23 k3	33,24	192076	414	26617
E n30 k3	373,48	3014484	540	13926
E n31 k7	73,34	579861	558	24155
E n33 k4	565,35	3852523	594	10760
E n51 k5	885,12	6808167	918	6847
E n76 k7	1341,16	9000600	1368	5262
E n76 k8	1331,62	11631256	1368	4183
E n76 k10	1333,98	10038124	1368	2768
E n76 k14	1347,98	6602943	1368	2098
E n101 k8	1734,77	9566979	1818	2514
E n101 k14	1785,07	15644844	1818	2263
M n101 k10	1781,86	15459233	1818	2105
M n121 k7	2141,13	19895356	2178	352
M n151 k12	2691,35	24746588	2718	1035
M n200 k16	3582,00	33640699	3600	95
M n200 k17	3582,00	30403847	3600	294

Por otro lado, se extiende la experimentación de las metaheurísticas con *benchmarks* conocidos de la literatura. Se corrobora la potencialidad de ambos algoritmos, los cuales llegaron en varias

ocasiones a la solución óptima o, en su defecto, obtienen soluciones con un error relativo considerablemente reducido.

Luego del trabajo experimental realizado, se puede afirmar que la aplicación de estos algoritmos redundan en la obtención de resultados potencialmente aceptables y competentes, contando las metaheurísticas con la ventaja del menor esfuerzo de cómputo requerido para llegar a la solución. Como líneas de trabajo a futuro se tiene previsto experimentar con escenarios de mayor tamaño de la ciudad Bahía Blanca, utilizando las metaheurísticas propuestas, que fueron validadas en el presente informe. Por otro lado, se propone continuar mejorando la formulación de programación matemática, implementada a través de CPLEX, mediante la inclusión de inecuaciones válidas adicionales que permitan reducir los tiempos de resolución.

4. REFERENCIAS.

- [1] Wilson, D. C., Velis, C.; Cheeseman, C. (2006). "Role of informal sector recycling in waste management in developing countries". *Habitat International*. Vol. 30, no. 4, págs. 797-808.
- [2] Hoornweg, D.; Bhada-Tata, P. (2012). "What a waste: a global review of solid waste management". *World Bank*. Vol. 15, pág. 116. Washington DC, EUA.
- [3] Tchobanoglous, G., Kreith, F.; Williams, M. E. (2002). "Introduction". En: *Handbook of solid waste management*. G. Tchobanoglous, F. Kreith (Editores). McGraw-Hill, EUA. Segunda edición. Capítulo 1.
- [4] Herran Symonds, V. (2019). *Ubicación de contenedores diferenciados de RSU*. Tesis Final de Carrera. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- [5] Signorelli Nuñez, M. (2019). *Análisis del sistema actual de recolección de RSU en el Barrio Universitario de la ciudad de Bahía Blanca*. Tesis Final de Carrera. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- [6] Bonomo, F., Durán, G., Larumbe, F.; Marengo, J. (2012). "A method for optimizing waste collection using mathematical programming: a Buenos Aires case study". *Waste Management & Research*. Vol. 30, no. 3, págs. 311-324.
- [7] Toncovich, A., Burgos, T.; Jalif., M. (2017). "Planificación de la logística de recolección de miel en una empresa apícola". *Actas del X Congreso Argentino de Ingeniería Industrial*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Págs. 397-406.
- [8] Toncovich, A., Rossit, D. A., Frutos, M.; Rossit, D. G. (2019). "Solving a multi-objective manufacturing cell scheduling problem with the consideration of warehouses using a Simulated Annealing based procedure". *International Journal of Industrial Engineering Computations*. Vol. 10, no. 1, págs. 1-16.
- [9] Erdoğan, G. (2017). "An open source spreadsheet solver for vehicle routing problems". *Computers & Operations Research*. Vol. 84, págs. 62-72.
- [10] Lenstra, J. K.; Kan, A. R. (1981). "Complexity of vehicle routing and scheduling problems". *Networks*. Vol. 11, no. 2, págs. 221-227.
- [11] Beliën, J., De Boeck, L.; Van Ackere, J. (2012). "Municipal solid waste collection and management problems: a literature review". *Transportation Science*. Vol. 48, no. 1, págs. 78-102.
- [12] Han, H.; Ponce Cueto, E. (2015). "Waste collection vehicle routing problem: literature review". *PROMET - Traffic & Transportation*. Vol. 7, no. 4, págs. 345-358.
- [13] Bonomo, F., Durán, G., Larumbe, F.; Marengo, J. (2009). "Optimización de la Recolección de Residuos en la Zona Sur de la Ciudad de Buenos Aires". *Revista de Ingeniería de Sistemas*. Vol. 23.
- [14] Larrumbe, F. (2009). *Optimización de la Recolección de Residuos en la Zona Sur de la Ciudad de Buenos Aires*. Tesis de Grado. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- [15] Bertero, F. (2015). *Optimización de recorridos en ciudades. Una aplicación al sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el Municipio de Concordia*. Tesina de Grado. Universidad Nacional de Rosario. Rosario, Argentina.
- [16] Bianchetti, M. L. (2015). *Algoritmos de zonificación para recolección de residuos*. Tesis de Grado. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- [17] Braier, G., Durán, G., Marengo, J.; Wesner, F. (2015). "Una aplicación del problema del cartero rural a la recolección de residuos reciclables en Argentina". *Revista de Ingeniería de Sistemas*. Vol. 29.
- [18] Braier, G., Durán, G., Marengo, J.; Wesner, F. (2017). "An integer programming approach to a real-world recyclable waste collection problem in Argentina". *Waste Management & Research*. Vol. 35, no. 5, págs. 525-533.
- [19] Rossit, D. G., Broz, D., Rossit, D. A., Frutos, M.; Tohmé, F. (2015). "Modelado de una red urbana de recolección de residuos plásticos en base a optimización multi-objetivo". *Actas de la XXVI EPIO y VIII RED-M*. Bahía Blanca, Argentina.

- [20] Cavallin, A., Vigier, H. P.; Frutos, M. (2015a). "Aplicación de un modelo CVRP-RB a un caso de logística inversa". Actas de la XXVI Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa (EPIO) y VIII RED-M. Bahía Blanca, Argentina.
- [21] Cavallin, A., Vigier, H. P.; Frutos, M. (2015b). "Logística inversa y ruteo en el sector de recolección informal de residuos sólidos urbanos". En: *Avances en Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos 2014-15*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina. Págs. 37-49.
- [22] Achuthan, N. R., Caccetta, L.; Hill, S. P. (2003). "An improved branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem". *Transportation Science*. Vol. 37, no. 2, págs. 153-169.
- [23] Dror, M., Laporte, G.; Trudeau, P. (1994). "Vehicle routing with split deliveries". *Discrete Applied Mathematics*. Vol. 50, no. 3, págs. 239-254.
- [24] Kirkpatrick, S.; Gelatt, C. D.; Vecchi, M. P. (1983). "Optimization by simulated annealing". *Science*. Vol. 220, no. 4598, págs. 671-680.
- [25] Pisinger, D.; Ropke, S. (2007). "A general heuristic for vehicle routing problems". *Computers & Operations Research*. Vol. 34, no. 8, págs. 2403-2435.
- [26] Shaw, P. (1998). "Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems". *Actas de la International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*. Springer. Berlin, Heidelberg. Págs. 417-431.
- [27] Cavallin, A., Rossit, D. G., Savoretti, A. A., Sorichetti, A. E.; Frutos, M. (2017). "Logística inversa de residuos agroquímicos en Argentina: resolución heurística y exacta". *Actas del XV Simposio en Investigación Operativa - 46 Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa*. Córdoba, Argentina.
- [28] Groër, C., Golden, B.; Wasil, E. (2010). "A library of local search heuristics for the vehicle routing problem". *Mathematical Programming Computation*. Vol. 2, no. 2, págs. 79-101.
- [29] Christofides, N.; Eilon, S. (1969). "An algorithm for the vehicle-dispatching problem". *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 20, no.3, págs. 309-318.
- [30] Christofides, N., Mingozzi, A.; Toth P. (1979). "The vehicle routing problem". En: *Combinatorial optimization*. N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth, C. Sandi (Editores). John Wiley, Chichester. Capítulo 14.
- [31] Mendoza, J., Hoskins, M., Guéret, C., Pillac, V.; Vigo, D. (2014). "VRP-REP: a vehicle routing community repository". *Actas del Third meeting of the EURO Working Group on Vehicle Routing and Logistics Optimization (VeRoLog'14)*. Oslo, Noruega.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer el financiamiento recibido de la Universidad Nacional del Sur para el desarrollo de los proyectos PGI 24/J084 y PGI 24/ZJ35. Además, el primer autor de este trabajo agradece el financiamiento recibido del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) a través de una Beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas.

Análisis de la cadena de suministros de una PyME marplatense, en el contexto de la gestión de la innovación tecnológica

Massabie, Germán; Pietrocola, Nicolás; Nicolao García, José Ignacio; Morcela, Oscar Antonio*

**Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata.*

Av. Juan B. Justo 4302, (7600) Mar del Plata. omorcela@fi.mdp.edu.ar.

RESUMEN.

El principal objetivo del trabajo fue analizar la logística de abastecimiento, almacenamiento y distribución de los almacenes para una PyME marplatense, con una estructura separada en dos cadenas comerciales independientes que manejan su logística de forma autónoma una de la otra. Se definieron métricas de almacenamiento y distribución para el diagnóstico de la estructura, gestión y procesos originales. Se trabajó con clasificación ABC de la cartera de productos, aplicando un modelo de revisión periódica de inventario con demanda incierta, una redistribución de las sucursales entre las cadenas y la generación de rutas óptimas para el abastecimiento a dichas sucursales. A estas propuestas se las encuadró en el modelo MOGIT con el fin de abordar con herramientas de gestión de la innovación tecnológica integradas en el análisis de la cadena de suministros, para mantener un nivel de mejora constante. Como resultado el stock promedio disminuyó en un 75%, la rotación de inventarios aumentó un 150%, la distancia recorrida por las rutas de distribución disminuyó en un 8% y el nivel de servicio se adecuó a la importancia relativa de cada producto según la clasificación ABC.

Palabras Claves: logística, ruteo, gestión de stock, Modelo de Gestión de la Innovación Tecnológica - MOGIT, PYME.

ABSTRACT

The main objective of the work was to analyze the supply, storage and distribution of warehouses logistics for a PyME from Mar del Plata, with two independent commercial-chains and autonomously logistics. Storage and distribution indicators were defined for diagnostic the original state of the structure, management and processes. It was established a classification of the product portfolio with the ABC technique, and then, it was applied an inventory model of periodic review for uncertain demand, a redistribution of branches between chains and the generation of optimal routes for supply to various branches. These proposals were framed in the MOGIT model in order to deal with technological innovation management tools, integrated in the supply chain analysis, to maintain a constant level of improvement. As a result, the average stock decreased by 75%, the inventory turnover increased by 150%, the distance recorded by the distribution routes decreased by 8% and the service level was adapted to the relative importance of each product according to the ABC classification.

1. INTRODUCCIÓN

La empresa objeto de estudio es una PyME de origen familiar cuyo accionar se centra en dos rubros: agropecuario y venta de pinturas minorista. La venta de pinturas es una unidad de negocios que ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, principalmente debido a la adquisición de empresas ya constituidas.

La organización comercializa bajo dos nombres diferentes. Ambas cadenas fueron adquiridas de manera independiente, la primera en el año 2002 y la segunda en 2011. Desde su adquisición la alta gerencia decidió unificar los procesos financieros, contables, de recursos humanos y administrativos, aunque se mantuvo la cultura de cada empresa, empleados, marca, y todo proceso logístico. Dada la complejidad del cambio que implicaba modificar las operaciones de cada cadena, la unificación de la logística se evitó en un primer momento.

Esta estanqueidad fue funcional en un principio, sin embargo, dada la alta competitividad en el sector y la existencia de procesos redundantes y/o innecesarios, se retomó la idea de abordar la unificación total.

El primer paso de este plan de unificación fue la implementación de un software de gestión integral. Seguidamente se debieron abordar los procesos de abastecimiento, almacenamiento y distribución. Para optimizar este proceso se firmó un convenio con la Facultad de Ingeniería de la UNMDP, que posibilitó la realización de este trabajo dentro de la empresa con el fin de analizar la situación y proponer un camino para mejorar la logística.

En este contexto, la formulación de los objetivos surgió a partir de la demanda de la gerencia para optimizar los procesos logísticos que toman parte en la organización. Finalmente fueron modelados en conjunto. Se manifestó el interés de seleccionar objetivos en base a una mejora que no fuera disruptiva con la operativa diaria de la organización.

Entonces, el objetivo general del trabajo ha sido analizar la logística de abastecimiento, almacenamiento y distribución de los almacenes de una empresa de pinturerías.

Asimismo, se plantearon como objetivos específicos el análisis de la gestión original, la planificación de los requerimientos de inventario, la identificación de las actividades del proceso de entrega de productos almacenados y la aplicación del modelo MOGIT para la competitividad sistémica.

El reporte que aquí se presenta es un resumen ampliado del trabajo final de carrera que lleva por título "Mejora en la logística de abastecimiento, almacenamiento y distribución de los almacenes de una empresa de pinturería", realizado por los estudiantes Germán Massabie y Nicolás Pietrocola, siendo su Director el Esp. Ing. José Ignacio Nicolao García y Codirector el Mg. Ing. Antonio Morcela.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Logística como parte de la cadena de suministros

Según el Consejo de profesionales en administración de la cadena de suministro (CSCMP - Council of Supply Chain Management Professionals) [1], la logística es parte de los procesos de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes y servicios y la información relacionada, desde el punto de origen hasta el de consumo, con la finalidad de satisfacer los requerimientos del cliente. Por tanto, el término cadena de suministro es la extensión lógica del concepto de logística, y se puede representar como una tubería o un conducto por el que pasa un flujo eficiente y efectivo de productos, materiales, servicios, información y fondos financieros desde los proveedores del proveedor, a través de diversas organizaciones o empresas intermedias, hasta los clientes del cliente.

Puede considerarse [2], que las cinco funciones principales de la logística son el procesamiento de pedidos, que implica todos los aspectos de administrar los requerimientos del cliente; la atención de los inventarios, que son acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de producción y de logística de una empresa; la distribución, que es el área operativa de la logística que desplaza y posiciona geográficamente el inventario; el almacenamiento, que consiste en el manejo de materiales y empaquetado; y el diseño de la red de la planta, que se ocupa de determinar el número y la ubicación de todos los tipos de plantas requeridas para realizar el trabajo logístico. También es necesario determinar qué inventario y cuánto almacenar en cada planta, al igual que la asignación de los clientes.

2.2. Distribución

Debido a su alto costo y su importancia dentro de la logística [3], el transporte o distribución, es un área de particular atención. Una empresa puede satisfacer sus necesidades de transporte con una flota privada, contratando especialistas dedicados a transporte, o contratando los servicios de transportistas según el envío. Los factores fundamentales a abordar en el área son el costo, la velocidad y la regularidad. Para el caso que compete a este trabajo no se abordan los diferentes modos de transporte. Se selecciona, en cambio, un problema específico de distribución que encaja con el contexto de la empresa de estudio. Este es el problema de ruteo de vehículos considerando múltiples depósitos.

Este problema, conocido como MDVRP por sus siglas en inglés (Multi Depot Vehicle Routing Problem: problema de enrutamiento de vehículos considerando múltiples depósitos), considera un conjunto de clientes a abastecer desde varios depósitos. Cada cliente debe ser atendido por un único vehículo, el cual debe empezar y finalizar en un mismo depósito. Se conoce la información de la demanda de los clientes y la capacidad de los depósitos. Los despachos desde los depósitos no deben exceder la capacidad disponible y las rutas programadas no deben exceder la capacidad del vehículo asignado. El objetivo es encontrar un conjunto de rutas que atienda a todos los clientes con las condiciones descritas y al costo mínimo. Los costos se pueden modelizar como la distancia o el tiempo necesario para transportarse entre diferentes puntos de la red compuesta por clientes y depósitos [4].

2.3. Inventarios

El objetivo de una estrategia de inventario es alcanzar el servicio al cliente deseado con el mínimo compromiso del inventario. Los inventarios excesivos pueden compensar las deficiencias en el diseño básico de un sistema logístico, pero al final producirán un costo logístico total más alto que el normalmente necesario. El manejo del inventario implica equilibrar la disponibilidad del producto (o servicio al cliente), por una parte, con los costos de suministrar un nivel determinado de disponibilidad del producto, por la otra [2].

Los inventarios pueden clasificarse en cinco tipos [3]: los que están en desplazamiento de un punto a otro, los que se mantienen en existencias para especulación, los de naturaleza regular o cíclica, los que sirven como protección contra la variabilidad en la demanda de existencias y el tiempo total de reaprovisionamiento, y finalmente los que corresponden a existencias obsoletas, stock muerto o perdido.

La política del inventario consiste en los lineamientos acerca de qué adquirir o fabricar, cuándo efectuar acciones y en qué cantidad. También incluye las decisiones acerca del posicionamiento geográfico del inventario [2]. El manejo de inventarios se desarrolla alrededor de dos filosofías básicas, el método de demanda (pull), y el método de incremento (push) [3].

En el primer caso, el pronóstico de la demanda y de las cantidades de reaprovisionamiento se realizan tomando en consideración las condiciones locales, sin considerar el efecto que tendrán dichas cantidades en las economías del lugar de origen. Ofrecen un control preciso de los niveles de inventario y es ampliamente utilizada a nivel de minoristas.

En el método de incremento (push), la programación y el reabastecimiento están coordinados con los tamaños de los lotes de producción, las cantidades económicas de compra, o los mínimos tamaños de los pedidos. Por lo general se utiliza cuando las economías de compra o de producción a escala valen más que los beneficios de los niveles mínimos de inventarios colectivos. Las cantidades de reaprovisionamiento se asignan según proyecciones, espacio disponible o algún otro criterio.

Sin embargo, en la actualidad muchas organizaciones se han vuelto más sofisticadas en su uso de métodos de control de inventarios y los han adaptado para dar cabida a la orientación push y pull. Como consecuencia, muchos sistemas mezclan de manera eficaz dichos conceptos. Este y otros métodos proactivos de administración de inventarios predominan en las organizaciones que poseen mayor sofisticación logística [1].

Para determinar la política de inventarios son importantes tres clases generales de costos: costos de adquisición, costos de manejo y costos por falta de existencias. Estos costos están en conflicto, o en equilibrio entre sí [3].

Los costos de adquisición pueden incluir el precio del producto; el costo de procesar un pedido a través de los departamentos de contabilidad y compras; el costo de transmitir el pedido al punto de suministro; el costo de transportar el pedido cuando los cargos por transportación no están incluidos en el precio de los artículos comprados; y el costo de cualquier manejo o procesamiento de materiales de los artículos en el punto de recepción.

Los costos de mantener inventario resultan de guardar, o mantener, artículos durante un periodo y son proporcionales a la cantidad promedio de artículos disponibles. Estos costos pueden ser considerados en cuatro clases: costos de espacio, costos de capital, costos de servicio de inventario y costos de riesgo de inventario.

Los costos de espacio son cargos hechos por el uso de volumen dentro del edificio de almacenamiento. Los costos de capital refieren al costo del dinero en conexión con el inventario. Los seguros y los impuestos también son una parte de los costos de mantener inventarios, porque su nivel depende en gran medida de la cantidad de inventario disponible. Los costos de riesgo se relacionan con el deterioro, pérdida o robo, daño u obsolescencia.

Se incurre en costos por falta de existencias cuando se coloca un pedido, pero éste no puede surtir desde el inventario actual.

2.4. Clasificación ABC de productos

El análisis ABC tiene su origen en la ley de Pareto, que separa a los “muchos triviales” de los “pocos vitales”. En términos de inventario, esto sugiere que un pequeño número de artículos, o SKU, puede ser responsable de un impacto considerable en la organización [1].

Esta técnica de clasificación asigna los artículos del inventario a uno de tres grupos conforme a su impacto relativo. Los artículos A son los más importantes, los B tienen menor importancia y los C son los menos importantes. El criterio para evaluar un artículo determinará el grupo al que se asignará. Las más comunes son: las ventas, la contribución a las ganancias, el valor del inventario, la tasa de utilización y la naturaleza de los artículos [2]. El agrupamiento de los productos similares facilita la administración de los esfuerzos para establecer estrategias concentradas en el inventario para segmentos específicos de productos [1].

Los modelos básicos [1 y 3] consideran sólo dos tipos básicos de costos: de mantenimiento de inventario y de adquisición sin incluir el precio del propio producto. Este método contribuye a una decisión óptima en la que se analizan los puntos de equilibrio de estos dos costos.

Si se enfocara sólo en el costo de mantenimiento de inventario, que varía directamente con los cambios en la cantidad del pedido, esta última sería tan pequeña como fuera posible. Si los modelos tuvieran en cuenta sólo el costo del pedido, en los pedidos grandes disminuiría el costo total de los mismos, y en los pequeños aumentaría.

Entre los métodos de básicos de control de inventarios se encuentran el pedido único, pedidos repetitivos, reabastecimiento instantáneo sin tiempo de entrega, reabastecimiento con tiempo de entrega, y reabastecimiento no instantáneo.

Estos modelos sirven de aproximación teórica al problema de la gestión de inventarios, pero no reflejan la realidad de forma precisa ya que hay ciertos parámetros que no se pueden determinar con exactitud. Como mejora, se reconoce que la demanda y el tiempo de entrega no se pueden conocer con seguridad. Por lo tanto, se debe planear para una situación en la que no haya suficientes existencias disponibles para surtir las solicitudes de los clientes. Además de las existencias regulares, se añade una cantidad de incremento de inventario denominada stock de seguridad o amortiguador, de tal forma de controlar la probabilidad que ocurran faltas de existencias. Los métodos avanzados de gestión de inventarios son una extensión de los básicos. Entre los métodos avanzados existen dos modelos importantes: modelo de punto de reorden y modelo de revisión periódica. Para el propósito de este trabajo solo el segundo se desarrollará con profundidad [3].

2.4.1. Modelo de revisión periódica con demanda incierta

Supone una mejora en la economía de los pedidos, teniendo en cuenta que en el modelo de punto de reorden es posible que cada artículo se solicite en un momento diferente. Además, no requiere un monitoreo constante de los niveles de inventario.

Los niveles de inventario son revisados de forma conjunta para varios artículos, de modo que los pedidos se realizan de forma simultánea. Para este modelo los niveles de inventario aumentan respecto del modelo anterior, pero se obtiene un ahorro en manejo de inventarios y costos administrativos reducidos.

Para este modelo se necesita conocer la distribución de la demanda con la tasa promedio y la desviación estándar de la demanda, que se supone con una distribución normal.

2.4.2. Métricas para el control de inventarios

Según Bowersox [2] los dos indicadores más importantes del desempeño de un inventario son el inventario promedio y el nivel de servicio. El mismo autor también afirma: “La meta básica (de la logística) es alcanzar una rotación máxima del inventario al mismo tiempo que se satisfagan los compromisos de servicio” (p.27). Por lo que rotación de inventarios también puede ser considerada como métrica de aplicación específica.

Los materiales, componentes, el trabajo en proceso y el producto terminado se suelen almacenar en el sistema logístico y se denominan el inventario promedio. Desde el punto de vista de las políticas de administración del inventario, deben planearse objetivos del mismo para cada planta o depósito [2].

Se define la rotación de inventario como una medida de la velocidad en la que se renueva la totalidad del inventario [2]. Niveles altos de rotación de inventario son deseados, ya que los mismos suponen un menor volumen de inventario inmovilizado, reduciendo los costos de mantener inventario [3]. En tanto se considera nivel de servicio a la probabilidad de la capacidad de cumplimiento a partir del stock disponible [3].

2.5 Gestión de la Innovación Tecnológica

En la década de los 70/80, la realidad puso de manifiesto la importancia de la incorporación de la tecnología para la supervivencia y éxito empresarial, ya que condicionaba la calidad y el costo de sus productos, y determinaba su competitividad presente y futura, las cuotas de mercado y los resultados financieros. Nacía así la gestión de la innovación, que incluye la gestión de la I+D (investigación y desarrollo), pero sumándole otros aspectos como el lanzamiento de los nuevos

productos, la aplicación de nuevos procesos o el estudio de las razones de su éxito o fracaso, que no figuran normalmente en la agenda de la gestión de la I+D [5].

También en los ochenta se comenzó a hablar de la Gestión de la tecnología y su inclusión en la estrategia de la empresa, con el objetivo a través de su aplicación de mantener y mejorar la posición competitiva de la empresa, precisamente, mediante la utilización de la tecnología.

La Gestión de la tecnología presenta muchos puntos de contacto con la Gestión de la innovación y a menudo ambas expresiones se utilizan indistintamente, ya que sus fronteras no están perfectamente delimitadas. Muchas veces se habla también de la Gestión de la Innovación y la Tecnología o Gestión de la Innovación Tecnológica (GIT).

Según Dankbaar [6], la gestión de la tecnología comprende todas las actividades de gestión referentes a la identificación y obtención de tecnologías, la investigación, el desarrollo y la adaptación de las nuevas tecnologías en la empresa, y también la explotación de las tecnologías para la producción de bienes y servicios.

En síntesis, se puede considerar que “Gestión de la Tecnología”, “Gestión de la Innovación”, y “Gestión de la Innovación y la Tecnología”, son sinónimos de “Gestión de la Innovación Tecnológica – GIT”.

2.5.1 Modelo de Gestión de la Innovación Tecnológica (MOGIT)

Existen innumerables modelos para gestionar la innovación tecnológica, y según la Fundación COTEC: “Toda empresa tiene que ser capaz de desarrollar su propio modelo de GIT, de acuerdo a sus necesidades, normalmente relacionadas con su sector o su tamaño, pero, sobre todo, con su propia estrategia y visión de futuro” [7].

El modelo MOGIT desarrollado por el observatorio tecnológico OTEC [8], toma como referencia el modelo desarrollado por COTEC [7] y se basa en la interrelación de los 5 elementos clave que son VIGILAR (vigilar las señales del entorno), FOCALIZAR (desarrollo de una respuesta estratégica), CAPACITARSE (adquirir el conocimiento organizacional necesario), IMPLANTAR (implementar la solución) y APRENDER (reflexión sobre los elementos previos y revisar las experiencias de éxitos o fracasos).

El desarrollo de las funciones mencionadas requiere de la aplicación de un conjunto de herramientas que necesitan ser adaptadas a la cultura de la empresa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio de casos, se basó en la investigación cuantitativa, que se fundamenta en el contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la observación, siendo necesario obtener una muestra como objeto de estudio [9].

Las fuentes primarias contienen información original no abreviada ni traducida, llamadas también fuentes de información de primera mano. Proveen un testimonio o evidencia directa sobre el tema de investigación. Son escritas durante el tiempo que se está estudiando o por la persona directamente relacionada con el evento [10]. En la presente investigación se utilizaron entrevistas y observación directa, como fuentes primarias [11] así como datos históricos del software utilizado para la gestión de inventarios y por último, entrevistas de tipo semi-estructuradas, comenzando con preguntas previamente estipuladas.

Las fuentes secundarias interpretan y analizan fuentes primarias. Son textos basados en fuentes primarias, e implican generalización, análisis, síntesis, interpretación o evaluación [10]. Se utilizaron distintos artículos, estudios de tesis y documentos web relacionados con el tópico de estudio.

4. DESARROLLO

4.1 Descripción de la organización

La PyME considerada es una empresa dedicada a la venta de pintura minorista en Mar del Plata y la zona. Comercializa en la ciudad bajo dos nombres comerciales que representan, a su vez, dos unidades de negocio diferentes, pero que comparten funciones administrativas. En cuanto a decisiones comerciales y operativas, ambas cadenas funcionaron históricamente, de forma estanca. Dentro de la ciudad de Mar del Plata, la empresa cuenta con un total de 25 sucursales.

El análisis ABC se realizó tanto para cada cadena individualmente, como para ambas cadenas de forma agregada y el resumen de resultados se muestra en el Tabla 1.

El rubro Hogar y Obra muestra una importancia mayor al 85% en ambas cadenas, por tanto, se realizó la clasificación ABC sólo con los artículos pertenecientes a este grupo. Para el ABC, se utilizó el criterio de ingresos por ventas.

Tabla 1 Clasificación ABC para la empresa.
Fuente: elaboración propia en base a datos históricos de la empresa.

	A	B	C
Cadena 1			
<i>Cantidad de productos</i>	377	596	1,573
<i>Cantidad de productos / Total productos</i>	15%	23%	62%
<i>Cantidad de ventas [mUM]*</i>	60,533	11,383	3,787
<i>Cantidad de ventas / Ventas totales</i>	80%	15%	5%
Cadena 2			
<i>Cantidad de productos</i>	369	610	1,744
<i>Cantidad de productos / Total productos</i>	14%	22%	64%
<i>Cantidad de ventas [mUM]*</i>	98,005	18,416	6,136
<i>Cantidad de ventas / Ventas totales</i>	80%	15%	5%
Conjunta			
<i>Cantidad de productos</i>	514	823	2,535
<i>Cantidad de productos / Total productos</i>	13%	21%	65%
<i>Cantidad de ventas [mUM]*</i>	158,495	29,734	9,907
<i>Cantidad de ventas / Ventas totales</i>	80%	15%	5%

Las actividades de entrega son compartidas por ambas mediante un conjunto de actividades realizado diariamente y las sucursales afectadas varían según el cronograma establecido por el encargado de logística. Las rutas son elaboradas por el encargado de logística en base a su experiencia, y en general son fijas, tienen una validez de largo plazo y rara vez son modificadas.

Se encontró en primer lugar, que la asignación de sucursales a cada depósito sigue un criterio que no optimiza la logística de la empresa. También se observó que la asignación de rutas está definida de forma fija, y es invariante en el corto y mediano plazo. Además, no se realiza con alguna herramienta, sino que sigue el criterio particular de cada encargado de depósito.

Para estimar las necesidades de cada sucursal, se utilizaron datos reales de transferencias entre estas y los depósitos, y se convirtieron a kilogramos mediante el factor litros¹. Esto fue necesario para posteriormente estimar el ruteo bajo el esquema de asignación original.

En la obtención de rutas, se utilizaron criterios que sobre-optimizaron el resultado: no se permitió fraccionar la carga y se asignó la mayor cantidad de veces posible vehículos de mayor capacidad. El resultado obtenido se representa en forma gráfica en la Figura 1, donde puede observarse a la izquierda la distribución original de sucursales para cada depósito, mientras que a la derecha la distribución propuesta. Mientras que la menor distancia posible a recorrer con el esquema original, para ambos depósitos, es de 135 km, en el esquema propuesto se reduce a 124 km.

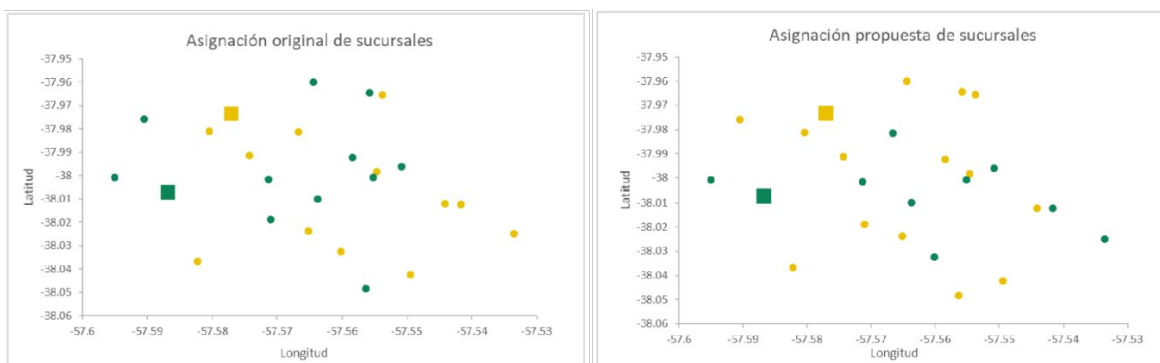


Figura 1 Asignación de sucursales a cada depósito

Sobre el análisis de cumplimiento de la política de inventarios, se buscó saber si en la operación real de la empresa se respetó el sistema de abastecimiento a las sucursales que la gerencia estableció. Para ello se comparó la cantidad enviada a una sucursal, con el reporte de falta (que es un informe de las unidades faltante para alcanzar el stock de seguridad en la sucursal) correspondiente. Se encontraron los siguientes hallazgos: a) En el mejor de los casos, la tasa de

¹ Los productos líquidos que la empresa comercializa explican más de 96% del volumen almacenado, por lo tanto, se utiliza internamente una unidad de conversión que utiliza un valor de densidad promedio, que se llama "factor litro", y permite estimar cuánto pesa y qué volumen ocupa un stock particular, considerando los datos de facturación de los proveedores que se expresan en litros.

cumplimientos fue del 41% (productos A, Cadena 2); b) La mayoría de las veces, los incumplimientos fueron por una cantidad equivalente al 100% del mínimo, para todas las categorías de la clasificación ABC; c) La Cadena 1 tuvo una tasa cumplimiento mayor comparando cada categoría entre ambas cadenas; y d) Aunque internamente no existe una clasificación de los productos por importancia, los resultados mostraron que los productos categorizados como A en este trabajo tuvieron mayor cumplimiento que los menos importantes (los B y C).

Se observó un nivel bajo de cumplimiento de la política de abastecimiento a las sucursales, aunque la empresa, por su parte, indicó que no percibió un incumplimiento alto. Es decir que a pesar de no haber respetado de forma estricta el sistema, se logró satisfacer la demanda en niveles generales, o al menos esta falta de cumplimiento no se vio reflejada en las percepciones de la gerencia. Bowersox [2] indica que una explicación a esta situación son los inventarios excesivos, ya que estos pueden compensar las deficiencias en el diseño básico de un sistema logístico. Si bien las causas de los incumplimientos pudieron ser ajenas a la política en sí misma, se evidenció la necesidad de una reformulación basada en conocimientos teóricos.

El nivel de servicio del esquema original fue satisfactorio, lo que indicó que aún con bajo cumplimiento de las políticas de abastecimiento, los productos fueron entregados a los clientes. Ballou [3] propone un estándar estimativo de la rotación de inventario para un almacén de existencias de 9 veces por año.

Se observó que el nivel más alto de rotación registrado en la empresa fue de 7.33 veces por año, para el caso de los productos A en el depósito de la Cadena 2. Esto corroboró la idea del alto stock subyacente elevado, por lo que se recalculó al nivel de los stocks de seguridad para proveer una rotación adecuada. Se observó que los niveles máximos disminuyen en un 50% o más, para el 65% de los artículos; la moda se encuentra en el intervalo (-60%; -50%], con un 21% de los artículos; el 13% de los artículos no ven afectado su nivel máximo, o este disminuye a lo sumo 10%; solo un 6% de los artículos aumentaron su nivel máximo por encima de su valor original; y finalmente, un 2% de los artículos disminuyen su nivel máximo a 0.

Con base al modelo MOGIT aplicado a ambas cadenas de pinturerías. Se tuvieron en cuenta los cinco elementos claves del modelo y un conjunto de herramientas seleccionadas para cada caso. Para el elemento FOCALIZAR la herramienta seleccionada fue el análisis DAFO. Se observó la elevada influencia de la logística y cómo su manejo ineficiente afecta a la empresa, generando quiebres de stock, altos niveles de inventario y elevados gastos de transporte. El sostenimiento en el tiempo de dos estructuras logísticas independientes, y su poca optimización, no favorecen a la empresa debido a la alta competencia basada en precios de venta. Sin embargo, la venta al público bajo dos nombres comerciales permite a la empresa ostentar una posición cómoda en el mercado, siendo el líder en el segmento en el cual compite a nivel local.

La expansión geográfica se evidencia en una creciente cantidad de sucursales de la cadena en la ciudad de Mar del Plata. Esto en parte es gracias a su fuerte posición económica, resultado no solo del éxito de las pinturerías sino también de otros activos de la cartera. Esta fortaleza económica además le permite obtener descuentos por compras grandes y realizar compras de especulativas. Para el elemento VIGILAR se partió de una auditoría tecnológica, donde se verificó que la empresa utilizaba originalmente el software informático Presea, provisto por la empresa argentina Neuralsoft, para la gestión integrada de todas las áreas de la organización. No posee ningún otro activo tecnológico aplicable a logística. El software integra los elementos necesarios para la administración completa de una empresa, sin embargo, no profundiza en algunas áreas, para este análisis en particular, la administración logística resulta rudimentaria.

Una vez detectada la deficiencia, se utilizaron técnicas de vigilancia tecnológica para hallar un software en mercado con capacidad y factibilidad para ser implementado. Se encontraron y evaluaron 4 alternativas (Track-pod, OR-Tools, Netsuite ERP, Deonics) y en base a criterios multivariados se consideró que la mejor alternativa sería el software Deonics. Al implementarse el mismo, produce cambios mínimos en la estructura de la empresa, cumpliendo satisfactoriamente las necesidades planteadas. Además, los costos resultaron competitivos en comparación con el resto de las alternativas. Por otra parte, la capacitación debe impartirse solamente a los involucrados en logística, y el contacto de soporte que otorga es el mismo que para el software original, ya que es desarrollado por la misma empresa.

La implementación del software seleccionado representará en sí mismo una estrategia valiosa correspondiente al elemento clave CAPACITARSE, ya que posibilitará la diagramación y visualización física del depósito, junto con la identificación de las posiciones y la rotación del inventario asociado a cada una. Esto permite comprender la importancia de sistematizar el almacenaje para hacer más eficiente los procesos de picking y armado. Mediante esta herramienta se generan nuevos conocimientos sobre las mejores prácticas de almacenaje para la situación particular de la empresa. Asimismo, la generación de nuevo conocimiento producto del convenio para la realización de este trabajo representa una herramienta igualmente valorable dentro del elemento clave.

Para IMPLANTAR el software primero se deben estandarizar los procesos en lo que se refiere al menos a: selección de indicadores logísticos, frecuencia de medición, frecuencia de revisión de niveles máximos y designación de rutas de reparto. Luego pueden definirse los procesos del resto de funciones del software. Esto puede ser un obstáculo si se tiene en cuenta que los procesos deben ser únicos para la empresa. La separación física original de los depósitos requiere un proceso de estandarización más complejo donde se mezclan las costumbres y las culturas organizacionales. La empresa está transitando un camino dentro del elemento clave APRENDER, que la dirige hacia la excelencia en la gestión y la mejora de sus procesos, a través de las relaciones formadas con la UNMDP, sus investigadores y estudiantes. Para la realización de este trabajo final, fue necesario realizar un contrato formal, que establece la posibilidad de concretar futuros trabajos académicos que retroalimentan el proceso actual de aprendizaje. Utilizar los lineamientos propuestos y su implementación exitosa generará expectativas positivas y capitalizará todo el conocimiento aplicado para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados.

5. RESULTADOS.

El análisis de cumplimiento de la política de inventarios dio como resultado un nivel bajo. A pesar de ello, el desempeño medido por el nivel de servicio, se mantuvo por encima del 90% en gran parte de los productos.

Como parte del análisis preliminar se realizó una clasificación ABC de la cartera de productos de la empresa que permitió segmentar el cálculo de indicadores, tomando con especial importancia los productos A.

En cuanto a la propuesta de distribución, se realizó una reasignación de las sucursales "cliente interno" de cada depósito y se diseñaron rutas óptimas. Se muestra la comparativa en la Tabla 18 de ambos esquemas. El criterio previo era el de asignar las sucursales a cada depósito según el nombre comercial de cada una, y diseñar las rutas en base a experiencia. La comparación entre la asignación original de sucursales y la asignación propuesta se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2 Comparativas de esquema de distribución.

	Esquema original	Esquema propuesto	Variación %
Cantidad de rutas	14	14	-
Distancia recorrida [KM]	135	124	-8%
Sucursales depósito Cadena 1	11	9	-18%
Sucursales depósito Cadena 2	12	14	+17%
Envío promedio semanal Cad 1 [KG]	11,589	10,268	-11%
Envío promedio semanal Cad 2 [KG]	23,482	24,548	+5%

Modificar el esquema de asignación y ruteo, implica un cambio para los encargados de logística de cada depósito, los choferes y personal de depósito. La distribución se ve afectada directamente por la política de inventarios ya que esta determina la magnitud que será abastecida cada semana, lo que evidencia el grado de relación entre ambas funciones logísticas.

Los encargados de logística se verían afectados al incorporar nuevas sucursales a su cargo y dejar de suplir a otras. Deben entablar nuevas relaciones con los encargados de sucursales, y adaptarse a una nueva cultura organizacional, correspondiente a la otra cadena.

Los choferes se verían afectados al tener que recorrer nuevas rutas, y entregar a nuevas sucursales. Aun así, la carga de trabajo se mantendría en 14 viajes para cada depósito.

El personal de depósito vería modificada su carga laboral. En el caso de la Cadena 1, la cantidad enviada se reduciría un 10%, mientras que para la Cadena 2 aumentaría un 5%. Esto impacta en algunas actividades del proceso de entrega, como ser: obtención del reporte de falta, comprobación de stocks en el sistema y armado de la carga. Se tomó como consideración que los depósitos pueden absorber estas variaciones manteniendo su estructura.

En cuanto a la factibilidad económica de la propuesta, se consideraron constantes todos los recursos de la empresa, por lo que no se necesita adquirir equipamiento o realizar inversiones que impliquen un análisis económico.

Es importante tener en cuenta las consideraciones que se tomaron para el cálculo de la propuesta de mejora. Las mismas supusieron simplificaciones respecto a la realidad para facilitar el análisis y, en ciertos casos, adaptarse a la formulación específica del modelo.

Respecto a la asignación fija de los vehículos, dado que el cuello de botella para el almacén de la Cadena 1 es la baja capacidad de su flota, es posible producir mejoras en los resultados eliminando esta restricción. Por ejemplo, utilizando el vehículo que posee la otra cadena con capacidad de 6.000 kg, para realizar envíos desde el almacén mencionado.

La disminución en la distancia recorrida de un 8% sería probablemente mayor, considerando que se supuso que el ruteo original era óptimo. Es decir, se midió la distancia recorrida por los camiones a través del software VRP, cuando en realidad se utiliza la experiencia de los encargados para definir los recorridos.

Se consideró que los pedidos de las sucursales se entregan en un único viaje, es decir, la carga no se fracciona. En el caso de la obtención de las rutas originales, esta suposición implicó reducir el envío promedio de aquellas sucursales que excedían la capacidad de cualquier vehículo, otorgando resultados menores de distancia recorrida. Permitir fraccionar carga, requiere plantear una nueva formulación del VRP. Esto brindaría resultados probablemente mejores a los que se obtuvieron.

Teniendo en cuenta lo desarrollado en los párrafos anteriores, se proponen dos lineamientos de mejora: compartir los vehículos entre ambos depósitos y/o analizar la compra de nuevos vehículos más grandes; y mediante la alternativa propuesta en el elemento “vigilar” del MOGIT, teniendo en cuenta las consideraciones en “implantar” y lo observado en las actividades del proceso de entrega a sucursales, se podrían realizar los ruteos con las necesidades semanales específicas. Es decir, incorporar la elaboración de recorridos a las actividades operacionales del proceso de entrega, de modo de vincular de forma efectiva la distribución con la operativa diaria de reabastecimiento a sucursales.

Para los inventarios se propusieron tres métricas, a saber: Inventario promedio, rotación de inventario y nivel de servicio. Fueron elegidas en base a la bibliográfica, por su importancia, facilidad de cálculo y capacidad de reflejar el desempeño de la política de inventario. A su vez responden a la ausencia de métricas de inventario dentro de la organización. El cálculo de estos indicadores en la situación original funcionó como diagnóstico, con la premisa de que las mismas eran mejorables bajo un nuevo esquema. Dado el objetivo del presente trabajo de analizar los almacenes, las métricas fueron eficaces.

A partir de la reorganización de sucursales, producto del análisis de la distribución, se reformuló el modelo de revisión periódica, lo que implicó obtener niveles máximos revisados para cada producto. Se calcularon los niveles máximos para cada depósito. Luego, para profundizar el desarrollo del modelo a todos los niveles de la logística interna de la empresa, también se calcularon los niveles máximos para las sucursales. En la definición de los parámetros del modelo, la demanda y el tiempo de entrega de los proveedores se modelizaron como variables aleatorias distribuidas normalmente. Posteriormente se recalcularon las tres métricas propuestas desde el punto de vista del depósito. La comparativa de estas tres métricas, solo para los artículos A, se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3 Comparación de métricas de inventarios

Métrica	Original	Propuesta	Diferencia absoluta	Diferencia [%]
Cadena 2				
Inventario promedio [Millones de UM]	12.40	3.60	-8.80	-71%
Rotación de inventario [Rotaciones anuales]	7.33	18.51	11.18	153%
Nivel de servicio [%]	88%	96%	0.08	9%
Cadena 1				
Inventario promedio [Millones de UM]	7.80	2.10	-5.70	-73%
Rotación de inventario [Rotaciones anuales]	6.48	15.97	9.49	146%
Nivel de servicio [%]	96%	94%	-0.02	-2%

Se observó cómo, con las propuestas de reasignación de sucursales y recálculo de niveles máximos, se puede disminuir el inventario promedio en un 70% para ambas cadenas. A su vez la rotación de inventario aumenta aproximadamente 1.5 veces, también para ambas cadenas.

Estos cambios mejoran el nivel de servicio en nueve puntos porcentuales en la Cadena 2 y solo lo disminuyen en 2 puntos porcentuales en la Cadena 1. A pesar de esta disminución en el nivel de servicio de ésta última, su valor sigue siendo aceptable por encima del 94%. Previamente, este no era un factor controlado y determinado según la importancia estratégica de cada producto. Por lo tanto, si bien el nivel de servicio cambió con el nuevo esquema, ahora es un factor determinado por una decisión gerencial.

Consecuentemente con estas mejoras en las métricas se generan ahorros al tener menos capital inmovilizado, disminuyen los costos de mantener inventarios y se cuenta con mayor espacio aprovechable en el depósito.

Luego del análisis de estas métricas, se incluyó la comparativa de otro indicador que es utilizado en la empresa, este es el almacenamiento medido en litros de pintura. Si bien no mide el requerimiento real de espacio del inventario, sí permite dar una idea más aproximada que el inventario promedio al no realizarse una valoración monetaria. Se observa como su valor disminuye en un 24% para toda la empresa, lo que se traduce en un requerimiento de espacio volumétrico mucho menor que el del esquema original.

En cuanto al Modelo de Gestión de la Innovación (MOGIT), se realizó una búsqueda de alternativas que permitan llevar a cabo o faciliten implantar las propuestas desarrolladas, como parte de uno de sus elementos clave. Se relevaron en total 4 alternativas (ver Tabla 4), y se analizó cada una mediante las especificaciones del autor en base a criterios establecidos: costo mensual, inversión en equipos, magnitud del cambio, respuesta a las necesidades actuales, soporte disponible, necesidad de capacitaciones, costo de capacitaciones. Se buscó combinar criterios económicos,

con criterios relacionados a las personas y, por último, la factibilidad de la propuesta. En base a una matriz de ponderación de criterios y calificaciones para cada alternativa, el software seleccionado fue Deonics.

Tabla 4 Matriz de selección de alternativas tecnológicas

Criterios	Peso relativo	Track-pod	OR-Tools	Netsuite ERP	Deonics
Costo mensual	0.15	2	4	1	2
Inversión en equipos informáticos	0.05	2	4	4	4
Magnitud del cambio	0.20	3	2	1	2
Respuesta a las necesidades actuales	0.25	3	2	4	3
Soporte disponible	0.10	1	1	4	4
Necesidad de capacitaciones	0.15	2	1	1	3
Costo de capacitaciones	0.10	1	2	2	4
Puntuación total	1	2.25	2.15	2.3	2.9

La alternativa seleccionada, contribuye a la capacitación del personal de la empresa en cuanto a la gestión logística, ya que permite incorporar métricas, reportes, analíticas, y brinda soluciones de almacenamiento, ruteo y gestión de inventarios. La principal dificultad para la implantación es la necesidad de estandarizar procesos que originalmente son diferentes en cada cadena debido a su separación física. En cuanto al aprendizaje de la organización, se recomienda mantener, o aumentar, el nivel de contacto con estudiantes avanzados o profesionales y seguir desarrollando trabajos con la UNMDP. A su vez, se deben incorporar funciones que tengan como objetivo la vigilancia tecnológica del ambiente externo para generar información de calidad.

6. CONCLUSIONES.

La decisión de la empresa de capacitarse e incorporar conocimiento estableciendo vínculos con la UNMDP a través de pasantías y trabajos finales, motivó a realizar el presente estudio. Ello requirió en primer lugar establecer un marco formal, para poder utilizar datos reales y que los resultados de análisis sean aplicados en la empresa. Posteriormente se definió en conjunto con la empresa el objetivo del trabajo, que han podido completarse íntegramente.

Un primer relevamiento mostró que la empresa utiliza su propio conocimiento y experiencia para la toma de decisiones, al menos en cuanto a las funciones que se plantearon como objetivo para este trabajo. Además, se observó que no se utilizan métricas para la gestión logística. Este primer relevamiento indujo la premisa de que se podían utilizar modelos teóricos para gestionar tales funciones y mejorarlas, como así proponer la incorporación de métricas a la gestión.

El análisis del cumplimiento de la política original arrojó como resultado un nivel bajo. De modo que se puede decir que, en la práctica, la empresa no hace lo que se propone, ni tampoco cuenta con los medios para descubrirlo. Esto último no solo es evidente por la falta de métricas previamente comentada, sino que además la propia gerencia no puede dimensionar la falta de cumplimiento.

Los indicadores propuestos para el análisis de inventarios fueron: inventario promedio, rotación de inventarios y nivel de servicio. De cada uno de ellos, se realizó una medición con datos históricos. Se encontró que, aunque internamente no exista una clasificación de productos, estos se pueden agrupar por su importancia relativa, siendo los productos A los que más rotaban y los que representan la mayor parte del inventario. Los valores altos observados en el nivel de servicio, junto con el resto de los indicadores, pueden significar una elevada disponibilidad de stock que se contrapone a los incumplimientos en la política.

Se analizó la política de distribución de la empresa y se propuso una nueva política sin la restricción de abastecer solamente a las sucursales de una de las marcas. La distancia recorrida por los vehículos se redujo un 8%. Dadas las simplificaciones tomadas, este valor es un piso de la mejora, que potencialmente puede ser mayor.

Con esta reasignación se propuso la nueva política de inventarios para los depósitos, que indica cómo este debe abastecerse para alcanzar un nivel de servicio estipulado a través de una decisión gerencial. Se recalcularon las métricas con este nuevo esquema con un impacto directo en el nivel de capital inmovilizado, reduciendo a su vez, los costos de mantener inventario.

Una vez definida la estrategia tecnológica que permita focalizar los esfuerzos de la empresa en reforzar sus capacidades para atacar sus debilidades, se seleccionó una herramienta para que la empresa pueda aplicar no sólo las mejoras propuestas, sino también técnicas e indicadores sobre otras funciones logísticas. Se encontró, además, que la empresa debe incorporar la vigilancia tecnológica y mantener, o aumentar, el nivel de contacto con las fuentes de producción de conocimiento y tecnología, donde se valora la incorporación de estudiantes avanzados de la UNMDP y profesionales.

Por último, se puede afirmar que la empresa analizada es una organización que “aprende”, ya que se ha verificado la aplicación del modelo de gestión de la tecnología y el desarrollo más que incipiente de los cinco elementos clave, que en suma significa que tiene capacidad de vigilar tanto su entorno como sus propias capacidades, y elabora sus estrategias de actualización tecnológica con base en las oportunidades y debilidades que en su análisis de contexto detecta.

Asimismo, toma acciones concretas para la implantación de sus estrategias y quizás la más importante de ellas tiene que ver con la diversificación en su esfuerzo por capacitarse, tanto en relación la incorporación de recursos humanos que le permiten incrementar sus capacidades, como con la incorporación de tecnologías para el apoyo a los procesos de toma de decisión.

7. REFERENCIAS.

- [1] Coyle, J. J., Langley, C. J., Novack, R. A., y Gibson, B. J. (2013). *Administración de la cadena de suministro: Una perspectiva logística*. Novena edición. México. Cengage Learning Editores.
- [2] Bowersox, D. J., Closs, D. J., y Cooper, M. B. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministros*. Segunda edición. México. McGraw-Hill.
- [3] Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. Quinta edición. México. Pearson Educación.
- [4] Ospina-Toro, D., Toro-Ocampo, E., Gallego-Rendón, R. A. (2018). “Solución del MDVRP usando el algoritmo de búsqueda local iterada”, *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, Vol. 1, No. 31, Mayo 2018, pág. 120-127.
- [5] Petrillo, J.D.; Dematteis, R.; Morcela, O.A.; Cabut, M. (2018). *El proceso innovador (PI) y la gestión de la innovación tecnológica (GIT)*. Apunte de Cátedra. Mar del Plata. FI-UNMDP
- [6] Dankbaar, B. (1993) *Research and technology management in enterprises: issues for community policy*, Overall Strategic Review, EUR.
- [7] COTEC (1999). *Pautas metodológicas en gestión de la tecnología y la innovación para empresas*. Temaguide. Fundación COTEC. Madrid, España.
- [8] Tabone, L.; Tieri, S. (2012). *Desarrollo de un modelo de gestión de la innovación tecnológica para las MIPYME regionales Estudio de caso: El sector textil*. Trabajo Final de Carrera. Mar del Plata. FI-UNMDP
- [9] VASILACHIS DE GIALDINO, I. (2006). *Estrategias de la Investigación Cualitativa*. Primera edición. Barcelona. Gedisa.
- [10] GRUBBS, F. E. (1969). “Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples, Technometrics”, Vol. 11, No. 1, Febrero 1969, pág. 1-21
- [11] HOLMES A. (2013). *Direct Observation*. Extraído el 19 de septiembre de 2018, de link.springer.com

Redes Neuronales como herramienta para el pronóstico de consumo de combustible en aeronave comercial – Segunda etapa: Mejora del pronóstico.

Alsúa, Santiago Ezequiel; Alvarado, Antonella; Castarés, Juan Francisco; Veltri, Federico Nahuel; Varela, Rodrigo Daniel.

*Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA)
Av. Eduardo Madero 399 C1106ACD, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina*

RESUMEN

El alcance de la investigación es la predicción profesional de consumo de combustible en la aviación comercial. Sobre la base de los resultados obtenidos en la primera etapa del proyecto, que indican viabilidad en la implementación de las redes neuronales artificiales como herramienta de predicción, se busca perfeccionar los métodos planteados para su adopción a nivel industrial. Se considerará la necesidad de corrección de los procesos de desarrollo investigados en la etapa anterior.

Palabras Claves: pronóstico; consumo de combustible; aviación; redes neuronales.

ABSTRACT

The scope of this research is the professional forecast of fuel consumption in commercial aviation. Based on the results obtained from the first stage of the investigation, which point to the feasibility of carrying out forecasting using artificial neural networks as a tool, the goal is to further improve the proposed methods in order to allow for their implementation at an industrial scale. The need for improvements in the development processes investigated during the prior stage will be considered.

1. INTRODUCCIÓN.

Esta etapa del proyecto parte de la base del estudio conducido durante el primer ciclo de la investigación. Por este motivo en el documento se describe el estado del arte correspondiente en función de las conclusiones obtenidas esa primera etapa [1], junto a una breve síntesis de lo explicitado en el documento correspondiente. Luego de esto se exponen las mejoras puestas en práctica con respecto al trabajo llevado a cabo en la primera parte de la investigación, así como su proceso de implementación y análisis. Estas pueden ser resumidas como la automatización de la limpieza de la base de datos y el desarrollo de la red neuronal a evaluar en lenguaje Python. La comparación de los resultados con respecto a los obtenidos con anterioridad se analiza finalmente en las conclusiones de la investigación.

Para el proyecto actual se utilizó el estudio realizado en la primera etapa, como base teórica de los fundamentos; y se aplicó el conocimiento adquirido para poder profundizar en el análisis. Así se consiguió probar y demostrar una mejora en los métodos de pronósticos con redes neuronales referidos al campo mencionado.

En el trabajo [1], se realizó una investigación sobre la importancia de la limpieza de datos, antes de comenzar el aprendizaje de la red. En análisis desarrollado sobre la base de datos se observó mejora significativa en el desempeño de las redes con una limpieza previa de la información, por lo que se puede afirmar que este paso resulta indispensable antes de trabajar con redes neuronales. Se demostró que una reducción en la cantidad de variables utilizadas para entrenar la red es posible, siempre y cuando las variables sean correctamente seleccionadas y se asegure la calidad de los registros que están contenidos en esas variables.

Como se utilizó la misma base de datos con el mismo objetivo final, también se aprovechó el análisis anterior para elegir las variables a utilizar. La variable duración del vuelo da evidencia de ser la que mejor poder predictivo aporta a las redes neuronales. Su uso se puede potenciar si se combina con otras variables como el horario de arribo, el peso de la aeronave y los aeropuertos de destino y de salida.

Es menester mencionar que los métodos utilizados en [1] y el documento actual, difieren en algunos puntos. El proceso de la limpieza de datos en la primera parte de la investigación fue manual, lo que genera pérdidas de tiempo, por lo que se vuelve improductivo al cambiar de base de datos. Por esta razón para esta segunda parte se automatizó el proceso de limpieza de datos. Además, para esta parte se decidió dejar de utilizar Matlab, para comenzar a programar en lenguaje Python, lo que permitió limpiar los datos y programar la red en un solo proceso y brindó mayores libertades a la hora de aplicar criterios de filtrado en la base de datos para modelar las redes (los aplicados en la base utilizada son listados en la sección de métodos).

2. MARCO CONCEPTUAL.

2.1. Matlab.

Matlab es un entorno de computación numérica, además de funcionar como lenguaje de programación [2]. El nombre hace referencia al paquete en su totalidad, incluyendo el entorno de desarrollo integrado (IDE por sus siglas en inglés), y es un producto desarrollado por la corporación Mathworks, que ostenta derechos de propiedad intelectual. Su librería estándar no resulta particularmente rica en términos de funciones de programación general, pero sí en cuanto a álgebra de matrices, procesamiento de datos, y gráficas. Mathworks también ofrece paquetes de herramientas extra con funcionalidades agregadas.

Sin embargo, debido a la naturaleza privada de los algoritmos de Matlab, no existe la posibilidad de acceder al detalle del código para la mayoría de estos, y por lo tanto se debe confiar en su correcta implementación por parte de los desarrolladores. Si bien el desarrollo profesional de dichos algoritmos puede representar una garantía de validez del código, a su vez obstaculiza la personalización hasta cierto punto.

También, debido a esa misma naturaleza, requiere del pago de una licencia para su utilización, lo cual limita la difusión que puede tener el código desarrollado en Matlab, cuando existen alternativas gratuitas. Correr el código desarrollado en otros equipos puede resultar engorroso, y requerir de la actualización permanente del Matlab Runtime para poder ejecutar la aplicación compilada.

Por otro lado, en cuanto a la universalidad de su lenguaje de programación, Matlab presenta algunas anomalías que surgen de sus orígenes como paquete de manipulación de matrices, tal como el uso que se le da al punto y coma, o la dificultad para distinguir funciones dado que la indexación se lleva a cabo con llaves en lugar de corchetes.

Como ventajas, por otro lado, Matlab ofrece una amplia gama de funciones de base, así como la posibilidad de trabajar con un paquete más integrado, que no requiere del *setup*, ni la utilización de otros elementos, y que puede resultar más fácil para principiantes, especialmente gracias a la multiplicidad de funcionalidades basadas en la interfaz gráfica de usuario (GUI por sus siglas en inglés) con las que cuenta.

También goza de gran prestigio en el ambiente académico y científico, siendo utilizado en multiplicidad de universidades en todo el mundo, y con una trayectoria reconocida a lo largo del tiempo.

La implementación de Simulink también resulta una ventaja, tanto en términos de poder de simulación de sistemas complejos como de simplicidad en su representación visual, particularmente debido a la falta de oferta de una alternativa de capacidad equivalente en código abierto.

2.2. Python.

Python es un lenguaje de programación de código abierto cuya implementación más frecuentemente usada y oficial está escrita en C [2]. También cuenta con una librería estándar extensiva, que apunta a la programación general y contiene módulos especializados para diversas aplicaciones dirigidas a sistemas operativos, redes, bases de datos, etc.

Debido a su naturaleza abierta y gratuita, el diseño de paquetes y demás herramientas de software que extienden el alcance de Python resulta relativamente sencillo. Cada paquete es desarrollado por un grupo diferenciado, compuesto por los propios usuarios y, si bien la mayoría de los paquetes son producidos por un mismo conjunto de desarrolladores más activos, los usuarios de contribuyen a su desarrollo tanto en el reporte de fallas como en correcciones menores del código.

El uso de Python también aporta beneficios desde un diseño pensado para resultar un lenguaje de programación accesible e intuitivo, en comparación a Matlab y sus orígenes como un paquete de manipulación de matrices. También por este mismo diseño, incluso en comparación con otros lenguajes, cuenta con numerosas bibliotecas y tipos de datos que lo hacen particularmente útil para la computación científica.

Por ejemplo, el uso de espacios de nombres para identificar todo elemento en Python, así como el sistema de indentado para definir bloques de código, permiten una claridad y trazabilidad en la estructura del código que lo hace más sencillo de inspeccionar.

Otras ventajas que ofrece el código abierto y la universalidad de Python son la posibilidad de ejecutar el código en una diversidad de sistemas operativos sin inconvenientes, así como la versatilidad para definir funciones y clases dentro del mismo código.

Para poder aplicarse a computación científica, sin embargo, Python requiere de la instalación de paquetes de librerías adicionales, así como de la utilización de un IDE a definir por el usuario, o una herramienta equivalente. Cada una de las librerías aporta un rango de funciones en particular para el uso en computación científica. La necesidad de instalar dichas librerías para darle ciertas aplicaciones específicas a Python, entre ellas el desarrollo de redes neuronales artificiales, hace que requiera un tiempo de *setup* y personalización más extenso y engorroso.

No obstante, debido a la multiplicidad de usos y desarrollos hechos sobre Python, existen distribuciones del *software* con paquetes preestablecidos para aplicación científica. Entre estos uno de los más conocidos es Anaconda.

Anaconda es, estrictamente, una distribución tanto de los lenguajes Python como R, desarrollada para computación científica orientada a aplicaciones de análisis de datos de gran escala, aprendizaje automático, y analítica predictiva. Su objetivo es específicamente simplificar el manejo de paquetes y su correspondiente despliegue. Incluye más de 1500 paquetes de código abierto con funcionalidades para las aplicaciones mencionadas, que son administrados por el sistema de administración de paquetes Conda, entre ellos:

- **NumPy:** Es el paquete fundamental para computación científica en Python. Agrega soporte para vectores y matrices multidimensionales de gran tamaño, así como una extensa librería de funciones matemáticas para el manejo y operación de álgebra matricial.
- **Pandas:** Es una librería para manipulación y análisis de datos, que provee estructuras y operaciones para manejar tablas numéricas y series de tiempo.
- **Matplotlib:** Es una librería de gráficas 2D de Python, que produce figuras de elevada calidad visual en una amplia gama de formatos y contextos interactivos para diversas plataformas. Permite generar gráficos de dispersión, de barras, histogramas, de distribución de errores, entre otros.
- **Scikit-learn:** Es una librería de aprendizaje automático, que cuenta con numerosos algoritmos de clasificación, regresión, y agrupamiento, que incluyen máquinas de soporte vectorial, bosques aleatorios, potenciadores de gradientes, K-medias, y agrupamiento espacial basado en densidad de aplicaciones con ruido (DBSCAN por sus siglas en inglés). El diseño de esta librería está pensado para su interoperación con otras librerías de Python, entre ellas NumPy.
- **TensorFlow:** Es una librería utilizada para aprendizaje automático y programación diferenciable a través de diversas tareas, desarrollada por Google para satisfacer sus necesidades de detección de patrones y correlaciones con la implementación de redes neuronales artificiales.

- **Keras:** Es una librería de redes neuronales artificiales diseñada específicamente para una experimentación rápida de aprendizaje profundo sobre las redes, y resultar accesible al usuario debido a su simpleza de uso (red de alto nivel) y naturaleza modular. Dicha biblioteca posee una implementación en TensorFlow, incluido en el paquete Anaconda.

Anaconda también incluye un navegador que provee una alternativa GUI a la interfaz de comando, que permite ejecutar diversas aplicaciones y entornos de desarrollo, tanto las incluidas por defecto como otras que pueden ser instaladas. Entre los incluidos se encuentra Jupyter Notebook, un entorno de computación interactivo con base web que permite desarrollar documentos y suplir el uso de un IDE.

Una aclaración no menor es que, si bien existen numerosos lenguajes de programación de código abierto (entre otros, R, con un enfoque hacia la estadística), se analizó particularmente la posibilidad de utilizar Python como alternativa en función de las recomendaciones realizadas por el Ing. Iván Vilaboa (Docente del departamento de Ing. Industrial en el ITBA, comunicación personal, 2019).

2.3. Selección.

En vista de las ventajas de Matlab, que se ven circunscritas a aplicaciones que resultan muy lejanas al cuerpo principal de aquellas a las que se plantea destinar el software (aprendizaje profundo, aprendizaje automático, etc.), y al existir librerías que pueden aportar las funcionalidades correspondientes a la computación científica que distinguen a Matlab en otros entornos, se consideró que no es el medio más idóneo para llevar a cabo esta investigación. Por esto, y considerando la posibilidad de evitar una buena parte de las desventajas de Python a través de la implementación de Anaconda, así como la versatilidad de Python como lenguaje de programación, se decidió desarrollar la nueva red sobre Python en lugar de Matlab, en línea con la consulta realizada a expertos en el campo, debiendo eventualmente corroborarse si se obtiene una red neuronal más potente a la utilizada en la etapa anterior [1].

3. MÉTODOS.

Se inicia el análisis con una base de datos provista por la aerolínea, transferida desde el sistema FDR correspondiente al período comprendido desde enero de 2015 hasta febrero de 2017. La base consiste en una matriz que contiene 144 002 vuelos con 152 variables cada uno. Las variables abarcan, para cada etapa de vuelo: distancia aérea, distancia por tierra, duración, altura, tiempo de encendido de cada motor, velocidad, número de Mach y consumo de combustible; cada vuelo se caracteriza por un código de identificación (ID), aeropuertos de partida y arribo, modelo de avión, fecha y hora de partida y dirección espacial de la pista de despegue.

Para los métodos de limpieza se utilizó como herramienta la aplicación web Jupyter notebook, empleando lenguaje Python con las librerías Numpy, Pandas, Matplotlib, Keras (corriendo sobre TensorFlow), y Scikit-learn.

La librería más utilizada fue Pandas para la parte de la limpieza general. Es importante la utilización de programas de limpieza automatizados para que a medida que el proyecto avance y continúe su implementación, con nuevos datos, la limpieza de datos se haga de manera sencilla y no represente una demora en el análisis de la predicción.

3.1. Eliminación de datos en blanco o sin información.

Se eliminaron de la base los datos con valores en blanco y registros como los aeropuertos de salida y entrada que aparecían con una raya (-), o lo que es lo mismo, con al menos uno de los datos de aeropuertos faltante.

3.2. Selección de modelo de avión a analizar.

Tras una entrevista realizada con profesionales de la empresa se determinó que era conveniente utilizar únicamente los datos de los vuelos con Boeing 737-700 generar un software de predicción, siendo que los vuelos de dicho modelo representan el mayor volumen de utilización en las operaciones.

3.3. Eliminación de vuelos en base a su duración.

Se eliminaron los vuelos registrados con duraciones menores a los 20 minutos en base a que no son representativos para el estudio realizado y se suprimieron los vuelos con duraciones mayores a 16 horas ya que estas duraciones no son pertinentes a los aviones analizados.

3.4. Eliminación de outliers.

Se eliminaron los datos que contuvieran outliers para las columnas de *weight take off* (Contiene el combustible que se le cargó al avión) y *fuel burn*. También fueron eliminados los outliers de la

variable que está formada con el peso incluyendo el peso del combustible, porque en la variable que se utiliza en la red (peso sin incluir el combustible) resulta más difícil encontrar *outliers* ya que el peso está limitado por el volumen del avión. Se concluye entonces que es más probable encontrar *outliers* por exceso de carga de combustible y esta variable favorece el desarrollo de análisis de sensibilidad.

Los *outliers* se eliminaron con el mismo criterio estadístico de rango intercuartílico: se definen como valores atípicos aquellos que se encuentran por debajo del primer cuartil una vez y media el rango intercuartílico, así como aquellos que se encuentran por encima del tercer cuartil una vez y media el rango intercuartílico.

3.5. Selección y definición de las variables.

De las 152 variables disponibles en la base original, se discriminan aquellas conocidas o estimables al momento de despachar el vuelo. Las variables de entrada se listan a continuación:

- Mes: Para estudiar estacionalidad se tomó como variable el mes de salida.
- Dep IATA: Variable generada por código ASCII del nombre del aeropuerto de partida.
- Arr IATA: Variable generada por código ASCII del nombre del aeropuerto de arribo.
- Aircraft: Variable que contiene la matrícula del avión considerado. Se analizó para ver si existe una diferencia significativa en el avión estudiado en particular, más allá de ser el mismo modelo.
- Weight: Variable que incluye el peso.

También se consideró analizar la variable de peso inicial en kilogramos, pero se descartó esta idea ya que en el dato provisto en la base ya tiene incorporado el peso del combustible a la hora del despegue.

La variable de salida se identifica como *Total fuel burn* (kg), e indica el consumo total de combustible.

3.6. Análisis de variables categóricas e implementación de OHE.

Se observaron 3 variables categóricas. El problema que surgió es que la red neuronal toma únicamente valores de coma flotante (*float*), por lo que se debió transformar las variables de “categorías” a “números de coma flotante”. La solución se encontró utilizando el método de *One-Hot encoding* (OHE) o *Dummy encoding* que consiste en transformar las 3 categorías en 3 variables que tomen el valor 1 cuando la categoría corresponde con la variable, y 0 en caso contrario (misma lógica que una variable dicótoma) [3]. Por razones de multicolinealidad perfecta se eliminó una de las variables para así favorecer el aprendizaje de la red. Después de aplicar el OHE y la depuración queda una base de datos de 47781 registros con 125 categorías, teniendo la consideración de que en realidad son 4 pero el OHE generó 120 columnas, lista para alimentar la red.

3.7. Matriz de ruta y frecuencia.

La base de datos a analizar contiene registros de más de 24 meses entre 2015 y 2017; se encontró que ciertas rutas tenían 2 ó 3 viajes en ese lapso de tiempo, lo que no permitía un buen aprendizaje de la red. En consecuencia, se armó una matriz de ruta y frecuencia; se eliminaron las rutas con 30 o menos viajes. Se eligió este número debido a que, a partir de ese valor, el cambio sobre el coeficiente de determinación no resultaba significativo, a partir de la quinta cifra significativa. Se obtuvieron 115 rutas finales con 47080 vuelos en total. En la Tabla 2 del Anexo se pueden observar las diez rutas más repetidas de la base, con sus correspondientes frecuencias, y en la Figura 2 del Anexo se visualiza gráficamente la frecuencia del total de distintas rutas disponibles.

3.8. Método de aprendizaje de las redes.

El diseño del experimento se inicia con la elección de 5 poblaciones. Se usó una red neuronal de la librería Keras de Python. Esta segunda fase del experimento estudia la influencia de los parámetros. Se diseñan pruebas con una variación en ellos, en Keras (en su implementación sobre TensorFlow). El entrenamiento de redes en esta herramienta exige configurar *a priori* tres parámetros: algoritmo de entrenamiento de la red; número de neuronas para la única capa oculta y porcentaje de datos que se utilizan para entrenar, validar y testear la red.

Para todos los datos se los trasladó a una escala de 0 a 1 porque esto ayuda a la velocidad de procesamiento de la red.

La primera fase del experimento tiene como objetivo estudiar el impacto de las variables en el desempeño predictivo de la red. Consiste en analizar el comportamiento de las redes entrenadas con las distintas poblaciones en condiciones *ceteris paribus*. Estas condiciones son: algoritmo de

entrenamiento optimizador Adam; porcentaje para entrenamiento igual al 70 % de los datos, porcentajes de validación y testeo de 15 % cada uno, y una única capa de 12 neuronas. Para seleccionar el número de neuronas, y la cantidad de capas; se realizaron ensayos varios con 1 ó 2 capas y con números pares de neuronas del 0 al 12. A modo ilustrativo se muestran en la Tabla 3 del Anexo las redes que se probaron para el ensayo P1. La elección de estos posibles modelos fue arbitraria, si bien siempre se recomienda para este tipo de trabajos 1 sola capa de 8 a 12 neuronas. Por un lado, los porcentajes de datos asignados a cada etapa fueron los mismos que en la primera entrega del trabajo, con el objeto de poder comparar los resultados obtenidos con las distintas redes; por otro lado, al no existir un óptimo teórico para la cantidad de neuronas y capas se evaluaron distintas redes y se eligió la de mayor capacidad predictiva. La red fue realizada con una función de activación ReLU (*Rectified Linear Unit*) para la capa de neuronas ocultas y *linear* para las capas de *input* y *output*, hasta las 150 iteraciones, y con una función de pérdida de cuadrados mínimos: MSE. Adam es un algoritmo de optimización de descenso de gradiente estocástico con un funcionamiento diferente al de otros algoritmos de este tipo [4]. El algoritmo de descenso de gradiente estocástico mantiene una razón de aprendizaje constante (denominada alfa) para todas las actualizaciones en valores de parámetros a lo largo del entrenamiento de la red. También se mantiene una razón de aprendizaje para cada parámetro de la red que se adapta de forma individual durante el transcurso de dicho entrenamiento. Esto combina las ventajas de otros dos modelos más usuales de descenso de gradiente estocástico, AdaGrad y RMS Prop, que emplean el primero y segundo de los pasos de aprendizaje respectivamente, permitiéndole a la red la capacidad de aprender con facilidad tanto en problemas con gradientes dispersos como en problemas no estacionarios (con ruido). No obstante, y si bien la recomendación recibida por el Ing. Vilaboa fue la de utilizar el optimizador Adam, se llevó a cabo el entrenamiento de una red con distintos optimizadores, obteniendo los mejores resultados para Adam, igualado en términos de ajuste únicamente con el caso del Adagrad, que aun así arrojó un valor menos adecuado de error (ver Tabla 4 en el Anexo).

A su vez, en lugar de adaptar las razones de aprendizaje de los parámetros basado en el promedio del primer momento, como en el caso de RMSProp, Adam también emplea el promedio de los segundos momentos de los gradientes. En particular, calcula un promedio móvil exponencial del gradiente y el gradiente cuadrado, y los parámetros beta 1 y beta 2 controlan las razones de decaimiento de dichos promedios móviles.

4. RESULTADOS.

Para generalizar el análisis de resultados, se toman como medidas de calidad el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) calculados entre el vector salida y el vector objetivo del conjunto de datos de prueba.

La red entrenada con la población P1 emplea únicamente las variables base a disposición, es decir, los datos del aeropuerto de partida y de arribo; logra un ajuste de 95,40 % en el testeo y un error promedio de 327,93 kg de combustible. Para evaluar el impacto del resto de las variables, estas se añaden progresivamente. Como se puede observar en la Tabla 1, la predicción mejora ligeramente para los casos en los que se incorpora las variables que contienen el mes del vuelo y el peso del avión utilizado, aunque se puede observar que los valores de error promedio y ajuste disminuyen levemente cuando se tiene en cuenta a la matrícula como variable adicional (población 2), probablemente debido a una incidencia mayor del ruido que aporta que a la claridad de la información.

Por esta razón, además de la población 6, que incorpora todas las variables consideradas, se entrenó la población 5 sin tener en cuenta la matrícula, contemplando la posibilidad de que la incidencia del ruido fuera también mayor y se redujera en la población 6. No obstante, viendo los resultados, no fue el caso, por lo que se tomó la población 6 como punto de comparación para los demás análisis de los resultados.

Variables de uso predictivo	Poblaciones					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Dep IATA	X	X	X	X	X	X
Arr IATA	X	X	X	X	X	X
Aircraft		X				X
Mes			X		X	X
Weight				X	X	X
Cant. Registros	47080					
% Training	70%					
% Validation	15%					
% Testing	15%					
Neuronas ocultas	12					
Optimizer	Adam					
Parámetros entrenables de la red	889	1105	1021	901	353	1249
Parámetros no entrenables de la red	0					
MSE Training	110229.3376	109417.0498	107924.0523	108466.4938	103826.069	96017.3526
MSE Validation	113363.3001	116741.7093	114380.9876	110469.1314	107924.997	103367.7544
MSE Testing	107538.1497	108183.0898	105670.9184	104954.9734	99608.9696	95549.2871
MAE Training	252.1357	245.0427	247.2522	252.2726	242.4576	230.4085
MAE Validation	252.8006	250.4207	251.5186	251.9594	246.1275	236.4976
MAE Testing	249.7653	245.2423	245.0609	249.9688	239.3777	231.2478
RMSE Training	332.0080	330.7824	328.5179	329.3425	322.2205	309.8666
RMSE Validation	336.6946	341.6748	338.2025	332.3689	328.5194	321.5085
RMSE Testing	327.9300	328.9119	325.0706	323.9675	315.6088	309.1104
R2 Training	0.9522	0.9525	0.9532	0.9529	0.9549	0.9583
R2 Validation	0.9516	0.9502	0.9512	0.9529	0.9540	0.9559
R2 Testing	0.9540	0.9537	0.9548	0.9551	0.9574	0.9591

Tabla 1 Resultados del entrenamiento de redes predictivas.

La Figura 1 muestra la capacidad de ajuste entre predicciones y valores reales para la primera y la última de las poblaciones (1 y 6).

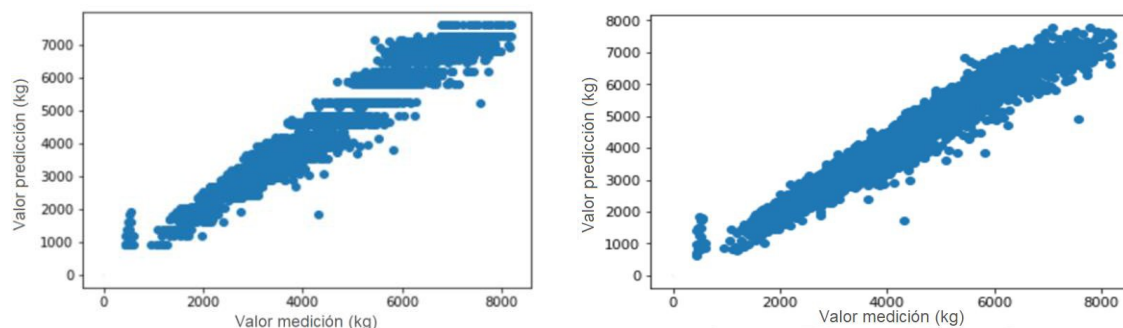


Figura 1 Gráficos de dispersión para las redes entrenadas con las poblaciones P1 y P6, para la etapa de testeo.

De la comparación de las poblaciones P2 a P4 se observa que el salto más significativo se produce con la inclusión de la variable del peso del avión, que produce un aumento del ajuste de 0,11 puntos porcentuales y una disminución del MAE testing de 4,7 kg (2,28 %). Esto representa una novedad con respecto a los resultados obtenidos en el trabajo [1] que, si bien se trataba de otra red neuronal, al contemplar la duración del vuelo encontraba un aumento significativamente mayor al incluir dicha variable respecto de las demás. En la nueva versión del trabajo no se tuvo en cuenta dicha variable, y también se modificó el peso tenido en cuenta (en el trabajo actual se utiliza el peso que no contempla el combustible al momento del despegue).

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

A *priori* los resultados obtenidos con la red actual corroboran la hipótesis planteada con respecto a la utilidad de Python como lenguaje de programación con respecto a Matlab para el desarrollo de la red. Al comparar la población 1 del trabajo actual con la 7 del trabajo anterior [1] se observa una capacidad de predicción considerablemente mayor. Por tratarse de poblaciones que utilizan las mismas variables (únicamente aeropuerto de salida y de llegada) la red de Python proporciona un aumento de 17 puntos porcentuales en el valor del R^2 y una disminución de 700 kg en el MAE testing con respecto a la red de Matlab.

Cabe destacar que si bien se obtuvieron valores de ajuste mayores en los resultados del año anterior esto se debe a que se habían tenido en cuenta otras variables, como la duración del vuelo, así como el peso del avión al momento del despegue, que a su vez ya contempla el combustible. Al ser la duración del vuelo una variable con la que no se cuenta con antelación al vuelo (ya que es la duración efectiva y no la programada), y que el peso del avión no había sido definido recursivamente con la variación en cantidad de combustible para las predicciones de la red de Matlab, no pueden contemplarse en la red actual que busca funcionar como un predictor con un impacto económico medible. Es decir, si bien tuvieron valor como variables en el proceso de investigación de uso potencial en la etapa anterior del trabajo, resultó necesario desestimar dichas variables en el proceso de predicción actual. Al comparar las poblaciones actuales con las que no consideraban dichas variables los resultados con la nueva red son mejores que los obtenidos anteriormente.

A su vez, la utilización de un número menor de variables puede ser beneficioso para elaborar la red más conveniente, incluso habiendo una reducción pequeña, especialmente debido a la voluntad en las líneas aéreas para reducir la cantidad de variables a controlar y mejorar la calidad de los registros al mismo tiempo. Esto es válido en particular para el caso de Aerolíneas Argentinas, donde al ser entrevistados los profesionales a cargo mencionaron como uno de los principales inconvenientes para la optimización de operaciones la generación de más información de la que se puede llegar a procesar. Así y todo, al acotar el número de variables a estudiar a solamente cinco, y habiendo tomado la duración total del vuelo sin discriminar en las distintas etapas, se puede considerar que cualquiera de las alternativas propuestas cumple con dicho requisito.

El proceso de automatización en la limpieza de datos también exhibe una versatilidad considerable en comparación con el método de limpieza manual utilizado anteriormente, lo cual permitió abocarse con mayor profundidad al desarrollo de la red y ahorrar tiempo en procesos de selección de datos. Es un objetivo en curso del trabajo de investigación el llevar a cabo un análisis de sensibilidad con los resultados obtenidos, para poder determinar con mayor precisión el potencial impacto económico que su implementación profesional podría conllevar, pero debido a restricciones de tiempo, no pudo ser explorado con profundidad al momento de publicación de este informe.

6. ANEXO.

DepArr	Repeticiones
AEPIGR	1056
BHIAEP	1098
AEPBHI	1107
BRCAEP	1332
NQNAEP	1412
AEPNQN	1421
TUCAEP	1464
CORAEP	1479
AAPTUC	1488
AEPCOR	1522

Tabla 2 Códigos de aeropuertos de salida y llegada correspondientes a las rutas más frecuentes y su cantidad de repeticiones en la base de datos.



Figura 2 Gráficos de frecuencia para las distintas rutas, que muestra la concentración en repeticiones de algunas en particular y la escasez de otras.

			R2 Training	R2 Validation	R2 Testing	MAE Training	MAE Validation	MAE Testing	
Cantidad de capas red 1	1	Cantidad de neuronas capa 1	12	0.9522	0.9516	0.9540	2.521.357	2.528.006	2.528.006
		Cantidad de neuronas capa 2							
Cantidad de capas red 2	1	Cantidad de neuronas capa 1	8	0.9515	0.9508	0.9540	2.566.716	2.584.887	2.635.146
		Cantidad de neuronas capa 2							
Cantidad de capas red 3	1	Cantidad de neuronas capa 1	4	0.8895	0.8925	0.8938	3.167.214	3.147.423	309.514
		Cantidad de neuronas capa 2							
Cantidad de capas red 4	2	Cantidad de neuronas capa 1	12	0.9518	0.9510	0.9542	2.468.302	2.480.436	2.433.896
		Cantidad de neuronas capa 2							
Cantidad de capas red 5	2	Cantidad de neuronas capa 1	4	0.8629	0.8765	0.8632	3.410.574	3.345.951	3.387.178
		Cantidad de neuronas capa 2							

Tabla 3 Resultados de pruebas de redes con distintas cantidades de neuronas y capas, detallando ajustes y errores (muestra de los experimentos realizados).

Optimizer	R2 Train	R2 Validation	R2 Test	MAE Train	MAE Validation	MAE Test
Adam	0.9531	0.9522	0.9553	2.456.456	2.473.789	2.425.755
SGD	0.9355	0.9350	0.9378	2.696.237	2.701.803	2.660.001
RMSprop	0.9502	0.9501	0.9525	2.560.821	2.562.892	2.524.359
Adagrad	0.9528	0.9525	0.9553	2.471.958	2.478.055	2.439.584
Adadelta	0.9502	0.9498	0.9521	2.596.874	2.594.968	2.561.161
Adamax	0.9521	0.9512	0.9548	2.476.802	2.500.572	2.435.723
Nadam	0.9489	0.9486	0.9505	2.629.009	2.634.754	2.608.126

Tabla 4 Resultados de pruebas de redes con distintos optimizadores, detallando ajustes y errores (muestra de los experimentos realizados).

7. REFERENCIAS.

- [1] Alsúa, S. E. & CO. (2018). "Redes Neuronales como una herramienta para el pronóstico de consumo de combustible en aeronave comercial". *COINI*. Córdoba, Argentina.
- [2] Weber B. (2019). "MATLAB vs Python: Why and How to Make the Switch" [Online]. Available: <https://realpython.com/matlab-vs-python/>
- [3] Potdar K., Pardawala T. S. & Pai C. D. (2017). "A Comparative Study of Categorical Variable Encoding Techniques for Neural Network Classifiers". *International Journal of Computer Applications. Volumen 175, 7-9, 4*.
- [4] Kingma, D. P. & Ba, J. (2015). "Adam: A Method for Stochastic Optimization". *3rd International Conference for Learning Representations*. San Diego, Estados Unidos.

Desarrollo de fórmulas para la medición de operaciones. Caso de aplicación en una Industria de muebles y accesorios de la Región Centro.

Bangert, Vanesa; Álvarez, Gabriela; Tibaldo, Aldana

Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional.

Lavaisse 610. vjbangert@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN

La gestión de la productividad requiere tareas de medición, las cuales a su vez son parte de los procesos de control. “En el siglo XXI, la productividad es sin duda una de las preocupaciones más importantes de los administradores en muchas partes del mundo; hasta en Japón, país admirado por sus mejoras en la productividad, están preocupados por mantenerse competitivos en el mercado mundial”. [1]. Una de las opciones para aumentar la productividad se basa en la mejora de los tiempos de producción; en pos de lograr dicho objetivo, una alternativa es utilizar el desarrollo de fórmulas. “La construcción de una fórmula implica el diseño de una expresión algebraica que establece un tiempo estándar antes de la producción, sustituyendo valores conocidos propios de la tarea para los elementos variables”. [2]. Esta metodología tiene aplicaciones puntuales en el trabajo no repetitivo, es decir, casos en los cuales no es práctico definir estándares para cada tarea con un estudio de tiempos individual.

Sobre este planteo y en el marco de un Proyecto de Investigación y Desarrollo, un grupo de docentes investigadores y estudiantes avanzados en la carrera de ingeniería industrial, se encuentra trabajando en una propuesta de desarrollo de fórmulas que aplique a diversas líneas de producción en una fábrica de “muebles y accesorios”.

Palabras Claves: Productividad – Estándares – Fórmulas – Gestión – Operaciones

ABSTRACT

Productivity management requires measurement tasks, which in turn are part of the control processes. “In the 21st century, productivity is undoubtedly one of the most important concerns of managers in many parts of the world; even in Japan, a country admired for its productivity improvements, they are worried about staying competitive in the world market”. [1]. One of the options to increase productivity is based on the improvement of production times; In order to achieve this objective, an alternative is to use the development of formulas. “The construction of a formula implies the design of an algebraic expression that establishes a standard time before production, replacing known values of the task for the variable elements.” [2]. This methodology has specific applications in non-repetitive work, that is, cases in which it is not practical to define standards for each task with an individual time study.

On this approach and within the framework of a Research and Development Project, a group of research teachers and advanced students in the career of industrial engineering, is working on a proposal for the development of formulas that apply to various production lines in a factory of “furniture and accessories”.

1. INTRODUCCIÓN

Ante las nuevas características del entorno, muchas empresas se ven obligadas a buscar formas, diferentes de las habituales, para enfrentar los grandes desafíos de un mercado altamente competitivo. En efecto, la productividad es una de las preocupaciones más importantes de los administradores en muchas partes del mundo; hasta en Japón, país admirado por sus mejoras en la productividad, están preocupados por mantenerse competitivos en el mercado mundial. Esta preocupación surge ya que, un negocio o empresa, puede incrementar sus ganancias, aumentando la cantidad de producción por hora de trabajo invertida.

Las contribuciones de pioneros de la administración de la producción y de operaciones como Frederick Taylor, Henry Gantt y Frank Gilbreth, indicaron que el interés debe radicar sobre todo en mejorar la productividad y manufacturar productos con la mayor eficiencia, al mismo tiempo que reconocían la importancia del factor humano como insumo indispensable. En consecuencia, determinaron que cualquier relación que exista entre las personas, materiales y recursos a través de la aplicación inteligente de métodos, estándares y diseño del trabajo, va a permitir una mejora de la productividad. [1]

Según Nibel [2], el área de producción de una industria es clave para su éxito. En ella los materiales son solicitados y controlados; la secuencia de las operaciones, de las inspecciones y de los métodos es determinada; las herramientas son solicitadas; los tiempos asignados; el trabajo es programado, asignado y se le da seguimiento; y la satisfacción del cliente es mantenida con productos de calidad entregados a tiempo.

El Estudio de Trabajo es un método sistemático de optimización de procesos, es un medio para incrementar la productividad mediante metodologías de reorganización del trabajo (secuencia y método), que requieren un mínimo o ninguna inversión de capital para infraestructura, equipo y herramientas. Comprende un conjunto de técnicas, en particular el Estudio de Métodos y la Medición del Trabajo, que se emplean para examinar el trabajo humano en todos sus contextos, y que permiten investigar todos los factores que influyen en la eficiencia y economía de la situación estudiada, con el fin de efectuar mejoras.

La Medición del Trabajo es la técnica más importante que se emplea para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y de esta manera averiguar el tiempo requerido por la misma. De esta forma se fija el tiempo estándar de ejecución de las operaciones, el cual representa el tiempo requerido por un operario de tipo medio, plenamente calificado y trabajando a ritmo normal para realizar una tarea determinada.

La finalidad de estandarizar el tiempo es de tener una base para la programación del trabajo, determinar los costos estándar de mano de obra y de ahí, sustentar los incentivos para el personal. A su vez, sirve para investigar, minimizar y eliminar el tiempo improductivo, es decir, el tiempo durante el cual no se genera valor agregado. Las técnicas utilizadas por el estudio del trabajo, contribuyen a disminuir tiempos de producción, a mejorar la eficiencia de los procesos y a optimizar el consumo de los recursos; es decir, ayudan a incrementar la productividad de la organización.

Por otro lado, en una era donde la frontera tecnológica corre su límite a cada momento, los desafíos que enfrentan países como la Argentina para la inserción internacional de su producción son cada vez mayores. En este sentido, es clave focalizar los esfuerzos de gestión para hacer cada vez más eficientes todos los procesos de las industrias del país.

En particular, esta presentación se desarrolla en el marco de la industria de la madera y el mueble; específicamente es uno de los resultados de la ejecución del PID “Modelo de eficiencia de producción en industrias madereras. Caso de aplicación en Pyme de la Región Centro” [3]. Este PID se desarrolla en el Laboratorio de Análisis de Métodos, Tiempos y Ergonomía (LAMTER), perteneciente al Departamento de Ingeniería Industrial de la UTN-FRS. Dicho proyecto de investigación surge a partir de un Estudio de Tiempos y Métodos en una fábrica de “Muebles y accesorios” ubicada en la ciudad Crespo, provincia de Entre Ríos.

El mencionado estudio fue solicitado al LAMTER ya que la empresa no lograba cumplir con la planificación de la producción, debido principalmente, a desviaciones entre los tiempos estándar de procesamiento que tenían registrados frente a los que realmente requería la producción diaria.

A partir de lo expuesto, el objetivo de la presente publicación es generar un desarrollo de fórmulas a partir del tiempo estándar obtenido en un estudio de tiempos, en el sector “Lijado de Fondo” de la línea Blanca, que permita ser aplicado a otros modelos que requieren idéntico tratamiento.

2. MARCO CONCEPTUAL

Para realizar un estudio de tiempos deben cumplirse ciertos requisitos fundamentales. El operario debe estar familiarizado por completo con la operación que se va a estudiar, y el método debe estandarizarse en todos los puntos en que se use, antes de iniciar el estudio. Asimismo, el analista debe comunicar al sindicato, al supervisor del sector y al operario, que se realizará un estudio de tiempos. El operario debe verificar que está realizando la operación de forma correcta y el supervisor debe verificar el método, asegurando que la alimentación, la velocidad, los elementos de trabajo, etc., cumplen con las prácticas estándar, como lo establece la Empresa. Una vez delimitados los

elementos se puede dar comienzo a la toma de tiempo con cronómetro. Existen dos procedimientos principales: el cronometraje acumulativo y con vuelta a cero.

Es necesario calificar el desempeño del operario, para ello se toma como punto de comparación el desempeño de un operario "normal". "Un operario normal se define como un operario calificado, experimentado que trabaja en las condiciones acostumbradas, a un paso ni muy lento, ni muy rápido, sino representativo del promedio". Entonces al Tiempo Observado (TO) afectado por el desempeño, se lo llama Tiempo Normal (TN), y a continuación se muestra su Ecuación (1):

$$TN=TO \times \frac{C}{100} \quad (1)$$

Donde C es la calificación expresada en porcentaje.

Como ningún operario puede mantener un ritmo promedio todos los minutos del día de trabajo, y además el estudio de tiempos se toma en un período relativamente corto y los elementos extraños se eliminan cuando se determina el tiempo normal, debe añadirse un suplemento al tiempo normal que permita determinar un estándar justo, que el trabajador pueda lograr con facilidad. Los mismos son tomados de la tabla ILO. (International Labour Office).

Entonces al Tiempo Normal (TN) afectado por los suplementos, se lo llama Tiempo Estándar (TS) (Ecuación (2)):

$$TS=TN \times (1+S) \quad (2)$$

Donde S es el suplemento, y está expresado en porcentaje sobre 100.

Dichos valores referenciales o estándares, permiten el desarrollo sistemático de nuevos centros de trabajo y el mejoramiento de los métodos utilizados; ya que, una vez determinados, hacen posible la cuantificación precisa del ahorro obtenido aún antes de realizar alguna modificación.

Las compañías deben usar los estándares al planear sus objetivos, comparar métodos alternativos, desarrollar una distribución de planta efectiva, determinar capacidades, comprar nuevos equipos, balancear la fuerza de trabajo con el trabajo disponible, controlar la producción, implantar nuevos incentivos e instituir costos estándar y controles de presupuesto.

Una fórmula de estudio de tiempos puede establecer los estándares en una fracción del tiempo que requieren los estudios individuales. Una ventaja de las fórmulas sobre los datos estándar es que una persona menos capacitada (y menos costosa) puede introducir los datos en las fórmulas más rápidamente que sumando los datos estándar de los elementos. Además, como las columnas de cifras deben sumarse en el método de datos estándar, existe una mayor posibilidad de omisiones o errores aritméticos cuando se establece un estándar que cuando se aplica una fórmula.

El primer paso para construir una fórmula es identificar las variables dependientes e independientes involucradas. En razón de que el analista está preocupado por establecer tiempos estándar, con frecuencia la variable dependiente será el tiempo. En seguida, los datos se colocan en una hoja de cálculo (por ejemplo, Microsoft Excel) para analizar las constantes y variables. Las constantes se identifican y se combinan, mientras que las variables se analizan para extraer los factores que influyen en el tiempo expresados en forma algebraica. Cuando se grafica la curva del tiempo contra la variable independiente, el analista puede deducir las relaciones algebraicas potenciales. Por ejemplo, los datos graficados pueden tomar cierto número de formas: una línea recta, una tendencia no lineal creciente o decreciente; una forma geométrica que no resulta obvia. Si la gráfica muestra una tendencia creciente no lineal, entonces deben probarse las relaciones de potencias. En el caso de las tendencias decrecientes no lineales, deben intentarse potencias negativas o exponenciales negativos.

Después de completar la fórmula, los analistas deben verificarla antes de liberarla para su uso. La manera más fácil y rápida de probar una fórmula es usarla para examinar los estudios de tiempo existentes. Cualquiera de las diferencias marcadas (aproximadamente 5%) entre el valor de la fórmula y el del estudio de tiempos deben investigarse. Si la fórmula no tiene la validez esperada, el analista debe acumular datos adicionales realizando más estudios con cronómetro o estudios de datos estándar. El último paso del proceso de desarrollo de la fórmula es escribir su informe. El analista debe consolidar todos los datos, cálculos, derivaciones y aplicaciones de la fórmula y presentar esta información en un informe completo antes de ponerla en uso. La presentación permite que estén disponibles todos los hechos del proceso empleado, las condiciones de operación y el alcance de la fórmula. [2]

3. METODOLOGÍA.

En primer lugar, se realiza un análisis preliminar de los datos considerando la actividad principal de la empresa, que es la producción de muebles para baños, los cuales incluyen una variada y completa gama de botiquines, vanitory, armarios, alacenas, repisas, etc. La cartera de productos se puede dividir en una primera instancia en tres grupos según los materiales y/o las características de terminación que poseen: laqueados, melamínicos o mixtos.

El proceso productivo para todos los modelos es el mismo, exceptuando los modelos que tienen una terminación laqueada, y requieren de una preparación previa a la aplicación de la pintura final, requiriendo operaciones de lijado, desempolvado y control de calidad de las piezas terminadas, las cuales se realizan en el sector denominado Lijado de Fondo.

En el transcurso de dicho estudio, se analizó la situación actual de cada uno de los sectores de la Planta, tanto los de mecanizado (en su totalidad automatizados) como los de operaciones manuales, siendo éstos últimos los que presentan mayores oportunidades de mejora debido a los elevados tiempos de elaboración (preparación y/u operación), movimientos o traslados innecesarios, altos niveles de stock en proceso y grandes cantidades de retrabajos de partes.

Luego, en particular se analizaron y procesaron los datos obtenidos en el estudio de tiempos del sector de lijado, agrupando las piezas en función de sus procesos productivos y características de diseño.

4. DESARROLLO.

Tal como se mencionó en la Introducción del presente documento, el objetivo de esta publicación se basa en Generar un desarrollo de fórmulas a partir del tiempo estándar obtenido en un estudio de tiempos, en el sector “Lijado de Fondo” de la línea Blanca, que permita ser aplicado a otros modelos que requieren idéntico tratamiento.

En la Línea Blanca, el sector Lijado de Fondo (operaciones: pintado de fondo, lijado de fondo, desempolvado) representa un 42% del tiempo del proceso total de fabricación.

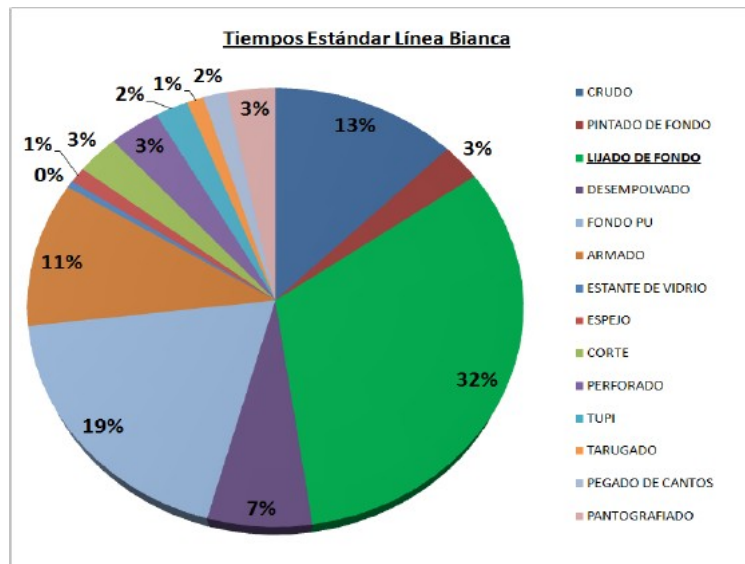


Figura 1. Porcentajes de tiempos estándar de todos los procesos de la Línea Blanca.

De igual manera, si de esta línea se tomaran solo los tiempos de las operaciones manuales, el sector Lijado de Fondo representa un 49% del total de los mismos, tal como se observa en la Figura 2.

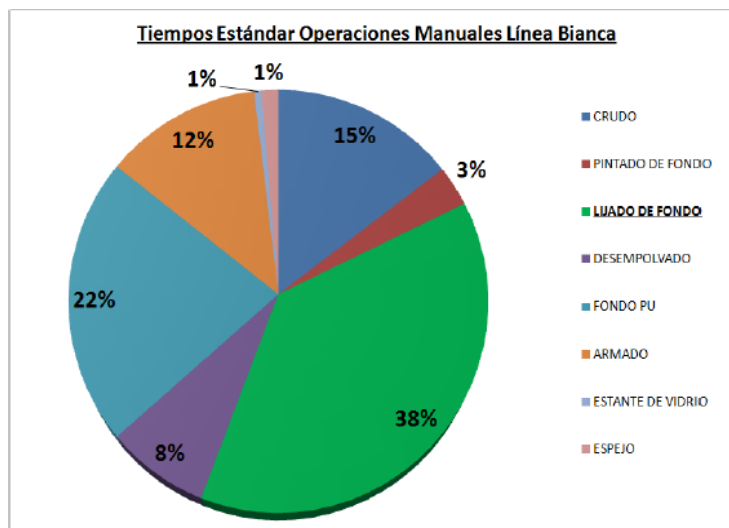


Figura 2. Porcentajes de tiempos estándar de todas las operaciones manuales de la Línea Blanca.

En base a lo expuesto anteriormente, se analizó la familia de productos de la Línea Blanca, los cuales presentan la codificación mostrada en la Tabla 1; y en la Tabla 2, se identifican las partes de los productos que requieren la terminación de laqueado.

Tabla 1. Código Alfanumérico Línea Blanca

Código	Descripción
B41	Botiquín 41
B51	Botiquín 51
B52	Botiquín 52
B53	Botiquín 53
B61	Botiquín 61
B62	Botiquín 62
B63	Botiquín 63
B64	Botiquín 64
B71	Botiquín 71
B72	Botiquín 72
B73	Botiquín 73
B81	Botiquín 81
B82	Botiquín 82
B83	Botiquín 83

Tabla 2. Partes de la Línea Blanca que requieren el proceso "Lijado de Fondo".

Línea Blanca/Botiquines
Lateral izquierdo
Lateral derecho
Lateral interno
Puerta ciega
Puerta con vidrio/espejo
Frente de cajón
Techo de óptica
Frente de techo
Repisa
Techo
Estante fijo

Luego, se analizaron, a través del Informe proporcionado por el LAMTER [4], las medidas de los componentes de los botiquines pertenecientes a la Línea Blanca, los cuales se someten al proceso de Lijado de Fondo (laterales, puertas, frentes, techo y estantes fijos). Esto dejó en evidencia que existe una relación entre el tiempo estándar y la superficie de cada componente. Pero aún más sorprendente fue observar que algunas partes, las cuales contaban con la misma superficie, no tenían el mismo tiempo estándar. Esto sucede ya que, por ejemplo, el fondo de un botiquín no requiere el mismo trabajo, esmero y calidad que la puerta del mismo. En consecuencia, se procede a analizar el tiempo estándar respecto a la superficie de cada componente, independientemente del botiquín para el cual sea fabricado.

A continuación, se observa desde la Tabla 3 hasta la Tabla 10, la relación que existe entre el tiempo estándar y la superficie de cada componente. Asimismo, se calcula el coeficiente de determinación o de correlación múltiple (r^2), el cual indica cuán más cercano a 1 es el valor, más positivamente se ajusta el modelo a sus datos.

Tabla 3. Datos Lateral izquierdo.

Operación: Lijado de Fondo+Masillado		
Lateral izquierdo		
Botiquín	Tiempo estándar [min/pieza]	Superficie [mm2]
B41	1,82	75576
B51	5,34	144668
B52	2,70	83972
B53	5,34	144668
B61	1,73	75576
B62	2,70	83972
B63	6,26	169568
B64	6,26	169568
B71	2,70	77988
B72	2,70	77988
B73	3,05	91138
B81	6,26	169568
B82	3,05	91138
B83	6,26	169568
Coeficiente r2=		0,981685938

Tabla 4. Datos Lateral derecho

Operación: Lijado de Fondo+Masillado		
Lateral derecho		
Botiquín	Tiempo estándar [min/pieza]	Superficie [mm2]
B41	1,82	75576
B51	5,34	144668
B52	4,65	144668
B53	5,34	144668
B61	1,73	75576
B62	4,65	144668
B63	2,61	91138
B64	2,61	91138
B71	4,65	144668
B72	2,33	77738
B73	2,61	91138
B81	2,53	91138
B82	2,61	91138
B83	2,61	91138
Coeficiente r2=		0,964482307

Tabla 5. Datos Puertas Centrales.

Operación: Lijado de Fondo+Masillado		
Puertas		
Botiquín	Tiempo estándar [min/pieza]	Superficie [mm ²]
B41	1,30	30934
B61	1,01	23874
B61	0,65	20400
B62	6,92	84726
B63	8,06	98606
B64	6,60	80700,8
B72	6,92	84726
B73	6,60	80700,8
B81	8,06	98606
B82	8,06	98606
B83	6,60	80700,8
Coefficiente r2=		0,997363455

Tabla 6. Datos Puerta Ciega

Operación: Lijado de Fondo+Masillado		
Puerta Ciega		
Botiquín	Tiempo estándar [min/pieza]	Superficie [mm ²]
B52	6,20	124510,8
B71	6,20	124510,8

Tabla 7. Datos Techo/Techo de óptica.

Operación: Lijado de Fondo+Masillado		
Techo/ Techo de óptica		
Botiquín	Tiempo estándar [min/pieza]	Superficie [mm ²]
B41	2,84	81452
B51	1,52	54026
B52	1,52	54026
B53	1,52	54026
B61	3,86	116612
B61	2,21	65802
B62	2,21	65802
B63	2,21	65802
B64	2,20	77826
B71	2,20	77826
B72	2,20	77826
B73	2,20	77826
B81	2,53	89726
B82	2,53	89726
B83	2,53	89726
Coefficiente r2=		0,86966802

Tabla 8. Datos Repisa.

Operación: Lijado de Fondo+Masillado		
Repisa		
Botiquín	Tiempo estándar [min/pieza]	Superficie [mm ²]
B41	2,84	81452
B51	3,47	89192
B52	3,47	89192
B53	3,47	89192
B61	3,86	105812
B71	4,77	122432
B72	5,16	122432
B73	5,16	122432
B81	5,41	139052
B82	5,41	139052
B83	5,41	139052
Coefficiente r2=		0,958574496

Tabla 9. Datos Frente Cajón.

Operación: Lijado de Fondo+Masillado		
Frente Cajón		
Botiquín	Tiempo estándar [min/pieza]	Superficie [mm ²]
B53	5,19	104152
B64	2,04	41002
B83	2,04	41002
Coefficiente r2=		1

Tabla 10. Datos Frente Techo.

Operación: Lijado de Fondo+Masillado		
Frente Techo		
Botiquín	Tiempo estándar [min/pieza]	Superficie [mm ²]
B51	3,31	69188
B52	3,31	69188
B53	3,31	69188
B62	3,63	82128
B63	3,63	82128
B64	3,63	82128
B71	4,20	95068
B72	4,20	95068
B73	4,20	95068
B81	4,77	108008
B82	4,77	108008
B83	4,77	108008
Coefficiente r2=		0,985104457

5. RESULTADOS

Analizados todos los datos presentados en el apartado anterior se propone desarrollar las siguientes fórmulas para el logro del objetivo planteado:

- Tiempo estándar del lateral vs. Superficie del lateral.
- Tiempo estándar de la puerta central vs. Superficie de la puerta central.
- Tiempo estándar del techo y repisas vs. Superficie del techo y repisas.
- Tiempo estándar frente cajón y frente techo vs. Superficie frente cajón y frente techo.

Para ello, mediante un gráfico de dispersión, se graficarán los puntos mostrados en las Tablas del apartado 3. Metodología, con el fin de obtener una línea de tendencia que muestre la superficie de cada componente en función del tiempo estándar. Una vez encontrada la línea de tendencia, se obtendrá la fórmula matemática final.

A continuación, se desarrollan las funciones matemáticas (Ecuación 3 a 7), asimismo, desde la Figura 3 a la 6 se observan los gráficos correspondientes a cada ecuación.

T_i =tiempo estándar del/de los componente/s; S_i =superficie del/de los componente/s.

Tiempo estándar del lateral vs. Superficie del lateral.

Coefficiente $r^2= 0,97$

Función Matemática (Ecuación (3)):

$$T_1 = 4 \cdot 10^{-05} S_1 - 1,2289 \quad (3)$$

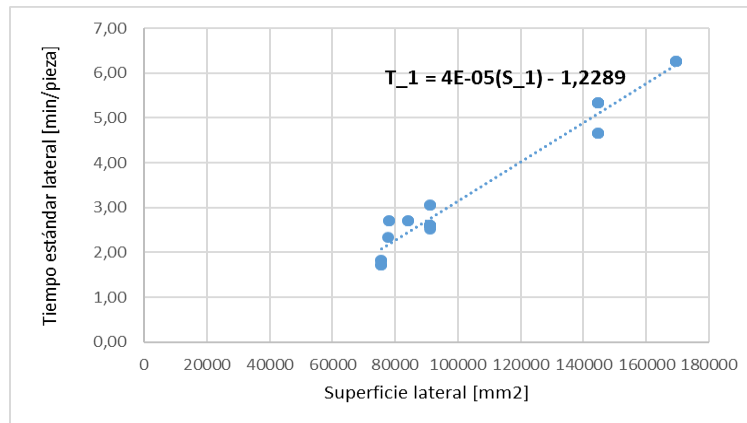


Figura 3. Tiempo estándar del lateral vs Superficie del lateral.

Tiempo estándar de la puerta central vs. Superficie de la puerta central.

Coefficiente $r^2= 0,99$

Función Matemática (Ecuación (4)):

$$T_2 = 10^{-04} S_2 - 1,3996 \quad (4)$$

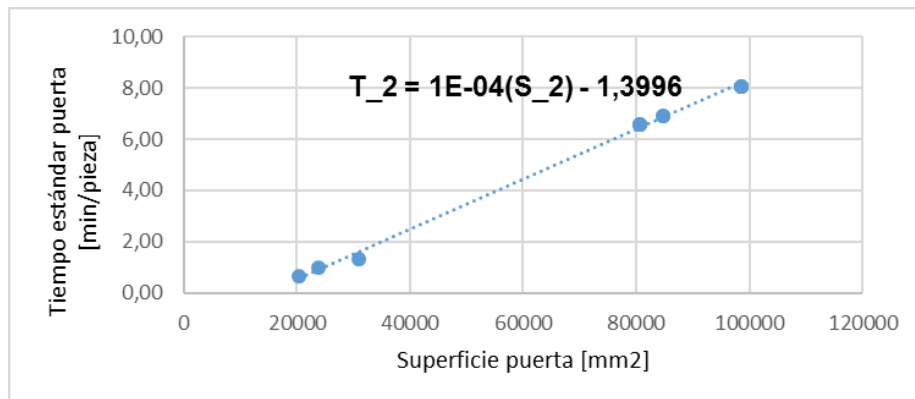


Figura 4. Tiempo estándar de la puerta central vs Superficie de la puerta central.

Tiempo estándar del techo y repisas vs. Superficie del techo y repisas.

Coeficiente $r^2= 0,93$

Función Matemática (Ecuación (5)):

$$T_3 = 5.10^{-05}S_3 - 1,1699 \tag{5}$$

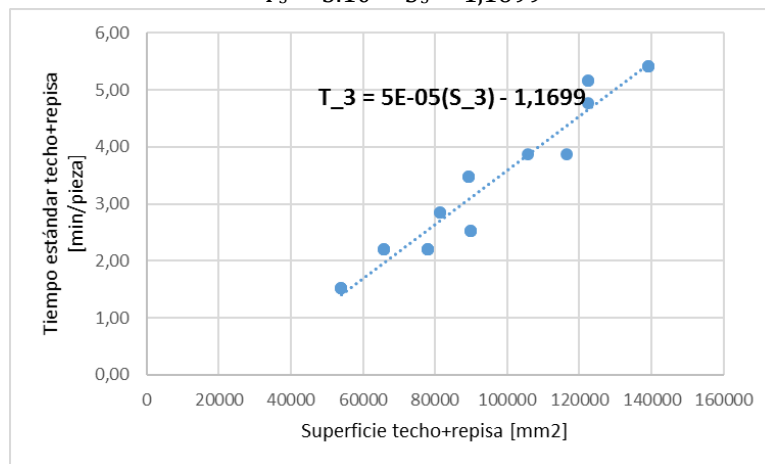


Figura 6. Tiempo estándar del techo y repisas vs Superficie del techo y repisas.

Tiempo estándar frente cajón y frente techo vs. Superficie frente cajón y frente techo.

Coeficiente $r^2= 0,99$

Función Matemática (Ecuación (6)):

$$T_4 = 4.10^{-05}S_4 - 0,3357 \tag{6}$$

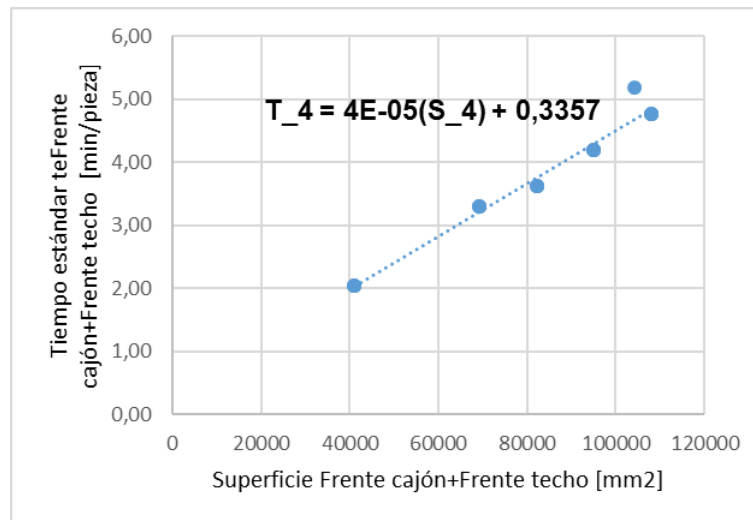


Figura 7. Tiempo estándar del frente cajón y frente techo vs Superficie del frente cajón y frente techo

Tiempo estándar Puerta Ciega vs. Superficie Puerta Ciega

$$T_{PC} = \frac{S_{PC} \cdot 6,20}{124510,8} \tag{7}$$

Fórmula Final.

La fórmula final que permitirá conocer en cuánto tiempo se producirá cualquier componente laqueado, independientemente del modelo del botiquín, está dada por la Ecuación (8):

$$T_t = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_{PC} \quad (8)$$

6. CONCLUSIONES.

El resultado de la aplicación del concepto de “Desarrollo de fórmulas”, tomando como base de datos una serie de mediciones reales obtenidas en estudios de tiempos realizados en la Planta de Producción, es altamente satisfactorio, y su análisis se transforma en una herramienta poderosa para la toma de decisiones estratégicas para esta empresa de manufactura. Tal como lo menciona García Criollo [6] la ventaja de usar fórmulas de tiempo, en lugar de los estudios de tiempos individuales para la determinación de tiempos estándar, radica en la obtención de tiempos más consistentes y en la posibilidad de establecer estimaciones rápidas y exactas para costos de mano de obra, antes de empezar la producción. Como así también encomendar la determinación de estos tiempos a personal dentro de la empresa con menos experiencia y adiestramiento en el tema. El método desarrollado para generar la fórmula final nos lleva a una expresión matemática que expresa taxativamente lo relevado en el estudio realizado en la planta.

Esta relación biunívoca entre datos de la planta y una expresión matemática, se transforma en una herramienta fundamental para el cálculo previo y toma de decisiones en temas tales como:

- Establecer tiempos estándares de nuevos productos previamente a su fabricación.
- Disponer de datos certeros e inequívocos de la capacidad de la planta productiva en todo momento y racionalizar los recursos de Máquinas y Mano de obra en función de la demanda diaria del mercado, gestionando la productividad del negocio con información real diariamente.
- Desarrollar nuevos diseños de métodos de trabajo y medir previamente la incidencia de la mejora en los procesos y en los costos de productos de una familia.
- Analizar costos y establecer precios certeros de los productos en etapas de cotización, lo que nos permite un mejor posicionamiento frente al cliente y la competencia.

Finalmente, es clave tener presente que, al utilizar fórmulas de tiempo se debe evitar caer en la tendencia natural a considerar como constantes muchos elementos que no lo son, lo cual genera por ello tiempos erróneos, y en ocasiones existe el peligro de aplicar la fórmula más allá de los límites para los cuales se estableció.

7. REFERENCIAS.

[1] Koontz, Harold, Weihtich, Heinz, Cannice, Mark. (2012). “*Administración, una perspectiva global y empresarial*”. México. 14° Edición. Ed. McGraw-Hill.

[2] Niebel, Benjamin, Freivalds, Andris. (2009). “*Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*”. México. 12° Edición. Ed. McGraw-Hill.

[3] Bangert, Vanesa; Bustaber, Raúl. PID: Modelo de eficiencia de producción en industrias madereras. Caso de aplicación en Pyme de la Región Centro. Código del Proyecto: TOUTNFE0004947. UTN – Santa Fe 2018.

[4] Anexo de datos estándares generado por el Laboratorio de Análisis de Métodos, Tiempos y Ergonomía (LAMTER). (2018)

<https://drive.google.com/open?id=1R-nvwYg9aU-fFqDsjkYOKanLSEIe08K5>

[5] Monti, Luciana. (2018). “*Optimización del proceso de Lijado de Fondo en la Empresa Schneider S.R.L.*”. Proyecto Final de Carrera. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe.

https://drive.google.com/open?id=1ligr36t9o9pmE_n2SQKShkcmPn6KfHMo

<https://drive.google.com/open?id=1WjbQLZH-JU8sUn3ArqiygtWaW7VIWGBf>

[6] García Criollo, Roberto (2005) “*Estudio del trabajo Ingeniería de Métodos y medición del trabajo*”. 2° Edición. Ed. Mac Graw-Hill Interamericana de España S.L.

Aplicación de la teoría de grafos y la programación lineal en la planificación de recolección de basura

Andrés Caminos (*), Verónica Forchino, Nahuel Romera

Universidad Tecnológica Nacional,
Facultad Regional Santa Cruz (UTN-FRSC),
Avda. Inmigrantes 555, (9400) Río Gallegos,
Santa Cruz, Argentina
e-mail: andres.caminos@gmail.com

Resumen

En este trabajo mostramos como la Programación Lineal Entera (PLE) permite dimensionar la fuerza de trabajo (equipos y personas) necesaria para realizar una total recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) de una ciudad del interior del país basada en el método de recolección por acera o casa por casa. Una vez identificada la fuerza de trabajo y recursos necesarios, aplicamos la metodología de grafos dirigidos conocida como “Problema del Cartero Chino” (CPP) para poder optimizar el recorrido de un camión de recolección de RSU sobre un sector de la ciudad planificado según criterios de medio ambiente por las autoridades responsables. El método del cartero chino permite encontrar la ruta óptima de cómo un camión recolector debe recorrer las calles siguiendo su sentido de circulación y restricciones viales para minimizar la distancia total a recorrer y, con una estimación actualizada de crecimiento demográfico, se puede estimar la cantidad de RSU a recolectar, el tiempo de recolección, la cantidad de recursos humanos y si es necesario realizar más de un viaje para completar el total de basura a recolectar, según la capacidad del vehículo. Se usa software de libre disponibilidad para resolver ambos modelos conocidos como Planificación de Recursos de Recolección y Microruteo. Se comparan ventajas y desventajas contra otros métodos como el Problema del Viajante de Comercio (TSP) a fin de poder definir qué modelo aplicar en cada caso. La aplicación de los modelos se realiza sobre la ciudad de Río Gallegos con perspectiva de crecimiento hacia 2020 y usando la capacidad de recolección disponible. La recomendación final será la disponibilidad de una herramienta sencilla con la cual una municipalidad de ciudades chicas puede utilizar para optimizar el uso de sus servicios de recolección de RSU.

Palabras Claves: Programación Lineal, Cartero Chino, Grafos Dirigidos, Optimización, Residuos

Abstract.

In this work we show how the Integer Linear Programming (ILP) allows us to size the work force (equipment and people) necessary to perform a total urban solid waste collection (USW) of a city in the interior of the Argentine country based on the method of collection by sidewalk or house by house. Once the necessary workforce and resources have been identified, we apply the directed graph methodology known as the “Chinese Postman Problem” (CPP) in order to optimize the route of an USW collection truck over a sector of the city planned according to criteria of environment by the responsible authorities. The method of the Chinese Postman allows you to find the optimal route of how a collection truck should travel the streets following its sense of traffic and road restrictions to minimize the total distance to be traveled and, with an updated estimate of population growth, the amount of USW to be collected, the time of collection, the amount of human resources and if it is necessary to make more than one trip to complete the total garbage to be collected, depending on the capacity of the vehicle. Free availability software is used to solve both models known as Collection Resource Planning and Micro Routing. Advantages and disadvantages are compared against other methods such as the Traveler Salesman Problem (TSP) in order to define which model to apply in each case. The models are applied on the city of Río Gallegos with a growth perspective towards 2020 and using the available collection capacity. The final recommendation will be the availability of a simple software tool with which a municipality of small cities can use to optimize the use of its USW collection services.

1. Introducción

Una de las partes fundamentales en el ámbito de la gestión urbanística hoy en día es la recogida o recolección y gestión de residuos sólidos urbanos (RSU). Todas las personas generamos gran cantidad de residuos tanto orgánicos como inorgánicos o reciclables y es necesaria una completa gestión de dichos residuos, hasta su disposición final.

Con una buena gestión de RSU se pueden utilizar los residuos orgánicos como **enmienda o compost orgánico**, fertilizante en cultivos, sustrato para plantas en macetas, mejora del suelo agrícola, generación de energía, producción de gas de síntesis, biogás, etc. Pero esta gestión no está totalmente centralizada. Los residuos inorgánicos pueden ser reciclados y ser reutilizados tal es el caso de metales, plásticos, cartón, papel, etc.

Hay una gran cantidad de reglamentos y leyes que describen cómo debería de hacerse la gestión de RSU a grandes rasgos, incluyendo características concretas que deberían de tener en cuenta los sistemas sobre todo en función de la población que exista en el lugar en cuestión. De dicha gestión de residuos normalmente se encargan los consejos deliberantes de cada municipio.

Cada uno de los municipios tiene uno o más convenios con una o varias empresas que gestionan la recolección de sus residuos, o bien tienen sus propios vehículos, personal y depósitos para realizar las labores de recogida y gestión.

El problema que genera esta vaga descripción de las obligaciones y responsabilidades con respecto a la recogida de residuos es que hay municipios que no le están prestando la debida atención, llegando incluso a carecer de estos servicios. Otros municipios en cambio, utilizan camiones de uso general para la recolección y depositan estos residuos en lugares abiertos a los que llaman “basurales” o “vaciaderos” y en grandes ciudades los conocemos como “rellenos sanitarios”. También existen otros municipios, especialmente grandes capitales que tienen políticas consensuadas de recolección de residuos y su posterior gestión basada en políticas de cuidado del medio ambiente, reciclado y tratamientos fisicoquímicos de reducción de potencial contaminante.

A raíz de este problema, surgen gran cantidad de alternativas que se pueden aplicar para optimizar de una u otra forma esta planificación de la recogida de residuos. Por ejemplo, se puede tener en cuenta el costo que supone tener más o menos vehículos para realizar la recogida de residuos, en función de, si conviene realizar las labores en un determinado tiempo; de la distancia a recorrer por cada vehículo; del costo que supone mantener dichos vehículos; de la cantidad de personal necesario, etc. Con el fin de reducir todos estos inconvenientes, se busca optimizar todo lo posible en ese campo. Es muy importante tratar de buscar qué requerimientos es conveniente tener en cuenta para cada problema particular.

A través de este trabajo se busca investigar en el ámbito de la recogida o recolección de residuos en zonas mixtas urbanas y suburbanas. Para este tipo de problemas es necesario aplicar técnicas heurísticas debido a la complejidad que conllevan y porque no existen soluciones exactas o no se obtienen en un tiempo razonable. Si bien el objetivo principal es mejorar la planificación de rutas para reducir los costos ya sean de ahorrar en distancias, en tiempo de trabajo, en distancia recorrida, cantidad de personal y otras variables de interés, también es importante dimensionar la fuerza de trabajo necesaria para las tareas de recolección total de residuos. El aprovechamiento de los RSU, posterior a la recolección, queda fuera de este trabajo.

Muchos problemas de decisión existentes en el mundo real, en particular aquellos relacionados con la producción, rutas de vehículos, logística, planificación, etc. pueden ser formulados como problemas de optimización. En este trabajo nos encontramos con un problema de Optimización Combinatoria [1], una clase dentro de los numerosos problemas de optimización. En estos problemas, las soluciones son consideradas variables discretas y el proceso de búsqueda de soluciones consiste en explorar el espacio de soluciones posibles del problema representado mediante listas, conjuntos, matrices o grafos. La Optimización Combinatoria va adquiriendo un creciente interés debido a las soluciones alcanzadas sobre diferentes problemas reales, así como el avance en el estudio teórico-práctico en diferentes áreas dentro de la Investigación Operativa.

Este proyecto surge de la necesidad de ayudar al municipio de Rio Gallegos, capital de la provincia de Santa Cruz, República Argentina a disponer de un modelo y un software de solución que les ayude en su labor de planificar la recolección de residuos sólidos urbanos. En dicho municipio actualmente no hay una gestión de residuos completamente sistematizada e implementada, por ejemplo, vía contenedores o lugares fijos de deposición de residuos sino un sistema de recogida de residuos puerta a puerta y en algunas calles se han instalado unos pocos contenedores especialmente en zonas con edificios de muchas viviendas. Este municipio dispone de una flota de vehículos propios de uso general y específicos para recolección con posibilidades

de compactación, con los que diariamente recorren todas las calles para la recogida de residuos. La frecuencia de recolección en algunas zonas es diaria, 2 veces por semana y otras más alejadas, 1 vez por semana.

2. Metodología

Las calles a recorrer por el vehículo de recolección en una zona asignada forman una red de puntos (viviendas, edificios, colegios, etc.) conectados según la dirección de circulación de las calles. Esta red forma un circuito en el cual se considera que un camión de recolección debe recorrer todas las calles siguiendo el sentido de circulación y, salir por un punto de la red, que, en nuestro caso asumiremos que el vehículo sale por el mismo nodo que inicia su recorrido. Este tipo de problemas puede ser representado como una red de grafos dirigidos, según la teoría de grafos [2].

Podemos resumir el problema según la siguiente pregunta: ¿Cuál debe ser el recorrido de un camión de recolección de RSU que, partiendo de un nodo de origen, recorra cada punto de disposición de basura domiciliaria de cada calle y regrese al nodo de origen con una medida de eficiencia optimizada? Esta medición de eficiencia puede interpretarse como: mínima cantidad de kilómetros recorridos, mínima cantidad de tiempo consumido, máxima cantidad de basura recolectada, etc.

Analizar el problema de programar las rutas de recolección implica primero determinar la cantidad de recursos necesarios para lograr recolectar toda la basura generada y posteriormente realizar el macro y microruteo en función de los recursos disponibles. Esto último, permite plantear dos enfoques complementarios

- 1) **Generación de Macrorutas.** Una macroruta es una forma de parcializar una ciudad para que en función de, vehículos disponibles (tipo y cantidad), densidad poblacional, cantidad de basura generada, etc., un municipio planifica como zonas posibles de recolección y con ello luego asigna los recursos necesarios. Este tipo de problemas puede asignarse usando la Programación Lineal Entera (PLE) y algunos algoritmos heurísticos, tratando balancear todas las variables comentadas. La lógica indica que la asignación de macrorutas debe surgir de las posibilidades de recolección, de la fuerza de trabajo disponible y criterios de urbanidad [8].
- 2) **Generación de Microrutas.** Una vez definida la zona donde una unidad de recolección debe realizar su trabajo, se trabaja sobre la mejor forma de realizar este trabajo definiendo una microruta, es decir la secuencia en que debe recorrerse la red para optimizar alguna medida de rendimiento. Para este último problema, microruteo, se han presentado muchos algoritmos y heurísticas, que, luego de evaluar sus ventajas, desventajas y limitaciones, se pueden resumir en dos grandes aplicaciones:
 - a) **Método del Viajante de Comercio o TSP** (por Traveler Salesman Problem en inglés) [4,5] cuyo propósito es recorrer los distintos nodos de la red minimizando alguna propiedad de rendimiento (tiempo, distancia, etc.). El problema con este método es que no está previsto que recorra el interior de cada calle donde hay varios puntos de almacenaje de basura domiciliaria, sino que está previsto para recorrer solo los nodos vértices de la red donde puede existir un contenedor que junta la basura de toda una calle donde existen varias viviendas. El modelo TSP recorre todos los nodos de la red y regresa al origen sin necesidad de formar ciclos internos que no están conectados con otros nodos. Dependiendo del tamaño de cantidad de nodos de la red, el tiempo de solución aumenta exponencialmente.
 - b) **Método del Cartero Chino o CPP** (por Chinese Postman Problem en inglés) [6,7] mediante el cual podemos imaginar a un cartero, o una persona que recorre medidores de electricidad, de gas o agua y que debe recorrer cada domicilio para facilitar la entrega o la medición y luego de haber recorrido todos los domicilios debe regresar al nodo de origen habiendo recorrido la mínima distancia o consumido el mínimo tiempo. Con este método no es posible que recorra cada nodo una única vez, sino que se permite que algunos nodos puedan ser utilizados más de una vez tratando de conseguir el propósito general. Es un proceso generalmente iterativo aplicando varios algoritmos.

Utilizando estos dos enfoques, cálculo de capacidad disponible y micro rutas, aplicaremos su utilización a la programación de recolección de basura de una ciudad pequeña del interior del país. Dejamos fuera de nuestro trabajo la programación de macrorutas, aunque podría ser modelada usando la Programación Lineal Entera, métodos heurísticos y criterios urbanísticos. Sugerimos la lectura del trabajo de tesis de Márquez Pérez [9] para una detallada explicación de cálculo de macrorutas.

3. Descripción del Problema

La ciudad de Rio Gallegos, capital de la Provincia de Santa Cruz en la patagonia de Argentina es nuestro objeto de análisis. No resulta fácil conseguir información sobre este tipo de servicio y procedimientos. Según información publicada a comienzos de 2018 por un diario local, en un reportaje al secretario de Obras Publicas del municipio, se estima que diariamente se producen 250,000 kilogramos de basura diarios, de los cuales unos 100,000 kilogramos corresponden a chatarra en forma de cartón, madera, vidrio, metales, plásticos, poda, materiales de construcción, etc. No hay cifras exactas, solo aproximadas, valuadas en función de la cantidad de viajes y el contenido máximo de cada camión. La basura no es pesada al ingreso al vaciadero.

La población de Rio Gallegos se estima en 118,406 personas para el año 2020 calculada según proyecciones y pronósticos de crecimiento desde el último censo de 2010 [3]. Esta cantidad de personas daría cuenta que diariamente se producen 2.11 kilogramos de residuos por persona, de los cuales 1.26 kilogramos corresponderían a residuos orgánicos sólidos degradables y 0.85 kilogramos a otros residuos de origen orgánico o inorgánico considerados como chatarra (vidrio, metales, plásticos, carbón, madera, restos de construcción, etc.).

En nuestro modelo consideraremos que la recolección es de RSU de tipo orgánico degradable que pueda ser contenido en una bolsa de residuos de tamaño estándar (40x50 cm) y programar un recorrido especial más espaciado en el tiempo para recolección de residuos considerados como chatarra, pues estos pueden llegar a ocupar una gran cantidad de la superficie útil destinada en el camión de recolección y puede ser realizada por otro tipo de vehículos, por ejemplo, camiones volcadores. Mayormente la basura chatarra consiste en residuos de poda, cartón y Telgopor y en algunos casos residuos de construcción.

El proceso de recolección que se utiliza en “por acera”, esto es recolección frente a cada domicilio de las bolsas y chatarra que los casa habientes depositan diariamente frente a sus domicilios. La frecuencia de recolección es mayormente diaria, aunque puede darse lugares menos poblados de la periferia en los cuales la frecuencia de recolección puede llegar a ser 1 vez por semana. Afortunadamente el clima frío de la patagonia, estimado en promedio 10 °C anuales, no permite que la mosca y otros insectos puedan completar su ciclo de crecimiento y por ello no hay peligros sanitarios por la demora en la recolección no periódica.

En la actualidad (07/2019), el municipio cuenta con 12 vehículos de recolección, de los cuales, por razones de presupuesto, falta de mantenimiento, repuestos, obsolescencia, etc., están operativos 4 camiones recolectores de residuos con caja contenedora de 18 m³, con posibilidad de compactación, de carga trasera, sin posibilidad de descargar automáticamente contenedores, por fallas del mecanismo. Este tipo de vehículo puede cargar unos 10,000 kilogramos de basura según una estimación de otros municipios que la basura pesa en promedio 600 kilogramos por cada metro cubico. Los vehículos se cargan hasta un 80% de su capacidad, por lo que estimamos en unos 8,000 kilogramos la cantidad de basura que un camión puede recolectar en un viaje. El espacio de 20% de capacidad del camión es para facilitar las tareas de compactación. Los camiones disponen además de un depósito de hasta 300 litros de líquidos lixiviados por las tareas de compactación.

Existen muy pocos contenedores pequeños de aproximadamente 1 m³ de capacidad (1000 litros) sin tapa protectora ubicados frente a los pocos edificios de departamentos de la ciudad, los edificios públicos y el centro comercial. Las personas y comercios depositan sus bolsas de basura en los contenedores. Principalmente, las personas depositan su basura en la acera o vereda en canastos metálicos perforados ubicados frente a cada domicilio, elevados para evitar el acceso de animales.

4. Metodología

Nuestro trabajo consiste en primero determinar la capacidad de recolección necesaria, en cantidad de vehículos, tratando de minimizar el costo operativo de la flota de recolección. Aplicaremos un modelo de programación lineal entera (PLE) para el modelado y solución.

En la segunda parte, analizaremos la ruta de recolección de un camión sobre una zona predeterminada de la ciudad que puede representar una zona asignada por los responsables del municipio como consecuencia de un macroruteo. Aplicaremos una técnica heurística conocida como “problema del cartero chino”, con una modificación para ser aplicable sobre una red de gráficos o grafos dirigidos que representaran el sentido de circulación de las calles por donde debe moverse la unidad de recolección.

5. Modelos Matemáticos

Para solucionar el problema de estimación de la capacidad de flota de recolección necesaria, usaremos el siguiente problema de programación lineal entera (PLE) que determina la cantidad de vehículos necesarios para las tareas de recolección diaria (hipótesis de máxima), con turno de 8 horas, capaces de trabajar las 24 horas. El sistema de recolección en la ciudad funciona de lunes a sábado. Los días lunes debe recolectarse la basura acumulada de dos días y este será el parámetro de máxima para calcular la fuerza de trabajo necesaria. Seguiremos el procedimiento detallado en el manual SEDESOL [10]. El modelo PLE se define según los siguientes criterios:

$$\text{Función Objetivo} = \text{Min(Costo Operativo)} = \sum_{i=1}^{1=n} c_i * x_i \quad (1)$$

Donde: c_i = costo operativo hora por tipo de vehículo (\$/hora) y x_i = cantidad de vehículos de tipo i destinados a recolección de basura.

$$\text{Restricción de Capacidad: } \sum_{i=1}^n x_i * w_i * v_i * r_i \geq 2S \quad (2)$$

Donde: x_i = cantidad de vehículos tipo i , w_i = capacidad de carga en kilogramos de un vehículo tipo i , v_i = cantidad de viajes por tipo de vehículo i por día, r_i = porcentaje de carga (%) máxima del vehículo tipo i . S = cantidad de basura generada que debe ser recolectada por día. $2S$ indica que como los días domingo no se recoge, el día lunes, la cantidad a recolectar es el doble en promedio.

$$\text{Restricción de Costo Operativo de mano de obra: } \sum_{i=1}^{i=n} k_i * x_i \leq W \quad (3)$$

Donde: k_i = costo de mano de obra por camión (costo de 1 operario * cantidad de operarios), expresado de manera mensual. W = presupuesto mensual para costo operativo de mano de obra.

$$\text{Restricción de Unidades Disponibles: } x_i = a_i + y_i \quad (4)$$

Donde x_i = cantidad de vehículos de tipo i , y_i = unidades nuevas a comprar del tipo i , a_i = cantidad de unidades actualmente disponibles del tipo i

$$\text{Restricción de Compra de Unidades: } p_i * y_i \leq Z \quad (5)$$

Donde p_i es el costo de compra de un vehículo nuevo o compra de un vehículo usado y Z es el presupuesto asignado para compra de vehículos, nuevos o usados.

Todas las variables x e y debe ser positivas (≥ 0)

Asumiremos los siguientes datos para resolver nuestro modelo, resultantes de consultas al municipio y otras de sentido común. Dado la volatilidad de nuestra moneda, decidimos expresar todos los valores monetarios en una moneda constante, dólares, para que el modelo pueda tener sentido en el tiempo. Los cálculos son estimados a Julio 2019.

Cada vehículo de recolección en la ciudad ocupa 4 personas (1 chofer y 3 recolectores) que en promedio cobran unos 1,000 dólares mensuales, si agregamos un 60% de cargas sociales, el costo mensual asciende a unos 1,600 dólares sobre una base de trabajo de 8 horas diarias y 160 horas mensuales. La fuerza laboral es de 45 a 50 personas por turno de 8 horas y en total el sector de medio ambiente ocupa unas 180 personas, de las cuales unas 150 están afectadas a tareas de recolección con vehículos y el resto se distribuye entre jefes, supervisores, administrativos y mecánicos de mantenimiento.

Cada vehículo consume en promedio entre 40 y 50 litros de gasoil por cada 100 km recorrido dependiendo de la cantidad de carga transportada. Adoptaremos como promedio 45 litros/100 km, el cual, si viaja a velocidad promedio de 20 km/h, consumiría aproximadamente 9 a 10 litros por hora. Adoptamos 10 litros por hora como promedio. El valor de costo del gasoil se estima en 40 \$/litros (pesos argentinos), equivalentes a 0.90 dólares por litro. A valor informativo el tipo de cambio al 07/08/2019 es de 46 \$ARG/dólar. Resumiendo, cada vehículo gasta en promedio 9 dólares por hora de combustible. Por consulta al municipio, se estima que cada camión está en condiciones de realizar 6 viajes por día, de 4 horas cada uno.

Los vehículos por su antigüedad ya están amortizados y se estima en 250 dólares el costo mensual de seguros por el vehículo y el personal transportado. Agregamos otros 250 dólares mensuales por mantenimiento del vehículo. Los vehículos están las 24 horas disponibles todo el año. Su costo de mantenimiento y seguros se estima en 0.78 dólares por hora. Por conveniencia de mantenimiento y repuestos, asumiremos todos vehículos del mismo tipo y modelo, carga trasera con 18 m³ de capacidad de cargar hasta 10000 kilogramos, del tipo carga trasera, con compactación. Entonces, el costo operativo de un camión por hora se estima en 9.78 (10*0.90 + 0.78) dólares por hora que será utilizado en la definición de la función objetivo.

El precio de un vehículo nuevo se estima en 100,000 dólares. El costo de un equipo usado de 10 años de antigüedad en 20,000 dólares y el de un vehículo usado de 20 años de antigüedad, en 10,000 dólares, valores recabados de búsquedas en internet. Consideramos para nuestro cálculo, la compra de vehículos usados de 10 años de antigüedad y un presupuesto suficientemente grande para poder dimensionar la flota necesaria para recolectar toda la basura. A fin de no limitar el modelo, asumimos que el presupuesto de costos de personal y compra de vehículos en 1 millón de dólares, exagerado, sí, pero permitirá estimar la capacidad necesaria. Con estos datos construimos el siguiente modelo de Programación Lineal Entera

$$\text{Función Objetivo} \quad \text{Min (Costo Operativo)} = 9.78 * x \quad (6)$$

$$\text{Restricción de Capacidad} \quad 10,000 * 6 * 0.80 * x \geq 2 * (150,000) \quad (7)$$

$$\text{Restricción de Personal} \quad 1,600 * 4 * 3 * x \leq 1,000,000 \quad (8)$$

$$\text{Restricción de Unidades} \quad x - y = 4 \quad (9)$$

$$\text{Restricción de Presupuesto} \quad 20,000 * y \leq 1,000,000 \quad (10)$$

Con relación al problema de **microruteo**, decidimos aplicar el algoritmo del “método del cartero chino” [6] al siguiente sector de la ciudad de Rio Gallegos, representados en la siguiente figura:

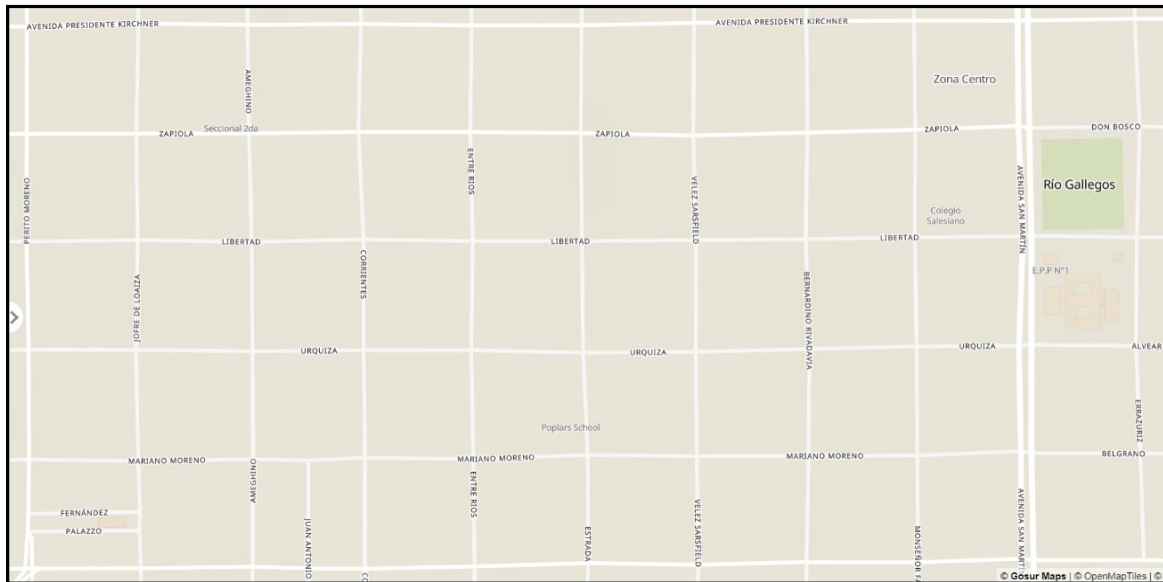


Figura 1. Sector de viviendas donde aplicar microruteo. Fuente: Google maps

La red bajo análisis está compuesta por 58 manzanas y comprende el recorrido de 136 calles con una distancia aproximada de 14,567 metros y contiene 78 vértices representados por la esquina de cada manzana. Se supone un promedio de 10 viviendas por calle, 20 de ambos lados de la calle, aunque, existe en la zona comercial mayor densidad por la existencia de algunos edificios de varios pisos y se compensa por la existencia de algunos terrenos baldíos, avenida con arboleda divisoria y la plaza central de la ciudad. En promedio podemos asumir la existencia de 2720 viviendas (1360x2), en las cuales viven aproximadamente 10,880 personas (4 por vivienda) y generan un total de 22,956 (2.11 x persona) kilogramos de basura total, de los cuales 3/5 es basura orgánica, unos 13,774 kilogramos, y el resto (2/5), 9,182 kilogramos de chatarra.

Este mapa físico representativo de una zona de recolección puede ser convertido a una red equivalente usando la facilidad de construcción que provee la aplicación web de la Universidad de Múnich [11,12], donde cada nodo representa el vértice de cada manzana y la flecha o arco representa la distancia entre puntos medios de las calles que representan físicamente una cuadra. Las distancias fueron estimadas con google maps. El grafico de red equivalente es el siguiente.

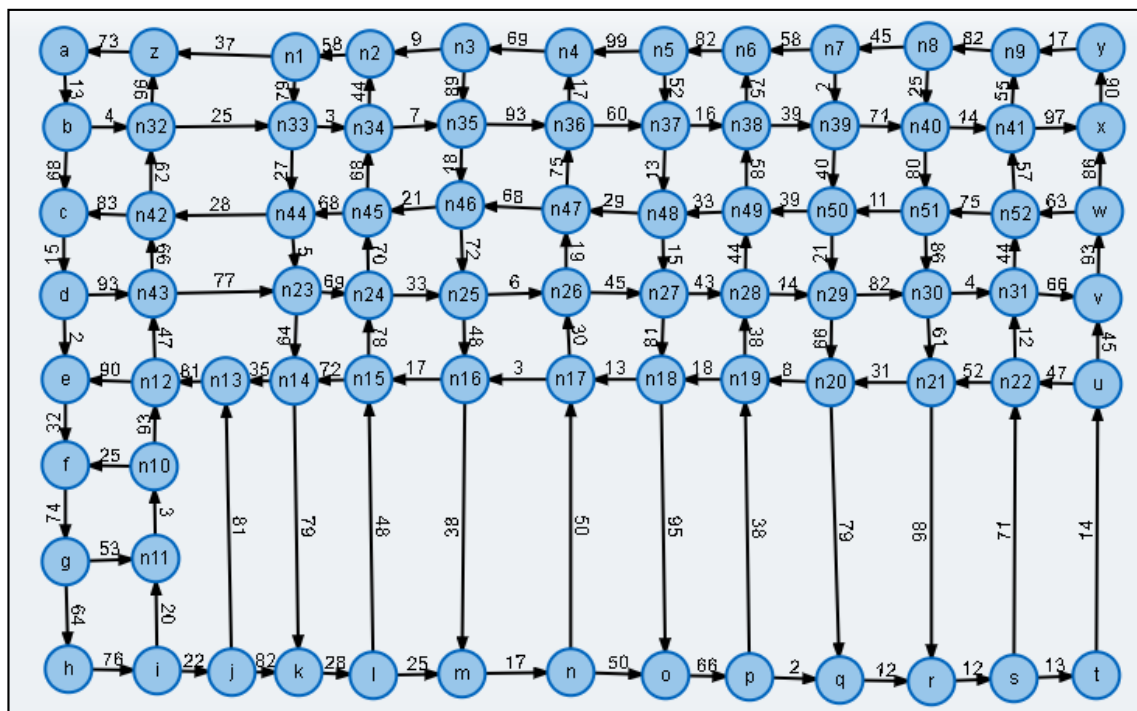


Figura 2. Diagrama de red con nodos dirigidos equivalentes. Fuente TUM [12]

La decisión de usar el “método del cartero chino” (CPP), implica que, para conseguir una solución óptima, debemos tener en cuenta los siguientes pasos:

a) Comprobar si el problema se puede resolver.

- Primero verificamos si el gráfico está fuertemente conectado y si hay algún ciclo negativo, esto es, alguna ruta que contenga flechas con valores negativos entre dos nodos [2].
- Verificamos que la gráfica está fuertemente conectada. Un gráfico está fuertemente conectado si se puede llegar a cualquier nodo desde cualquier otro nodo. Sólo entonces existe un recorrido redondo, esto es, es posible recorrer la red en todos sus nodos y regresar al nodo de inicio. Luego, si se cumple esta condición, hay un recorrido redondo que utiliza todos los bordes.
- Si se cumplen las dos condiciones anteriores, no hay ciclos negativos y la red está fuertemente conectada, entonces el problema es solucionable en este gráfico.

b) Encontrar nodos con diferentes grados de entrada y salida.

- En primer lugar, calculamos la diferencia de grados positivos (+) y grados negativos (-). Los nodos que tienen una diferencia de cantidad de conexiones de salida menos entrada igual de 0, se considera que están equilibrados. Aquellos nodos cuya diferencia es distinta de cero, se considera que están desequilibrados.
- Los nodos desequilibrados se identifican en el diagrama y dependiendo del software utilizado, pueden aparecer resaltados con otro color en el proceso iterativo. Un recorrido de Euler existiría en el gráfico solo si todos los nodos están equilibrados. Un recorrido de Euler (o ciclo de Euler) es una ruta en el gráfico que contiene todos los bordes exactamente una vez y comienza y termina en el mismo nodo [7].
- El objetivo de los próximos pasos será encontrar un conjunto de rutas entre los nodos desequilibrados, de manera que la gráfica se equilibrará completamente después de insertar rutas adicionales. La longitud de estos caminos adicionales debe ser mínima.
- El recorrido de Euler en el gráfico con las rutas adicionales será el recorrido más corto que buscamos en última instancia [12,13].

c) Encontrar los caminos adicionales

- Consideremos solamente los nodos desequilibrados. Los pesos de borde representan el gráfico más corto posible desde los nodos con diferencia de salida negativa a los nodos con diferencia positiva.
- Para encontrar las rutas más cortas para cada par de nodos, usamos el método del algoritmo de Floyd-Warshall [15].
- Al agregar una ruta adicional desde un nodo con diferencia negativa a una con una positiva, la diferencia en los nodos de inicio y final cambiará exactamente en 1. Para todos los otros vértices a lo largo de la ruta, la diferencia permanecerá sin cambios.
- Estamos buscando un conjunto de rutas para que todos los nodos estén equilibrados y se minimicen las longitudes totales de las rutas adicionales.

d) Encontrar los caminos adicionales

- El conjunto óptimo de caminos se ilustra por los bordes resaltados.
- Para encontrar este conjunto óptimo, usamos un algoritmo para encontrar coincidencias máximas, tal como el Método Húngaro, la técnica heurística para resolver problemas de asignación usando programación lineal [16].
- Después de insertar las rutas adicionales, la diferencia de entrada para todos los gráficos desequilibrados se reducirá a 0. Todos los nodos entre los nodos resaltados permanecerán sin cambios.

e) Insertar los caminos adicionales

- Ahora tomamos los gráficos que encontramos en el último paso y los agregamos al gráfico original. Los bordes que insertamos representan esos bordes en el gráfico original que deberán recorrerse varias veces en la solución óptima.
- Después de la inserción, todos los nodos tendrán una diferencia de (salida – entrada) de exactamente 0. Por lo tanto, existe un recorrido de Euler en el gráfico. Un recorrido de Euler (o ciclo de Euler) es una ruta en el gráfico que contiene todos los bordes exactamente una vez y comienza y termina en el mismo nodo.
- Los grados de entrada y salida coinciden en todos los nodos del gráfico. Por lo tanto, un recorrido de Euler o ciclo Euleriano existe en el gráfico [17].

Aplicando todos los pasos anteriores, llegamos a una instancia antes de la solución que se representa por la siguiente figura:

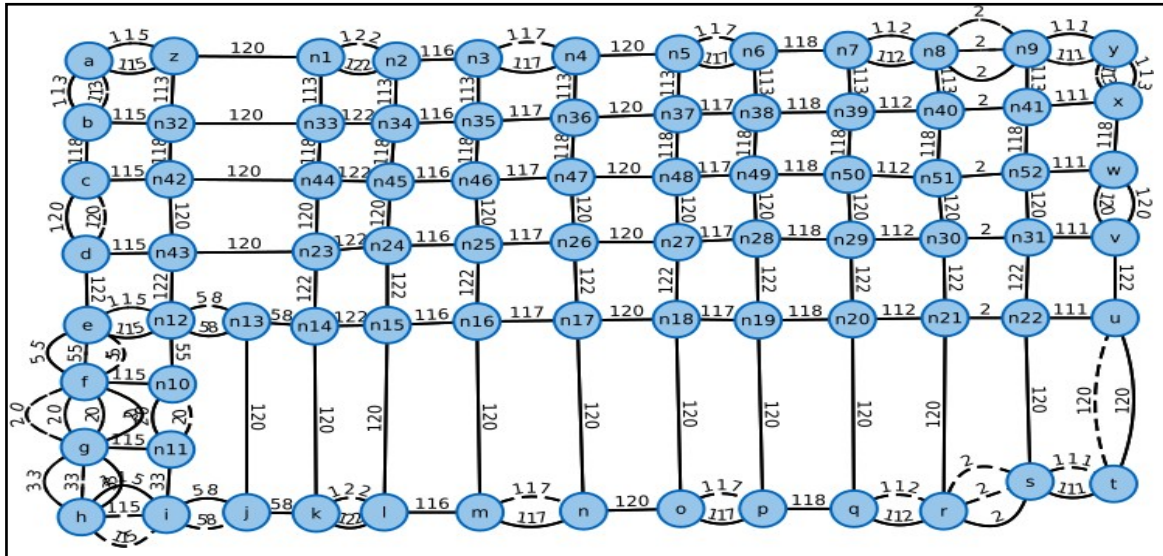


Figura 3. Grafico de red dirigida, luego de agregar las rutas adicionales. Fuente TUM [12]

En la misma, se puede notar que se han agregado las rutas de mínimo costo para convertir la red original en una red Euleriana, en la cual cada nodo está equilibrado, indicando que contiene la misma cantidad de flechas de entrada que de salida y es posible encontrar la solución esperada. La imagen fue generada con una applet-web gratuita de la Universidad de Múnich [12] y no nos fue posible modificar el número que identifica cada nodo.

f) Aplicar el Algoritmo de Optimización

- En esta instancia del proceso de solución iterativo, aplicamos el algoritmo de Fleury [18] que permite encontrar una trayectoria o circuito de Euler y/o el algoritmo de Hierholzer [19] que encuentra un ciclo euleriano en un multigrafo dirigido [17, 20].
- El algoritmo de Fleury resulta más aplicable a grafos no dirigidos, en cambio el algoritmo de Hierholzer es más aplicable a grafos dirigidos como nuestro caso.

6. Análisis de Resultados

La solución del problema de capacidad nos dice que sería recomendable una flota de 7 vehículos, capaces de realizar 6 viajes por día, de los cuales 3 de ellos deberían ser adquiridos como usados con 10 años máximo de antigüedad o reparar los 8 vehículos parados que dispone actualmente el municipio. El mismo costo operativo se obtuvo suponiendo compra de camiones nuevos. Para la solución de este modelo de PLE se usó el software educativo POM, complemento del libro de Weiss-Render [21], cuya solución se resume en la siguiente tabla.

Tabla 1. Resultados del problema de PLE de fuerza de trabajo. Fuente POM [21]

Original Problem w/answers				
(untitled) Solution				
	X	Y		RHS
Minimize	9,78	0		
Restriccion de Capacidad	48000	0	>=	300000
Restriccion de Mano de Obra	19200	0	<=	1000000
Restriccion de Unidades	1	-1	=	4
Restriccion de Presupuesto	0	20000	<=	1000000
Variable type	Integer	Integer		
Solution->	7	3	Optimal Z->	68,46

El costo operativo se estima en 68.46 dólares por hora, 42,719 dólares, mensuales, sobre base de 26 días de recolección por mes (con descanso de domingos) con capacidad de recolectar hasta 336,000 kilogramos por día (calculados como condición de máxima para día lunes). El costo de personal se estima en 1600 dólares promedio por persona, incluyendo cargas sociales, por lo tanto, para 7 camiones y 4 personas por camión, con 3 turnos por día, el costo de personal necesario se estima en 134,400 (1600*3*4*7) dólares mensuales. El costo de combustibles por camión se estima en 9 dólares por hora, unos 39,312 (9*7*24*26) dólares mensuales para los 7 camiones y unos 3,500 (500*7) dólares mensuales de seguros y mantenimiento de vehículos. La suma de todos estos conceptos es de 219,531 dólares como costo operativo mensual. Si proporcionalmente le sumamos el costo de recolectar diariamente los 100,000 kilogramos de basura chatarra, el costo total de recolección se estima en 365,885 dólares

Este presupuesto es una cifra grande para municipios pequeños, por ello, por razones presupuestarias se decide pausar la recolección en algunas zonas a 2 veces por semana y los barrios más alejados a 1 vez por semana. El personal necesario se estima en 28 personas por turno, 84 personas por día afectadas a tareas de recolección y unas 63 (3 * 3 * 7) personas diarias por cada camión volcador recolector de chatarra (1 chofer y 2 ayudantes). Las 150 personas afectadas a recolección resultan necesarias incluso para manejar imponderables como licencias, enfermedad, etc. Por mes deben recolectarse unas 7,500 toneladas de basura por todo concepto.

La compra de 3 vehículos necesarias se estima en 60,000 dólares por unidades usadas de 10 años de antigüedad. Si se decidiera comprar unidades nuevas, el costo sería de 300,000 dólares. Este costo sería por única vez y luego ingresarían al programa de operación y mantenimiento general de vehículos de recolección.

La solución del problema de microruteo se aprecia en la secuencia que debe recorrer el vehículo recolector en la siguiente tabla:

Tabla 2. Recorrido secuencial del vehículo recolector. Fuente TUM [12]

a → b → n32 → n33 → n44 → n42 → c → d → n43 → n23 → n24 → n25 → n26 → n27 → n28 → n29 → n30 → n31 → v → w → n52 → n51 → n50 → n49 → n48 → n47 → n46 → n45 → n44 → n23 → n14 → k → l → n15 → n24 → n45 → n34 → n2 → n1 → n33 → n34 → n35 → n46 → n25 → n16 → m → n → n17 → n26 → n47 → n36 → n4 → n3 → n35 → n36 → n37 → n48 → n27 → n18 → o → p → n19 → n28 → n49 → n38 → n6 → n5 → n37 → n38 → n39 → n40 → n41 → x → y → n9 → n8 → n7 → n39 → n50 → n29 → n20 → q → r → s → n22 → n31 → n52 → n41 → n9 → n8 → n40 → n51 → n30 → n21 → r → s → t → u → n22 → n21 → n20 → n19 → n18 → n17 → n16 → n15 → n14 → n13 → n12 → e → f → g → n11 → n10 → f → g → h → i → n11 → n10 → n12 → e → f → g → h → i → j → n13 → n12 → n43 → n42 → n32 → z → a → b → c → d → e → f → g → h → i → j → k → l → m → n → o → p → q → r → s → t → u → v → w → x → y → n9 → n8 → n7 → n6 → n5 → n4 → n3 → n2 → n1 → z → a

El recorrido total de recolección o el del ciclo Euleriano, es de 17,038 metros o 17.038 kilómetros, partiendo del nodo inicial **a** como nodo de entrada y saliendo nuevamente por el mismo nodo inicial **a**. Usamos el algoritmo TSP para la misma red y determinó un recorrido óptimo de 7,682 metros, recorriendo todos los vértices de la red, pero no el interior de las calles.

Sabiendo que el camión recolector, recoge la basura de ambos lados de la calle, que en promedio existen 10 viviendas por cuadra y que cada habitante genera 1.26 kilogramos de basura orgánica por día, podemos calcular:

$$\text{Basura Recolectada} = 136 * 10 * 2 * 1.26 * 4 = 13,708 \text{ kilogramos por camión}$$

La capacidad de carga de un camión recolector de 18 m3 está entre 8000 y 10000 kilogramos, lo cual indica que deberá hacer al menos 2 viajes y un viaje de un camión volcador para recolectar los más de 9000 kilogramos de basura chatarra.

Si estimamos en 5 segundos promedio el tiempo de recolección de bolsas, que cada domicilio deposita en su acera, que hay 10 viviendas por lado de la calle y que se recolecta en las dos aceras al mismo instante, el tiempo necesario se estima de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo necesario} = 5 * 136 \text{ (calles)} * 10 \text{ (viviendas x calle)} * 2 \text{ (aceras)}$$

$$\text{Tiempo necesario} = 13600 \text{ segundos} = 3.8 \text{ horas}$$



Esto es, el tiempo necesario, para la realización de 2 viajes de recolección será de aproximadamente 8 horas, que corresponde a un turno de trabajo del personal afectado (chofer y recolectores). Dentro de estas 8 horas podría estar incluido el tiempo para viaje hasta el vertedero, descarga y regresar para el nuevo viaje, dado la proximidad del vertedero municipal en la zona sur de la ciudad.

Obviamente en nuestro análisis hemos supuesto valores promedios y condiciones ideales, sin tener en cuenta las inclemencias climáticas (viento, lluvia, nieve, hielo) que dificultan las tareas de recolección. Siguiendo esta metodología sería posible poder estimar de manera más exacta la capacidad de recurso disponible para ser extendida a todo el ejido urbano de la ciudad. También hemos supuesto en nuestro modelo que los cálculos se basan en condiciones de máxima generación de basura que debe recolectarse los días lunes. El resto de los días, al ser menor la cantidad de basura generada, pueden usarse los camiones volcadores para recoger la basura chatarra.

7. Conclusiones

La investigación de operaciones es una herramienta muy importante para la toma de decisiones y dos de sus herramientas, la programación lineal entera y la teoría de grafos o teoría de redes capacitadas permite la aplicación a problemas de la vida real. En este caso, el objetivo principal de nuestro trabajo es modelar una forma de optimizar el recorrido de recolección de basura de una ciudad pequeña del interior del país, siguiendo el método conocido como “casa x casa” o de la acera, en la cual los habitantes dejan sus residuos en la puerta de su domicilio y un camión recolector con personal destacado, recogen las bolsas de basura de ambos lados de la calle en una sola pasada.

El método del cartero chino sobre grafos dirigidos que aplicamos resultó el más adecuado luego de haber descartado otros métodos heurísticos que no generaban una solución óptima de recorrer cada calle. Lo más aproximado que conseguimos fue con la aplicación del método del viajante de comercio (TSP) que recorrió todos los nodos, pero solamente los vértices o esquinas de las calles, asumiendo la existencia de un contenedor, pero la realidad de nuestro problema fue distinta, la basura estaba en cada domicilio y no en cada esquina.

Obviamente, los datos requeridos para modelar son difíciles de conseguir por considerarlos confidenciales, sensibles o no públicos y algunos han debido ser estimados en base a informes publicados de presupuestos y reportajes a responsables del área de saneamiento del municipio en medios de comunicación locales. Queremos destacar la metodología de aplicación de los modelos utilizados para ser adaptados a los datos de cualquier municipio.

El modelo propuesto puede ser aplicable a otros tipos de servicios como pueden ser: entrega de correspondencia, recorrer los domicilios para toma de medición de servicios de luz, gas, agua, etc., para programar el ruteo de entrega de encomiendas y para muchas otras aplicaciones que implican recorrer cada punto de la red.

Recientemente el municipio a través de su intendente y secretario de obras públicas está anunciando la compra por licitación de tres nuevas unidades de recolección de basura y que la fuerza de trabajo necesaria puede estimarse en 15 camiones para completar la tarea diaria de recolección, el doble de nuestro estimado de recolección, lo cual permite suponer que se trabajará en 2 o 3 turnos diarios o procesos de recolección por viaje mayores a 4 horas.

También, el municipio está planificando la instalación de contenedores grandes en cada esquina como método de reemplazo del proceso actual de aceras e incluso la privatización del servicio de recolección, pero todos estos procesos llevan tiempo de tratamiento administrativo y jurídico.

8. Bibliografía / Referencias

- [1] Papadimitriou, C.H., Steiglitz, K. (1998), “Combinatorial optimization: algorithms and complexity”, Mineola, NY: Dover, pp.308-309.
- [2] Yú Beréziena L., (2013), “Grafos y sus Aplicaciones: Una Introducción a la Teoría de Grafos”, Editorial URSS, ISBN 9785396003828
- [3] Wikipedia, “Río Gallegos”, https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Gallegos, 2019
- [4] Applegate, D., Bixby, R., Chvatal V., Cook, W. “On the solution of the Traveling Salesman Problem”. Documenta Mathematica-Extra Volume ICM III. 1998. 645-656.

- [5] Fuentes-Penna, Alejandro. (2014). "Problema del agente viajero". XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan. 2. 10.29057/xikua.v2i3.1229.
- [6] Kwan Mei-Ko, "Graphic programming using odd or even points", Chinese Mathematics 1 (1962) 273–277 (in English).
- [7] Edmonds, J; Johnson, E. "Matching Euler Tours and the Chinese Postman Problem", Match Programming, Vol.5:88-124, 1973
- [8] Angulo Cortes Giselle, Ospina Rincon Aylin, "Diseño de rutas para la recolección de residuos aprovechables fracción inorgánica en las localidades de Santa Fe y La Candelaria de la ciudad de "Bogotá d.c.", <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2483>, 2015
- [9] Márquez Pérez, Jorge N., "Macro y micro ruteo de residuos sólidos residenciales", <http://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/299>, 2010
- [10] SEDESOL, "Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales", Secretaria de Desarrollo Social, Distrito Federal, México, 1999
- [11] Ritter Michael, https://www-m9.ma.tum.de/graph-algorithms/directed-chinese-postman/index_en.html
- [12] TUM, Lehrstuhl für Angewandte Geometrie und Diskrete Mathematik der TU München, https://www-m9.ma.tum.de/graph-algorithms/directed-chinese-postman/index_en.html, 2019
- [13] Euler, Leonard., "Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis", Comment. Academiae Sci. I. Petropolitanae 8 (1736), 128–140.
- [14] Fleischner Herbert, "Eulerian Graphs and Related Topics ", Annals of Discrete Mathematics, Volume 50, Pages ii-vii, VIII.1-C.3 (1991)
- [15] Floyd-Wharsall, https://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_de_Floyd-Warshall, 2019
- [16] Hillier Frederick, Liberman Gerald. "Introducción a la Investigación de Operaciones", Novena Edición, capítulo 8. McGraw Hill, 2010
- [17] Euler, Leonard, https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_euleriano
- [18] Fleury , https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_euleriano, 2019
- [19] Hierholzer, Carl (1873), "Ueber die Möglichkeit, einen Linienzug ohne Wiederholung und ohne Unterbrechung zu umfahren", Mathematische Annalen, 6 (1): 30–32.
- [20] Thimbleby Harold, "The Directed Chinese Postman Problem", Article in Software Practice and Experience Vol. 33(11):1081-1096 · September 2003
- [21] Weiss Howard, Render Barry, "Operation Management", 11th Edition, Pearson, 2014

“Análisis y selección de lotes y plantas de secado para la exportación utilizando programación lineal”

Mavolo Luca; Illescas Gustavo

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Trenque Lauquen, 6400
lucamavolo@agro.uba.ar

*Instituto de Investigación en Tecnología Informática Avanzada (INTIA) – Centro Asociado CIC -
Facultad de Ciencias Exactas - Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires*
illescas@exa.unicen.edu.ar

Resumen:

Problema y justificación: Determinar la estructura óptima de un clúster productivo de la economía regional del noroeste de la Provincia de Buenos Aires para lo cual se utilizará como caso de estudio la producción de Manzanilla (matricaria recutita) Objetivo: Seleccionar el agente más competitivo de cada etapa y dimensionar la capacidad productiva en cada eslabón. El factor más importante en la selección de los lotes a producir, junto con el costo de alquiler y calidad de suelo, es la demora en el traslado de la manzanilla, debido a que esta debe ser trasladada en un tiempo menor a tres horas. Sobrepasar el tiempo mencionado provocaría que la manzanilla se fermente y se pierda la calidad final del producto, ya que esta situación afecta las características organolépticas. El modelo a utilizar elegido para este estudio es programación lineal, combinado para seleccionar los lotes agrícolas en una primera etapa y para seleccionar las plantas de secado en la segunda etapa. Estos modelos determinarán los kilogramos de manzanilla a trasladar en cada uno de los canales posibles tanto en cosecha-planta de secado y planta de secado-puerto, de esta forma solo se seleccionarán los agentes más competitivos y óptimos de cada canal.

Palabras Claves: Programación lineal; Clúster productivo; Economía regional; Manzanilla.

Abstract:

Problem and justification: Determine the optimal structure of a productive cluster of the regional economy of the northwest of the Province of Buenos Aires, for which the production of Manzanilla (matricaria recutita) will be used as a case study Objective: Select the most competitive agent of each stage and dimension the productive capacity in each link. The most important factor in the selection of the lots to be produced, together with the cost of rent and soil quality, is the delay in the transfer of chamomile, because it must be moved in less than three hours. Exceeding the mentioned time would cause the chamomile to ferment and the final quality of the product is lost, since this situation affects the organoleptic characteristics. The model to be used for this study is linear programming, combined to select agricultural lots in a first stage and to select drying plants in the second stage. These models will determine the kilograms of chamomile to be transferred in each of the possible channels both in harvest-drying plant and drying-port plant, in this way only the most competitive and optimal agents of each channel will be selected.

1. Introducción

La industria de la Manzanilla se destina principalmente a la exportación, se tiene como principal consumidor de manzanilla en el mercado europeo, Alemania e Italia (Negri 2013). Estos países son quienes determinan el volumen de compra a través de un contrato de exportación. Este volumen determinará la cantidad de Hectáreas a producir y, como consecuencia de esto, la cantidad de lotes a seleccionar, la cantidad de y plantas de secado a utilizar y por último la comercialización.

Como caso testigo, el volumen exportado en en el año 2016 (Wocca 2018) de 1052 toneladas de manzanilla, el precio de venta fue de U\$S 3.533,00/tn. La manzanilla se exporta en dos formas, "Industrial" el cual el precio es de U\$S4.000/tn o menor y "Flor de manzanilla" con un precio de U\$S7.500/tn a U\$S9000/tn. Se puede determinar que el tipo de manzanilla exportada fue Industrial, pudiendo estimar la cantidad de hectáreas necesarias. El rendimiento de la manzanilla destinada a tipo industrial es de 3900 kg verde/ha, al ser secada, se reduce su peso en un 25%. El objetivo es cubrir la demanda en un 50%, lo cual sería 526.000 kg de manzanilla Industrial, representando 539,5 hectáreas.

A continuación, se representan los factores productivos que actuaran en el proceso de selección, tanto en lotes, plantas de secado y puertos (ver ilustración 1). En la primer columna se encuentran los lotes de los productores rurales de manzanilla que se proponen para la selección, cada uno con una dimensión y calidad de suelo diferente. La segunda columna se observan las 3 plantas de secado actualmente en funcionamiento, cada uno con una capacidad diferente, donde algunas utilizan gas natural y otras gasoil para el secado, siendo un factor económico clave para la selección. Por último, se tiene las dos alternativas donde se destina el producto final, donde el factor clave es el costo de traslado.

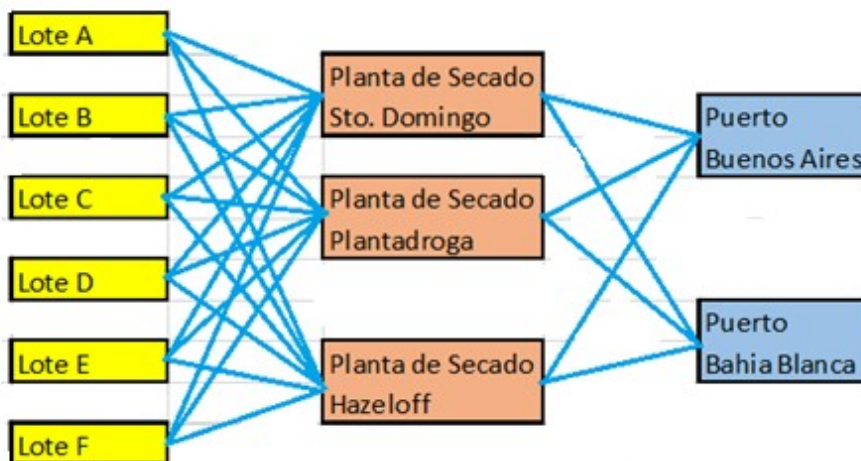


Ilustración 1 Esquema de rutas de materiales del sistema productivo de manzanilla

Se propone utilizar un modelo de localización, que permita tener en cuenta el costo de traslado, entre Lotes-plantas de secado-Puertos, capacidad de productiva de cada uno y su costo de procesamiento (varía según tipo de combustible utilizado), costo de alquiler y cumplir con el contrato de Exportación (50% de la demanda 2016).

1.1. Lotes preseleccionados a aplicar e l análisis:

En la ilustración 2 software GIS ARCVIEW 3.1 se observan todos los lotes de la ciudad de Pehuajo donde se puede consultar información catastral de cada lote como así también sus características de suelo, límite, entre otras características. El relevamiento de la información fue realizado por el INTA Pehuajo.

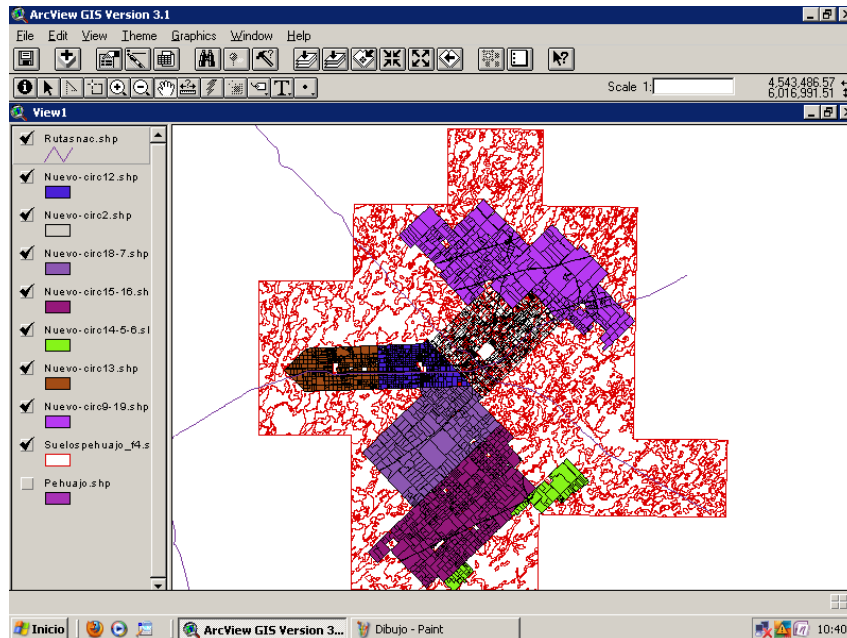


Ilustración 2 Lotes de la ciudad de Pehuajo

A partir de este software se pre-seleccionaron 6 lotes de distintos productores rurales, donde se define a los 6 productores como, productor A, B, C, D, E y F. Las líneas de color CIAN son rutas nacionales, la línea vertical la Ruta Nacional 226 y la línea horizontal la Ruta Nacional 5. Las superficies con borde rojo son las unidades cartográficas que definen el tipo de suelo, con sus características de composición y si son bajos inundables. Y por último las superficies con línea negra son los lotes de los todos los productores de Pehuajo, donde se permite relevar, nombre de la estancia, firma o dueño de la misma, hectáreas del lote etc.

A continuación, la Tabla 1 muestra los costos de alquiler por hectárea de cada productor:

Tabla 1 Costo de alquiler a cada productor

Productor	Alquiler/hectárea (n)
Productor A	\$3300/ha
Productor B	\$3350/ha
Productor C	\$4100/ha
Productor D	\$4000/ha
Productor E	\$3800/ha
Productor F	\$3900/ha

1.2. Distancias de los lotes a la planta

Se diferencia la distancia en camino rural y por asfalto, de esta manera se permite medir de forma más efectiva la demora en el traslado:

La velocidad del camion para el traslado de la manzanilla en el periodo de cosecha se estima en 80 km/h en camino de asfalto y 40 km/h para caminos rurales.

Tabla 2 Distancias de Traslado

Lote	P. Sec. Hazeloff		P. Sec. Plantadroga		P. Sec. Sto Domingo	
	Rural	Asfalto	Rural	Asfalto	Rural	Asfalto
A	29	5	29	6	29	47
B	7	0	7	0	7	42
C	0	5	0	7	0	50
D	1	13	1	15	1	57
E	3,5	12	3,5	13	3,5	56
F	3	12	3	16	3	56

2. Método y desarrollo

A partir de aquí se desarrolla el método propuesto para la solución de la problemática planteada que consta de la aplicación de 2 modelos de programación lineal para optimizar el conjunto de agentes productivos de la cadena de manzanilla. Para esto se formula un modelo de programación lineal para el traslado de lote-Planta industriales y otro modelo Planta industrial-Puertos. La función objetivo de ambos modelos buscan minimizar los costos de traslado y productivos.

2.1. Función Objetivo Minimizar Etapa 1:

Determinación de la producción de cada lote y su destino a las plantas de secado.

$$\text{Min } Z = (\sum \sum c_j x_{ij} + \sum \sum g_i x_{ij})$$

- 1) $\sum \sum c_j x_{ij}$ Costo de Transporte desde los lotes para la siembra a las plantas de secado.
- 2) $\sum g_i x_{ij}$ Costo de Alquiler/rendimiento por hectárea.

2.2. Función Objetivo Minimizar Etapa 2:

Determinación de la cantidad de manzanilla a industrializar en cada planta de secado y su destino a los puertos pre-seleccionados.

$$\text{Min } Z = \sum \sum c_{ik} x_{ik} + \sum \sum f_i x_{ij}$$

- 1) $\sum \sum c_{ik} x_{ik}$ Costo de Transporte de las plantas de secado a los puertos seleccionados.
- 2) $\sum f_i x_{ij}$ Costo de Secado por planta según el combustible utilizado.

Restricciones Etapa 1)

- 1) $\sum x_{ik} = dk ; k \in K$ Cumplir con el contrato de exportación.
- 2) $\sum x_{ji} < ai ; i \in I$ Cantidad transportada a los secaderos seleccionados.
- 3) $\sum x_{ij} < bj ; j \in J$ Cantidad de kg que se obtiene por lote.
- 4) $x_{ij} > 0 ; j \in J, i \in I$

Restricciones Etapa 2)

- 1) $\sum x_{ik} = dk ; k \in K$ Cumplir con el contrato de exportación.
- 2) $\frac{4}{4} * \sum x_{ik} < ai ; i \in I$ Cantidad destinada a puerto.
- 3) $\frac{1}{4} * \sum x_{ji} = \sum x_{ik} ; j \in J$ Toda la producción debe pasar por las plantas de secado.
- 4) $x_{ij} > 0 ; j \in J, i \in I$

$$5) x_{ik} > 0 ; i \in I, k \in K$$

Parámetros:

i: Puntos donde se localizan los secaderos

I: Conjunto de Secaderos

j: Puntos donde se localizan los lotes

J: Conjunto de lotes

k: Consumidores en Puertos (BB o BSAS)

K: Conjunto de Puertos

cij: Costo de transporte entre Secadero – Lotes

cik: Costo de transporte entre Secadero – Puerto

fi: Costo del secado por Planta según combustible

gj: Costo alquiler por rendimiento de cada lote

ai: Capacidad de secado en 50 días por cada planta

bj: Cantidad de kg por lote que se obtiene

dk: Demanda Total en puertos

Variables de Decisión:

xij: Cantidad de kg Lote al Secadero

xik: Cantidad de kg de Secadero al Puerto

2.3. Definición de variables:

Para el cálculo de las variables de Costo de transporte (*cik* y *cij*) se tiene en cuenta el cuadro tarifario ¹CATAC, que determina el costo por kilómetro de trasladar 1 tonelada. (se adjunta en el anexo).

Costo de transporte entre secadero-puerto

A continuación, en la tabla 3 se detalla la distancia entre las distintas plantas de secado y los puertos.

Tabla 3 Distancia entre plantas de secado etapa 2

Puertos/ Secado	P. Secado Hazeloff	P. Secado Plantadroga	P. Secado Sto Domingo
Bs As	373	373	359
Bahia Blanca	375	275	401

Los coeficientes del costo de transporte, son determinados como el costo por kilogramo trasladado. Ej $c_{11} = \$0,99136/\text{kg}$. Dado que el cuadro tarifario CATAC nos muestra según los kilómetros a recorrer el costo de trasladar 1 tonelada, de esta forma se puede determinar el costo unitario de trasladar 1 kilogramo las distancia hacia el puerto como se presenta en la tabla 4.

Tabla 4 *cij*: Costo de transporte entre Secadero – Lotes

$c_{11}=0,99136$	$c_{21}=0,99136$	$c_{31}=0,97691$
$c_{12}=0,99341$	$c_{22}=0,99341$	$c_{32}=1,05104$

¹ Confederación Argentina del Transporte Automotor de Cargas – Tarifa de referencia de la Pcia de Buenos Aires <http://www.catac.org.ar/pdf/TARIFA-BUENOS-AIRES-NOV2018.pdf>

Distancia entre los lotes sembrados y las plantas de secado, ver tabla 4:

Lotes / P. Secado	P. Secado Hazeloff	P. Secado Plantadroga	P. Secado Sto Domingo
Lote 1	34	35	76
Lote 2	7	7	49
Lote 3	5	7	50
Lote 4	14	16	52
Lote 5	15,5	16,5	59,5
Lote 6	15	19	59

Tabla 4 El coeficiente c_{ij} se determina de igual forma que el coeficiente c_{ik} (a través del cuadro tarifario CATAC).

c11=0,22348	c21=0,22665	c31=0,34243
c12=0,14587	c22=0,14587	c32=0,27324
c13=0,14587	c23=0,14587	c33=0,27647
c14=0,15804	c24=0,16438	c34=0,29613
c15=0,16109	c25=0,16438	c35=0,30120
c16=0,16109	c26=0,17430	c36=0,29866

El costo de secado se detalla en el siguiente cuadro (\$/kg):

Lotes / P. Secado	P. Secado Hazeloff	P. Secado Plantadroga	P. Secado Sto Domingo
Costo del combustible	23,96	28,83	23,96

Tabla 6 fi: Costo del secado por Planta según combustible

gj: Costo alquiler por rendimiento de cada lote

El coeficiente g_j se determina teniendo en cuenta el alquiler por hectárea y el rendimiento por hectárea: $\left(\frac{\$alquiler/Ha}{rendimiento\ kg\ /Ha}\right) = \$/kg$

Inciso / Lotes	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Lote 6
Alquiler	3300	3350	4100	4000	3800	3900
Rendimiento	3900	3700	3200	3300	3750	3900
g_j	0,84615385	0,90540541	1,28125	1,21212121	1,01333333	1

Tabla 5 Coeficiente alquiler-rendimiento

Definición del coeficiente de secado:

ai: Capacidad de secado en 50 días por cada planta

El coeficiente a_i , se determina como la capacidad de secado de cada planta. Durante el secado las plantas trabajan 24 horas, durante 50 días (inicios de octubre hasta mediados de noviembre).

Capacidades de hornos por planta:

- El horno de la Planta Hazeloff es de 1000kg verdes/hora.
- El horno de Plantadroga es de 1400kg verdes/hora.
- Los Hornos de la Planta Sto Domingo son 2 de 200kg verdes/hora.

A partir de estos datos se determina la capacidad de secado de cada planta durante toda la campaña:

a1	Hazeloff	1200000
a2	Plantadroga	1680000
a3	Sto Domingo	1920000

Tabla 7 bj: Cantidad de kg por lote que se obtiene

La variable b_j determina la cantidad de kilogramos de manzanilla verde que se puede obtener teniendo en cuenta las hectáreas de cada uno, tipo de suelo y riesgo de inundación (datos analizados bajo el asesoramiento del Ing. Agr. Pablo Mavolo).

b1	1669200	kg verde
b2	936100	kg verde
b3	262400	kg verde
b4	623700	kg verde
b5	600000	kg verde
b6	323760	kg verde

Tabla 8 dk: Demanda Total en puertos

Demanda en cada puerto según los volúmenes exportados históricos, teniendo en cuenta el objetivo que se planteó en el trabajo (526000 kg secos).

Buenos Aires	d1	368200	kg secos
Bahia Blanca	d2	157800	kg secos

3. Resultados del modelo

Para arribar a los resultados de aplicar el método propuesto se utilizó la Herramienta Solver, Microsoft Excel 2016. El desarrollo de este método tanto para la etapa 1 como para la etapa 2 se muestra a continuación:

ETAPA 1)

Funcion Objetivo	
\$	2.104.483,09

Variables de decisión:

X11	X21	X31	X41	X51	X61
25,0296338	25,0112754	25,38712	25,3301612	25,1344233	25,12109
2534,84318	0,17391268	98480,1283	191624,468	219017,818	124783,533

X12	X22	X32	X42	X52	X62
29,9028038	29,8812754	30,25712	30,2065012	30,0176333	30,0043
5113,5967	157078,443	81959,9358	157078,443	157078,443	99488,2335

X13	X23	X33	X43	X53	X63
25,1485838	25,1386454	25,51772	25,4682512	25,2745333	25,25866
157078,443	157078,443	81959,9359	157078,443	157078,443	99488,2336

Restricciones:

Restricción 1: “Cumplir con el contrato de exportación”

X11	X21	X31	X41	X51	X61			
1	1	1	1	1	1	636440,964	<=	1200000 A1
						657797,094	<=	1680000 A2
						809761,941	<=	1920000 A3

X12	X22	X32	X42	X52	X62			
1	1	1	1	1	1	636440,964	<=	1200000 A1
						657797,094	<=	1680000 A2
						809761,941	<=	1920000 A3

X13	X23	X33	X43	X53	X63			
1	1	1	1	1	1	636440,964	<=	1200000 A1
						657797,094	<=	1680000 A2
						809761,941	<=	1920000 A3

Restricción 2: “Cantidad transportada a los secaderos seleccionados”

X11	X21	X31	X41	X51	X61			
1						164726,883	<=	1669200 B1
	1					314157,06	<=	936100 B2
		1				262400	<=	262400 B3
			1			505781,354	<=	623700 B4
				1		533174,704	<=	600000 B5
					1	323760	<=	323760 B6

X12	X22	X32	X42	X52	X62			
1						164726,883	<=	1669200 B1
	1					314157,06	<=	936100 B2
		1				262400	<=	262400 B3
			1			505781,354	<=	623700 B4
				1		533174,704	<=	600000 B5
					1	323760	<=	323760 B6

X13	X23	X33	X43	X53	X63			
1						164726,883	<=	1669200 B1
	1					314157,06	<=	936100 B2
		1				262400	<=	262400 B3
			1			505781,354	<=	623700 B4
				1		533174,704	<=	600000 B5
					1	323760	<=	323760 B6

Restricción 3: “Cantidad de kg que se obtiene por lote”



X11	X21	X31	X41	X51	X61		
1	1	1	1	1	1	2104000	. = 2104000

X12	X22	X32	X42	X52	X62		
1	1	1	1	1	1	2104000	. = 2104000

X13	X23	X33	X43	X53	X63		
1	1	1	1	1	1	2104000	. = 2104000

En esta primera etapa se determinó el volumen de producción de cada lote preseleccionado:

Lote A: 164,72 Tn de las cuales 2,53 tn se destina a la Planta de secado Hazeloff, 5,11 tn a Plantadroga y 157,07 tn a Sto Domingo.

Lote B: 314,15 Tn de las cuales 0 tn se destina a la Planta de secado Hazeloff, 157,07 tn a Plantadroga y 157,07 tn a Sto Domingo

Lote C: 262,04 Tn de las cuales 98,4 tn se destina a la Planta de secado Hazeloff, 81,95 tn a Plantadroga y 81,95 tn a Sto Domingo

Lote D: 505,78 Tn de las cuales 191,62 tn se destina a la Planta de secado Hazeloff, 157,07 tn a Plantadroga y 157,07 tn a Sto Domingo

Lote E: 533,17 Tn de las cuales 2,53 tn se destina a la Planta de secado Hazeloff, 157,07 tn a Plantadroga y 157,07 tn a Sto Domingo

Lote F: 323,76 Tn de las cuales 124,78 tn se destina a la Planta de secado Hazeloff, 99,48 tn a Plantadroga y 99,48 tn a Sto Domingo

ETAPA 2)

Funcion Objetivo	
\$	526.006,00

Variables de Decisión:

X11	X12	X21	X22	X31	X32	(IK SEC-PUE)
0,99136	0,99341	0,99136	0,99341	0,97691	1,05104	COEF
19905,722	157800,148	20454,4072	-0,02042985	327839,871	-0,12723076	VAR

Restricciones:

Restricción 1: “Cumplir con el contrato de exportación”

X11	X12	X21	X22	X31	X32	FORMULA	(IK SEC-PUE)		
1		1		1		368200	. =	368200	D1
	1		1		1	157800	. =	157800	D2

Restricción 2: “Cantidad destinada a puerto”

X11	X12	X21	X22	X31	X32		(IK SEC-PUE)		
4	4					710823,479	<=	1200000	A1
		4	4			81817,5473	<=	1680000	A2
				4	4	1311358,97	<=	1920000	A3

Restricción 3: “Toda la producción debe pasar por las plantas de secado”

X11	X12	X21	X22	X31	X32		
						Lote descartado por no alcanzar 1 HA de producción X11	
						Lote descartado por no producir	X21
0,25	0,25					44426,4674 <=	98480,1283 X31
0,25	0,25					44426,4674 <=	191624,468 X41
0,25	0,25					44426,4674 <=	219017,818 X51
0,25	0,25					44426,4674 <=	124783,533 X61
		0,25	0,25			5113,5967 <=	5113,5967 X12
		0,25	0,25			5113,5967 <=	157078,443 X22
		0,25	0,25			5113,5967 <=	81959,9358 X23
		0,25	0,25			5113,5967 <=	157078,443 X24
		0,25	0,25			5113,5967 <=	157078,443 X25
		0,25	0,25			5113,5967 <=	99488,2335 X26
				0,25	0,25	81959,9359 <=	157078,443 X13
				0,25	0,25	81959,9359 <=	157078,443 X23
				0,25	0,25	81959,9359 <=	81959,9359 X33
				0,25	0,25	81959,9359 <=	157078,443 X34
				0,25	0,25	81959,9359 <=	157078,443 X35
				0,25	0,25	81959,9359 <=	99488,2336 X36

En la restricción 3 se descarta el abastecimiento del lote 1 y 2 (A y B) a la Planta de secado Hazeloff, dado que el primero no tiene producción, y el segundo su producción es de 2,5 tn, es menos que el rendimiento de 1 Ha, en consecuencia, no puede ser considerada en el análisis.

Restricción 4:

X11	X12	X21	X22	X31	X32	FORMULA	(IK SEC-PUE)	
1		1	1	1	1	526000	.=	526000

4. Discusión:

Como se puede observar en la última restricción de la etapa 2, se cumple con el contrato de exportación que se estableció como objetivo 526.000,00 kg.

Planta de secado Hazeloff:

Procesará en total 177,70 tn, destinando 19,90tn al puerto de Buenos Aires y 157,80 tn al Puerto de Bahía Blanca.

Planta de secado Plantadroga S.A.:

Procesará en total 20,45 tn, destinando toda su producción al puerto de Buenos Aires.

Planta de secado Sto Domingo:

Procesará en total 327,84 tn, destinando toda su producción al puerto de Buenos Aires.

Los kilogramos excedentes que no son secados en los altos hornos de las plantas industriales, se secan en catres, y su destino es el mercado interno donde lleva un procesamiento y armado de mezcla diferente al que se exporta.

5. Conclusión:

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se puede observar una optimización de los costos de traslado y de consumo de combustible de los altos hornos para los volúmenes de exportación. Siendo la programación lineal una herramienta viable para el armado de un cluster productivo para una economía regional como lo es la Manzanilla.

Queda pendiente a futuros estudios y análisis, la incorporación de eficiencia de trabajo de cada planta, como lo son los procesos de clasificación, zarandeo y molienda, donde estas etapas de trabajo influyen en la eficiencia de tiempos de trabajo y calidad de producto.

6. Referencias

[1] Pardo L., Felipe A., Pardo J. Programación Lineal Entera. Aplicaciones prácticas en la empresa. Díaz de Santos, 1990.

[2] Taha, H. Investigación de Operaciones. Alfaomega, 1995.

[4] Argentina Trade Net Portal de Promoción de Comercio Exterior

[5] INTA Castelar. Mónica Rubio “CULTIVO, INDUSTRIALIZACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA MANZANILLA

[6] ProChile Hamburgo, Octubre 2006 en “PERFIL DE MERCADO HIERBAS CULINARIAS Y MEDICINALES - ALEMANIA”

[7] Ciro Guillermo Negri, 2013, MEJORA SOCIO-ECONÓMICA Y DESARROLLO COMPETITIVO DE LA CADENA AGROALIMENTARIA DEL ORÉGANO

[8] Wocca Fabian, 2018, Informe económico de la producción de manzanilla Ministerio de Agroindustria de la Nación.

Metodología basada en reportes de siniestros para la optimización de la gestión Municipal sobre seguridad vial.

Perez, Angueira Luciana; Marcos, Carlos; Gasselle, Gonzalo; Martinez Micakoski, Fernanda; Enrietti, Adhemar Raul;

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Trenque Lauquen; CP: 6400 Racedo 298
lucianaperezanguera@hotmail.com

RESUMEN.

El presente trabajo tiene como propósito compartir la metodología que se llevará a cabo en el proyecto de investigación que tiene como objetivo generar algoritmos que apoyen la gestión de los recursos para reducir la siniestralidad vial en municipios que posean entre 30.000 y 60.000 habitantes.

El caso de aplicación es la ciudad de Trenque Lauquen, pudiendo replicarse en otros municipios que posean estadísticas respecto de la siniestralidad urbana y la gravedad de las lesiones provocadas durante los últimos años.

Para el tratamiento de los datos se implementa el software libre R, que facilita la aplicación de técnicas estadísticas variadas como modelos lineales y no lineales, análisis de series de tiempo, clasificación, agrupamiento, análisis de correlación y visualización acordes al proyecto a desarrollar. Los modelos de predicción generados serán utilizados por el Municipio para apoyar la toma de decisiones sobre el lugar, el momento y a quiénes serán dirigidos los operativos de tránsito en el área urbana con la finalidad de reducir la gravedad de las lesiones causadas por la siniestralidad vial.

La asignación de recursos es algo crucial para la efectividad de los programas de seguridad vial. Por tanto, los procesos que la conforman deben estar vinculados a objetivos específicos para poder alcanzar el máximo rendimiento de los fondos asignados, para ello se utilizará la metodología SEMMA que permite obtener conclusiones que se utilicen en la proyección de asignación de recursos para el trabajo periódico de los agentes de tránsito.

La reducción del número de heridos y muertos por accidentes de tránsito mitigará el sufrimiento, desencadenará el crecimiento y liberará recursos para su utilización más productiva.

Palabras Claves: metodología, SEMMA, siniestros Viales, R, seguridad vial.

ABSTRACT (Resumen en Inglés)

The purpose of this paper is to share the methodology that will be carried out in the research project that aims to generate algorithms that support the management of resources to reduce road accidents in municipalities with between 30,000 and 60,000 inhabitants.

The case of application is the city of Trenque Lauquen, which can be replicated in other municipalities that have statistics regarding urban accidents and the severity of injuries caused in recent years.

For the treatment of the data, the free software R is implemented, which provides varied statistical techniques such as linear and non-linear models, time series analysis, classification, grouping, correlation analysis and graphs applicable to the project to be developed.

The prediction models generated will be used by the Municipality to support decision making about the location, timing and to whom traffic operations in the urban area will be directed in order to reduce the severity of injuries caused by road accidents.

The allocation of resources is crucial for the effectiveness of road safety programs.

Therefore, the processes that make it up must be linked to specific objectives in order to achieve maximum performance of the funds allocated, for this will use the SEMMA methodology that allows conclusions to be drawn that are used in the projection of resource allocation for the periodic work of transit agents.

Reducing the number of people injured and killed in traffic accidents will alleviate suffering, trigger growth and free up resources for more productive use.

1. INTRODUCCIÓN

En su resolución 64/255, de marzo de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el periodo 2011-2020 «Decenio de Acción para la Seguridad Vial», con el objetivo general de estabilizar y, posteriormente, reducir las cifras previstas de víctimas mortales en accidentes de tránsito en todo el mundo aumentando las actividades en los planos nacional, regional y mundial. En la resolución se solicita a la Organización Mundial de la Salud y a las comisiones regionales de las Naciones Unidas que, en cooperación con otros asociados del Grupo de colaboración de las Naciones Unidas para la seguridad vial y otros interesados, preparen un plan de acción del Decenio como documento orientativo que facilite la consecución de sus objetivos.

Este Plan mundial será útil para apoyar el desarrollo de planes de acción local y nacional y, al mismo tiempo, ofrecerá un marco para favorecer la realización de actividades coordinadas a nivel regional y mundial. Está destinado a un amplio público, en particular los gobiernos locales y nacionales, la sociedad civil y las empresas privadas que deseen ajustar sus actividades a la consecución del objetivo común, manteniendo una perspectiva genérica y flexible, conforme con las necesidades de los países.

Cada año, en el mundo, cerca de 1,3 millones de personas fallecen a raíz de un accidente de tránsito —más de 3.000 defunciones diarias— y más de la mitad de ellas no viajaban en automóvil. Entre 20 millones y 50 millones de personas más sufren traumatismos no mortales provocados por accidentes de tránsito, y tales traumatismos constituyen una causa importante de discapacidad en todo el mundo. El 90% de las defunciones por accidentes de tránsito tienen lugar en los países de ingresos bajos y medianos, donde se halla menos de la mitad de los vehículos matriculados en todo el mundo. Entre las tres causas principales de defunciones de personas de 5 a 44 años figuran los traumatismos causados por el tránsito. Según las previsiones, si no se adoptan medidas inmediatas y eficaces, dichos traumatismos se convertirán en la quinta causa mundial de muerte, con unos 2,4 millones de fallecimientos anuales. Ello se debe, en parte, al rápido aumento del mercado de vehículos de motor sin que haya mejoras suficientes en las estrategias sobre seguridad vial ni la planificación del uso del territorio. Se ha estimado que las colisiones de vehículos de motor tienen una repercusión económica del 1% al 3% en el producto bruto nacional (PNB) respectivo de cada país, lo que asciende a un total de más de \$ 500.000 millones. La reducción del número de heridos y muertos por accidentes de tránsito mitigará el sufrimiento, desencadenará el crecimiento y liberará recursos para una utilización más productiva.

En las Américas, la tasa de mortalidad por accidentes de tránsito cada 100.000 habitantes es en promedio de 16,1 mientras que en la Argentina se estima en 13,6. [1]

La tasa de siniestros por cada 100.000 automóviles en nuestro país asciende a 71,99 según datos del Observatorio Vial para el año 2014. Mientras que las lesiones culposas en siniestros viales cada 100 mil habitantes en el año 2014 totalizaron 225 [2].

En el plano nacional, se alienta a los países a que apliquen los cinco pilares siguientes, sobre la base de las recomendaciones del Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito, que propone la Comisión para la Seguridad Vial Mundial.

Los países deberían considerar estas cinco áreas en el marco de su propia estrategia nacional de seguridad vial, su capacidad en esta materia y sus sistemas de recopilación de datos.

- Pilar 1: Gestión de la seguridad vial
- Pilar 2: Vías de tránsito y movilidad más seguras
- Pilar 3: Vehículos más seguros
- Pilar 4: Usuarios de vías de tránsito más seguros
- Pilar 5: Respuesta tras los accidentes

Dentro de las actividades del *Pilar 1* se recomienda trabajar para garantizar que se disponga de fondos suficientes para la ejecución de actividades, mediante el fomento del establecimiento de procedimientos para la asignación eficiente y eficaz de recursos en todos los programas de seguridad [3].

Es esencial que cada país ponga en marcha un sistema científico y coherente de recolección, almacenamiento, análisis, difusión y aplicación de datos de accidentes de tránsito. [1]

Por ello, la comunidad internacional debe ahora asumir el liderazgo y promover buenas prácticas en la gestión de la seguridad vial y la adopción de esas intervenciones en otros países, adaptándolas a sus entornos particulares. [1]

Sin un diagnóstico y una gestión permanentes, y basados en datos, de los principales problemas relacionados con los traumatismos causados por el tránsito, no se lograrán reducciones significativas y sostenibles de la exposición al riesgo de accidentes ni de la gravedad de estos.

Como mínimo, un buen sistema de datos de accidentes de tránsito debería: capturar casi todos los accidentes con víctimas mortales y una proporción significativa de los causantes de traumatismos graves; ofrecer detalles suficientes sobre el vehículo, el usuario de la vía, y la vía y su entorno para ayudar a identificar las causas y a seleccionar las contramedidas; incluir información exacta sobre la ubicación del accidente; proporcionar oportunamente productos fiables para facilitar la toma de decisiones basadas en pruebas. [1]

Sobre éste último tópico se enfoca el actual proyecto. Con los procesos de adquisición de datos ya establecidos en los últimos cuatro años en la ciudad, la información generada y una concientización de la población y los funcionarios sobre la importancia de abordar este problema se requiere de herramientas de gestión que permitan asignar eficientemente los recursos que el Municipio dedica a la seguridad vial de manera que se transformen en una solución sostenible a largo plazo.

Dado que los recursos disponibles siempre resultan escasos en relación con el alto beneficio que se espera es necesario establecer criterios de priorización que aplicados sobre los datos relevados permitan gestionar eficientemente los recursos humanos y vehiculares de los agentes de tránsito.

En la ciudad de Trenque Lauquen existe una base de datos donde se registran los siniestros viales desde el año 2012 a la actualidad con información sobre el momento, lugar, condiciones del entorno y climatológicas, movilidad y perfil de los participantes de los siniestros, incluyendo la gravedad de las lesiones mediante la trazabilidad de las víctimas en los centros de salud.

Mediante la aplicación de técnicas de aprendizaje supervisado (machine learning) se apoyará la toma de decisiones del organismo de Contralor Municipal para ubicar los lugares, momentos, vehículos y perfil de los conductores que pertenezcan al segmento de mayor riesgo de participar en un siniestro vial en base a los datos históricos recabados en dicha localidad.

1.1. Objetivo general

Desarrollar una herramienta que permita proponer la asignación en espacio y tiempo de los recursos humanos y vehiculares de la Dirección de Contralor para reducir la siniestralidad vial en la ciudad.

1.2. Objetivos secundarios

Representar las asignaciones mediante un Sistema de Información Geográfica agrupado por cuadrículas.

Realizar el seguimiento, control y ajuste de la plataforma que sistematiza los datos de siniestralidad vial generados por Agentes de Tránsito Municipales, Bomberos Voluntarios y Agentes Sanitarios Municipales,

Establecer indicadores de performance de la herramienta de gestión que permitan evaluar la eficacia de los algoritmos desarrollados.

2. METODOLOGIA

El estudio actual se basa en los datos relevados a partir de proyectos de investigación desarrollados desde el año 2012 a la fecha en la ciudad de Trenque Lauquen, la cual se ubica en el noroeste de la provincia de Buenos Aires y posee aproximadamente 50.000 habitantes.

Se establecen una serie de datos a relevar, con un formato de categorización y descripción específica al momento de observar la ocurrencia de un siniestro vial. Los mismos se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1 Datos relevados en los siniestros viales.

Variable	Categoría	Descripción
Fecha	Tiempo	Día/Mes/Año
Horario		HH:mm
Zona	Lugar	Ruta/Rural/Suburbana/Urbana
Calle		Nombre de la calle (texto)
Altura		Altura de la calle (número entero)
Entre calles		Calles próximas (texto)
Lugar	Vía Pública	Curva/Intersección/Recta
Tipo		Calle/Distribuidor/Rotonda/Paso FFCC/Otro
Superficie		Arena/Asfalto/Concreto/Ripio/Tierra/Otro
División		Cordón o bulevard/Guardarrail/Línea Divisoria/Ninguna/Otro
Estado		Bueno/Baches/Ahuellamiento/Mojado/Con escarcha/Banquina inutilizable/Resbaladizo
Tiempo	Condiciones atmosféricas y luminosidad	Bueno/Granizo/Llovizna/Lluvia/Nieve/Nublado
Luminosidad		Amanecer/Día/Atardecer/Noche
Luz artificial		Sí/No
Vientos fuertes		Sí/No
Niebla	Sí/No	
Policía de Tránsito	Prioridades	Sí/No
Semáforo		Sí/No
Señal Pare		Sí/No

Señal ceda el paso		Sí/No	
Marca vial		Sí/No	
Senda Peatonal		Sí/No	
Rotonda		Sí/No	
Jerarquía de vía		Sí/No	
Otra señal		Sí/No	
Ninguna		Sí/No	
Alcohol o Droga	Causas aparentes	Sí/No	
Cansancio o Sueño		Sí/No	
Deficiencia en la vía		Sí/No	
Distracción		Sí/No	
Enfermedad		Sí/No	
Exceso de velocidad		Sí/No	
Evitó embestir un animal		Sí/No	
Evitó embestir otro vehículo		Sí/No	
Evitó embestir peatón		Sí/No	
Mal estado del vehículo		Sí/No	
Maniobra riesgosa		Sí/No	
Meteorología adversa		Sí/No	
Otros		Sí/No	
Restricción		Restricciones, Señalización y Semaforización	Accidente previo/Desvío provisorio/Obra en construcción/Reparación vía/Sin restricción/Otro
Señalización			Completa/Incompleta/Regular/Nula
Semaforización	Funcionaba/Intermitente/No funcionaba/Sin semáforo/Otro		
Siniestro	Tipo de siniestro	Atropello peatón/Caída sin colisión/Colisión frontal/Colisión frontolateral/Colisión lateral/Colisión por alcance/Otro/Vuelco en calzada	
Sexo	Participantes	Femenino/Masculino	
Edad		Edad (número entero)	
Movilidad		Peatón/Bicicleta/Motocicleta/Automovil/Camioneta/Transporte de carga/Transporte de pasajeros/Maquinaria/Tracción a sangre/Cuatriciclo/Vehículo desconocido (fuga)	
Ubicación		Conductor/Asiento delantero/Asiento trasero	
Uso del cinturón de seguridad		Sí/No/Nc	
Uso de Casco		Sí/No/Nc	
Hospitalizado		Sí/No	
Licencia conductor		Sí/No	
VTV	Licencias y seguros	Sí/No	
Seguro		Sí/No	
Notas	Notas	Información adicional (texto)	

EL procedimiento de la toma de datos en los formularios diseñados corresponde a personal de la Dirección de Contralor Municipal (Agentes de Tránsito), Bomberos Voluntarios y Hospital Municipal (Agentes de Salud). Una vez que se releva un siniestro vial, los datos del mismo se introducen en un sistema de registro que permite geolocalizar el hecho mediante un Sistema de Información Geográfica que brinda la latitud y longitud en base a los datos relevados y/o ajuste manual del operador (Figura 1).

La información obtenida por los profesionales permite clasificar la gravedad de las lesiones en Leves, Graves, Gravísimo y Fallecido, con un horizonte de 30 días de ocurrido el siniestro.

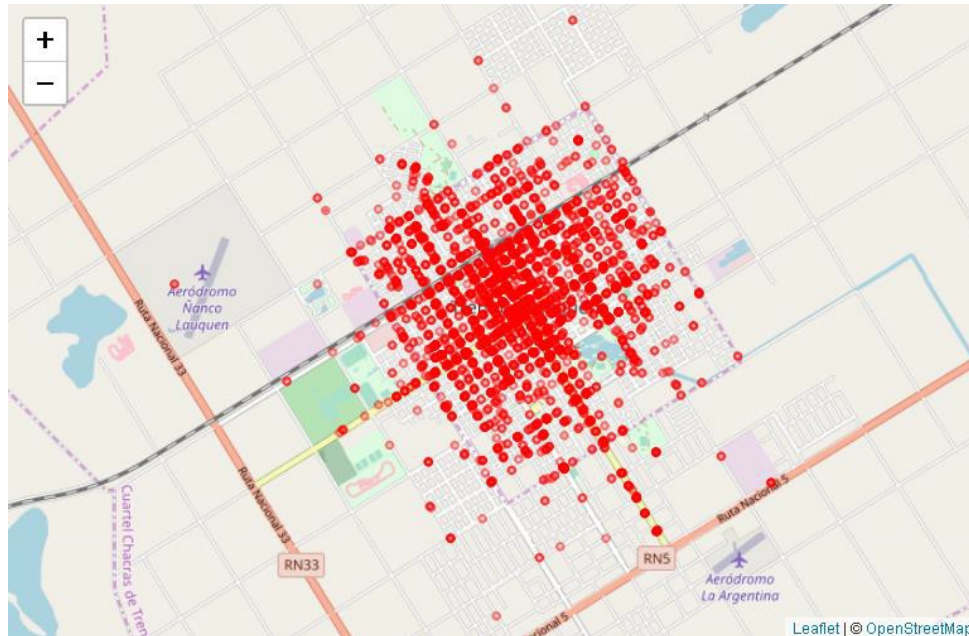


Figura 1 Geolocalización de los datos correspondientes a siniestros viales relevados.

Los operativos de la Dirección de Contralor dirigidos a acciones preventivas de seguridad vial se definen en base a tres criterios:

- ¿A quiénes va dirigido?: Tipo de movilidad, perfil de los individuos,
- ¿Dónde se realizan? Calle(s), Intersección, Cuadrícula o latitud y longitud,
- ¿Cuándo se realizan? Día de la semana y rango horario.

El algoritmo a desarrollar, como objetivo del presente trabajo, debe ser capaz de brindar información sobre uno o dos de esos criterios cuando se definan los restantes por parte del Director de tránsito. Para su implementación se adopta la metodología SEMMA [4] radicada en las siguientes etapas (Figura 2):

- Muestreo (Sample)
- Exploración (Explore)
- Selección e ingeniería de variables (Modify)
- Modelización (Model)
- Evaluación de los modelos (Assess)

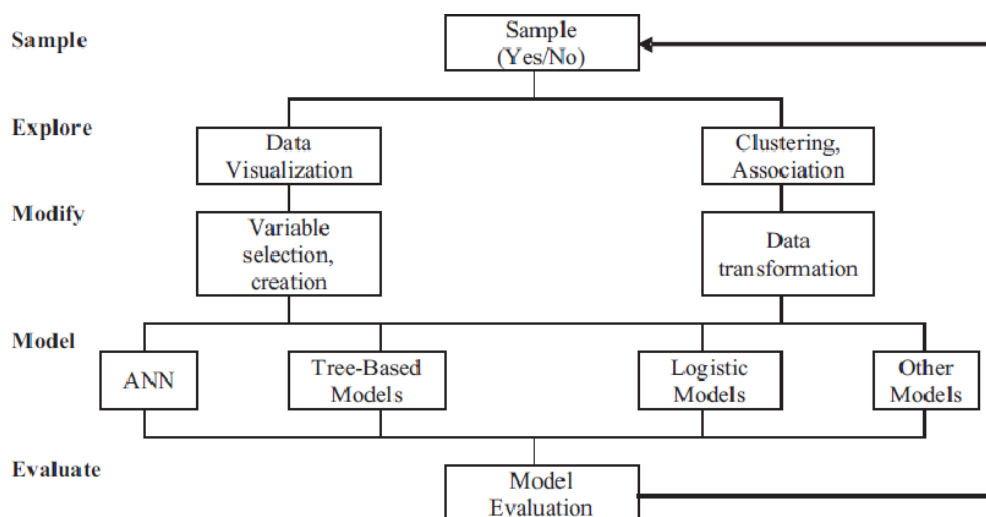


Figura 2 Etapas de la metodología SEMMA. [5]

Muestreo: La obtención de los datos se basará en el registro sistematizado de los siniestros viales y sus consecuencias en los participantes que ocurren en el área urbana de la ciudad. Esta restricción se debe a que la planificación de los operativos de seguridad vial se llevan a cabo en el tejido urbano; principalmente porque los agentes no tienen jurisdicción sobre las rutas nacionales que circundan

la ciudad y en áreas rurales y suburbanas la frecuencia vehicular es muy baja para realizar este tipo de operativos.

Se considerará como participante válido todo aquel individuo en el que se haya registrado al menos el sexo o la edad y el tipo de movilidad utilizada.

Los datos se ordenarán en una tabla tabulada por participante (Figura 3), por lo que la información relativa a las variables del siniestro aparecerá duplicada en cada uno de los individuos que participó en el mismo.

		Variables				
		idFormularioTránsito	idFormularioSalud	Fecha	...	Seguro
Observaciones (participantes)		00001	00001			
		00001	00002			
		00002	-			

Figura 3 Esquema de tabla tabulada.

Exploración: Se realizará un análisis exploratorio visual de las variables, tendiente a detectar datos ausentes, distribuciones y posibles relaciones entre las variables. Para ello se utilizará el software libre R [6], el cual proporciona una amplia variedad de técnicas estadísticas (modelos lineales y no lineales, pruebas estadísticas clásicas, análisis de series temporales, clasificación, clustering, etc.) y técnicas gráficas (Figura 4).



Figura 4 Clustering de datos georeferenciados.

Modificación: En esta etapa se seleccionarán las variables predictoras disponibles para aplicar en los modelos implementados, en base a las variables de salida que pueden fijar los agentes de tránsito. También se realizan imputaciones de valores ausentes e ingeniería de variables que permitan capturar mayor información sobre el evento (Figura 5 a 9) y por lo tanto aumentar el rendimiento de los modelos de la siguiente etapa.

Para llevar a cabo la imputación de valores ausentes en primer lugar se observará el patrón de datos faltantes y se verificará visualmente si se corresponde con un patrón MAR (missing at random) o MCAR (missing completely at random). En caso de ser así se llevará a cabo una imputación múltiple de los mismos.

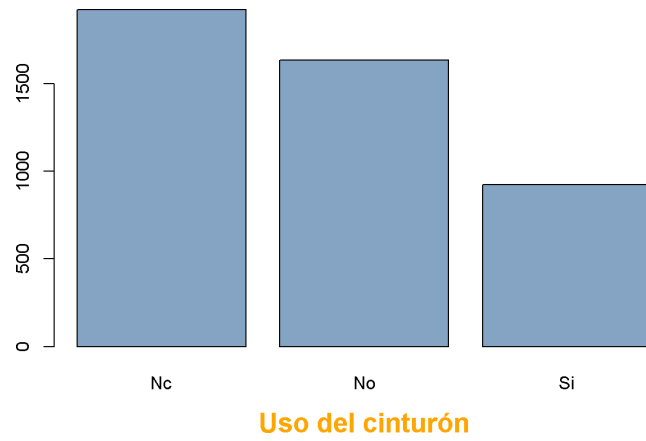


Figura 5 Observaciones sobre uso del cinturón.

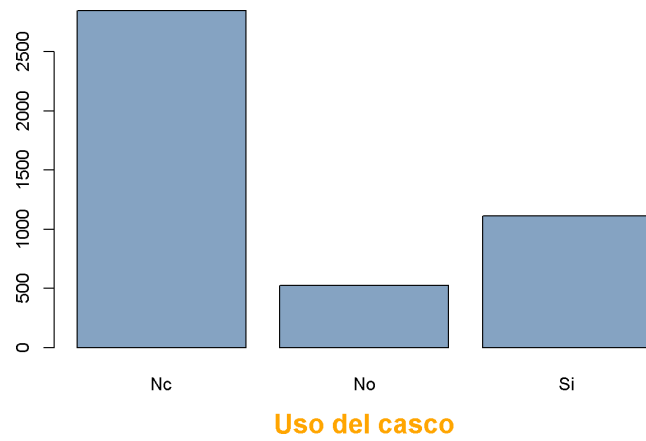


Figura 6 Observaciones sobre uso del cinturón.

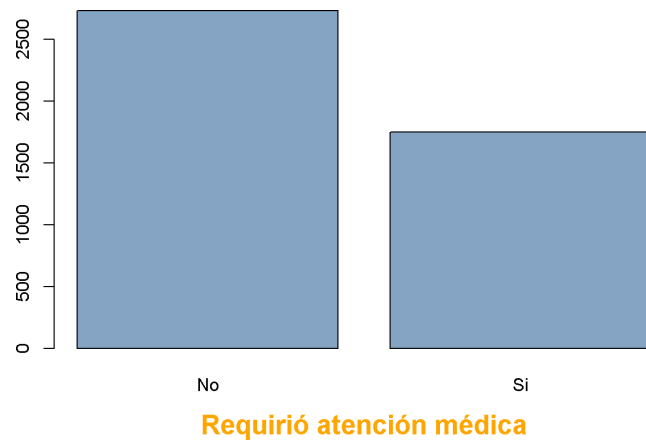


Figura 7 Observaciones sobre requerimiento de atención médica.

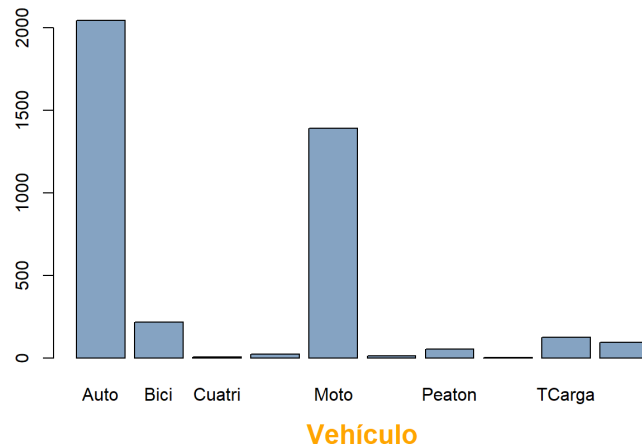


Figura 8 Observaciones sobre tipo de vehículo involucrado.

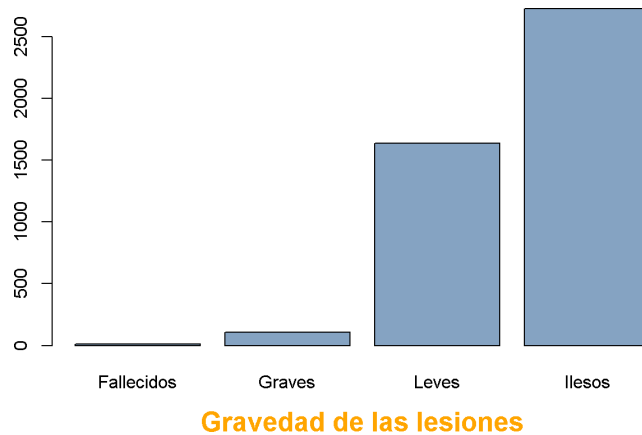


Figura 9 Observaciones sobre tipo el tipo de gravedad de las lesiones.

Se identificarán las variables con varianza nula o cercana a cero ya que estas últimas también podrían transformarse en variables de varianza nula al realizar submuestras de validación cruzada/bootstrap o al separar los datos de entrenamiento y testeo. El criterio para identificar estas variables se basará en dos métricas; la primera es la proporción del valor más frecuente de la variable respecto del segundo valor más frecuente, y la segunda es la proporción de valores únicos respecto del total de las observaciones. Cuando la primera obtenga un valor muy alto y la segunda un valor muy bajo, entonces, la variable deberá analizarse cuidadosamente para ver si se la mantiene o no dentro de los predictores que dispondrán los modelos. Una posible solución para evitar eliminar la variable es su reingeniería discretizando los valores y unificando aquellos con menor frecuencia en un mismo grupo.

Las variables cualitativas o categóricas que no posean una escala u orden se binarizarán mediante la técnica de one-hot-encoding [7] ya que ninguna de las variables posee alta cardinalidad por lo tanto no se generará un excesivo número de variables ficticias. Las variables cualitativas ordinales serán tratadas como factores ordenados.

A continuación se buscará el nivel de correlación entre los potenciales predictores y dependencias lineales, ya sea en las variables originales como las generadas por binarización con el objetivo de eliminarlas y obtener un mejor rendimiento de los modelos.

Por último se centrarán y escalarán las variables para evitar que los modelos que son sensibles a valores demasiados altos o bajos afecten en desempeño del modelo.

La etapa de modificación se utiliza en forma iterativa con las siguientes, ya que la necesidad de ingeniería de variables muchas veces es detectada en las etapas de generación y evaluación del modelo.

Modelización: Se particionarán los datos en dos grupos, uno de entrenamiento y otro de testeo. Los datos de entrenamiento se utilizarán para ajustar los modelos, utilizando técnicas de validación cruzada siempre que sea posible.

Se procederá a generar los modelos en función de las variables asociadas a los tres criterios utilizados por los agentes de tránsito. Dado que son más de una las posibles variables que responden a esos criterios se conservarán los modelos con mejor performance.

A su vez se evaluarán los modelos en función de las variables predictoras significativas, ya que las mismas deberían incluir los dos criterios restantes. Por ejemplo: si el operativo está dirigido a un determinado tipo de movilidad entonces el lugar y/o el momento para realizarlo debe tener como variable predictora el tipo de vehículo.

Entre los modelos a utilizar se encuentran tanto modelos de clasificación como de regresión en función del tipo de variable de salida, aunque la mayoría de las variables de salida serán de tipo cualitativa (cuadrícula, tipo de movilidad, sexo, grupo etario (un agente de tránsito no puede estimar exactamente la edad, sino una franja etaria), día de la semana, etc.). Esto se realizará a través de algoritmos y técnicas de:

- Regresión Logística
- Análisis discriminante lineal
- K-nn (K-vecinos cercanos)
- Modelos aditivos generalizados
- Árboles de decisión simple
- Random Forests
- Máquinas de soporte vectorial
- Regresión lineal múltiple

Evaluación: Para los modelos, se utilizarán como herramienta de evaluación, las curvas ROC (Receiver Operating Characteristic), la curva de ganancia acumulada y métricas obtenidas a partir de la matriz de confusión como exactitud, sensibilidad y precisión.

El reporte que se generará una vez que el agente de tránsito parametrize las variables de interés de uno de los criterios, incluirá los valores de las variables correspondientes a los otros dos criterios, como así también el intervalo de confianza de la predicción o la probabilidad de pertenecer a la clase de la variable de salida.

La efectividad de la herramienta se verificará mediante su utilización por los agentes de tránsito a lo largo de 3 (tres) meses y evaluando los índices de siniestralidad urbana respecto de los períodos donde los operativos se realizaban en forma arbitraria o al azar.

3. CONCLUSIONES

El presente trabajo tiene como propósito compartir la metodología que se llevará a cabo en el proyecto de investigación que tiene como objetivo generar algoritmos que apoyen la gestión de los recursos para reducir la siniestralidad vial en municipios que posean entre 30.000 y 60.000 habitantes.

Mediante la aplicación de técnicas de aprendizaje supervisado se generarán modelos predictivos de manera que sobre una base científica y donde los criterios de asignación sean conocidos y compartidos por la gestión Municipal, se pueda utilizar la información de siniestralidad vial para ajustar proactivamente el despliegue de los agentes de tránsito en el territorio.

Adicionalmente se podrán conocer cuáles de las variables relevadas en la ciudad poseen valor predictivo para la adecuación de los operativos de seguridad vial.

Otro atractivo que tiene este tipo de aplicación de técnicas de aprendizaje supervisado es la utilización concreta de los datos relevados por personal municipal y bomberos voluntarios que le dan un sentido a continuar un registro que hasta el momento solo existía con finalidad descriptiva pero que no se intentaba utilizar en la propuesta de soluciones al problema relevado.

El proyecto es de interés para aquellas líneas de investigación o disciplinas que abarquen: Accidentología Vial; Gestión de Recursos Humanos; Estadística Aplicada; Modelización descriptiva de siniestros viales; Buenas prácticas en gestión Municipal.

Se transferirá al Municipio una herramienta metodológica de asignación de los recursos de la Dirección de Tránsito en función de la siniestralidad vial.

4. REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud (2010). Sistemas de datos. *Manual de seguridad vial para decisores y profesionales*.
- [2] Secretaría de Seguridad Interior. Ministerio de Seguridad. (2016). "Estadísticas Criminales en la República Argentina – Año 2015". Argentina.
- [3] Naciones Unidas (2010). *Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011–2020*.

- [4] Institute, S. A. S., Sas, U., & Software, E. M. (1998). Data Mining and the Case for Sampling - A SAS Institute Best Practices Paper Solving Business Problems Using SAS® Enterprise Miner™ Software.
- [5] Bulkley, J.; Gayle, S.; Hicks, B.; Stephens, R. (1999). *Adding the where to the who. In 24th SUGI - SAS Users Group International conference*. Paper 173, 3p. Miami, USA.
- [6] R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- [7] Garavaglia, Susan & Sharma, Asha. (2019). *A Smart Guide To Dummy Variables: Four Applications And A Macro*.

COINI 2019

XIIº Congreso de Ingeniería Industrial

Este libro “Memorias del XII COINI 2019” reúne los trabajos presentados los días 31º de octubre y 1º de noviembre de 2019, en el Congreso Argentino / Internacional de Ingeniería Industrial. Estos 83 trabajos fueron sometidos a doble evaluación ciega, tienen el más alto rigor científico y se publican como es habitual, con Registro ISBN.

Encontrarán aquí escritos de gestión, de innovación, técnicos y de economía, de emprendedorismo, de educación, y otros. Como puede verse, el amplio campo de la Ingeniería Industrial permite además que otras especialidades se presenten en el COINI, haciendo a este libro muy variado y también muy interesante.

En tal sentido, podemos decir con gran satisfacción y orgullo que gracias a nuestros COINI –que organizamos hace 14 años- y sus publicaciones, dimos ya respuesta a más de 1200 trabajos y a 4000 autores. Así, hemos podido concretar tanto la necesaria transferencia de las investigaciones como el éxito de los procesos de Acreditación de las carreras donde participan.

En otro orden de cosas, debo destacar como novedades del COINI 2019, el acuerdo entre la AACINI y la Red REDICECIA de investigadores Latinoamericanos, que permitirá la edición de la Revista AACINI de Ingeniería Industrial Indexada.

Esta nueva Revista incluirá los mejores trabajos de este los futuros Congresos que organicemos.

Vemos así como la AACINI, la Red Argentina de la especialidad, reconocida por el CONFEDI, Consejo Federal de Decanos de Ingeniería, e integrada por más de 60 Directores de Carrera, contribuye con la producción científica y la educación en Ingeniería, tanto de la República Argentina como de América Latina y del Caribe.

Para concluir, es mi ferviente deseo que continuemos trabajando juntos -con el espíritu de cordialidad que siempre prima en nuestros COINI y en nuestra AACINI- para aportar no solo a la calidad y mejora de la carrera de Ingeniería Industrial, sino también a la producción, difusión y transferencia de conocimientos, indispensables para el desarrollo y bienestar de nuestra querida República Argentina y de América toda.

Espero entonces que disfruten de este libro y que también les sea de utilidad.