



**Revista  
Internacional  
Ingeniería  
Industrial**

Febrero 2023 / Agosto 2023  
[www.aacini.org](http://www.aacini.org)



**Contenido**

***EDITORIAL - RECAMBIO DE AUTORIDADES EN AACINI: DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS PARA LA INGENIERÍA INDUSTRIAL ARGENTINA - 2 -***

***UNA METAHEURÍSTICA BIODESIGN PARA EL PROBLEMA DE SECUENCIACIÓN DE TRABAJOS REPETITIVOS EN UNA CONFIGURACIÓN PRODUCTIVA FLOWSHOP HEIJUNKA - 5 -***

***APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE CALIDAD AL RENDIMIENTO ACADÉMICO. CASO DE ESTUDIO: ALUMNOS DE INGENIERÍA EN LA UTN-FRSC - 21 -***

***LAS PYME DE RÍO GALLEGOS Y SANTA CRUZ, SU DESARROLLO, CONTROL DE GESTIÓN E INCORPORACIÓN DE TIC A TRAVÉS DEL TIEMPO - 33 -***

***MANUFACTURA ESBELTA: DIAGNÓSTICO EN UNA ORGANIZACIÓN DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE LANCHAS A BASE DE FIBRA DE VIDRIO - 48 -***

***ANÁLISIS DE LA DOBLE REGULACIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS, DESDE LA SEGURIDAD INDUSTRIAL Y EL RIESGO ELÉCTRICO - 61 -***

***ALTERNATIVAS PARA LA LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES DE CLASIFICACIÓN DE RSU EN LA PROVINCIA DE MISIONES: CLUSTERIZACIÓN POR K-MEANS, APLICACIÓN DE FACTORES PONDERADOS Y JERARQUIZACIÓN ANALÍTICA PARA LA TOMA DE DECISIONES - 74 -***

## **AACINI – Revista Internacional de Ingeniería Industrial**

Número 1 (4) – febrero de 2023 / agosto de 2023

### **Editor y Director:**

**Dr. Ing. Mario Lurbe** (Universidad Tecnológica Nacional - FRSC - Argentina)

### **Editores asociados:**

**Mg. Ing. Antonio Morcela** (Universidad Nacional de Mar del Plata - Argentina)

**Ing. Juan Saenz** (Universidad Tecnológica Nacional - FRSR - Argentina)

### **Editora invitada (Coordinadora EVI):**

**Lic. María Laura Gallego** (Universidad Tecnológica Nacional – FR San Nicolás - Argentina)

### **Comité Editorial:**

**Esp. Ing. Miguel Ángel Risetto** (Universidad Tecnológica Nacional - FRA - Argentina)

**Dr. Ing. Fernando Salazar Arrieta** (Pontificia Universidad Javeriana - Colombia)

**Mg. Ing. Iván Baron** (Universidad Tecnológica Nacional - FRSR - Argentina)

**Dr. Ing. Kazuo Takaeyama** (Sociedade Educacional de Santa Catarina - Brasil)

**Dra. Ing. Gloria Esther Valdivia Camacho** (Universidad Nacional de Ingeniería - Perú)

**Mg. Ing. Alejandro Mohamad** (Universidad Católica Argentina - Argentina)

**MSc Mech Eng., MBA Sergio Oscar Rinland** (Equipmake Ltd, UK)

**Dr. Ing. Jorge Bauer** (Technische Universität Wien - Austria)

### **Pares Evaluadores del presente número:**

*Ariel Morbidelli*

*Edgardo Boschin*

*Jacqueline Andrea Bounoure*

*Luciana Tabone*

*María Alejandra Esteban*

*María Aramayo*

*María Betina Berardi*

*Walter Tonini*

*Juan Jaurena*

*María Victoria D'Onofrio*

*Vanesa Bangert*

*Alicia Zanfrillo*

## Editorial - Recambio de autoridades en AACINI: desafíos y perspectivas para la Ingeniería Industrial argentina

Estimados lectores de la RIII, es para mí un gran placer dirigirme a ustedes en mi calidad de nuevo presidente de la AACINI, he sido electo en el XV Congreso Internacional de Ingeniería Industrial realizado en la ciudad de Mar del Plata a fines del año pasado.

Enfrento un gran desafío al suceder al Esp. Arq. Miguel Risetto, quien fuera el primer presidente de la AACINI y que ha tenido una participación muy importante e insustituible en el crecimiento de nuestra Asociación, a cuya tenacidad, resiliencia y entrega debemos buena parte de lo que la AACINI es y ha alcanzado en estos años.

Entre los logros más destacados, de estos años, podemos mencionar la creación de esta revista que él mismo impulsó y que gracias al trabajo del equipo liderado por Antonio Morcela es ya una realidad, indexada y con grandes proyecciones.

También el fortalecimiento de las relaciones con los colegas de América y la realización del Congreso de Ingeniería Industrial COINI desde el año 2007, en conjunto con una Unidad Académica sede, signando el carácter federal y participativo que distingue a la AACINI. El COINI 2023, se realizará del 1 al 3 de noviembre en la ciudad de San Nicolás, en conjunto con la UTN Facultad Regional San Nicolás. Aprovecho a invitarlos, presentado trabajos y participando del mismo.

Nuestra carrera, como otras terminales, enfrenta en Argentina varios desafíos, estamos por atravesar los primeros procesos de acreditación a partir de los nuevos estándares y de las actividades reservadas a cada terminal.

La educación centrada en el estudiante y en mayor grado la enseñanza por competencias nos ha generado la clásica incertidumbre y la necesidad de compartir planes de estudio, tal como hemos venido trabajando. La AACINI ha estado al servicio permanente invitando a referentes de CONEAU – Comisión Nacional de evaluación y Acreditación Universitaria - y del CONFEDI – Consejo Federal de Decanos de Ingeniería – a brindar conferencias y espacios de debate en nuestros congresos COINI. Continuaremos con la apertura para realizar las reuniones que sean necesarias para colaborar en esta transición.

En el reciente congreso CAEII 2023, de la AArEII, la Asociación de Estudiantes de Ingeniería Industrial, se realizó el XVII Encuentro Nacional de Directores donde se abordaron temas relacionados con los cambios en los estándares y la duración de las carreras. Tenemos programado tanto para el día 8 de setiembre como durante la reunión de Directores en el marco del COINI 2023, dar continuidad y tratamiento a los mismos, se invita a todos los directores a participar.

Respecto a la reducción de las carreras, que mencionan los actores políticos de la educación de la misma forma que hace cinco años se hablaba de la enseñanza por competencias, cosa que parecía lejana hasta que llegó. La discusión debiera darse en un ambiente de participación de todos los actores, la academia, cámaras y empresarios, como empleadores de nuestros graduados, y los poderes públicos que finalmente definirán aquello que esperamos de la ingeniería en particular y de la educación superior en general. La duración media de las carreras de ingeniería es extensa, esto tiene un origen multicausal por lo que focalizaremos esfuerzos para tratar este tema

Una discusión pendiente, sobre la que no parece a la fecha haber una posición unificada, y que merece debate es el grado de importancia y duración que debemos brindarle a las materias básicas en nuestra carrera, hay voces que parecieran inclinarse a reducir las horas de la formación en matemáticas, física y química, mientras que otras voces son partidarias de mantener y en algunos casos aumentar la formación básica, para permitir a los estudiantes manejar los algoritmos de cálculo que la cada vez más

extendida participación de los sistemas en los procesos productivos y logísticos hace necesario entender.

Y además, entender el perfil de ingenieros industriales que necesitan la empresas desde la lógica de mercado, porque nuestros egresados podrán desarrollarse profesionalmente en grandes empresas o tal vez ser el único ingeniero industrial de una PyME, y debemos prepararlos para ambos casos, sin dejar de fomentar en los estudiantes el rol emprendedor que permitirá que los ingenieros materialicen en patentes y empresas sus investigaciones y proyectos

Sería interesante que, entre los requisitos para ingresar a la carrera docente, se contemple la experiencia profesional ligada a la industria, tengo la sensación de que hoy la universidad argentina no valora esta experiencia adecuadamente. Es importante que los profesionales transmitan su de experiencia a los estudiantes de nuestra carrera trayendo al aula lo que se vive en el mundo de la producción.

Finalmente, no es ajena a nuestra preocupación de las actividades reservadas, las incumbencias y el ejercicio profesional, trabajaremos en el tema y pondremos en marcha una comisión dentro de AACINI para darle tratamiento.

Por último, no quiero dejar de mencionar que el objetivo de esta etapa de la AACINI es finalmente lograr la personería jurídica que nos permita actuar plenamente como sujeto de derecho. EL trámite se ha iniciado hace ya muchos años y se ha visto demorado por cambios en el Código Civil, las reglamentaciones de la Inspección de Justicia y la distancia que separa a los miembros de la C.D. organizadora. Esperamos formalizar la organización que se ha mantenido activa a lo largo de más de 15 años por los lazos de afecto y amistad entre los miembros.

#### **XVI COINI 2023 – UTN FR San Nicolás del 1 AL 3 de noviembre**



Como desde el 2007, la Asociación Argentina de Carreras de Ingeniería Industrial y Afines (AACINI) organiza el Congreso Internacional de Ingeniería Industrial (COINI), junto a una universidad anfitriona. Este año 2023, la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional San Nicolás (UTN FRSN) es la sede y co-organizadora de la XVI edición del COINI. El congreso se realizará bajo la modalidad híbrida desde el miércoles 1 al viernes 3 de noviembre inclusive, en la ciudad de San Nicolás de los Arroyos, provincia de Buenos Aires, Argentina.

La internacionalidad del congreso representa un acontecimiento único de carácter académico, científico y empresarial para las carreras de Ingeniería Industrial y afines, que congrega cada año instituciones de gestión pública y privadas para el desarrollo, divulgación y transferencia de la investigación científica en ingeniería industrial y carreras afines. La nueva edición 2023 convoca bajo el lema: “La Ingeniería Industrial en la era de la transformación digital”

Se espera la participación de investigadores argentinos y extranjeros, para presentar y compartir avances, resultados de proyectos, trabajos de investigación. Para más información los autores pueden acceder a través del link: <https://coiniarg.com/callforpapers/>

Se realizarán durante los tres días visitas a importantes y destacadas industrias de la zona, habrá paneles de intercambio con referentes de las empresas ligadas al lema del evento, conferencias de destacadas personalidades del mundo científico y directivos. Se llevará a cabo un paseo por la ciudad que está al margen del río Paraná.

Y los tradicionales espacios de trabajo, como la Reunión Anual de Directores de Carrera de Ingeniería Industrial y carreras afines que conforman la AACINI; la participación de la Asociación Argentina de Estudiantes de Ingeniería Industrial (ArEEII), la IV Jornada Internacional de la Mujer en Ingeniería Industrial y afines, que contará con referentes de la disciplina nacionales y extranjeras.

Invitamos a sumarse a esta nueva edición imperdible del COINI 2023.

Sitio oficial del evento: <https://coiniarg.com/>

**COMISIÓN DIRECTIVA AACINI**

<b>Presidente:</b>	Rubén Mario LURBE	UTN FRSC
<b>Presidente Honorario:</b>	Miguel Ángel RISSETTO	UTN FRA/RECT
<b>Vice-Presidente:</b>	Jorge Alejandro MOHAMAD	UCA CABA
<b>Secretario General:</b>	Pedro Alejandro BASARA	UTN/UNDAV
<b>Pro-Secretario:</b>	Julián Edgardo VELA	UTN FRA
<b>Tesorero:</b>	León Natalio HOROWICZ	UBA
1° Vocal Titular:	Eduardo Juan DE MARIA	UNLAM
2° Vocal Titular:	Adrián Guillermo HERZ	ITBA
3° Vocal Titular:	Federico MENDIZÁBAL	U MORÓN
4° Vocal Titular:	Diego Gastón SERRA	UNLZ
1° Vocal Suplente:	Nora Lucía LLADSER	UNPSJB
2° Vocal Suplente:	Jorge Eduardo ABET	UTN FRC
3° Vocal Titular:	Rodolfo Iván BARÓN	UTN FRSR
4° Vocal Suplente:	Oscar Antonio MORCELA	UNMDP
5° Vocal Suplente:	María Laura GALLEGOS	UTN FRSN
Revisor de Cuentas Tit.:	Graciela Susana NOYA	UNPSJB
Revisor de Cuentas Supl.:	Estela Mónica LOPEZ SARDI	UP

**DIRECTORES DE CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES DE LA REPÚBLICA ARGENTINA**

Mg. Ing. Sebastián Mur	Ing. Miguel Benegas	Ing. Oscar Spada
Ing. Gustavo López Hermann	Ing. Gustavo Alberto Lores	Ing. Carmelo Caparelli
Ing. María de las Mercedes Augspach	Ing. Eduardo De María	Lic. Andrés Horacio Reale
Ing. Federico Walas	Ing. Juan González Montero	Ing. José Guillermo Valvano
Mg. Ing. Jorge Alejandro Mohaad	Ing. Lucía Lladser	Ing. Cesar Bustelo
Lic. Pablo Salvático	Ing. Gabriel Crespi	Lic. Jorge García
Esp. Ing. Manuel Luis Zambrano Exhenique	Ing. Luis Oscar Oviedo	Ing. Pablo Quantín
Ing. Macarena Rodríguez Campos	Ing. Marcelo Pelayo	Mg. Ing. Jorge Eduardo Abet
Ing. Alfredo Leiter	Ing. Héctor Martinek	Ing. Ricardo Bosco
Dr. Ing. Anibal Cofone	Ing. Carlos Vecchi	Lic. María Dolores Gómez
Ing. Carlos Papini	Mg. Ing. Antonio Morcela	Ing. Sergio Cortese
Ing. Patricio González Viescas	Ing. Mario Mantulak	Ing. Marcelo Gil
Ing. Federico Mendizabal	Ing. Luis Raúl Feraboli	Ing. David Espíndola
Ing. Oscar Waigold	Ing. Ricardo Jakulika	Ing. Víctor Cogno
Ing. Sergio Alberto Colombo	Mg. Ing. Inés María Ranea Vega	Dr. Ing. Mario Rubén Lurbe
Ing. Sebastián Bianchi	Ing. María Eugenia Rímini	Ing. Aníbal Vallejo
Ing. Enzo Judis	Ing. Pedro Juvenal Basualdo	Ing. Tomás M. Avetta
Ing. Raúl Funes	Ing. Facundo Bianciotto	Mg. Ing. Rodolfo Iván Barón
Ing. Pablo De Simone	Ing. Nora Perotti	Ing. Carlos Alzamendi
	Ing. Franco Chiodi	Ing. Alberto Nilo Butler
	Dr. Ing. Diego Cafaro	
	Ing. Adrián Tomkovich	

# Una metaheurística biobjetivo para el problema de secuenciación de trabajos repetitivos en una configuración productiva *flowshop heijunka*

Zalba, Valentina

[zalbavalentina@gmail.com](mailto:zalbavalentina@gmail.com)

Toncovich, Adrián Andrés

[atoncovi@uns.edu.ar](mailto:atoncovi@uns.edu.ar)

Universidad Nacional del Sur, Departamento de Ingeniería (Argentina)

Fecha de recepción: 01/10/2022<sup>1</sup>

Fecha de aprobación RIII: 19/07/2023

## RESUMEN

En este trabajo se abordó el problema de secuenciación en un ambiente *flowshop*, teniendo en cuenta demandas no unitarias para los trabajos, buscando minimizar el tiempo total de finalización de todos los trabajos ( $C_{máx}$ ) a la vez que se persigue mantener una mezcla de producción adecuada a lo largo de la secuencia. Se propuso un procedimiento para resolver el problema: una metaheurística biobjetivo basada en recocido simulado y búsqueda tabú. El algoritmo biobjetivo propuesto generó un conjunto de soluciones que representa una aproximación a la frontera óptima de Pareto. Se desarrolló un trabajo experimental para evaluar el rendimiento de la técnica utilizada, recurriendo para esto al conjunto de instancias correspondientes a un problema de escala industrial, obteniéndose un desempeño preliminar satisfactorio tanto en cuanto a la calidad de los conjuntos de soluciones obtenidos, así como al esfuerzo computacional requerido. A través del enfoque de solución adoptado, aplicado al caso de estudio analizado, se pueden seleccionar secuencias que representen un compromiso adecuado entre los tiempos de suministro de producción y el establecimiento de un flujo uniforme de trabajo en la instalación.

**Palabras Claves:** secuenciación; *flowshop*; *heijunka*; metaheurísticas; *recocido simulado*; búsqueda tabú; optimización de Pareto

---

<sup>1</sup> **Artículo Premiado** en el XV COINI 2022

**A bi-objective metaheuristic for the problem of sequencing repetitive jobs in a *flowshop heijunka* production setting**

**ABSTRACT**

In this paper, a sequencing problem in a *flowshop* environment was studied, taking into account non-unitary demands for jobs, seeking to minimize the total completion time of all jobs ( $C_{m\acute{a}x}$ ) while maintaining an adequate production mix throughout the sequence. A procedure to solve the problem was proposed: a bi-objective metaheuristic based on simulated annealing and tabu search. The proposed bi-objective algorithm generated a set of solutions that represents an approximation to the Pareto optimal frontier. An experimental work was developed to evaluate the performance of the technique used, resorting to the set of instances corresponding to a problem of industrial scale, obtaining a satisfactory preliminary performance both in terms of the quality of the sets of solutions obtained, as well as the computational effort required. Through the adopted solution approach, applied to the analyzed case of study, sequences that represent an adequate compromise between production lead times and the establishment of a uniform work flow in the facility can be selected.

**Keywords:** sequencing; *flowshop*; *heijunka*; metaheuristics; simulated annealing; tabu search; Pareto optimization.

**Uma metaheurística bi-objetivo para o problema de sequenciando trabalhos repetitivos em uma configuração produtiva *flowshop heijunka***

**RESUMO**

Neste trabalho, o problema de sequenciamento foi abordado em ambiente *flowshop*, considerando demandas não unitárias dos trabalhos, buscando minimizar o tempo total de conclusão de todos dos trabalhos ( $C_{max}$ ) mantendo um mix de produção adequado ao longo da sequência. Um procedimento para resolver o problema foi proposto: uma metaheurística bi-objetivo baseada em recozimento simulado e busca tabu. O algoritmo bi-objetivo proposto gerou um conjunto de soluções que representa uma aproximação da fronteira ótima de Pareto. Foi desenvolvido um trabalho experimental para avaliar o desempenho da técnica utilizada, utilizando para isso o conjunto de instâncias correspondente a um problema de escala industrial, obtendo-se um desempenho preliminar satisfatório tanto em termos da qualidade dos conjuntos de soluções obtidos, quanto do esforço computacional necessário. Através da abordagem de solução adotada, aplicada ao estudo de caso analisado, podem ser selecionadas sequências que representem um compromisso adequado entre os tempos de abastecimento da produção e o estabelecimento de um fluxo uniforme de trabalho na instalação.

**Palavras chave** sequenciamento; *flowshop*; *heijunka*; metaheurísticas; recozimento simulado; busca tabu; otimização de Pareto.



## 1. INTRODUCCIÓN

El ambiente crecientemente competitivo en el que desenvuelven actualmente sus actividades las empresas industriales requiere el permanente desarrollo de técnicas y procedimientos innovadores que contribuyan positivamente en el proceso de toma de decisiones. Estas herramientas deben estar diseñadas de forma adecuada para proporcionar soluciones que resulten altamente competitivas y de calidad y que puedan obtenerse, igualmente, en tiempos reducidos. La generación de programas de operaciones en instalaciones de manufactura constituye uno de los problemas que frecuentemente debe plantearse mediante estos métodos. En entornos reales, la factibilidad de alcanzar soluciones óptimas se encuentra restringida, en gran parte, por la alta complejidad computacional que caracteriza a estos problemas (Blazewicz, Ecker, Pesch, Schmidt y Weglarz, 2007; Pinedo, 2016). Es por ello que resulta necesario, dados los inconvenientes que plantea la obtención de programas óptimos, disponer de estrategias apropiadas que faciliten la resolución de los problemas implicados, invirtiendo un esfuerzo de cómputo razonable, proporcionando soluciones competentes, que tengan en cuenta las consecuencias significativas de la programación de operaciones sobre la rentabilidad de las instalaciones productivas (Blazewicz, Ecker, Pesch, Schmidt y Weglarz, 2007; Pinedo, 2016; Framiñán, Leisten y García, 2014).

Las materias primas y diversos componentes experimentan diversas transformaciones que los convierten en productos finales a través de las diferentes operaciones que conforman los procesos de fabricación. En términos generales, cualquier problema de programación de operaciones se podría modelar empleando un enfoque de programación matemática (Baker y Trietsch, 2019). En este trabajo se aborda específicamente el problema de secuenciación de trabajos repetitivos en un entorno *flowshop* permutativo *just-in-time*. Este problema consiste en encontrar la mejor secuencia de producción para un conjunto de trabajos repetitivos (no unitarios) que se deben procesar en una línea de fabricación/montaje constituida por una serie de máquinas/equipos, respetando que todos los trabajos sigan la misma secuencia de trabajo a través de las máquinas de la línea y que todas las máquinas procesen los trabajos empleando la misma secuencia, en el marco de los requerimientos establecidos para el funcionamiento de los sistemas *just-in-time* que plantean, entre otros aspectos, la nivelación de la producción (*heijunka*) en función de la demanda sobre intervalos cortos de tiempo (Monden, 2011).

El objetivo de este trabajo consiste, entonces, en presentar un procedimiento general eficiente para generar secuencias de buena calidad en sistemas productivos del tipo *flowshop* bajo un entorno *just-in-time*. Las métricas de eficiencia a las que se recurre para determinar la calidad de las secuencias están dadas por el *makespan* ( $C_{máx}$ ) y una medida que tiene en cuenta el nivelado de la producción. El *makespan* constituye una de las métricas de rendimiento más empleada con el fin de evaluar la calidad de las soluciones en problemas de secuenciación y se puede definir como el tiempo total de fabricación requerido para terminar de producir todos los trabajos emitidos o próximos a emitirse en la instalación dentro de un horizonte de planificación dado (Baker y Trietsch, 2019). Por otra parte, en este trabajo, el objetivo asociado con el nivelado de la producción se expresa a través de la minimización del valor de la desviación *heijunka* ( $DH$ ), que representa la cantidad de veces que no se respeta en la secuencia considerada la mezcla de producción requerida para cada tipo de producto/trabajo que se produce en la línea.

A lo largo de los años, la resolución de problemas de secuenciación se ha planteado a través de diversos enfoques, tanto aproximaciones exactas como heurísticas se han aplicado para diseñar algoritmos adaptados a distintas configuraciones productivas (Gmys, Mezmaz, Melab y Tuytens, 2020). Los procedimientos metaheurísticos se destacan entre los enfoques aproximados por proporcionar un adecuado balance entre la calidad de las soluciones que entregan y el esfuerzo computacional requerido para generarlas, por lo cual han generado una significativa aceptación. Particularmente, la metodología

empleada para abordar problema en cuestión está basada en una estrategia metaheurística que puede caracterizarse como una versión multiobjetivo de la metaheurística recocido simulado que incluye además elementos propios de la metaheurística búsqueda tabú.

Además, en este trabajo se introduce una formulación de programación matemática para problema de secuenciación que, debido a su naturaleza fuertemente combinatoria, como se expresó antes se resuelve mediante una metodología de solución adecuada. Este enfoque metaheurístico genera un conjunto de soluciones que permite aproximarse al frente o frontera óptima de Pareto (Landa y Burke, 2002). Se desarrolla un trabajo experimental para evaluar el rendimiento de la técnica propuesta utilizando problemas de tamaño reducido en una primera etapa y posteriormente recurriendo al conjunto de instancias Nissan-9Eng.I (Bautista-Valhondo, 2021a).

El trabajo está organizado de acuerdo con la estructura que se consigna seguidamente. En la Sección 2 se describe el problema de secuenciación *just-in-time* y la formulación de programación matemática biobjetivo correspondiente. Luego, en la Sección 3 se presentan los conceptos relevantes relacionados con la metodología de solución propuesta para resolver el problema, basada parcialmente en contribuciones previas del segundo autor (Toncovich, 2019; Toncovich, Oliveros Colay y Moreno-Jiménez, 2008; Rossit, Toncovich, Rossit y Nesmachnow, 2021; Rossit, Toncovich, Rossit y Nesmachnow, 2021). En la Sección 4 se realizan algunas consideraciones con respecto a la implementación realizada y los resultados preliminares encontrados. Por último, la Sección 5 expone las conclusiones del trabajo y las líneas de investigación futuras.

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

La metodología *just-in-time* (JIT) plantea como objetivo general, que sirve de guía en su aplicación, la fabricación de artículos de calidad superior, a lo largo de un proceso productivo que recurra al mínimo inventario posible y elimine cualquier tipo de desperdicio o gasto innecesario, con el fin de atender las necesidades de los clientes precisamente cuando se plantean, exactamente en las cantidades requeridas (Monden, 2011). La reducción de los tiempos de suministro de fabricación, el incremento del “ancho de banda”, la mejora de la calidad a través de la aplicación de los principios de la mejora continua y la disminución de costos, por medio de la implementación de un sistema logístico de “arrastre” o sistema “*pull*”, son los resultados esperados de la implementación de la estrategia básica asociada con la metodología de producción JIT.

Las técnicas de producción JIT constituyen un conjunto de procedimientos tecnológicos y de gestión que se implementan con el fin de alcanzar los resultados indicados antes, para obtener un flujo de materiales que posea una adecuada flexibilidad y vea facilitado su ajuste a las fluctuaciones de la demanda, buscando, al mismo tiempo, minimizar el volumen del desperdicio generado durante el proceso de manufactura (Marín y Delgado, 2000). Un efecto significativo sobre la generación de las secuencias de producción viene determinado por la técnica JIT denominada nivelado de la producción o *heijunka*. El nivelado de la producción implica la definición de cantidades diarias de producción que no sufran variaciones significativas. Dichas cantidades establecen patrones de actividad que les dan a los responsables de los puestos de trabajo una perspectiva respecto de los requerimientos que se generarán en el corto plazo, no constituyen necesariamente las cantidades estrictas que se deberán producir. Las cantidades determinadas por el nivelado de la producción permiten estimar, de forma aproximada, los recursos requeridos para producir, a partir de lo cual se puede establecer una programación definitiva.

La obtención de una gran diversidad diaria de lotes de tamaño reducido, que se contrapone a la producción de series largas de un artículo único, representa el resultado que se espera alcanzar

mediante un programa de producción nivelado. Las eventuales variaciones de la demanda podrán absorberse de forma más efectiva mediante un plan que posea dichas características.

Con el fin de determinar secuencias niveladas en líneas de producción dedicadas a la fabricación tipos o modelos de artículos heterogéneos uno de los criterios aplicados usualmente viene dado por la estabilidad de la tasa de consumo de materiales o componentes (Sumichrast y Rusell, 1990; Bautista-Valhondo, 2021b; Zhou y Peng, 2017).

Refiriéndonos concretamente a este trabajo, con el fin de tener en cuenta los requerimientos concernientes a la nivelación de la producción, característicos de los sistemas JIT, que a su vez facilitan la implementación de estrategias de personalización masiva, características de los entornos Industria 4.0, se plantea el objetivo de minimizar la desviación *heijunka* ( $DH$ ), calculada como la frecuencia con la que no se respeta la mezcla de producción requerida en la secuencia considerada (Bautista-Valhondo, 2021a). Por otra parte, se adiciona como medida de desempeño de las secuencias la minimización del *makespan* ( $C_{m\acute{a}x}$ ), calculado como el valor máximo entre los tiempos de terminación de todos los trabajos, para considerar los criterios de eficiencia y utilización de los recursos productivos.

Las hipótesis fundamentales adoptadas para la modelación del problema se introducen seguidamente:

- La configuración del sistema productivo corresponde a la estructura de un *flowshop* permutativo. Las secuencias de trabajo pueden considerarse equivalente para todos los trabajos, debido a que necesariamente todos los productos/trabajos deben ser procesados en todas las máquinas siguiendo el mismo orden de procesamiento.
- El análisis se ha limitado al caso determinístico en el que se asumen conocidos el número de productos/trabajos que deben secuenciarse y sus respectivos tiempos de procesamiento.
- Cada trabajo puede procesarse a lo sumo en una única máquina en un instante de tiempo dado. Igualmente, cada máquina puede procesar un único trabajo por vez y todas las máquinas están disponibles en todo momento para procesar los trabajos cuando sea necesario. No existen prioridades de procesamiento entre los trabajos en cada máquina.
- El tiempo de traslado de los trabajos de una máquina a la siguiente se considera despreciable.
- No existen restricciones en cuanto al espacio de almacenamiento intermedio entre máquinas/estaciones de la línea de producción.
- El tiempo de preparación (*setup*) asociado al cambio de producto en una estación/máquina de la línea de producción es nulo o despreciable.

### Modelo matemático del problema

Esta sección describe formalmente el problema bajo análisis utilizando una formulación de programación matemática multicriterio, que puede resolverse utilizando un software de optimización general de programación entera mixta.

Los índices y parámetros del modelo se definen de la siguiente manera:

- $i$ : Índice asociado con el tipo de producto/trabajo;  $i = 1, \dots, I$ .  
 $j$ : Índice asociado con el producto/trabajo;  $j = 1, \dots, N$ .

- $k$ : Etapa dentro de la secuencia de fabricación de  $D$  productos/trabajos;  $k = 1, \dots, D$ .  
 $l$ : Índice asociado con la máquina/estación de la línea de producción;  $l = 1, \dots, M$ .  
 $p_{jl}$ : Tiempo de procesamiento del producto/trabajo  $j$  en la máquina  $l$  ( $p_{jl} > 0$ ).  
 $d_i$ : Cantidad demandada del tipo de producto/trabajo  $i$ .  
 $D$ : Sumatoria de las cantidades demandadas de los distintos tipos de productos/trabajos.  
 $\lambda_i$ : Mezcla de producción (proporción) ideal del tipo de producto/trabajo  $i$ :  $\lambda_i = \frac{d_i}{D}$ .  
 $r_{ij}$ : Parámetro de valor  $\begin{cases} 1 & \text{si el producto/trabajo } j \text{ pertenece al tipo } i; \\ 0 & \text{en caso contrario.} \end{cases}$

Las variables de decisión del problema se describen a continuación:

- $X_{jk}$ : Variable binaria  $\begin{cases} 1 & \text{si el producto/trabajo } j \text{ se asigna en la posición } k \text{ de la secuencia;} \\ 0 & \text{en cualquier otro caso.} \end{cases}$   
 $P_{kl}$ : Tiempo de procesamiento del producto/trabajo situado en la posición  $k$  de la secuencia en la máquina  $l$ .  
 $B_{kl}$ : Tiempo de inicio de operación del producto/trabajo situado en el lugar  $k$  de la secuencia en la máquina  $l$ .  
 $C_{kl}$ : Tiempo de finalización de la operación del producto/trabajo situado en la posición  $k$  de la secuencia en la máquina  $l$ .  
 $C_{\max}$ : *Makespan*, tiempo máximo de finalización del último producto/trabajo procesado en la última máquina.  
 $Y_{ik}$ : Cantidad de unidades del tipo de producto/trabajo  $i$  producidas hasta la etapa  $k$ .

Seguidamente se introduce el modelo de programación matemática para el problema:

$$\text{Minimizar } \{ f_1 = C_{\max}; f_2 = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^D \min(1; |Y_{ik} - [\lambda_i k]|) \times \min(1; |Y_{ik} - [\lambda_i k]|) \} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^N X_{jk} = 1 \quad k = 1, \dots, D \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^D X_{jk} = 1 \quad j = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$Y_{ik} = \sum_{j=1}^N \sum_{q=1}^k X_{jq} r_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, I \text{ y } k = 1, \dots, D \quad (4)$$

$$P_{kl} = \sum_{j=1}^N X_{jk} p_{jl} \quad k = 1, \dots, D \text{ y } l = 1, \dots, M \quad (5)$$

$$C_{kl} = B_{kl} + P_{kl} \quad k = 1, \dots, D \text{ y } l = 1, \dots, M \quad (6)$$

$$B_{kl} \geq C_{(k-1)l} \quad k = 2, \dots, D \text{ y } l = 1, \dots, M \quad (7)$$

$$B_{kl} \geq C_{k(l-1)} \quad l = 2, \dots, M, k = 1, \dots, D \quad (8)$$

$$C_{\max} \geq C_{kM} \quad k = 1, \dots, D \quad (9)$$

$$B_{k1} \geq 0 \quad k = 1, \dots, N \quad (10)$$

$$X_{jk} \in \{0,1\} \quad j = 1, \dots, N \text{ y } k = 1, \dots, D \quad (11)$$



La Ecuación (1) introduce los objetivos del problema: minimización del *makespan* ( $C_{m\acute{a}x}$ ) y de la desviación *heijunka* ( $DH$ ). Las Ecuaciones (2) y (3) exigen, por un lado, que, en toda máquina, solamente un producto/trabajo sea asignado a cada posición de la secuencia, y, por el otro, que una única posición de la secuencia sea asignada a cada producto/trabajo en toda máquina. La Ecuación (4) determina la cantidad de unidades del producto/trabajo tipo  $i$  secuenciados hasta la posición  $k$  de la secuencia.

La Ecuación (5) determina el tiempo de procesamiento del producto/trabajo situado en la posición  $k$  de la secuencia en la máquina  $l$ . La Ecuación (6) define el tiempo de terminación de la operación del trabajo/producto asignado a la posición  $k$  de la secuencia en la máquina  $l$ . Por otro lado, el inicio de la operación del trabajo/producto asignado a la posición  $k$  de la secuencia en la máquina  $l$  debe ser mayor o igual que el tiempo de terminación de la operación previa en la misma máquina (Ecuación (7)). La Ecuación (8) requiere que el comienzo de la operación del producto/trabajo situado en la posición  $k$  de la secuencia en la máquina  $l$  sea mayor o igual que el tiempo de terminación de la operación previa del mismo producto/trabajo. Por su parte, la Ecuación (9) define el *makespan* como el tiempo máximo de finalización de todos los trabajos. La Ecuación (10) restringe el comienzo de la primera operación del producto/trabajo  $j$ . La Ecuación (11) define las variables binarias del modelo.

### 3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

En esta sección, primeramente, se introducen algunos conceptos vinculados con los procesos de toma de decisiones multicriterio y la optimización multiobjetivo que resultan relevantes para la definición de una metodología de solución para el problema considerado. Seguido de esto, se explica el procedimiento basado en el recocido simulado que se propone para abordar el problema de secuenciación biobjetivo planteado en la sección anterior.

#### **Toma de decisiones multicriterio y optimización multiobjetivo**

En los problemas de optimización combinatoria se trata de determinar la configuración óptima de un conjunto de elementos discretos persiguiendo se verifiquen ciertas condiciones y restricciones determinadas. Además, en el caso de que el problema sea multiobjetivo, se tiene más de un criterio para valorar la calidad de una dada configuración (solución), por lo cual se asigna un objetivo (minimización o maximización) a cada uno de estos criterios (Korte y Vygen, 2018).

La forma en que se combinan los procesos de búsqueda y de toma de decisiones constituye la primera determinación que debe efectuarse en relación con un problema de optimización multiobjetivo. Esto puede concretarse de acuerdo con una de las siguientes alternativas (Ehrgott y Gandibleux, 2002):

- Tomar decisiones (establecer prioridades) y buscar después (estrategia a priori): el usuario determina prioridades para cada uno de los objetivos y, luego, se desarrolla la búsqueda de una o varias soluciones que consideren estas prioridades.
- Buscar y luego tomar decisiones (estrategia a posteriori o generadora): en primera instancia, se genera un conjunto de soluciones y posteriormente el usuario debe elegir la más conveniente.
- Proceso interactivo de búsqueda y toma de decisiones: el usuario participa a lo largo del proceso de búsqueda con la finalidad de orientarlo hacia soluciones que resulten competentes, efectuando un ajuste de prioridades durante su ejecución.

El modo en el que se evalúa la calidad de las soluciones representa otra decisión relevante en la optimización multiobjetivo. Se dispone de distintas alternativas:

- Combinación de los objetivos: se convierte el problema multiobjetivo en un problema de un objetivo único integrando los distintos criterios en un valor escalar único.
- Alternancia de los objetivos: se plantea la optimización de un criterio por vez imponiendo condiciones en los valores de los restantes. En esta situación, con frecuencia, resulta difícil establecer el orden según el cual debe optimizarse cada criterio.
- Evaluación basada en el principio de Pareto: un vector que incorpora los valores de todos los objetivos define la aptitud de la solución, y se hace uso del concepto de dominancia para fijar las prioridades entre las distintas soluciones.

El concepto de dominancia puede explicitarse de la siguiente manera: sean  $A = (a_1, a_2, \dots, a_p)$  y  $B = (b_1, b_2, \dots, b_p)$  dos vectores que contienen los valores de los objetivos para dos soluciones de un problema de minimización P-objetivo, se dice que:

- $A$  domina estrictamente a  $B$  si  $a_p < b_p$ , para  $p = 1, 2, \dots, P$ .
- $A$  domina ampliamente a  $B$  si  $a_p \leq b_p$ , para  $p = 1, 2, \dots, P$  y  $a_p < b_p$ , para al menos un  $p$ .
- $A$  y  $B$  no son comparables si  $A$  no domina (estricta o ampliamente) a  $B$ , ni  $B$  domina (estricta o ampliamente) a  $A$ .

### **Optimización de Pareto**

El conjunto de todas las soluciones no dominadas que existen en el espacio de búsqueda multiobjetivo constituye la frontera o frente óptimo de Pareto. Si se formula un procedimiento de búsqueda con el fin de conseguir un conjunto de soluciones no dominadas, las soluciones halladas deben representar una aproximación eficiente a la frontera óptima de Pareto o conjunto de soluciones eficientes del problema.

La optimización de Pareto comprende todas las metodologías que se pueden emplear para obtener la frontera óptima de Pareto o un conjunto de soluciones que proporcione una aproximación válida a dicha frontera. La mayor parte de los problemas de optimización multiobjetivo no poseen algo que pueda distinguirse como el óptimo global o la mejor solución y a menudo presenta dificultades el hecho de definir prioridades para los criterios antes de comenzar la búsqueda, estas características hacen que la optimización de Pareto resulte un enfoque atractivo para resolver este tipo de problemas. Una condición que debe cumplirse para que un problema tenga características que lo definan como multiobjetivo es que los criterios se encuentren en conflicto.

Un elemento importante en la optimización de Pareto está representado por la evaluación de la calidad de la frontera obtenida. Esto da lugar un problema multicriterio en sí mismo debido a que pueden tenerse en cuenta distintos criterios para determinar la bondad de la frontera generada: el número de soluciones no dominadas, la cercanía entre la frontera obtenida y la frontera óptima de Pareto (si esta es conocida), la cobertura de la frontera (extensión y distribución de las soluciones) y el hipervolumen, entre otros (Knowles y Corne, 2002).

Los problemas multiobjetivo de optimización combinatoria y, como caso particular, los de secuenciación presentan dificultades en su resolución debido a que el tamaño del espacio de búsqueda crece exponencialmente al aumentar el tamaño de problema, llevando a que la aplicación de algoritmos exactos se vuelva imposible. Con frecuencia, a fin de obtener soluciones subóptimas en tiempos razonables, en estos casos se aplican métodos aproximados: heurísticas y metaheurísticas. Además, no se suele disponer de una definición teórica completa del espacio de soluciones y, por consiguiente, no se tiene un entendimiento certero acerca de la localización y morfología de la frontera óptima de Pareto.

### Procedimiento metaheurístico basado en el recocido simulado

En esta subsección se describe el algoritmo basado en el recocido simulado al que se recurre para resolver el problema planteado anteriormente.

El Recocido Simulado representa un método basado en búsqueda local que fue desarrollado a partir de una analogía con el fenómeno del recocido (Du y Swamy, 2016) para resolver problemas complejos de optimización. Los métodos de búsqueda local buscan en el entorno de la solución actual aquella solución con el mejor valor del criterio elegido, se mueven hasta él, y repiten la operación hasta que no resulte posible mejorar la solución en el entorno examinado. Al aplicar sistemáticamente este procedimiento se obtiene, en general, un óptimo local para el problema. Para no arribar a óptimos locales se debe incorporar un mecanismo diversificador que permita, potencialmente, explorar todo el espacio de soluciones. En el caso del recocido simulado la estrategia globalizadora permite, con cierta probabilidad, movimientos hacia soluciones que empeoran el valor actual del objetivo.

El procedimiento desarrollado tiene la estructura de un procedimiento de recocido simulado con archivo de soluciones de Pareto, *PASA*, *Pareto Archived Simulated Annealing* (Engrand y Mournay, 1998), que incorpora también los elementos propios de un algoritmo de recocido simulado multiobjetivo, *MOSA*, *MultiObjective Simulated Annealing* (Ulugu, Teghem, Fortemps y Tuyttens, 1999).

El método *PASA*, propuesto en (Engrand y Mournay, 1998), emplea una función de agregación de las funciones objetivo, junto con un sistema de archivo/registro de soluciones no dominadas. Suponiendo que las funciones objetivo que deben minimizarse,  $f_p$ ,  $p = 1, 2, \dots, P$ , son todas positivas, el problema puede convertirse en un problema de minimización monobjetivo a través de la siguiente función de agregación:  $G(S) = \sum_{p=1}^P \ln(f_p(S))$ . Así, la siguiente expresión:

$$\Delta G = G(S_c) - G(S_a) = \sum_{p=1}^P \ln\left(\frac{f_p(S_c)}{f_p(S_a)}\right) \quad (12)$$

representa la variación relativa media de las funciones objetivo entre la solución actual y la solución candidata. Si  $\Delta G > 0$ , la  $S_c$  deteriora la media relativa del conjunto de funciones objetivo. Si  $\Delta G < 0$ , la  $S_c$  mejora la media relativa del conjunto de funciones objetivo. En el primer caso la solución  $S_c$  se acepta con una probabilidad dada por  $PA = e^{-\Delta G/T}$ , donde  $T$  es el parámetro de control que simula el papel de la temperatura en el proceso físico del recocido. El método lleva un archivo de soluciones no dominadas que se gestiona de la siguiente forma:

- Si  $S_c$  está dominada por al menos una de las soluciones del archivo, no se agrega al conjunto.
- Si  $S_c$  domina a una o más soluciones del archivo,  $S_c$  se agrega reemplazando a las soluciones dominadas por ella.

- Si  $S_c$  no domina, ni está dominada por las soluciones del archivo,  $S_c$  se agrega sin reemplazar soluciones.

Para que durante el proceso de búsqueda se consiga una aproximación a la totalidad de la frontera eficiente, resulta necesario reiniciar la búsqueda regularmente a partir de una de las soluciones archivadas seleccionada al azar. PASA incorpora los parámetros clásicos del recocido simulado:

- $T$ : Parámetro de control (temperatura), valor real positivo que varía de un valor inicial,  $T_0$ , mayor a otro final,  $T_f$ , menor durante la ejecución del algoritmo.
- $N_{salt}$ : Número de iteraciones realizadas por el algoritmo para un cierto valor de  $T$ .
- $\alpha$ : Función en  $T$ ,  $\alpha = \alpha(T)$ , que determina la variación de  $T$ . En general:  $\alpha(T) = \alpha T$ , en la práctica se adopta:  $\alpha \in [0,8; 0,99]$ .
- $N_{fin}$ : Máximo número de iteraciones sin mejora.

Para resolver el problema, se aplica el procedimiento que sigue para encontrar un conjunto de soluciones potencialmente eficientes:

i. Inicio

- Se aplica un procedimiento constructivo para generar una solución inicial,  $S_0$ .
- Se evalúa  $f_p(S_0), \forall p$ .
- Se incorpora  $S_0$  al conjunto de soluciones eficientes:  $CE = \{S_0\}, N_{cont} = t = 0, T = T_0$ .

ii. Iteración  $t$

- Se genera de forma aleatoria una solución en el entorno de  $S_a, S_c \in V(S_a)$ .
- Se evalúa  $f_p(S_c), \forall p$ .
- Se calcula  $\Delta G$  aplicando la Ecuación (12).

Si  $\Delta G \leq 0$ , se acepta la nueva solución:  $S_a \leftarrow S_c, N_{cont} = 0$ .

En otro caso, se acepta  $S_c$  con una probabilidad  $PA = e^{-\Delta G/T}$ . Se genera un número aleatorio uniformemente distribuido en el intervalo  $[0;1]$ :

$$S_a \begin{cases} \leftarrow S_c, N_{cont} = 0, \text{ si } \varepsilon \leq PA, \\ \leftarrow S_a, N_{cont} = N_{cont} + 1, \text{ si } \varepsilon > PA. \end{cases}$$

- Si corresponde, se actualiza  $CE$  teniendo en cuenta a  $S_c$  aplicando el criterio de dominancia antes mencionado.
- $t \leftarrow t + 1$ : Si  $t$  es múltiplo de  $N_{salt}$ ,  $T = \alpha T$ , en caso contrario se mantiene el valor de  $T$ . Si  $N_{cont} = N_{fin}$  o  $T < T_f$ , se detiene la ejecución, en caso contrario se prosigue.
- Se reporta el conjunto de soluciones eficientes  $CE$  encontrado durante el proceso de búsqueda.



#### 4. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS EXPERIMENTALES PRELIMINARES

El procedimiento metaheurístico propuesto, adaptado al problema bajo estudio, fue programado bajo el entorno *MS Visual Basic for Applications*® (versión 7.1) de MS Excel® y fue ejecutado en un equipo con procesadores Intel(R) Xeon(R) Silver 4214 @ 2,2 GHz 2,19 GHz (2 procesadores), 32,0 GB de memoria RAM y un sistema operativo Windows® 10 Pro.

Con el fin de estudiar el comportamiento del procedimiento metaheurístico propuesto, inicialmente se realizaron algunos experimentos preliminares sobre problemas de tamaño reducido generados de forma aleatoria para depurar el algoritmo metaheurístico y comparar su desempeño con respecto a las soluciones exactas obtenidas a través de un proceso enumerativo. Posteriormente, con el fin de evaluar el rendimiento del procedimiento para problemas de tamaño real de la industria se recurrió al conjunto de instancias Nissan-9Eng.I (Bautista-Valhondo, 2021a). Para este conjunto de problemas, los resultados proporcionados por el procedimiento metaheurístico se compararon entre sí tomando como referencia la aproximación a la frontera de Pareto obtenida a partir de doce corridas/réplicas del algoritmo, dado que los tiempos de cálculo y requerimientos de memoria necesarios para obtener los conjuntos óptimos de Pareto resultan excesivamente elevados para estas instancias de mayor tamaño. El desempeño se evaluó en relación con las propiedades de las fronteras generadas en cada corrida: el número de soluciones generadas, su variabilidad, su convergencia, el hipervolumen y el esfuerzo computacional requerido en función de los parámetros de interés que definen los distintos problemas.

Puede decirse que el procedimiento propuesto pudo generar para todos los problemas de tamaño reducido las fronteras óptimas de Pareto. En el caso del conjunto de instancias Nissan-9Eng.I se pudo apreciar que el algoritmo propuesto proporciona fronteras aproximadas que tienen un desempeño razonable en cuanto a cobertura, densidad, convergencia, estabilidad y esfuerzo computacional, en estos problemas de escala industrial, expresada en términos del número de pedidos/trabajos que se deben secuenciar y el número de máquinas/estaciones de trabajo que conforman la línea de producción.

Además, cabe consignar que en el transcurso del trabajo experimental se encontraron ciertas dificultades a la hora de determinar los parámetros de resolución del algoritmo para conseguir un mejor desempeño para algunos de los problemas resueltos. Por esta razón, se considera que las contribuciones futuras en esta línea de trabajo deberían explorar alternativas que permitan obtener una definición y ajuste automatizados de los parámetros de resolución del procedimiento metaheurístico biobjetivo.

En las Tablas 1 y 2 se presenta la información relacionada con cada uno de los casos resueltos, seguido por la Tabla 3 que expone los resultados obtenidos. En particular, en la Tabla 2 se especifican los 23 planes de demanda considerados ( $\varepsilon \in E$ , donde  $E$  es el conjunto de índices asociado con los planes de demanda) en el sistema de producción de la empresa que opera una línea de ensamble que fabrica nueve tipos de motores que se encuentran agrupados a su vez en tres familias de producto: *SUV*, *Vans* y *Trucks*, los tres primeros tipos de motores corresponden a la familia *SUV*, los dos siguientes a la familia *Vans* y los cuatro últimos a la familia *Trucks*.

Por otro lado, la Figura 1 muestra los conjuntos de soluciones eficientes obtenidos para el problema asociado con el plan de demanda N° 19. La serie que representa los puntos de datos mediante circunferencias muestra todos los conjuntos de soluciones obtenidos a partir de las doce corridas del algoritmo, mientras que la serie que muestra los puntos de datos mediante cuadrados llenos con una cruz interna muestra la aproximación a la frontera óptima de Pareto del problema, que en este caso está constituida por cuatro secuencias, apreciándose la relación contrapuesta entre los objetivos analizados.

Tabla 1. *Tiempos de procesamiento en segundos para cada uno de los 9 tipos de productos/trabajos en las máquinas de las 21 estaciones de trabajo. Fuente: Bautista-Valhondo (2021a).*

<i>k/i</i>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>Promedio</b>
<b>1</b>	104	100	97	92	100	94	103	109	101	100,0
<b>2</b>	103	103	105	107	101	108	106	102	110	105,0
<b>3</b>	165	156	164	161	148	156	154	164	155	158,1
<b>4</b>	166	175	172	167	168	167	168	156	173	168,0
<b>5</b>	111	114	114	115	117	117	115	111	111	113,9
<b>6</b>	126	121	122	124	127	130	120	121	134	125,0
<b>7</b>	97	96	96	93	96	89	94	101	92	94,9
<b>8</b>	100	97	95	106	94	102	103	102	100	99,9
<b>9</b>	179	174	173	178	178	171	177	171	174	175,0
<b>10</b>	178	172	172	177	178	177	175	173	175	175,2
<b>11</b>	161	152	168	167	167	166	172	157	177	165,2
<b>12</b>	96	106	105	97	101	100	96	104	96	100,1
<b>13</b>	99	101	102	101	99	101	96	102	99	100,0
<b>14</b>	147	155	142	154	146	143	154	153	155	149,9
<b>15</b>	163	152	156	152	153	152	154	156	156	154,9
<b>16</b>	163	185	183	178	169	173	172	182	171	175,1
<b>17</b>	173	179	178	169	173	178	174	175	175	174,9
<b>18</b>	176	167	181	180	172	173	173	168	184	174,9
<b>19</b>	162	150	152	152	160	151	155	148	167	155,2
<b>20</b>	164	161	157	159	162	160	162	158	157	160,0
<b>21</b>	177	161	154	168	172	170	167	149	169	165,2

Tabla 2. *Demanda diaria según tipo de trabajo/producto *i* para cada plan de demanda/experimento ( $\epsilon \in E$ ). Fuente: Bautista-Valhondo (2021a).*

$\epsilon \in E$	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>SUV</b>	<b>Van</b>	<b>Truck</b>	<b>Total</b>
<b>1</b>	30	30	30	30	30	30	30	30	30	90	60	120	270
<b>2</b>	30	30	30	45	45	23	23	22	22	90	90	90	270
<b>3</b>	10	10	10	60	60	30	30	30	30	30	120	120	270
<b>4</b>	40	40	40	15	15	30	30	30	30	120	30	120	270
<b>5</b>	40	40	40	60	60	8	8	7	7	120	120	30	270
<b>6</b>	50	50	50	30	30	15	15	15	15	150	60	60	270
<b>7</b>	20	20	20	75	75	15	15	15	15	60	150	60	270
<b>8</b>	20	20	20	30	30	38	38	37	37	60	60	150	270
<b>9</b>	70	70	70	15	15	8	8	7	7	210	30	30	270
<b>10</b>	10	10	10	105	105	8	8	7	7	30	210	30	270
<b>11</b>	10	10	10	15	15	53	53	52	52	30	30	210	270
<b>12</b>	24	23	23	45	45	28	28	27	27	70	90	110	270
<b>13</b>	37	37	36	35	35	23	23	22	22	110	70	90	270
<b>14</b>	37	37	36	45	45	18	18	17	17	110	90	70	270
<b>15</b>	24	23	23	55	55	23	23	22	22	70	110	90	270
<b>16</b>	30	30	30	35	35	28	28	27	27	90	70	110	270
<b>17</b>	30	30	30	55	55	18	18	17	17	90	110	70	270
<b>18</b>	60	60	60	30	30	8	8	7	7	180	60	30	270
<b>19</b>	10	10	10	90	90	15	15	15	15	30	180	60	270
<b>20</b>	20	20	20	15	15	45	45	45	45	60	30	180	270
<b>21</b>	60	60	60	15	15	15	15	15	15	180	30	60	270
<b>22</b>	20	20	20	90	90	8	8	7	7	60	180	30	270
<b>23</b>	10	10	10	30	30	45	45	45	45	30	60	180	270

Tabla 3. Resultados obtenidos a partir de las 12 corridas realizadas para cada uno de los planes de demanda/experimentos.

Plan de demanda	N° promedio de soluciones generadas	Desv. est. del n° de soluciones	Cobertura promedio	Cobertura (%)	Hipervolumen promedio	Desv. est. del hipervolumen
1	7,50	2,91	0,92	8,33 %	12 3862,25	8868,70
2	6,75	3,02	0,83	9,26 %	9112,17	1909,22
3	2,75	0,75	0,67	33,33 %	75,75	8,85
4	4,25	2,26	0,31	10,26 %	25 581,83	3222,93
5	3,83	1,19	1,67	27,78 %	1063,58	454,56
6	2,17	0,94	0,25	25,00 %	538,42	85,22
7	4,33	0,65	0,67	16,67 %	402,67	108,78
8	5,58	1,44	0,58	8,33 %	2768,67	537,07
9	1,08	0,29	0,92	91,67 %	2,83	0,58
10	4,00	0,00	2,50	62,50 %	276,42	5,43
11	4,83	1,80	0,25	8,33 %	4469,92	539,71
12	5,33	1,30	0,50	10,00 %	2818,83	495,45
13	5,00	1,35	0,67	8,33 %	7401,92	958,09
14	5,92	3,09	0,42	8,33 %	4318,50	503,60
15	3,17	0,94	0,25	12,50 %	1854,92	402,99
16	6,92	2,75	0,92	9,17 %	16 491,25	1497,31
17	5,50	1,38	0,92	15,28 %	3454,25	320,10
18	2,42	0,67	0,08	8,33 %	620,50	54,68
19	4,33	0,65	1,92	47,92 %	352,33	31,15
20	4,67	1,15	0,25	8,33 %	9779,00	1042,75
21	1,83	1,85	0,75	75,00 %	8937,58	2516,13
22	4,25	0,75	1,67	41,67 %	3352,83	21,92
23	5,67	2,35	0,42	8,33 %	3591,58	486,26

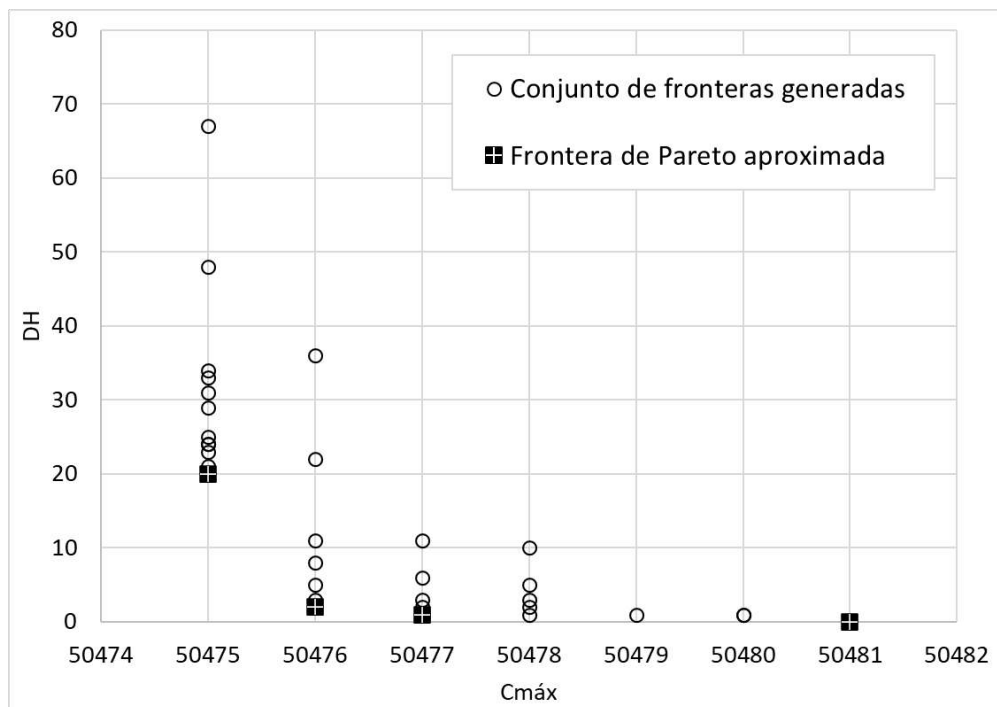


Figura 1 Fronteras de Pareto generadas para el plan de demanda N° 19 del conjunto de instancias Nissan-9Eng.I.

## 5. CONCLUSIONES

El problema de secuenciación *just-in-time* abordado en este trabajo se ha resuelto utilizando una aproximación metaheurística multiobjetivo basada en el recocido simulado, alcanzándose el objetivo de investigación planteado inicialmente. El uso de esta estrategia metaheurística ha demostrado ser pertinente a partir de la comparación de los resultados preliminares obtenidos con los proporcionados por una estrategia enumerativa que proporciona la solución exacta, para el caso de problemas de dimensiones reducidas. Para problemas de mayor tamaño correspondientes al conjunto de instancias del caso real de un sistema de producción de una empresa que opera una línea de ensamble de motores para la industria automotriz, el análisis preliminar de algunos resultados permite concluir que el método proporciona fronteras aproximadas con buenas propiedades, fundamentalmente en lo referente a la amplitud y distribución de las soluciones no dominadas obtenidas.

Para confirmar estos resultados resultaría necesario profundizar el estudio y diseño experimental con el fin de determinar las mejores configuraciones de parámetros para el algoritmo. Además, debería proponerse un método exacto o aproximado alternativo para contrastar los resultados, el cual podría estar basado en el método de las  $\epsilon$ -restricciones o el método de las  $\epsilon$ -restricciones aumentado u otras aproximaciones basadas en estrategias (meta)heurísticas. No obstante, se considera que dada la naturaleza combinatoria del problema abordado esto hará necesario generar conjuntos de problemas de menor tamaño que los del conjunto Nissan-9Eng.I que puedan resolverse en tiempos razonables usando estas estrategias.

La modelación del problema a través de un enfoque biobjetivo ha resultado satisfactoria para tener en cuenta las características del problema, ya que se tienen dos criterios de rendimiento que se encuentran en conflicto para evaluar las secuencias generadas. Por tal motivo resulta de interés ofrecer al decisor un conjunto de soluciones alternativas a partir de las cuales se pueda seleccionar la más adecuada en función de situación concreta que se esté experimentando, buscando alcanzar un compromiso adecuado entre el mejor aprovechamiento de las instalaciones y el flujo uniforme de trabajo y materiales en la planta.

La consideración del objetivo relacionado con la desviación *heijunka* se ha planteado a partir de la violación de las proporciones requeridas de la mezcla de producción de los distintos tipos de producto en la secuencia, pero podrían plantarse formulaciones alternativas que consideren la desviación máxima o total de dichas proporciones para tener en cuenta los efectos concretos que pueden resultar del incumplimiento de la mezcla de producto sobre las operaciones.

Las contribuciones adicionales en esta línea de investigación podrían estar orientadas en el desarrollo de procedimientos de autoajuste de los parámetros del algoritmo y en la aplicación de otras estrategias multicriterio, tales como la programación por metas, al problema analizado. Asimismo, podrían tenerse en cuenta otras restricciones y objetivos de interés existentes en los entornos de fabricación reales y estrategias de solución que permitan incluir la incertidumbre en el análisis.

## 6. REFERENCIAS

Baker, K.R. y Trietsch, D. (2019). *Principles of Sequencing and Scheduling*, Segunda Edición. Editorial Wiley. Hoboken, EE.UU.



- Bautista-Valhondo, J. (2021a). Exact and heuristic procedures for the Heijunka-flow shop scheduling problem with minimum *makespan* and job replicas. *Progress in Artificial Intelligence*, 10(4), 465-488. <https://doi.org/10.1007/s13748-021-00249-z>
- Bautista-Valhondo, J. (2021b). Heijunka-inspired planning and sequencing methods in the apportionment problem in electoral systems [Métodos de planificación y secuenciación Heijunka inspirados en el problema del Reparto en Sistemas electorales]. *Dirección y Organización*, (73), 18-38. <https://doi.org/10.37610/DYO.V0I73.590>
- Blazewicz, J., Ecker, K.H., Pesch, E., Schmidt, G. y Weglarz, J. (2007). *Handbook on scheduling: from theory to applications*. Editorial Springer. Berlin Heidelberg.
- Du, K.-L. y Swamy, M.N.S. (2016). *Search and optimization by metaheuristics: Techniques and algorithms inspired by nature*. Editorial Springer International. Suiza. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41192-7>
- Ehrgott, M. y Gandibleux, X. (2002). *Multiple criteria optimization: state of the art annotated bibliographic surveys*. Editorial Kluwer. Dordrecht, Países Bajos.
- Engrand, P. y Mournay, X. (1998). *Une méthode originale d'optimisation multiobjectif*. Reporte Técnico HT-14/97/035/A, EDF-DER.
- Framiñán, J.M., Leisten, R. y García, R.R. (2014). *Manufacturing Scheduling systems*. Editorial Springer. Londres.
- Gmys, J., Mezmaç, M., Melab, N. y Tuyttens, D. (2020). A computationally efficient branch-and-bound algorithm for the permutation flow-shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 284(3), 814-833. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.01.039>
- Knowles, J. y Corne, D. (2002). On metrics for comparing nondominated sets. *Congress on Evolutionary Computation (CEC2002)*. Honolulu, Estados Unidos.
- Korte, B. y Vygen, J. (2018). *Combinatorial optimization: Theory and algorithms*, Sexta Edición. Editorial Springer. Berlín, Alemania.
- Landa, J. y Burke, E. (2002). A tutorial on multiobjective metaheuristics for scheduling and timetabling. *Actas del 1st Workshop on Multiobjective Metaheuristics*. París, Francia.
- Marín, F. y Delgado, J. (2000). Las técnicas justo a tiempo y su repercusión en los sistemas de producción. *Revista de Economía Industrial*, 1(331), 35-41.
- Monden, Y. (2011). *Toyota production system: an integrated approach to just-in-time*. Editorial Productivity Press. New York, EE. UU.
- Pinedo, M.L. (2016). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*, Quinta Edición. Editorial Springer Cham. Heidelberg New York Dordrecht London. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-26580-3>
- Rossit, D.A., Toncovich, A., Rossit, D.G. y Nesmachnow, S. (2021). Flow Shop Scheduling Problems in Industry 4.0 Production Environments: Missing Operation Case. *Handbook of Smart Materials, Technologies, and Devices: Applications of Industry 4.0*, 1-23. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58675-1\\_71-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58675-1_71-1)

Rossit, D.A., Toncovich, A., Rossit, D.G. y Nesmachnow, S. (2021). Solving a flow shop scheduling problem with missing operations in an Industry 4.0 production environment. *Journal of Project Management*, 6(1), 33-44. <https://doi.org/10.5267/j.jpm.2020.10.001>

Sumichrast, R. y Rusell, R. (1990). Evaluating mixed-model assembly line sequencing heuristics for JIT production systems. *Journal of Operations Management*, 9(3), 371-390. [https://doi.org/10.1016/0272-6963\(90\)90161-6](https://doi.org/10.1016/0272-6963(90)90161-6)

Toncovich, A. (2019): Un problema de secuenciación en un entorno de producción just-in-time resuelto mediante un procedimiento metaheurístico. *Actas del XII Congreso de Ingeniería Industrial (COINI 2019)*. Río Gallegos, Argentina.

Toncovich, A., Oliveros Colay, M.J. y Moreno-Jiménez, J.M. (2008). A mathematical programming model for a production scheduling problem in the furniture industry. *Actas de la 18th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM 2008)*. Skövde, Suecia.

Ulugu, E., Teghem, J., Fortemps, P. y Tuyttens, D. (1999). MOSA method: a tool for solving multiobjective combinatorial optimization problems. *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, 8(4), 221-236. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1360\(199907\)8:4<221::AID-MCDA247>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1360(199907)8:4<221::AID-MCDA247>3.0.CO;2-O)

Zhou, B.-H. y Peng, T. (2017). Optimal schedule of just-in-time part distribution for mixed-model assembly lines. *Jilin Daxue Xuebao (Gongxueban)/Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 47(4), 1253-1261. <https://doi.org/10.13229/j.cnki.jdxbgxb201704034>

# Aplicación de las herramientas de calidad al rendimiento académico. Caso de estudio: alumnos de ingeniería en la UTN-FRSC

**Arias-Montes, Juan Domingo**

[ariasmontes1973@gmail.com](mailto:ariasmontes1973@gmail.com)

*Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Santa Cruz (Argentina).*

Fecha de recepción RIII: 10/04/2023

Fecha de aprobación RIII: 19/07/2023

## **RESUMEN**

Las funciones evaluativas desempeñan un papel importante en la mejora de la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje. Aunque se conocen los determinantes en el rendimiento académico de la educación superior, se desconoce el impacto de los procesos evaluativos en dicha mejora. Utilizando las técnicas de control estadístico de procesos, buscamos monitorear y evaluar la capacidad del mismo. En particular, se analizó el desempeño de los estudiantes matriculados en la materia economía y economía general, para las carreras ingeniería industrial e ingeniería electromecánica, en la Facultad Regional Santa Cruz de la Universidad Tecnológica Nacional. Se utilizaron datos correspondientes al periodo 2020 y se hizo hincapié en la tasa de desaprobados. Observamos que la tasa de desaprobados ronda entre el 19 y 25%, respectivamente, para cada una de las cohortes analizadas, siendo dicho resultado representativo para el conjunto de datos. Este novedoso hallazgo sirve de base para trabajar sobre la cuantificación de los procesos de enseñanza- aprendizaje. Así, nuestros resultados destacan la importancia central de la ejecución en línea de los gráficos de control, para seguir la marcha del proceso y tomar las medidas correctivas necesarias para lograr mejores resultados en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

**Palabras Claves:** enseñanza en ingeniería; control estadístico de procesos; rendimiento académico; educación superior; distribución binomial

**Application of quality tools to academic performance. Case study: engineering students at UTN-FRSC**

**ABSTRACT**

The evaluative functions play an important role in improving the quality of the teaching-learning process. Although the determinants of academic performance in higher education are known, the impact of evaluation processes on said improvement is unknown. Using statistical process control techniques, we seek to monitor and evaluate its capacity. In particular, the performance of students enrolled in economics and general economics was analyzed, for industrial engineering and electromechanical engineering careers, at the Santa Cruz Regional Faculty of the National Technological University. Data corresponding to the 2020 period were used and emphasis was placed on the failure rate. We observe that the failure rate is between 19 and 25%, respectively, for each of the cohorts analyzed, this result being representative for the data set. This novel finding serves as the basis for working on the quantification of teaching-learning processes. Thus, our results highlight the central importance of online execution of control charts, to follow the progress of the process and take the necessary corrective measures to achieve better results in the teaching-learning processes.

**Keywords:** engineering education; statistical process control; academic performance; higher education; binomial distribution

**Aplicação de ferramentas da qualidade ao desempenho acadêmico. Estudo de caso: alunos de engenharia da UTN-FRSC**

**RESUMO**

As funções avaliativas desempenham um papel importante na melhoria da qualidade do processo de ensino-aprendizagem. Embora sejam conhecidos os determinantes do desempenho acadêmico no ensino superior, desconhece-se o impacto dos processos de avaliação nessa melhoria. Utilizando técnicas de controle estatístico de processos, buscamos monitorar e avaliar sua capacidade. Em particular, foi analisado o desempenho dos alunos matriculados em economia e economia geral, para as carreiras de engenharia industrial e engenharia eletromecânica, na Faculdade Regional de Santa Cruz da Universidade Tecnológica Nacional. Foram utilizados dados correspondentes ao período de 2020 e foi dada ênfase à taxa de insucesso. Observamos que a taxa de falha está em torno de 19 e 25%, respectivamente, para cada uma das coortes analisadas, sendo este resultado representativo para o conjunto de dados. Essa descoberta inédita serve de base para trabalhar a quantificação dos processos de ensino-aprendizagem. Assim, nossos resultados destacam a importância central da execução online dos gráficos de controle, para acompanhar o andamento do processo e tomar as medidas corretivas necessárias para alcançar melhores resultados nos processos de ensino-aprendizagem.

**Palavras chave:** educação em engenharia; controle estatístico de processos; desempenho acadêmico; ensino superior; distribuição binomial

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio para cuantificar los procesos de evaluación desempeña un papel crucial en el mejoramiento de la calidad educativa universitaria. Este es un tema de interés desde hace más de medio siglo, donde se puso el eje en el rol del estudiante (Coleman, Campbell, Hobson, McPartland, Mood, Weinfeld y York, 1966). Una cantidad importante de investigaciones se ocupa de este ámbito. Las mismas recorren la definición de los determinantes del rendimiento en un sentido estricto a uno más amplio (González, 2020). Gran parte de la investigación previa sobre los procesos de evaluación se ha centrado en primer lugar en: el rol del estudiante y su entorno económico, en segundo lugar, la función del contenido programático, junto con la responsabilidad compartida (alumno-profesor) y sus intentos de cuantificar el desempeño docente (Arias-Montes, 2023), y por último los procesos y funciones de la evaluación (Chipia & Santiago, 2020).

En los últimos años ha aumentado el interés por explorar métodos cuantitativos para monitorear las evaluaciones, principalmente porque existe una mayor tasa de deserción en cursos virtuales cuando se comparan con los presenciales (Gonzales López & Evaristo Chiyong, 2021). A partir de los conocimientos adquiridos en estudios anteriores (Cattáneo, Aliverti, Ogean, De Luca, & Picco, 2022), se proponen varias estrategias nuevas para el mejoramiento de la calidad educativa haciendo hincapié en la cuantificación del proceso evaluativo de enseñanza - aprendizaje. El bajo rendimiento académico y la tasa de desaprobados (García, Gutiérrez & Rodríguez-Muñiz, 2016) se reconoce cada vez más como una seria preocupación, por parte de las autoridades educativas universitarias. Se trata de un problema fundamentalmente difícil ya que involucra un conjunto de variables referidas: al alumno (autonomía, predisposición a aprender), el rol del profesor, el contenido curricular de la materia, y las responsabilidades compartidas entre otras. Hay poca información publicada sobre el papel que juegan los procesos evaluativos en términos de su monitoreo junto con la evaluación de la capacidad del proceso enseñanza-aprendizaje. La investigación en estas áreas requiere incorporar metodologías cuantitativas que involucren herramientas de la calidad aplicadas al proceso de enseñanza- aprendizaje. Estos estudios garantizan una mejor comprensión de la problemática de la enseñanza centrada en el aprendizaje y las competencias.

El objetivo específico de este estudio fue monitorear y evaluar la tasa de desaprobados del curso economía y economía general durante el año 2020. Este proyecto pretende desarrollar un marco para investigar las funciones de las evaluaciones para la mejora en la calidad del proceso de aprendizaje en las carreras de ingeniería en la Facultad Regional Santa Cruz, de la Universidad Tecnológica Nacional. La primera parte se centró en la determinación de la aleatoriedad de los datos y la segunda fase consistió en monitoreo y la capacidad del proceso.

Para abordar el problema del rol de los procesos evaluativos, desarrollamos los procedimientos de mejoras en el control de la calidad, destacándose las gráficas de control para atributos con tamaño de subgrupo fijo (Besterfield, 2019) y sus objetivos: a) determinar la línea de tendencia central y b) llamar la atención ante los desvíos. Este estudio utilizó técnicas paramétricas y no paramétricas para determinar la aleatoriedad de los datos (Flores Tapia & Flores Cevallo, 2021) previamente a la aplicación de las gráficas de control y la evaluación de la capacidad del proceso.

Este estudio identificó la tasa de desaprobados y sus respectivos límites de control que surgen a partir de los datos, tanto para las cohortes de ingeniería industrial como de electromecánica. Asimismo, la proporción de alumnos desaprobados se considera estable con un 15% fuera de control en la cohorte industrial y solamente un 9% en electromecánica.

## 2. METODOLOGIA

Tanto las cartas de control como el análisis de la capacidad de procesos, se consideran técnicas de referencia actual, para monitorear y evaluar procesos. Se destaca que los métodos basados en control y mejora en la calidad de los procesos educativos proporcionan flexibilidad y una reducción de la variabilidad (Lara-Hernández, Melo-González, Herrera-Ruiz & Valdez-Gómez, 2011). Además, representan el desempeño de las variables intervinientes; en tanto se encuentren dentro de los límites específicos. Sin embargo, este método claramente no es válido para analizar las tendencias a largo plazo, principalmente por la necesidad de realizar pruebas de aleatoriedad previamente.

En nuestro análisis se incluyeron un total de 31 alumnos pertenecientes a la carrera de Industrial y 25 alumnos de Electromecánica, de la FRSC-UTN. A los participantes se les asignó una identificación única, que denominamos ID para garantizar el anonimato. Para la recogida de datos se utilizó una base de datos, extraída de Moodle, con los alumnos de cada cohorte para el período 2020. A cada uno se le asignó una categoría según el resultado final del curso. Aprobado para aquellos estudiantes con nota hasta 60 puntos, promoción a aquellos con nota mayor a 70 puntos, y desaprobado los que obtuvieron puntaje menor que 60.

Para la generación de la base de datos, se construyó un cuestionario con 17 preguntas, para la cohorte de industrial y 18 para la de electromecánica. Las temáticas, se reflejan en la Tabla 1.

*Tabla 1 Cuestionarios desagregados por temática*

<b>Cuestionario</b>	<b>Temática de las evaluaciones</b>
1	Introducción
2	Construcción de los modelos económicos
3	Conceptos Introdutorios
4	Teoría de elección del consumidor
5	Frontera de Posibilidades de Producción
6	Demanda Individual
7	Determinantes de la demanda
8	Teoría de Costos
9	Costos totales: Fijo, variable, medio y marginal
10	Elasticidad
11	Precios máximos y mínimos
12	Competencia Perfecta
13	Evaluación Primer Parcial
14	Monopolio
14	Oligopolio
16	Evaluación Segundo Parcial
17	Política económica
18	Evaluación Tercer Parcial

Los valores del porcentaje de desaprobados P, para ambas cohortes se han calculado utilizando, cartas de control para atributos e índices de capacidad de procesos. Las mediciones se realizaron a intervalos regulares, semanalmente, a través de la plataforma Moodle. Las pruebas fueron realizadas y analizadas por un solo operador (docente a cargo) para garantizar la uniformidad. Las técnicas aplicadas a la calidad no requieren ni utilizan ninguna suposición y solamente presentan como pre-requisito la aleatoriedad de los datos.

Para simplificar, este estudio no incluye los determinantes señalados por Bowles Bowles (1970), características personales, sociales y aquellas referidas a establecimiento educativo de origen. Todos los

cálculos computacionales se llevaron a cabo usando el software Minitab (2016). Los criterios de elegibilidad requerían que los alumnos, de cada cohorte, estén matriculados en cada una de las materias.

Se utilizaron tanto pruebas paramétricas como no paramétricas para comprobar la aleatoriedad de los datos. Entre las primeras desarrollamos, los gráficos de corridas y entre las segundas las pruebas de (mezcla, conglomerado, tendencia y oscilación). Fijando los niveles de significatividad en el 5%. Estas pruebas se utilizaron para determinar si existía aleatoriedad en los datos bajo estudio.

Luego trabajamos con los gráficos de control, para determinar los límites teóricos específicos, utilizando gráficas para atributos. A sabiendas, que los resultados de la carta de control se consideran en términos porcentuales (%) o por lo que se denomina la fracción de desaprobados. Por último, siguiendo a Urrego (Urrego & Zúñiga, 2013), se utilizaron los informes de capacidad de procesos para una distribución binomial. La cual analiza el proceso cuando se examina el número de desaprobados con respecto al tamaño total de la muestra.

### 3. RESULTADOS

Con la finalidad de monitorear y evaluar la tasa de desaprobados en las cohortes de economía y economía general pertenecientes a la carrera de ingeniería industrial e ingeniería electromecánica, del período 2020, se procedió a la aplicación de cartas de control para el monitoreo y al análisis de capacidad de procesos para la evaluación de la variable de interés. Podemos resumir los resultados en:

#### Aleatoriedad de los datos

##### a) Gráfico de Corridas

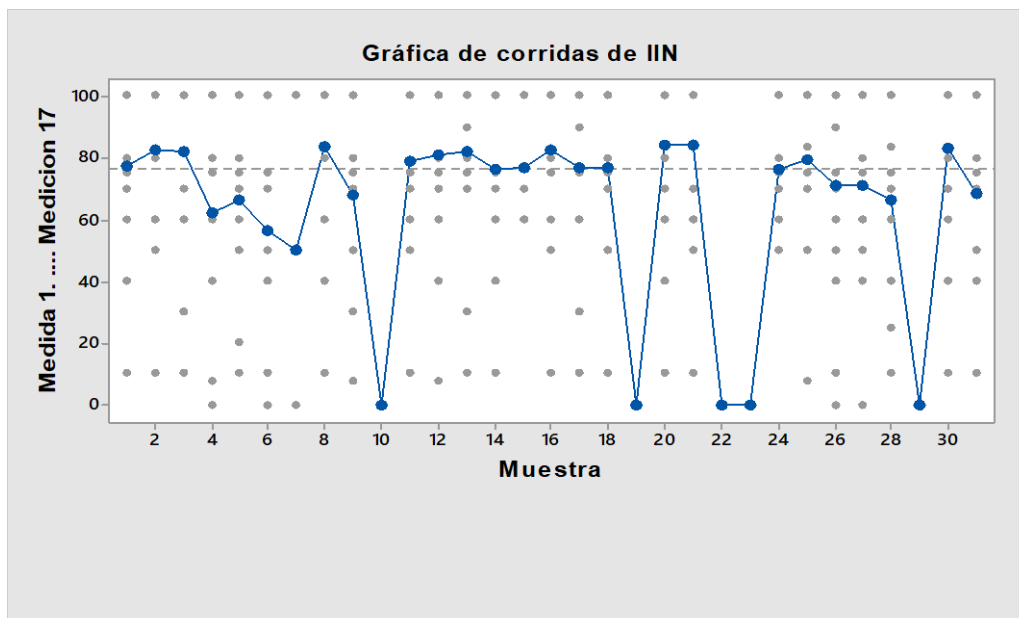


Figura 1 Gráfica de corridas cohorte industrial



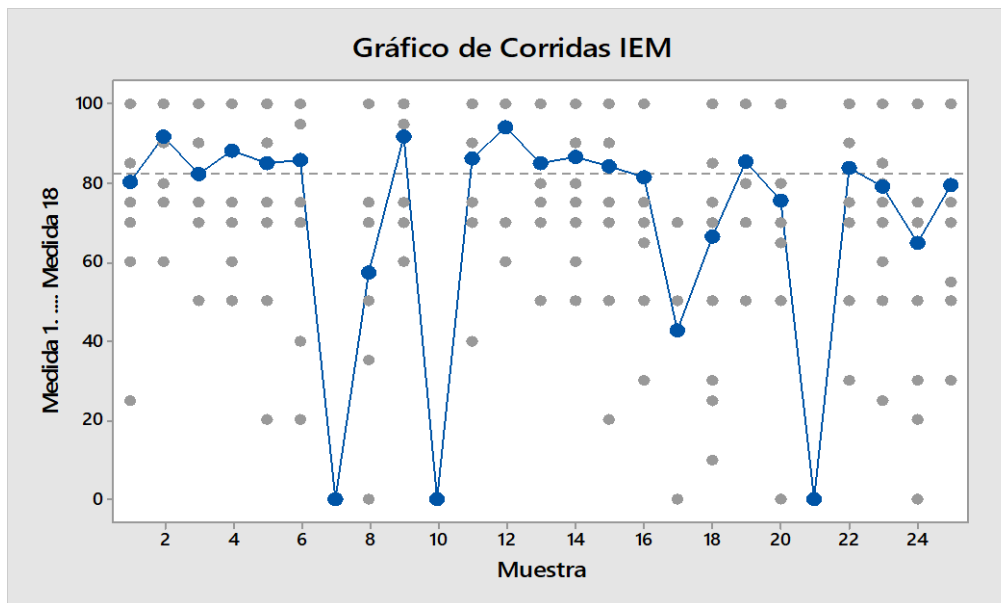


Figura 2 Gráfica de corridas cohorte electromecánica

La Figura 1, nos ayuda a visualizar el número de registros de las mediciones que realizamos a lo largo del tiempo. Para esta cohorte, encontramos que el número de corridas de la mediana es 14 y el número de corridas hacia arriba y hacia abajo es 18, para un total de 31 alumnos (n=31)

Asimismo, la Figura 2 que hemos llamado “Gráfica de corridas cohorte electromecánica” arroja que el número de corridas de la mediana es 13 y el número de corridas hacia arriba y hacia abajo es 17, para un total de 25 alumnos (n=25). Para que dicho proceso sea homogéneo la mitad de los registros deberían estar hacia arriba y la mitad hacia abajo, lo cual se observa en ambas figuras

A priori, como una aproximación exploratoria y gráfica, podemos decir que las mediciones son aleatorias.

### b) Prueba de aleatoriedad

Tabla 2 Significancia estadística de los patrones

Prueba	p-valor (IIN)	p-valor (IEM)
Conglomerado	0.182	0.422
Mezclas	0.818	0.578
Tendencias	0.153	0.629
Oscilación	0.847	0,371

Un examen más detallado de la tabla 2 muestra la significatividad estadística, para los diferentes patrones de cada una de las cohortes. La misma es reveladora en varios sentidos. En primer lugar, en la prueba de conglomerado (para ambas cohortes), el p-valor está por encima del nivel de significancia estadística  $\alpha = 0.05$ , por lo tanto, no quedamos con  $H_0 = \text{“No existe conglomerado”}$ . En segundo lugar, para la prueba de mezclas, el p-valor de la cohorte de IIN es =0.818, mientras que el p-valor de IEM alcanzó un valor igual a =0,575; como ambos son mayores al nivel de significancia  $\alpha$ , también no quedamos con  $H_0 = \text{“No existe mezcla”}$ . En tercer lugar, nos quedamos con  $H_0 = \text{“No hay tendencia”}$ , dado que los p-valor de IIN e IEM arrojaron un valor mayor que  $\alpha$ . En cuarto lugar, también nos quedamos con  $H_0 = \text{“No existe oscilación”}$ , dado que los p-valor de ambas cohortes están por encima de  $\alpha = 0.05$ .

Con las pruebas gráficas (corridas) y de hipótesis realizadas (tendencia, mezcla, conglomerado y oscilación), dejamos constancia de que las mediciones son aleatorias. Siendo esto un prerequisite fundamental para poder realizar el análisis estadístico del monitoreo y el análisis de la capacidad del proceso.

## Monitoreo

### a) Primera etapa del monitoreo de procesos

Una vez verificadas las condiciones de aleatoriedad de las mediciones, procedimos a la definición de los límites de control superior e inferior, para nuestra variable de interés, el porcentaje de desaprobados de cada cohorte. Los límites especificados o límites de control estadístico, se presentan en las Figuras 3 y 4 para cada una de las respectivas cohortes. La línea central, señalada con línea verde, y los límites de control inferior (LCI) y superior (LCS), delimitadas con líneas rojas), se estimaron a partir de los datos. Dichos límites no son absolutos y se modifican en función del proceso de mejora continua que va caracterizando a los diferentes procesos.

Hemos tomado por defecto la opción de 6 sigmas, dentro del paquete estadístico Minitab®, la reevaluación de los límites corresponde al avance en la línea de investigación.

Encontramos que los límites de control, para ambas cohortes son similares. Para la cohorte de industrial el LCI es 0% y para el LCS es 0.50. Mientras que la cohorte de ingeniería electromecánica se mueve también entre el LCI de 0% y el LCS de 0.57. Con un valor de P de 19% de desaprobado en el caso de industrial y una línea de tendencia central, valor de P, del 25% correspondiente a los desaprobados de la cohorte electromecánica.

### b) Segunda etapa del monitoreo de procesos

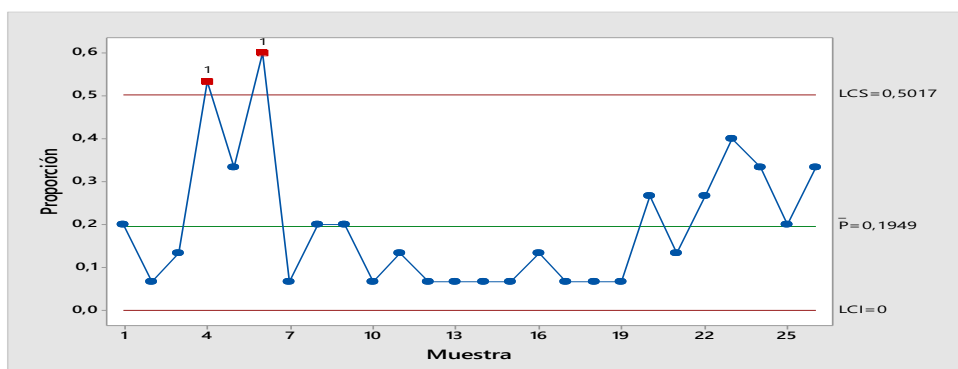


Figura 3 Gráfica P de conteo desaprobados cohorte industrial

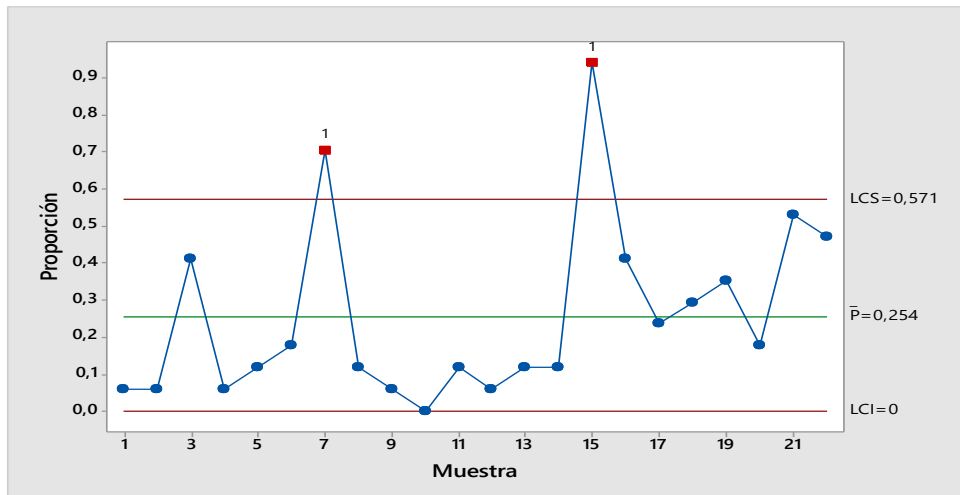


Figura 4 Gráfica P de conteo desaprobados electromecánica

En la Figura 3 vemos que la proporción de alumnos desaprobados es estable. 4 subgrupos (15,4%) están fuera de control. Los identificadores (ID) revelaron que los alumnos ID=4 e ID=6, desaprobaron 8 y 9 ejercicios respectivamente, sobre un total de 15 evaluaciones.

Por otra parte, en la Figura 4, observamos que la proporción de alumnos desaprobados es estable, solamente 2 subgrupos (9,1%) están fuera de control. Los identificadores (ID) revelaron que los alumnos ID=7 e ID= 15, desaprobaron 12 y 16 ejercicios respectivamente, sobre un total de 17 evaluaciones.

Por lo tanto, podemos concluir que la variable está controlada, en ambas cohortes, a excepción de algunos puntos.

## Análisis de la capacidad de procesos

### a) Capacidad del proceso cohorte industrial y electromecánica

La Figura 5 presenta los siguientes resultados: en primer lugar, la Gráfica P que indica la proporción de desaprobados en IIN, en el mismo se observan dos puntos fuera de control, señalados en la subsección segunda etapa del monitoreo. En segundo lugar, el gráfico de % desaprobados IIN acumulado, en el mismo se observó que la proporción se estabilizó en torno al valor medio (19%), requisito para verificar que el tamaño de la muestra es representativo. En tercer lugar, el gráfico binomial representa los valores probabilísticos, aquí se observan nuevamente los 2 valores que se alejaron significativamente de la recta. En cuarto lugar, el Histograma de desaprobado de la cohorte industrial, junto con su valor "objetivo", siendo el mismo por defecto igual a cero. Y por último, el resumen estadístico con un error de  $\alpha = 0.05$ , para un % de desaprobados del 19% [95% IC 15.67; 23.77].

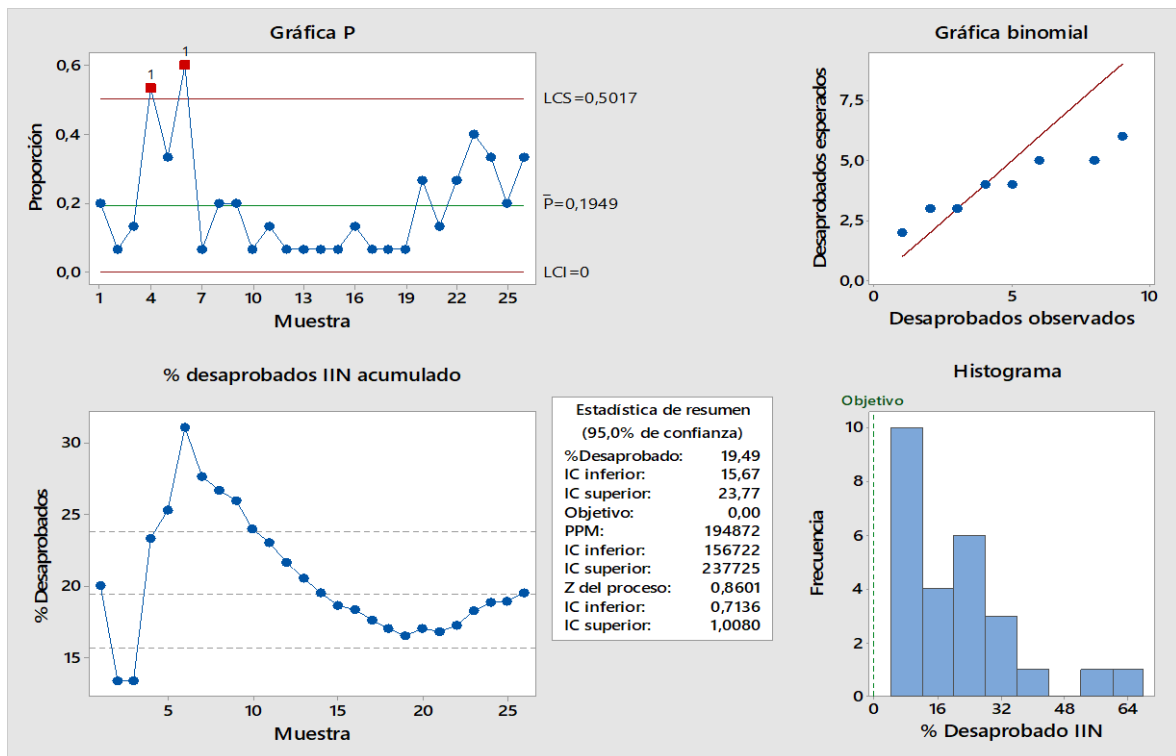


Figura 5 Informe de capacidad de procesos % desaprobados cohorte industrial

Asimismo, la Figura 6 presenta los siguientes resultados: en primer lugar, la Gráfica P que indica la proporción de desaprobados de IEM, en el mismo se observan dos puntos fuera de control, señalados en la subsección segunda etapa del monitoreo y la cual ronda en el 25%. En segundo lugar, el gráfico de % desaprobados IEM acumulado, en el mismo se observó que la proporción se estabilizó en torno al valor medio (25%), requisito para verificar que el tamaño de la muestra sea representativo. En tercer lugar, el gráfico binomial representa los valores probabilísticos, aquí se observan nuevamente los 2 valores que se alejaron significativamente de la recta. En cuarto lugar, el Histograma de desaprobado de la cohorte electromecánica, junto con su valor "objetivo", siendo el mismo por defecto igual a cero. Y por último, el resumen estadístico con un error de  $\alpha=0.05$ , el % de desaprobados es del 25% [95% IC 21.07; 30.13].

En general, estos resultados indican que a excepción de algunos puntos la variable % de desaprobados, para ambos grupos, es estable. Los límites de control de la cohorte industrial se encuentran entre 0 % y 50 %, con un valor de la proporción de desaprobados del 19% [95% IC 15.67; 23.77]. Asimismo, los límites de control para la cohorte de electromecánica ronda entre el 0% y 57%, con un valor medio de 25% [95% IC 21.07; 30.13]. Por último, el valor de Z del proceso de la cohorte industrial como la de electromecánica, 0.8601 y 0.6619 respectivamente, son menores que 2; el cual se considera el valor mínimo para declarar que un proceso tiene capacidad.

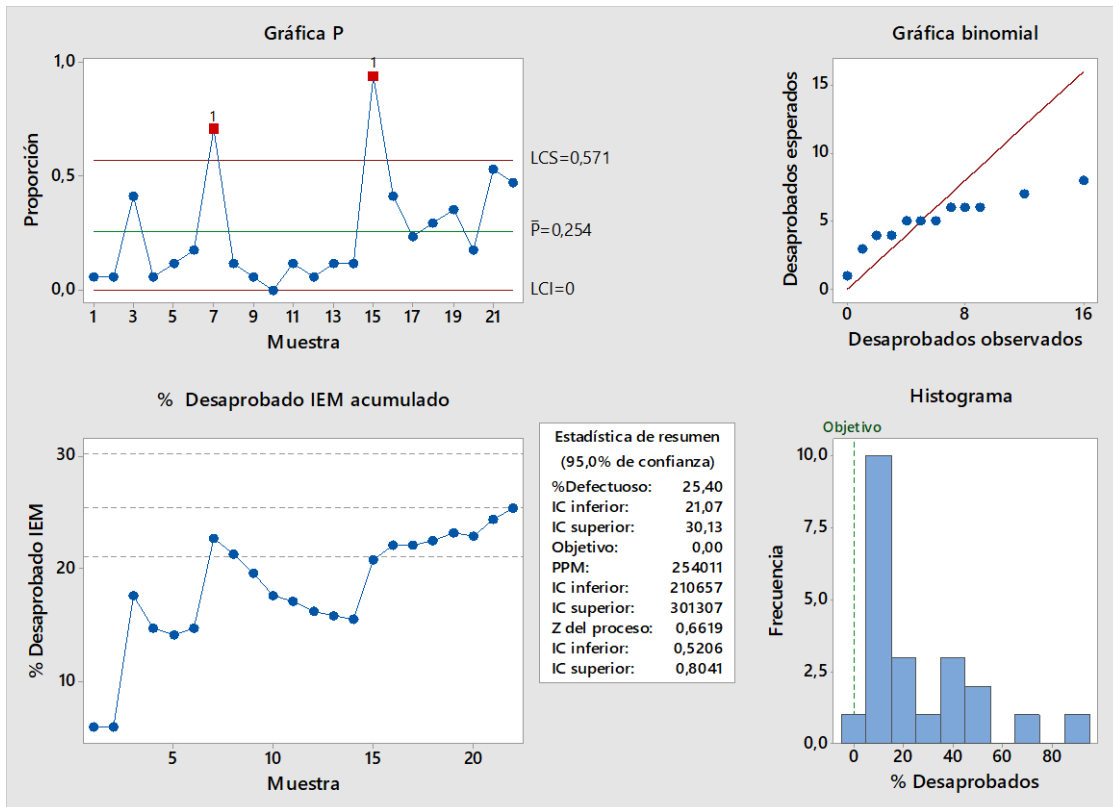


Figura 6 Informe de capacidad de procesos % desaprobados cohorte electromecánica

#### 4. CONCLUSIONES

Las herramientas de la calidad son fundamentales para mejorar el aprendizaje en los estudiantes universitarios. Pruebas recientes sugieren que los procesos y las funciones de la evaluación constituyen causas de un mejor aprendizaje. Una de las principales preocupaciones es la tasa de desaprobados de los estudiantes universitarios. Por lo tanto, en este trabajo, buscamos monitorear la tasa de desaprobados y evaluar la capacidad de dicho proceso.

Nuestros hallazgos revelan que el porcentaje de alumnos desaprobados se encuentra en el intervalo del 19% [95% IC 15.67; 23.77], para la cohorte de ingeniería industrial. Mientras que la tasa de desaprobados, para la cohorte de ingeniería electromecánica, corresponde al 25% [95% IC 21.07; 30.13]. Esta última tiene un número de desaprobados, significativamente mayor que la que corresponde a la cohorte de industrial, con causas asignables.

En comparación con nuestro estudio, la mayoría de los estudios anteriores trabajan en la descripción de los datos y en la existencia de diferencias significativas entre las cohortes, no en la aplicación de herramientas de la calidad para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Por ello, un aspecto novedoso de esta investigación es el desarrollo y la aplicación de herramientas de la calidad para monitorear y evaluar la capacidad de dicho proceso.

Algunos aspectos en común de nuestro hallazgo son consistentes con la literatura mencionada. A pesar de algunas similitudes con estudios anteriores, nuestros resultados difieren de algunos estudios publicados, en particular por la discrepancia entre las tasas de desaprobados para las cohortes

analizadas, en pandemia. Esta discrepancia podría atribuirse a la carga horaria y la periodicidad en el dictado de las materias. Mientras que industrial tiene asignado dos días a la semana, electromecánica agrupa su carga horaria un solo día en la semana. Además, una posible explicación para esto podría ser la incorporación de los modelos virtuales de enseñanza. Otra explicación alternativa de nuestros resultados es que se deban a la desaparición de las clases magistrales presenciales, en plena pandemia. Sin embargo, la razón exacta no está clara. Por lo tanto, estos datos deben interpretarse con cautela porque, los datos de corte transversal deberían ir comparándose año a año; para poder analizar los modelos híbridos que fueron implementados.

Este estudio proporciona evidencia que sienta las bases sobre la cuantificación de los procesos de enseñanza- aprendizaje. Así, nuestros resultados destacan la importancia tanto de monitorear y evaluar la tasa de desaprobados, como de la visualización en tiempo real de los gráficos de control por atributos, para mejorar los procesos de enseñanza y tomar las acciones correctivas. Futuras investigaciones deberían centrarse en estudios que incorporen distintas variables, sociales, económicas para encontrar más causas.

## 5. REFERENCIAS

Arias-Montes, J. (2023). Cuantificando el desempeño docente universitario. AACINI - Revista Internacional De Ingeniería Industrial, (6). Recuperado a partir de <http://www3.fi.mdp.edu.ar/otec/revista/index.php/AACINI-RIII/article/view/52>.

Besterfield, D. H. (2019). Control de calidad. México. Octava Edición. Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

Bowles, S. (1970). Toward an Educational Production Function. En Education, Income and Human Capital, National Bureau of Economic Research, pp.11-70

Cattáneo, A. C., Aliverti, V., Ogean, B., De Luca, J. C., & Picco, S. J. (2022). Regreso a la presencialidad: evaluación de tres cohortes del curso de Genética General de la Facultad de Ciencias veterinarias de la UNLP. In IV Jornadas sobre las Prácticas Docentes en la Universidad Pública (La Plata, 26 al 30 de septiembre de 2022). Recuperado: [https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Regreso+a+la+presencialidad.+Evaluaci%C3%B3n+de+tres+cohortes+del+curso+de+Gen%C3%A9tica+General+de+la+Facultad+de+Ciencias+veterinarias+de+la+UNLP&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Regreso+a+la+presencialidad.+Evaluaci%C3%B3n+de+tres+cohortes+del+curso+de+Gen%C3%A9tica+General+de+la+Facultad+de+Ciencias+veterinarias+de+la+UNLP&btnG=)

Chipia, J., & Santiago, C. (2020). Educación universitaria: transición y disrupción digital. Aproximación crítica. GICOS.

Coleman, J., Campbell, E., Hobson, C., McPartland, F., Mood, A., Weinfeld, F, y York, R. (1966). Equality of educational opportunity. Washington DC, U.S. Government Printing Office.

Flores Tapia, C. E., & Flores Cevallo, K. L. (2021). Pruebas no paramétricas para determinar la aleatoriedad de los datos en procesos productivos y procedimientos para calcular estadísticas en pareja. Ciencia, Economía y Negocios, 5(1), 97-118. Doi: <https://doi.org/10.22206/ceyn.2021.v5i1.pp97-118>

García, M. E., Gutiérrez, A. B. B., & Rodríguez-Muñiz, L. J. (2016). Permanencia en la universidad: la importancia de un buen comienzo. Aula abierta, 44(1), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.aula.2015.04.001>

Gonzales López, E. F., & Evaristo Chiyong, I. S. (2021). Rendimiento académico y deserción de estudiantes universitarios de un curso en modalidad virtual y presencial.

González, F. (2020). Rendimiento académico en materias universitarias: un análisis empírico para la Universidad Nacional de Salta (UNSa) (Nº.23). Recuperado: [https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Rendimiento+acad%C3%A9mico+en+materias+universitarias&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Rendimiento+acad%C3%A9mico+en+materias+universitarias&btnG=)

Lara-Hernández, C., Melo-González, R., Herrera-Ruiz, D. A., & Valdez-Gómez, J. A. (2011). Control estadístico de procesos en tiempo real de un sistema de endulzamiento de gas amargo. Metodología y resultados. Tecnología, Ciencia, Educación, 26(2), 57-74.

Minitab (2016). Introducción a Minitab Version 17.

Urrego, M. L. P., & Zúñiga, J. S. P. (2013). Cuantificación de la capacidad de proceso para datos cualitativos. Universidad de Ibagué, Ibagué. Recuperado de [https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Cuantificaci%C3%B3n+de+la+capacidad+de+proceso+para+datos+cualitativos&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Cuantificaci%C3%B3n+de+la+capacidad+de+proceso+para+datos+cualitativos&btnG=)



# Las PyME de Río Gallegos y Santa Cruz, su desarrollo, control de gestión e incorporación de TIC a través del tiempo

**Aroca Bavich, Alejandro Cruz**

[arocabavich@gmail.com](mailto:arocabavich@gmail.com)

*Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Santa Cruz (Argentina)*

**Martínez Llanea, Daniel Jorge**

[danielmartinezll1963@gmail.com](mailto:danielmartinezll1963@gmail.com)

*Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Santa Cruz (Argentina)*

**Coloe, Ernesto**

[ernestocoloe@gmail.com](mailto:ernestocoloe@gmail.com)

*Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Santa Cruz (Argentina)*

Fecha de recepción RIII: 09/11/2022

Fecha de aprobación RIII: 19/07/2023

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se realiza un análisis temporal de los cambios que han presentado las PyME locales y regionales de Santa Cruz. El estudio se encuentra basado en 3 relevamientos realizados en distintos espacios temporales, a través de encuestas y entrevistas con informantes calificados. Se analizaron los aspectos referidos a la gestión de recursos humanos, planificación estratégica, uso de las TIC y efectos de la Pandemia. Se observa que algunos patrones se han sostenido a lo largo del tiempo a la vez que algunos indicadores relacionados con los recursos humanos y el uso de la tecnología han aumentado.

**Palabras Claves:** PyME, RRHH, TIC, GERH.

**The SME of Río Gallegos and Santa Cruz, their development, management control and incorporation of TIC over time**

**ABSTRACT**

The present work, is a temporary analysis of the changes that the local and regional Santa Cruz SMEs have presented is carried out. The study is based on 3 instances carried out in different temporary spaces, through surveys and interviews with qualified informants. Aspects related to human resource management, strategic planning, use of ICTs and effects of the Pandemic were analyzed. It is observed that some patterns have been sustained over time while some indicators related to human resources and the use of technology have increased.

**Keywords:** SME, HR, TIC, GERH

**As PME de Río Gallegos e Santa Cruz, seu desenvolvimento, controle de gestão e incorporação das TIC ao longo do tempo**

**RESUMO**

No presente trabalho, é realizada uma análise temporária das mudanças que as PMEs locais e regionais de Santa Cruz apresentaram. O estudo baseia-se em 3 inquéritos realizados em diferentes espaços temporários, através de inquéritos e entrevistas com informantes qualificados. Foram analisados aspectos relacionados à gestão de recursos humanos, planejamento estratégico, uso das TICs e efeitos da Pandemia. Observa-se que alguns padrões se mantiveram ao longo do tempo enquanto alguns indicadores relacionados aos recursos humanos e ao uso de tecnologia aumentaram.

**Palavras chave:** PME, RH, TIC, GERH.

## 1. INTRODUCCIÓN

Como objeto del presente artículo, se desea exponer los resultados de dos proyectos de investigación y desarrollo cuyas temática e intervalo temporal cuentan con un correlativo significativo. Estas características particulares de ambos proyectos permitieron lograr análisis de situación de las pymes y un estudio de sus variaciones con el tiempo, cubriendo la evolución de las empresas desde el año 2015 hasta fines de 2020.

Las investigaciones mencionadas se llevaron a cabo en paralelo por dos grupos, quienes han mancomunado esfuerzos logrando un avance en sobre el conocimiento de las PyME locales y regionales. Uno de estos grupos enfocó su esfuerzo en analizar las pymes en el contexto provincial, es decir, que se buscó abordar la totalidad de la provincia de Santa Cruz; logrando obtener una muestra significativa del entramado PyME provincial. El otro grupo busco una mayor especificidad sobre la capital de la provincia, es decir la localidad de Río Gallegos, siendo esta, una de las ciudades más representativas de la provincia.

A lo largo del trabajo se exploran las similitudes y diferencias que se obtuvieron de la información recolectada a lo largo de los años indicados, con un enfoque centrado en comprender si la mejora de algunos aspectos se dio a lugar.

## 2. MARCO TEÓRICO

En este apartado de se realizó una breve reseña del soporte teórico utilizado durante el desarrollo del trabajo y la interpretación de sus resultados.

### 2.1 El capital Humano

Se considera que los recursos humanos de la empresa deben constituirse como una ventaja competitiva. Por ello, la Gestión Estratégica de Recursos Humanos (GERH) entiende al personal, como una inversión. La estrategia de la empresa debe alinearse con los recursos humanos de manera tal que, se realice una gestión coherente y centrada en un desarrollo a largo plazo (Bohlander G. Snel S., 2006).

Los procesos relacionados con la GERH deben ser sistémicos (Cuesta Santos, 2005). Las prácticas de Recursos humanos pueden ser herramientas poderosas para mejorar la efectividad de las organizaciones que compiten sobre la base del conocimiento (Ferris, Hall, Royle & Martocchio, 2004). La rivalidad de mercado, el posicionamiento, la dirección de acción a futuro, planteo de objetivos amplios, políticas principales y asignación de recursos. Cada uno de estos términos implica considerar la gestión de los recursos humanos como un factor central para el desarrollo de la organización. En el marco regional, se pudo observar que la porción mayoritaria de las empresas pymes presenta una cantidad de empleados que varía en un rango de 5 a 20 empleados (Aroca Bavich, Martínez Llana, Ossandon & García, 2019).

En los contextos donde actúan estas empresas, atraer, retener y desarrollar el talento humano dentro de las organizaciones, es uno de los desafíos más importantes de las PyME. El análisis del grado de aplicación de estas políticas es una materia pendiente, pese a la relevancia en este tipo de empresas es indiscutible, especialmente en Latinoamérica (Beingolea, 2021).

El conjunto de los talentos potenciales individuales resulta en una ventaja competitiva que puede desembocar en el éxito competitivo de la empresa en el largo plazo, por lo cual fomentar el desarrollo

de los colaboradores, con una fuerte cultura de trabajo en equipo, resulta ser el caso óptimo (Beingolea, 2021).

La aplicación de las teorías clásicas de la gestión de recursos humanos necesita una definición diferente en los países emergentes y en vías de desarrollo, siendo que estas organizaciones en estos países difieren considerablemente a la de países fuertemente industrializados y desarrollados, siendo una realidad palpable la ausencia de un área específica en las pymes locales, o en algunos casos una superposición de tareas en la gestión de talentos (Beingolea, 2021).

## 2.2 Herramientas de Gestión

El concepto de dirección estratégica hace referencia a todas las decisiones sobre los factores de éxito o fracaso de las organizaciones (Llanes, 2004). A su vez otros autores (Llanes, 2004; Porter, 1982; Yoguel y Boscherini, 1996; Harper y Lynch, 1992) definen el concepto como la estructura teórica utilizada para la reflexión de las grandes alternativas de la empresa. El concepto se encuentra fuertemente orientado a la operatividad, supone e implanta la necesidad de un modelo sistémico para la toma de decisiones. En este sentido las nuevas tecnologías han irrumpido de forma significativa sobre la creación de valor, asociado de forma directa el valor de los bienes y servicios generados, con el grado de Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i) que estos tengan incorporados.

Por otra parte, el autor Porter (Porter, 1982) indica que el rol esencial de la estrategia competitiva consiste en desarrollar cómo la empresa va a diferenciarse de las demás, cuáles deben ser sus objetivos y que políticas serán necesarias para alcanzar tales objetivos en el largo plazo. Otros autores conciben la estrategia empresarial como la dialéctica de la firma con su entorno (Pena, 2004).

Por su parte, Rogelio Gárciga (1999) destaca que la dirección estratégica es el producto de un conjunto de acciones lógicas y creativas aplicables que conducen a la formulación de objetivos amplios, de políticas principales y de asignación de recursos para lograr las metas trascendentales de una organización. Las PyME regionales abordadas, evidencian incorporar innovaciones, impulsadas por las necesidades del mercado y por la búsqueda de mejoras en la productividad, aunque no demuestran estar aplicando un especial énfasis en abordar la normalización a partir de estándares. (Aroca Bavich, Martínez Llana, Ossandon & García, 2019).

El Business Intelligence cobra cada día más relevancia en las pequeñas empresas, siendo un factor clave a la hora de entender el comportamiento de los clientes, el mercado y la propia empresa. Las barreras de entrada para su aplicación son cada vez más baja, dada la masificación del uso de las TIC (Delgado Anaya & Salas Cueva, 2021). El uso de estas herramientas en las PyME genera cambios excepcionales en la gestión, siendo que el estándar, de información disponible para toma de decisiones suele ser escaso, por ello la incorporación de datos fiables e información de calidad, puede modificar sustancialmente los niveles de competitividad e innovación (Delgado Anaya & Salas Cueva, 2021).

La toma de decisiones en las PyME suele recaer en una sola persona o dos como máximo, lo cual disminuye la calidad de estas, por ello el manejo de la información cobra tanta relevancia, por lo cual la inversión en equipamiento, capacitación y desarrollo del Business Intelligence tiene un impacto positivo, siendo mayor su resultado que los costos (Delgado Anaya & Salas Cueva, 2021).

La gestión estratégica de la organización requiere de un desarrollo claro de la gestión del capital humano para lograr la misión de la empresa; Su rol es fundamental para lograr superar a los competidores, por lo cual una planificación adecuada y estratégica de su desarrollo resulta necesaria (Baldovino, Vásquez & Muñoz, 2021).

Las PyME, necesitan innovar permanentemente para competir, siendo su posición desventajosa en cuanto a este punto, por la dificultad de liderar estos procesos, no obstante, la implementación y el uso adecuado de las herramientas de gestión que estén a su alcance permiten a su vez optimizar significativamente los recursos de las PyME, así como reducir sus costos. (Angulo Noel & Carretero Landauro, 2021; García Camacho, 2021).

### **2.3 Contextos productivos regionales y locales**

Los cambios de paradigma en ciertos contextos están relacionados con la articulación del factor trabajo con los otros factores. Es de esperar que la calificación operativa de los RRHH sea cada vez más determinante. Muchas actividades económicas eligen una localización dependiendo de la disponibilidad de RRHH. La actual GERH requiere un enfoque sistémico, multidisciplinario, participativo, proactivo y de proceso. Uno de los propósitos de la GERH es el aumento de la productividad y la satisfacción laboral. (Cuesta Santos, 2005). La preservación del medio ambiente constituye un objetivo sustentable de la GERH. Los enfoques de maximización de la productividad laboral no son aceptables si no se asocian a la sustentabilidad. Por ello se habla de máximo rendimiento sostenible (Sánchez Ortiz, 2013). En el arco regional el de vida de las organizaciones demuestra un elevado grado de madurez en líneas generales (Aroca Bavich, Martínez Llana, Ossandon & García, 2019).

Durante el primer trimestre el 2020 se registró una caída de producción a nivel nacional, situación que se agudizó profundamente como consecuencia del confinamiento. Desde el segundo semestre de 2020 puede observarse un crecimiento lento y paulatino de la productividad. (Borello, Carmona, Couto, Battistini, Lattanzi, Esmerado & Amorín, 2021). El contexto de la pandemia también ha resentido al sector comercial e industrial por múltiples factores, entre los que se encuentran las pérdidas de vínculos y referencias con el mercado interno, con el sector público y los sistemas educativos y científicos (Borello, Carmona, Couto, Battistini, Lattanzi, Esmerado & Amorín, 2021).

Es destacable que la situación ha aportado algunas cuestiones positivas, como la incorporación de nuevas tecnologías, mayor formación para los recursos humanos, asociatividad empresarial y desarrollos más sustentables (Borello, Carmona, Couto, Battistini, Lattanzi, Esmerado & Amorín, 2021). La pandemia dejó de manifiesto la necesidad de introducir nuevos cambios en cuanto a la conformación interna de las organizaciones y su necesidad de aplicar nuevas formas de organizar las tareas, pese a la escasez de recursos de las PyME en general (Borello, Carmona, Couto, Battistini, Lattanzi, Esmerado & Amorín, 2021).

### **2.4 Las Tecnologías de Información**

La transformación productiva, la creación de valor, el desarrollo de nuevos productos y servicios son potenciados por el uso de las TIC al ser elementos dinamizadores de la Innovación, el aprendizaje y gestión del conocimiento (Hernandez Valencia, 2009). En base a lo expresado por Castells (2005) las TIC toman un rol protagónico al propiciar las acciones de conocimiento. Las TIC generan un nuevo paradigma tecnológico y alteran la dinámica de la revolución industrial, tendiendo una realidad nueva basada en el uso y apropiación del conocimiento (Villegas, 2021)

Las PyME Argentinas abordaron el uso de las TIC en tres niveles, el primero para abaratar y agilizar sus costos operativos, el segundo para mejorar el proceso de toma de decisiones y el tercero para potenciar y mejorar las actividades de innovación (Peirano, 2006). La adaptación de las PyME regionales a las TIC se evidencia en la gran mayoría. Se adoptaron fuertemente los sistemas de correo electrónico, creación

de sitios web, sistemas de Nubes de Archivos y Aplicaciones para dispositivos móviles para aumentar la productividad. El 50% de las organizaciones consultadas, dieron cuenta del uso de Redes Sociales, como un factor relevante en términos publicitarios. Las empresas han incorporado los recursos de las TIC, en el transcurso de los últimos 5 años (Aroca Bavich, Martínez Llana, Ossandon & García, 2019).

Las PyME no aprovechan plenamente las posibilidades que brindan las TIC y la comunicación, no dimensionando claramente los beneficios asociados a la publicidad, uso de redes sociales, aplicaciones empresariales y de productividad, entre otras (Gonzalez & Alva, 2021). En general se indica que las PyME tienen una noción clara de las virtudes del uso de las TIC y específicamente la comunicación, no obstante, la brecha tecnológica respecto a las grandes empresas es notoria, especialmente en los tiempos de adaptación (Gonzalez & Alva, 2021). La convergencia del ámbito de la planificación con el soporte que brindan las TIC a las estrategias comerciales y administrativas, permiten la reducción de costos, la estandarización de procesos, optimización del flujo de trabajo, lo cual redundará en beneficios, mejora los mecanismos de control y mejora las relaciones laborales en general (Guaranda Lara, 2021). El uso de las TIC se convierte en una herramienta vital, a medida que la organización crece en tamaño como en complejidad, siendo el control manual cada vez más difícil, lento e inexacto en contraste (Rodríguez Galarreta, 2021).

Las TIC han revolucionado la forma de hacer negocios y resulta claro indicar que aquellas que no se adapten a esta revolución no podrán sostener su continuidad por mucho tiempo, siendo que es imposible prever un futuro sin su aplicación de forma masiva (Rodríguez, Rivera, Suárez, & Castro, 2021). La integración de las TIC en la gestión empresarial modifica los procesos, volviendo más sencilla las operaciones, generando una articulación más eficaz y eficiente conforme se logra la digitalización de la PyME (Rodríguez, Rivera, Suárez, & Castro, 2021). Las estimaciones del Foro económico mundial indican que la implementación de las TIC en Latinoamérica es baja, exceptuando al país de Chile y se observa una relación directa entre el uso de las TIC y el aumento de la productividad. (Bolaños, Arauz, Rojas & Ruiz, 2021).

### **3. METODOLOGÍA Y RECOLECCIÓN DE DATOS**

La recolección e información sobre las PyME se realizó a partir de un abordaje territorial, tanto en la localidad de Río Gallegos, como en la provincia de Santa Cruz. Esta información pudo ser recolectada gracias a la ejecución de dos proyectos de I+D enmarcados en la política de investigación de ambas universidades nacionales que se encuentran en la provincia de Santa Cruz.

El primero de este proyecto recolectó información sobre el comportamiento PyME desde el año 2015 hasta finales de 2017 y el segundo desde 2017 a 2020. Durante este periodo se desarrolló una investigación de publicaciones y bibliografía de autores locales y regionales, los cuales han enriquecido el contenido y las bases para el desarrollo de las investigaciones. Gratamente los proyectos han trascendido a las instituciones.

Estas investigaciones y desarrollos han permitido reunir y disponer de diversas herramientas para recabar la información necesaria. Una de las bases de datos más extensa que se logró, fue en torno a las dos encuestas desarrolladas, tanto a nivel provincial como a nivel de la localidad de Río Gallegos. Estos datos relevados fueron posteriormente enriquecidos con una serie de entrevistas a informantes calificados y referentes de los sectores PyME, involucrados en la comercialización de productos y servicios. Finalmente, el aporte conceptual y el desarrollado en las publicaciones de actores significativos del contexto económico local, han establecido un marco sólido de trabajo sobre el cual investigar y generar un aporte al tejido productivo de la provincia y de la localidad.

La amplia temporalidad de los proyectos permite realizar un análisis de situación sobre las PyME y como han sido las variaciones sufridas por estas, a lo largo de 7 años.

El uso de la información primaria obtenida durante los diversos relevamientos ha sido el principal desarrollo de todo este trabajo, a continuación, se detallan estas fuentes:

### **Primer Fuente Primaria**

Año de culminación y presentación de los resultados: (captación de datos 2017) finalización del operativo 2018

Alcance comprendido: Provincia de Santa Cruz

Volumen: 65 PyME distribuidas en las localidades de la provincia de Santa Cruz, distribuidas y ponderadas conforme el tamaño de la localidad y en nivel de actividad económica<sup>1</sup>

Trabajo Marco: “Las PyME en Santa Cruz y sus aspectos destacados en materia de gerenciamiento estratégico orientado al desarrollo de recursos humanos y la incorporación de innovación tecnológica”

Se tomó como criterio de exclusión que las empresas consideradas tuvieran al menos 5 empleados, y que al año 2014 tuvieran una facturación comprendida entre 4 y 15 millones de pesos corrientes, además de efectiva presencia en Santa Cruz.

### **Segunda Fuente Primaria**

Año de captación de la encuesta: 2016 finalización del operativo 2018

Alcance comprendido: Localidad de Río Gallegos

Volumen: 35 empresas PyME de la localidad de Río Gallegos, distribuidas y ponderadas por el tipo de actividad desarrollada.

Trabajo Marco: “Una caracterización de las Pymes de Río Gallegos, la aplicación del gerenciamiento estratégico, el rol de los recursos humanos y la innovación tecnológica”

### **Tercer Fuente Primaria**

Año de captación de la encuesta: 2020

Alcance comprendido: Localidad de Río Gallegos

Volumen: 45 empresas PyME de la localidad de Río Gallegos, distribuidas y ponderadas por el tipo de actividad desarrollada.

Trabajo Marco: “La gestión del talento humano con base en la innovación y con influencia de la cultura organizacional empresarial. El caso de las pymes de Río Gallegos”

La metodología de la investigación se desarrolló fuertemente desde lo cuantitativo, para luego ser enriquecido con información cualitativa recabada de las entrevistas, información que completa



ampliamente los datos obtenidos. Adicionalmente se utilizaron todas las fuentes secundarias de las que se pudo disponer.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran un resultado claro del relevamiento, logrando una amplia muestra de micro y pequeñas empresas. Esta clasificación obedece a los mismos criterios utilizados durante la confección del libro y publicaciones a fines. Los resultados de estas categorías suponen el 76% de las respuestas obtenidas (figura 1), lo cual resultó dentro de los valores esperados.

Esta información resulta necesaria de ser evaluar y poner en consideración a la hora de identificar los sesgos que puedan presentarse en los resultados o sus interpretaciones.

No resulta menor indicar que ciertos comportamientos, se ven condicionados especialmente por la calidad y tamaño de las estructuras organizacionales. En base a este argumento resulta claro que es necesario contextualizar la posible presencia de roles de trabajo superpuestos en la figura de la gerencia que, en muchos casos tiende a ser una constante en las PyME.

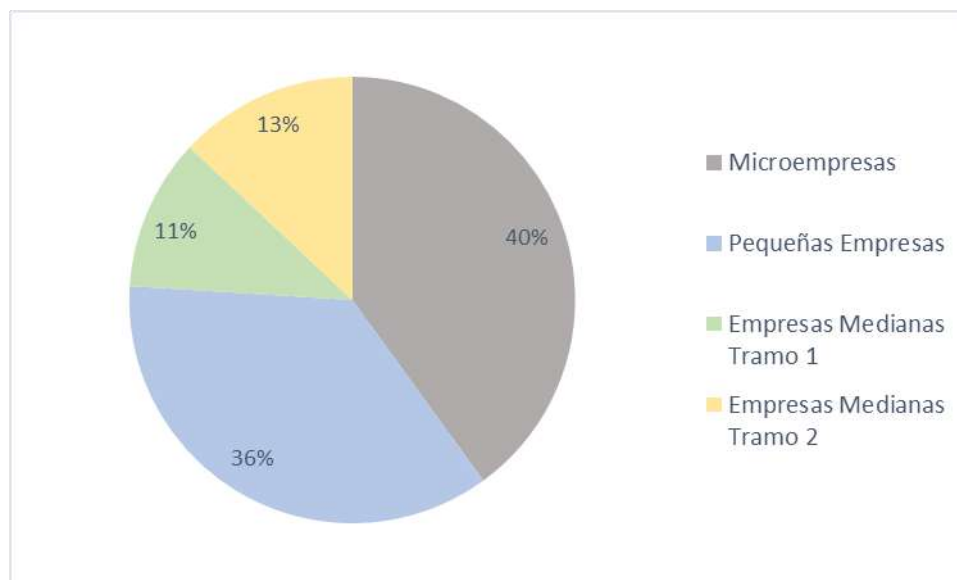


Figura 1 - Distribución lograda de encuestas y entrevistas

Analizando los resultados sobre el tipo de producción (figura 2,3) y su clasificación en sectores, puede observar en principio que, se mantiene una proporción casi idéntica entre ambos periodos, siendo que más del 90% de las Pymes se centran en el sector terciario de la economía. Esta situación resulta considerablemente normal, sobre todo al evaluar que este tipo de transformaciones y reconversiones productivas necesitan de un tiempo prolongado para manifestarse de forma visible.

Al considerar que las políticas de reconversión de la matriz productiva son escasas o no han logrado el impacto esperado, es razonable obtener valores sin perturbaciones en el mediano plazo. En principio se puede considerar como un indicio de la falta de un abordaje que logre ser efectivo en este aspecto.

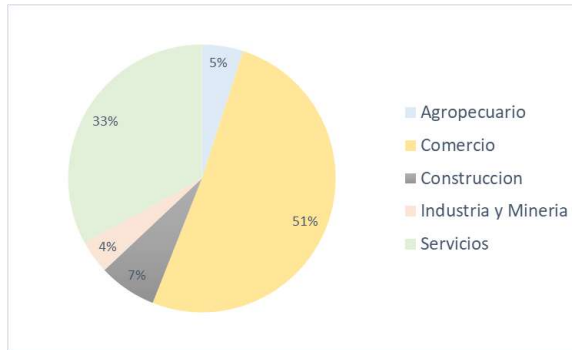


Figura 2 – Primer periodo

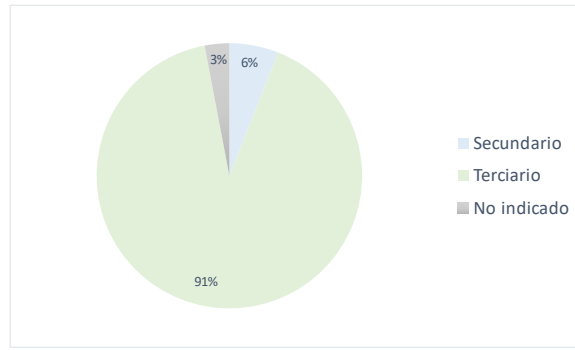


Figura 3 – Segundo periodo

Al evaluar la longevidad de las organizaciones, los resultados fueron inferidos, siendo las condiciones de marco diferentes en cada una de las investigaciones, no obstante, se observa que, en el caso del desarrollo más actual el 38% de las organizaciones relevadas declaraba tener una edad de 10 años o menor, siendo solo el 9% de ellas PyME con menos de tres años de funcionamiento. Al compararlo con el 52% de las organizaciones que declaraban tener menos de 15 años en 2017 se puede inferir parcialmente una tendencia al envejecimiento de las organizaciones. Fenómeno que se ha descrito con anterioridad por este grupo de investigación y que persiste. (Aroca Bavich, Martínez Llana, Ossandon & García, 2019) (figura 4, 5)

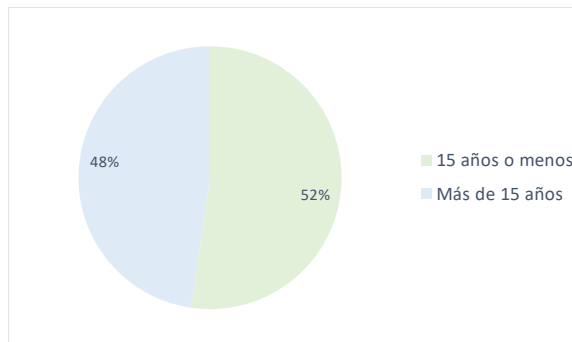


Figura 4 – Primer periodo

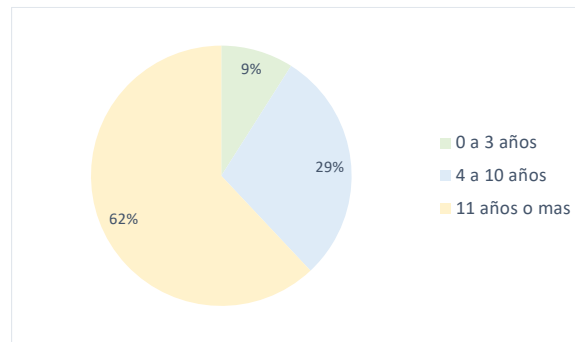


Figura 5 – Segundo periodo

#### 4.1 El recurso humano

Al momento de realizar un análisis sobre el personal ocupado en las organizaciones, se pueden observar diferencias significativas en los muestreos realizados. Se observa un incremento moderado, aproximadamente del 10%, en la franja que comprende hasta 10 empleados aproximadamente, mientras que en la siguiente agrupación que comprende a menos de 40 empleados se infiere una reducción aproximada del 15%.

En cambio en las valoraciones superiores, es decir a partir de los 40 empleados, se ve un incremento del 6%; este último no puede ser discernido efectivamente de un efecto del muestreo, mientras que el primer y segundo cambio parecen indicar una tendencia hacia la reducción de planteles, resulta necesario contar con un contraste de otros indicadores para realizar afirmaciones con un grado de certeza mayor, por lo que se insta a otros investigadores u organismos a indagar sobre este fenómeno observado. (Figura 6, 7)

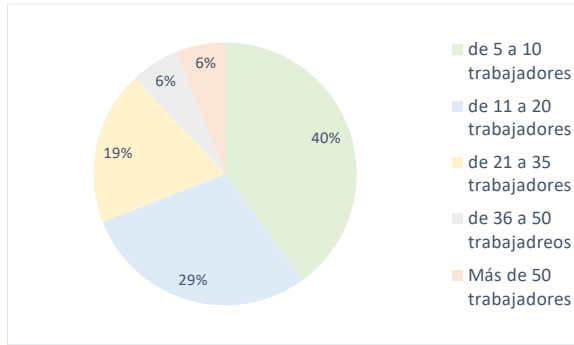


Figura 6 – Primer periodo

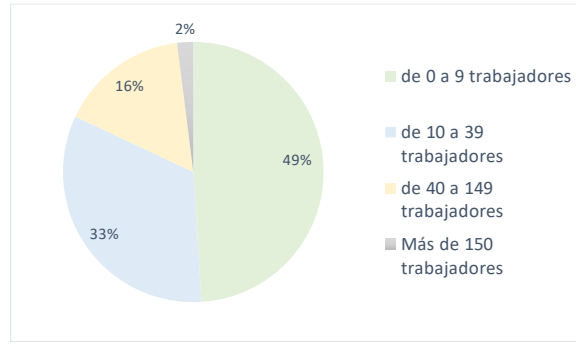


Figura 7 – Segundo periodo

#### 4.2 La mejora continua

Se evaluó la forma en que se aplican ciertas pautas de calidad y mejora continua, se observó que la tendencia se ha mantenido en el tiempo. En el caso del control organizacional y tecnologías de procesos, se aprecian los menores valores de respuesta, esta se infiere como una situación sostenida al considerar el uso de indicadores de seguimiento, siendo que solo el 65% de los encuestados afirmó utilizarlos y al indagar en las entrevistas se pudo corroborar que su uso es incipiente. Esta idea se refuerza al evaluar que el uso de normas de calidad y el seguimiento de la calidad en la cadena de suministros son los factores menos atendidos. (Figura 8, 9, 10)

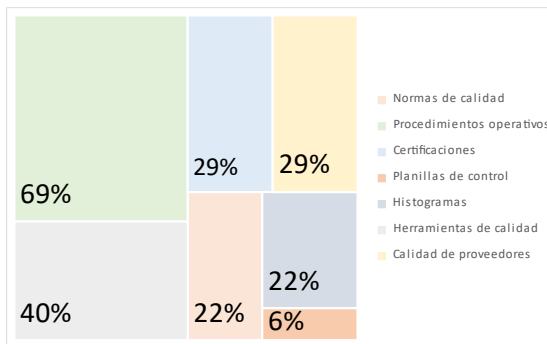


Figura 8 – Primer periodo

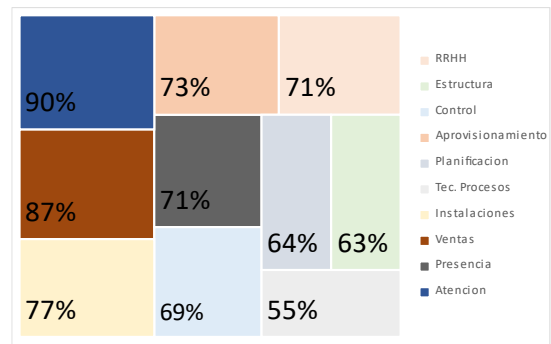


Figura 9 – Segundo periodo

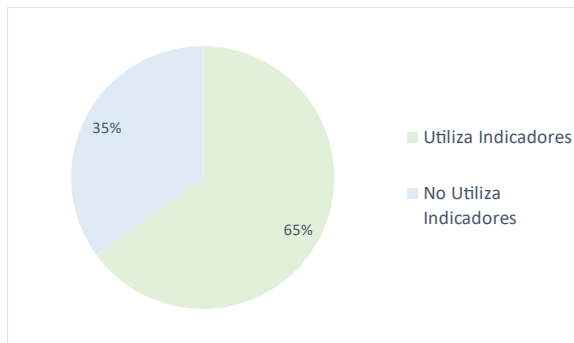


Figura 10 – Segundo periodo

#### 4.3 Vinculación

El análisis de vinculación con entes de transferencia, universidades y profesionales dejó ver que una relación directa de estos vínculos con la toma de decisiones, esto surge de la información cruzada sobre vinculación con organismos de transferencia, dato que resulta negativo en un 76%, frente a la vinculación por asistencia profesional, que resulta positiva en un 92%. Se observa por tanto una dicotomía a la hora de acudir a la visión o apoyo de externos a la empresa.

En estos casos cabe preguntarse si la visión de las universidades sobre el mundo empresarial puede ser útil a los fines de la asistencia. Vinculando estas respuestas con la toma de decisiones a mediano y largo plazo se infiere un comportamiento antes visto, en el cual el dueño demuestra tener una preponderancia casi total a la hora de la toma de decisiones y se comprueba que las consultas que realizada a los externos están asociadas a lo coyuntural de la decisión, incluso se puede estimar en base a las entrevistas que estos se asocian principalmente al obtener información para concretar el desarrollo de proyectos. En concordancia con lo expuesto, resulta notorio que las áreas en las que las PyME son más permeable a los externos son el área crediticia y el área de inversiones.

Finalmente, este comportamiento refuerza algunas ideas planteadas en los primeros trabajos, en los cuales se observó que solo una minoría consultaba profesionales especializados, siendo que las consultas de externos se remitían a la Contaduría y abogacía especialmente. (Figura 11, 12, 13, 14)

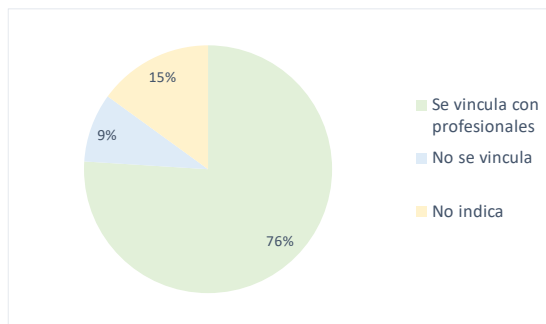


Figura 11 – Primer periodo

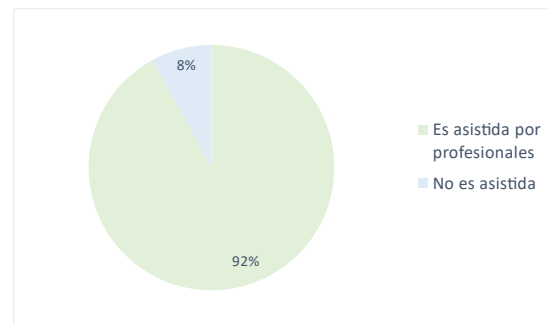


Figura 12 – Segundo periodo

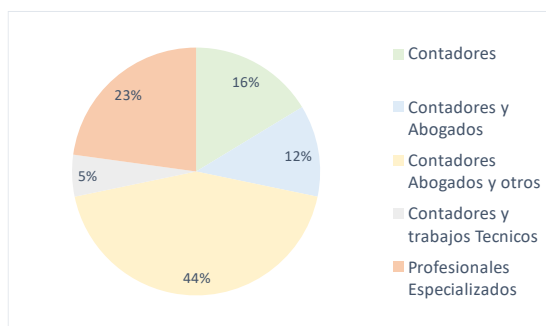


Figura 13 – Segundo periodo

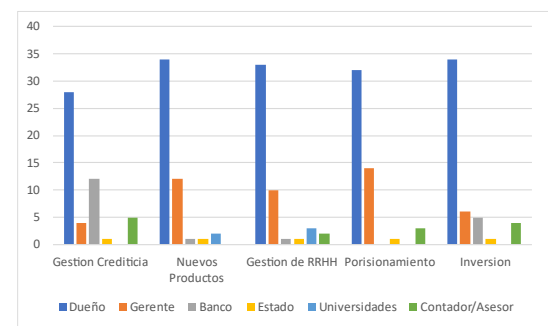


Figura 14 – Primer periodo

El punto anterior se vio reforzado al momento de evaluar la situación de los recursos humanos y considerando el valor asignado por las PyME a esta gestión. En contraste se observó la aparición de un área de recursos humanos, que años atrás no era registrada, estando presente el 20% de los casos.

Paralelamente el 15% de los encuestados encomienda esta tarea a sus contadores y/o asesores laborales. Se demuestra una mejora sustancial respecto de lo observado en el relevamiento de 2017. Si bien estos resultados están lejos de ser óptimos, resulta destacable la aparición del área de RRHH como muestra de un enfoque con mayor protagonismo de la GERH. (Figura 15, 16)

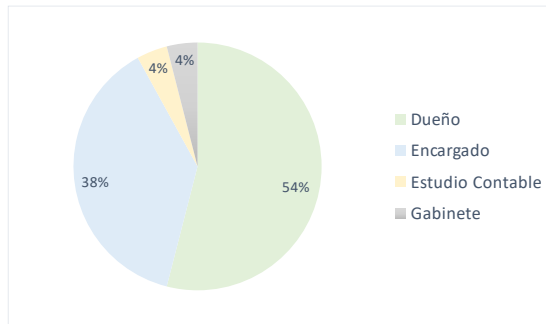


Figura 15 – Primer periodo

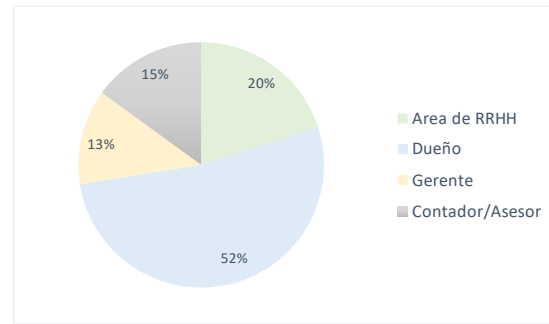


Figura 16 – Segundo periodo

Se analizaron las reuniones con el personal y la forma de realizar inducciones, tanto como sus motivos, se aprecia que la planificación resulta escasa y los motivos son difusos, es decir que, en general se presentan reuniones con la intención de coordinación y de forma espontánea o semanal sin especificación principalmente. De esto se infiere cierta falta de objetivos e ideas poco claras al respecto, oportunamente se hizo énfasis sobre la falta de capacitación y de esquemas de trabajo estructurados (figura 17, 18)

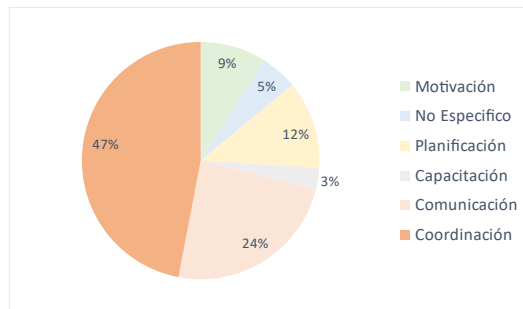


Figura 17 – Primer periodo

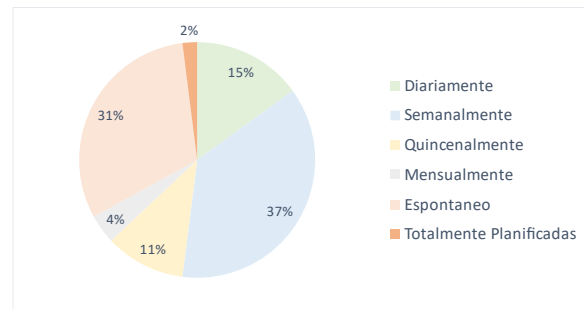


Figura 18 – Segundo periodo

Se realizó una evaluación sobre los efectos de la pandemia en las metodologías de trabajo, y se observó que las herramientas tecnológicas han penetrado fuertemente en el entramado socio-productivo, las curvas de aprendizaje de este tipo de herramientas tuvieron que ser acortadas y forzadas de modo tal que la totalidad de las PyME se vieron obligadas a interactuar de forma virtual de alguna u otra manera.

Las reminiscencias de este hecho han colocado a las empresas en una situación desde la cual al menos la mitad de ellas puede trabajar de manera remota con sus empleados, incluso introduciendo el Smart Work de manera incipiente. (figura 19, 20) además de ello, el uso de las redes sociales y de todos los medios virtuales de comunicación ha crecido exponencialmente y se ha potenciado de manera significativa, por lo que se puede considerar seriamente que el impacto negativo que ha generado la pandemia en la economía, al menos se ha morigerado de forma incipiente con el avance tecnológico. (figura 21, 22)

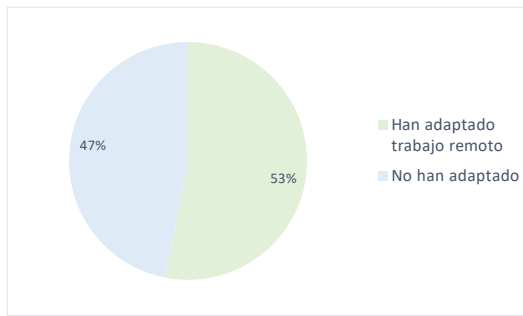


Figura 19 – Segundo periodo

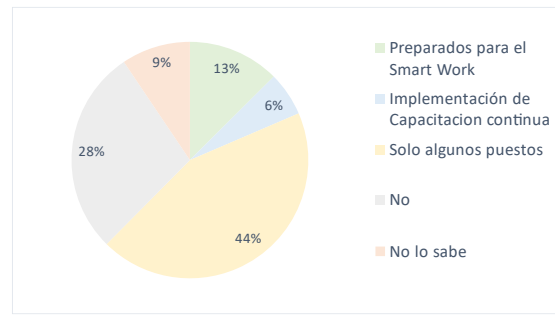


Figura 20 – Segundo periodo

En lo referente a las innovaciones dentro de la organización y dado el contexto se observa que, si bien se presentaba un alto uso de las herramientas virtuales antes de la pandemia, y con un fuerte crecimiento de su presencia en la mayoría de las organizaciones, el evento disruptivo en las metodologías de trabajo y el confinamiento han producido una masiva y forzosa migración de las empresas hacia el uso de estas herramientas, no obstante, es apreciable que no han sido efectivas en la totalidad de los casos, pero mayoritariamente muchas de estas incorporaciones han de permanecer, dado que aquello que algunos logren perpetuar como estándar de atención y gestión les dará una ventaja competitiva a la que los demás actores deberán adaptarse o enfrentar una resignación de la cuota de mercado.

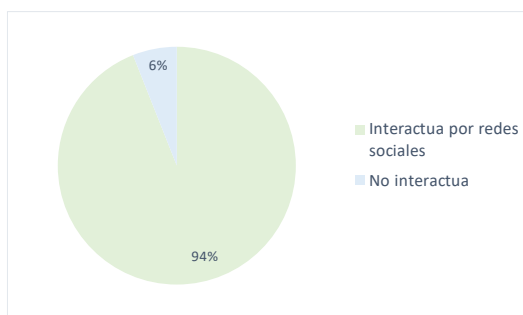


Figura 21 – Segundo periodo

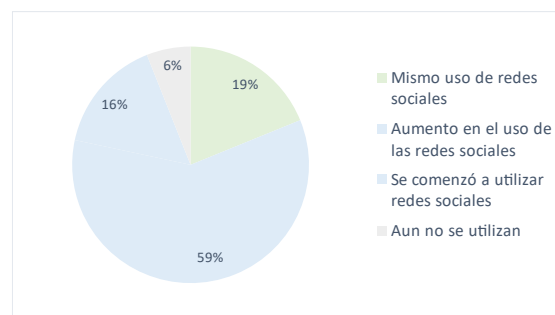


Figura 22 – Segundo periodo

## 5. ALGUNAS CONCLUSIONES

Atento a lo expuesto, se puede decir que las organizaciones envejecen y con ello plasman ideas de gestión de recursos humanos, no a la velocidad que sería deseable, pero al menos es un tema que se tiene en cuenta y de manera más significativa que en el pasado, aun en momentos de pandemia.

Al empresario Pyme típico, le cuesta involucrarse en llevar adelante la aplicación de normas de calidad, tanto para sí mismo, como exigírselo a sus proveedores, hay que ver a este proceso de aplicación de normas como una inversión en ciertos procedimientos que garanticen que el sendero de la expansión debería realizarse a partir de un estándar de calidad.

Un tema tan importante es el vínculo con las organizaciones de ciencia y tecnología de la zona no se vislumbra ni permanente ni profundo. En un importante número de ocasiones estas ausencias se deben a alejamientos que tienen su razón de ser en la presencia de un Estado, con demasiada participación en distintos ámbitos, entonces “la oferta” de servicios diseñada desde las instituciones de la ciencia y la tecnología está más habituada a trabajos con el Estado, que con empresas privadas Pymes que tienen su propio modo de ver los acontecimientos y la realidad. En este aspecto las Universidades y los Institutos de Investigación deben adaptarse a la configuración y los tiempos que propone el sector privado Pyme, como una manera de reducir las reticencias a establecer vínculos con estos sectores.

La introducción de la tecnología en aspectos como la producción de bienes y servicios debe continuar, y de ninguna manera ser dejada de lado en pos de otra alternativa, por ello sería muy interesante, que desde las conducciones empresarias de las Pymes puede propiciarse el trabajo en entornos virtuales colaborativos, como un modo de avanzar sobre la participación del personal, la generación de ideas dentro de las mismas empresas, el surgimiento de buenas ideas y de un mayor compromiso dentro de la organización.

La introducción y adaptación de tecnología dentro de la organización debe continuar, aunque haya cesado significativamente la presencia de restricciones respecto del fenómeno de la pandemia de COVID19, de modo que se continúe potenciando la innovación y el mejor aprovechamiento de los recursos humanos que tienen un alto compromiso con la empresa.

## 6. REFERENCIAS

Angulo Noel, B. G., & Carretero Landauro, D. A. (2021). Mejoras en la gestión de almacén, procesos y costos operativos en pymes. Una revisión sistemática entre 2009-2019.

Aroca Bavich, A., Martínez Llana, D., Ossandon, I., & García, R. (2019). Las PyMEs en Santa Cruz, Análisis, Distribución e Innovación Vinculada al uso de las TICs. *Revista Tecnología Y Ciencia*, (34), 1-15.

Baldovino, F. H. P., Vásquez, M. A. P., & Muñoz, M. E. (2021). La importancia del proceso de selección de personal en el desarrollo de las políticas de gestión del talento humano en las PYMES colombianas. *Conocimiento global*, 6(S1), 48-60.

Beingolea, A. M. (2021). La gestión del talento en las Pymes. *Notas Académicas*. Departamento académico de ciencias de la gestión. PUCP

Bohlander G. Snel S. (2006). "Managing human resources". 6ed, Cengage,

Bolaños, C. L. R., Arauz, C. D. L., Rojas, E. R. C., & Ruiz, F. U. (2021). Tecnologías de información y comunicación como eje de la competitividad en las pymes de Latinoamérica. *MUNDO RECURSIVO*, 4(2), 143-165.

Borello, J. A., Carmona, R. R., Couto, B., Battistini, O. R., Lattanzi, R., Esmerado, A., ... & Amorín, D. (2021). Los efectos de la pandemia en la industria manufacturera del conurbano bonaerense.

Castells, M. (2005). "La era de la información Vol.1. La sociedad red", 1ed, Madrid, Alianza Editorial.

Cuesta Santos A. (2005). "Tecnología de gestión de recursos humanos" 2da Ed. Academia, La Habana,

Delgado Anaya, D. A., & Salas Cueva, A. E. (2021). Revisión sistemática de literatura científica sobre la aplicación del Business Intelligence en la gestión de pymes.

Ferris, G. R., Hall, A. T., Royle, M. T., & Martocchio, J. J. (2004). Theoretical development in the field of human resources management: Issues and challenges for the future. *Organizational Analysis* (15517470), 12(3).

García Camacho, M. E. (2021). Diseño e implementación de un sistema de indicadores de productividad para la gestión de Pymes colombianas.

García R. (1999). "Formulación estratégica. Un enfoque para directivos", 1er Ed. Ediciones Félix Varela, Cuba.



- Gonzalez, A. P. L., & Alva, P. N. M. (2021). Estrategias de comunicación aplicadas a PYMES entre los años 2016 y 2021: una revisión de literatura. *Revista Ciencias y Artes*, 1(2), 74-86.
- Guaranda Lara, S. N. (2021). Modelo de gestión para el alineamiento de estrategias corporativas en pymes mediante las tecnologías de la información y comunicación (Bachelor's thesis).
- Harper y Lynch (1992). "Manuales de recursos humanos", 1er Ed., Editorial Gaceta de negocios, Madrid
- Hernandez Valencia R. A. (2009). "Estudio sobre los usos de las TIC en las Pymes del Área Metropolitana Centro Occidente de Colombia", *Revista de la Universidad Cooperativa de Colombia*, Vol. 5 (12)
- Llanes W. (2004). "La dirección estratégica en la empresa" Ediciones CETDIR, Cuba
- Peirano F., Suárez D. (2006). "Tics y empresas: propuestas conceptuales para la generación de indicadores para la sociedad de la información", *Journal of Information Systems and Technology Management*, Vol. 3 (2), 132-142
- Pena R. P. M. (2004). "Ética y estrategia en un marco teórico referencial de la ética de negocios" *Revista de Administração Contemporânea*, Vol 8, 229-252
- Porter M. E. (1982). "Estrategia competitiva: técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia" continental, Chile
- Rodriguez Galarreta, L. A. (2021). Gestión de las pymes y su relación con el sistema de información gerencial, una revisión sistemática de la literatura en los últimos años.
- Rodríguez, X. E. S., Rivera, I. Y. Á., Suárez, A. S. B., & Castro, B. A. C. (2021). Tecnologías de información y comunicación en la gestión empresarial de las pymes. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(3), 476-496.
- Sánchez Ortiz D. L. (2013). "influencia de la calidad de vida laboral en los individuos y las organizaciones" Univ. de la sabana
- Villegas, R. M. (2021). Innovación, creatividad y desarrollo tecnológico en las PyMEs de Rio Gallegos-Santa Cruz.
- Yoguel G., Boscherini F. (1996). "La capacidad innovativa y el fortalecimiento de la competitividad de las firmas: el caso de las pymes exportadoras argentinas" CEPAL, Buenos Aires

# Manufactura esbelta: Diagnóstico en una organización dedicada a la fabricación de lanchas a base de fibra de vidrio

**Ajdyadel Yajaira, Burgos Guzmán**

[yajaira.burgosg@gmail.com](mailto:yajaira.burgosg@gmail.com)

*Instituto Tecnológico de Sonora (México).*

**Ríos Vázquez, Nidia Josefina**

[nidia.rios@itson.edu.mx](mailto:nidia.rios@itson.edu.mx)

*Instituto Tecnológico de Sonora (México).*

**Arellano González, Alejandro**

[aarellanog@gmail.com](mailto:aarellanog@gmail.com)

*Instituto Tecnológico de Sonora (México).*

**Carballo-Mendívil, Blanca**

[bcarballom@gmail.com](mailto:bcarballom@gmail.com)

*Universidad o institución del tercer autor (País).*

Fecha de recepción RIII: 10/03/2023

Fecha de aprobación RIII: 19/07/2023

## RESUMEN

La competitividad organizacional surge de la productividad, la cual se da cuando las empresas emplean eficientemente sus recursos, para producir productos y servicios que generen valor a un cliente al menor costo posible, lo cual implica el uso de herramientas como las asociadas a la filosofía de manufactura esbelta, las cuales favorecen la eliminación de acciones que no agregan valor. Es por ello que el objetivo de este proyecto es analizar el proceso de fabricación de pangas de fibra de vidrio en una empresa del sector pesquero, utilizando herramientas de manufactura esbelta, con el fin de identificar áreas de oportunidad que promuevan la mejora de la competitividad organizacional. Se realizó un análisis SIPOC del proceso de moldeo de la base de la panga, la cual sirvió de base para elaborar el mapeo de la cadena de valor (VSM) actual para identificar los desperdicios presentes en dicho proceso. Estos desperdicios se buscaron eliminar con propuestas de mejora, y el resultado del proceso mejorado se representó en un VSM de estado futuro, en el cual se reducía el tiempo de espera del proceso en casi 50%. Por último, se estructuró un plan de acción para la implementación de dichas propuestas, alineado a los objetivos estratégicos de la empresa, ya que de esta manera se puede comprometer más fácilmente al logro de los objetivos operativos establecidos al aplicar este tipo de herramientas, y verse favorecida en todos los aspectos posibles.

**Palabras Claves:** Manufactura esbelta, diagnóstico de procesos, Mapeo de Cadena de Valor

### **Lean manufacturing: Diagnosis in an organization dedicated to the manufacture of fiberglass-based boats**

#### **ABSTRACT**

Organizational competitiveness arises from productivity, which occurs when companies use their resources efficiently to produce products and services that generate value for a customer at the lowest possible cost, which implies the use of tools such as those associated with the philosophy of lean manufacturing, which favor the elimination of actions that do not add value. That is why the objective of this project is to analyze the manufacturing process of fiberglass pangas in a company in the fishing sector, using lean manufacturing tools, to identify areas of opportunity that promote the improvement of organizational competitiveness. A SIPOC analysis of the panga base molding process was carried out, which served as the basis for developing the current value chain mapping (VSM) to identify the waste in said process. These wastes were sought to be eliminated with improvement proposals, and the result of the improved process was represented in a future state VSM, in which the cycle time was reduced by almost 50%. Finally, an action plan was structured for the implementation of these proposals, aligned with the strategic objectives of the company, since in this way, it can be more easily committed to the achievement of the established operational objectives when applying this type of tool, and see favored in all possible aspects.

**Keywords:** Value Stream Map; Lean Manufacturing; process diagnosis.

### **Lean manufacturing: Diagnóstico em uma organização dedicada à fabricação de barcos à base de fibra de vidro**

#### **RESUMO**

A competitividade organizacional surge da produtividade, que ocorre quando as empresas utilizam seus recursos de forma eficiente para produzir produtos e serviços que gerem valor para um cliente ao menor custo possível, o que implica a utilização de ferramentas como as associadas à filosofia da manufatura enxuta, que favorecem a eliminação de ações que não agregam valor. É por isso que o objetivo deste projeto é analisar o processo de fabricação de pangas de fibra de vidro em uma empresa do setor pesqueiro, utilizando ferramentas de manufatura enxuta, a fim de identificar áreas de oportunidade que promovam a melhoria da competitividade organizacional. Foi realizada uma análise SIPOC ao processo de moldagem da base de panga, que serviu de base para o desenvolvimento do atual mapeamento da cadeia de valor (VSM) para identificar os desperdícios presentes no referido processo. Buscou-se eliminar esses desperdícios com propostas de melhorias, e o resultado do processo aprimorado foi representado em um VSM de estado futuro, no qual o tempo de ciclo foi reduzido em quase 50%. Por fim, estruturou-se um plano de ação para a implementação destas propostas, alinhado com os objetivos estratégicos da empresa, pois desta forma pode ser mais facilmente comprometida com o alcance dos objetivos operacionais estabelecidos ao aplicar este tipo de ferramentas, e ver favorecida em todos os aspectos possíveis.

**Palavras chave:** manufatura enxuta; diagnóstico do processo; mapeamento da Cadeia de Valor.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se espera que la población mundial aumente 2,000 millones de habitantes hasta llegar a los 9, 600 millones de personas para el año 2050. Esto representa el enorme desafío de alimentar al planeta y de igual forma, proteger los recursos naturales para generaciones futuras. La pesca y la acuicultura representan un papel fundamental para hacer frente a esta problemática, además de representar fuente de salud y de riqueza comercial, el empleo en este sector ha crecido más rápido que la población mundial (FAO, 2016a).

Se le llama pesca a la captura de peces y otros organismos que se encuentran en aguas saladas, salobres y dulces; la cual se puede desarrollar en zonas marinas, costeras, así como en interiores (FAO, 2016b). Los tipos de pesca son diversos, entre los cuales existen la pesca deportiva, comercial, industrial, submarina, artesanal, entre otras (CONAPESCA, 2016). La pesca artesanal es una técnica sencilla y tradicional, sin desarrollo tecnológico. Los lugares más frecuentes donde se practica son las zonas costeras, aunque también pueden abarcar otro tipo de aguas como lagos o ríos. Es un estilo muy común sobre todo para las regiones poco desarrolladas, donde la producción es escasa y sólo sirve para sustento, y en ocasiones suelen destinar una pequeña parte a la venta (FAO, 2016a).

Para llevar a cabo la pesca artesanal se utilizan pangas, que son una especie de lancha rústica, usada generalmente en México y Centro América. La panga se compone principalmente de fibra de vidrio, un material fibroso obtenido mediante el procesamiento de vidrio a altas temperaturas. Sus propiedades favorecen el aislamiento térmico, es inerte a los ácidos y soporta altas temperaturas. Sus características y precio bajo de su materia prima, lo han convertido en un producto con múltiples aplicaciones industriales (FAO, 2016b).

El proceso de producción para crear este tipo de bien, como cualquier otro, demanda inversión y es la principal actividad de cualquier sistema económico que se organiza justamente para producir y distribuir bienes que garanticen la satisfacción a sus necesidades (Turrent, 2012), en este caso del sector pesquero.

Para lograr los objetivos que se plantea cualquier empresa, es necesario realizar una adecuada gestión de los recursos y las actividades que los requieren, puesto que uno de los signos más característicos de la sociedad contemporánea es, sin duda alguna, la preocupación explícita por la calidad, la productividad y los costos en todos los ámbitos (Miller & Le-Breton, 2005), como base para lograr la competitividad.

Así pues, la competitividad surge de la productividad, por la forma en que las empresas emplean sus factores para producir productos y servicios valiosos (Porter, 2008), al menor precio, es decir, cómo efectúan sus procesos al menor costo posible (Ruiz & Longas, 2007). Esto requerirá el uso de herramientas que apoyen a las organizaciones (Correa, 2009).

La manufactura esbelta o Lean Manufacturing se constituye por herramientas que favorecen la eliminación de acciones que no agregan valor, ya sea fortaleciendo el valor en cada actividad o bien eliminando todo aquello que no lo haga (Correa, 2009).

Esta metodología tuvo su origen en Japón como parte del sistema de fabricación de Toyota como una forma de producir, para tener una menor cantidad de desperdicio y ser igualmente competitivos que las compañías automotrices americanas. A partir de ahí ha recibido atención por parte de profesionales e investigadores de todo el mundo, como un enfoque que puede lograr una mejora significativa del rendimiento industrial (Susilawati, Tan & Bell, 2015).

Actualmente el sistema de manufactura esbelta se considera como una filosofía de excelencia, basada en la eliminación de desperdicios, la aplicación de eventos de mejora (Kaizen, en japonés), y mejorar sistemática y consistentemente la calidad y productividad (Naveen, Sanjay, Abid & Pardeep, 2013).

Es por ello que el objetivo de este proyecto es analizar el proceso de fabricación de pangas de fibra de vidrio, utilizando herramientas de manufactura esbelta, con el fin de identificar áreas de oportunidad que promuevan la mejora de la competitividad organizacional.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El objeto de estudio en este proyecto es el proceso de producción de pangas de fibra de vidrio utilizadas en la pesca artesanal. Físicamente este proceso se ejecuta en el taller de la empresa, utilizando moldes para lograr la forma de la panga, así como fibra de vidrio y resina principalmente como materiales para rellenar dichos moldes, y así obtener la base de la lancha, a la cual después se le agregan los asientos y la cubierta previamente fabricados con el mismo material, y por último toda la pieza es pintada. Este es un proceso totalmente artesanal y cumplir con los diferentes requerimientos establecidos por cada cliente, por lo que presenta alta variabilidad; el tiempo de producción es en promedio 10 días, según sean las dimensiones de la unidad solicitadas por el cliente.

Para estudiarlo se utilizó una metodología que ha sido adaptada de otros estudios (Cobos, 2016; Niño Luna, 2010), la cual consiste en analizar todas las actividades realizadas en el área de producción para el desarrollo de las operaciones diarias, no sólo mediante la observación directa y el diálogo constante con el personal que allí labora, sino con un estudio de métodos, tiempos y la realización de diagramas de flujo de procesos que permitirán determinar las variables o parámetros relevantes, y de esta manera definir los objetivos pertinentes para el desarrollo del proyecto.

Las herramientas de manufactura esbelta aplicadas fueron las siguientes. En primer lugar, se realizó un análisis SIPOC (por sus siglas en inglés: Supplier – Inputs- Process- Outputs – Customers), el cual representa un proceso de manera gráfica, y posibilita reconocer todos sus elementos: entradas y salidas, así como proveedores y clientes vinculados a cada actividad del proceso (Bermudez & Millán, 2013).

Posteriormente, se realizó el mapeo de la cadena de valor, para lo cual primeramente se elaboró un layout, donde se identificó la línea de producción actual, los equipos, las áreas de almacenamiento, y el flujo de materiales, todo esto siguiendo la simbología y reglas de la herramienta de análisis llamada Value Stream Map (VSM, por sus siglas en inglés). Esta herramienta de la metodología Lean Manufacturing desde sus orígenes se utiliza con resultados exitosos, puesto que su correcta aplicación ayuda a la mejora de procesos, permite hacerlos más eficientes y reducir los desperdicios encontrados en el área de producción (Espinoza, Naranjo, Coronado, Acosta & Ramírez, 2011).

En los diagramas VSM del estado actual se representa el flujo de producción de cada producto, el tiempo de cada ciclo de operación, la eficiencia de los equipos, y el porcentaje de desperdicios, datos que son necesarios conocer antes de plantear una propuesta de mejora a través de un VSM futuro (MIT, 2012).

En este proyecto, para conocer la situación de partida y así determinar las actividades que no generan valor que pueden ser modificadas para obtener la mejora de los procesos, primeramente, se realizaron sesiones de trabajo con los operadores involucrados directa e indirectamente con este proceso clave para la obtención y registro de los datos requeridos para el análisis y posteriormente se utilizó el software iGrafax para la elaboración del diagrama del VSM del estado actual.

Posteriormente, y siguiendo la misma lógica, se elaboró otro diagrama que representara la mejora del proceso, el VSM del estado futuro, donde se reflejaron la eliminación de actividades que no agregaban valor, es decir, los cambios posibles que podrían realizarse dentro del proceso de fabricación de las pangas de fibra de vidrio. Entre estos desperdicios, que se definen como actividades que no añaden valor en el producto (Días, 2017), se encontraron los tiempos de ocio, uso inadecuado de herramientas, extravió de materiales y riesgos de trabajo por el desorden y falta de limpieza del taller, residuos de materiales como resina y otros insumos, así como, retrabajos en el producto terminado para cumplir con las especificaciones mínimas de calidad.

Finalmente, partiendo de este estado idealizado del proceso, se establecieron planes de acción concretos para llevar a implementar los cambios establecidos y así, lograr la meta respecto a las mejoras esperadas.

### 3. RESULTADOS

#### Análisis SIPOC del proceso de fabricación de pangas

El análisis SIPOC creado se resume en la Tabla 1. Como se observa en la primera columna, el proceso de moldeo de la base de las pangas de fibra de vidrio que se fabrican en la empresa se compone de cuatro fases y ocho actividades, las cuales describen lo que se hace actualmente. La segunda columna reporta los insumos que se necesitan para ejecutar cada una de estas actividades, mientras que en la tercera y cuarta columna reportan la forma y el tiempo en minutos que lleva realizarlas. Por su parte, en la quinta columna se indican los desperdicios o aquellos aspectos que no agregan valor en cada fase. Y finalmente en la sexta se señala cómo podrían mejorarse, es decir, las áreas de oportunidad detectadas.

Tabla 1. Análisis SIPOC del proceso de moldeo de la base de la panga

	Flujo del proceso			Características del proceso		
	Actividad	Entrada	Proceso	Tiempo	Desperdicios	Oportunidades
1	Limpiar molde	Espátula, lija y pistola de aire	Con espátulas, lijas y pistola de aire se procede a quitar los restos del proceso anterior	120 min	Quitar restos del molde con espátula.	Utilizar papel periódico en el trabajo anterior para minimizar el tiempo de limpieza
	Encerar molde	Estopa y cera	Se dispersa la cera por todo el molde y con estopa se procede a distribuir uniformemente quitando excesos.	13,13 min		Estandarizar la cantidad de cera a utilizar
2	Aplicar película de alcohol	Película de alcohol, agua, estopa y/o esponjas	Se dispersa el líquido por todo el molde y con trapos, esponjas y/o estopas se distribuye la película previamente diluida en agua.	8.27 min	Inadecuada aplicación de película, tiempo de aplicación	Estandarizar cantidades de materiales
	Dejar secar		Cuando el molde ya no se sienta pegajoso está listo para la siguiente actividad.	58.55 min		Estudio de tiempos de secado por estaciones
3	Aplicar gelcoat	Gelcoat, thinner,	Se prepara el gelcoat con thinner, después	43.45 min	Inadecuada preparación	Estandarizar materiales

	Flujo del proceso			Características del proceso		
	Actividad	Entrada	Proceso	Tiempo	Desperdicios	Oportunidades
		catalizador y pistola de aire	se le agrega catalizador (secador), se mezcla hasta lograr una consistencia uniforme y se aplica con pistola de aire.		de gelcoat, desperdicio de thinner.	relacionando cantidad de catalizador con temporada del año
	Dejar secar		Monitoreo de la pieza para verificar el cumplimiento de la especificación	71 min		Estudio de tiempos de secado por estaciones
4	Aplicar capas de fibra de vidrio	Resina, catalizador, fibra de vidrio, petatillo, colchoneta, rodillos.	Se rocía una capa de pintura para detectar imperfecciones, después se coloca una capa de colchoneta y se moja con resina, luego una capa de petatillo y se moja de nuevo con resina, después una capa de fibra de vidrio y encima se pone resina con rodillos. Este procedimiento se realiza hasta completar cuatro capas.	210 min	Residuos de resina, catalizador, fibra de vidrio.	Estandarizar materiales y cuidados de herramientas
	Dejar secar		Monitoreo de la pieza para verificar el cumplimiento de la especificación	180 min		Estudio de tiempos de secado por estaciones

En resumen, el análisis SIPOC presentado en la Tabla 1 expresa que la fase del proceso es limpiar y encerar el molde en que se elaborará la base de la panga, operación que tarda 133 minutos en realizarse; la limpieza se ejecuta con espátulas para quitar los restos, lo cual se considera un desperdicio que podría evitarse al utilizar papel periódico en el trabajo anterior para minimizar su tiempo de ejecución. Por su parte, el moldeo se ejecuta con estopa para dispersar la cera por todo el molde, distribuyéndola uniformemente y quitando excesos; en esta operación debe estandarizar la cantidad de cera a utilizar para contribuir a la eficiencia.

Cuando se trabaja con fibra de vidrio es necesario utilizar una serie de medidas de seguridad para evitar riesgos innecesarios. Los daños a la salud que puede ocasionar la fibra de vidrio son: Irritación de garganta, ojos y piel, irritación de glándulas sudoríparas, alteraciones pulmonares y neurológicas, dermatitis de contacto, quemaduras, posible efecto cancerígeno de la lana de vidrio, entre otros efectos nocivos a la salud.

En la siguiente fase se aplica la película de alcohol, que tarda alrededor de 66 minutos. En esta operación se dispersa la película previamente diluida en agua por todo el molde, usando trapos, esponjas y/o estopas. En esta operación se observa una incorrecta aplicación de la película de pintura, lo que ocasiona un inadecuado uso del líquido; se debe buscar el modo correcto para utilizar una cantidad estándar de material. Esta fase termina cuando el molde ya no se siente pegajoso, lo cual indica que está en

condiciones adecuadas para llevar a cabo la siguiente actividad, por lo que sería valioso un estudio de tiempos de secado para conocer este dato preciso según la estación del año.

La siguiente etapa se refiere a la aplicación del gelcoat que se realiza en 155 minutos. Este producto que se prepara con thinner y un catalizador (secador), los cuales se mezclan hasta lograr una consistencia uniforme, previo a su aplicación con la pistola de aire. Aquí se observa una inadecuada preparación, puesto que se presenta desperdicio de thinner, que pudiera evitarse al estandarizar la cantidad de materiales según la temporada del año en que se fabrica la panga.

La última fase es el moldeo de la base de la panga, es la que requiere más tiempo para su elaboración, ya que aquí se realiza la aplicación de cuatro capas de fibra de vidrio. Para obtener una capa primeramente se rocía una capa de pintura para detectar imperfecciones, después se coloca una capa de colchoneta y se moja con resina, luego una capa de petatillo y se moja de nuevo con resina, después una capa de fibra de virio y encima se pone resina con rodillos. Este procedimiento que requiere de 390 minutos al incluir el secado se realiza cuatro veces, consumiendo mucho tiempo para su aplicación, así como la generación de residuos de resina, catalizador y fibra de vidrio.

### VSM del estado actual

Partiendo de los hallazgos obtenidos con el análisis SIPOC de la fabricación de las bases de la panga, se desarrolló el mapa de flujo de valor (VSM) de la Figura 1, el cual representa visualmente cómo se llevan a cabo todas las actividades del proceso de producción de pangas.

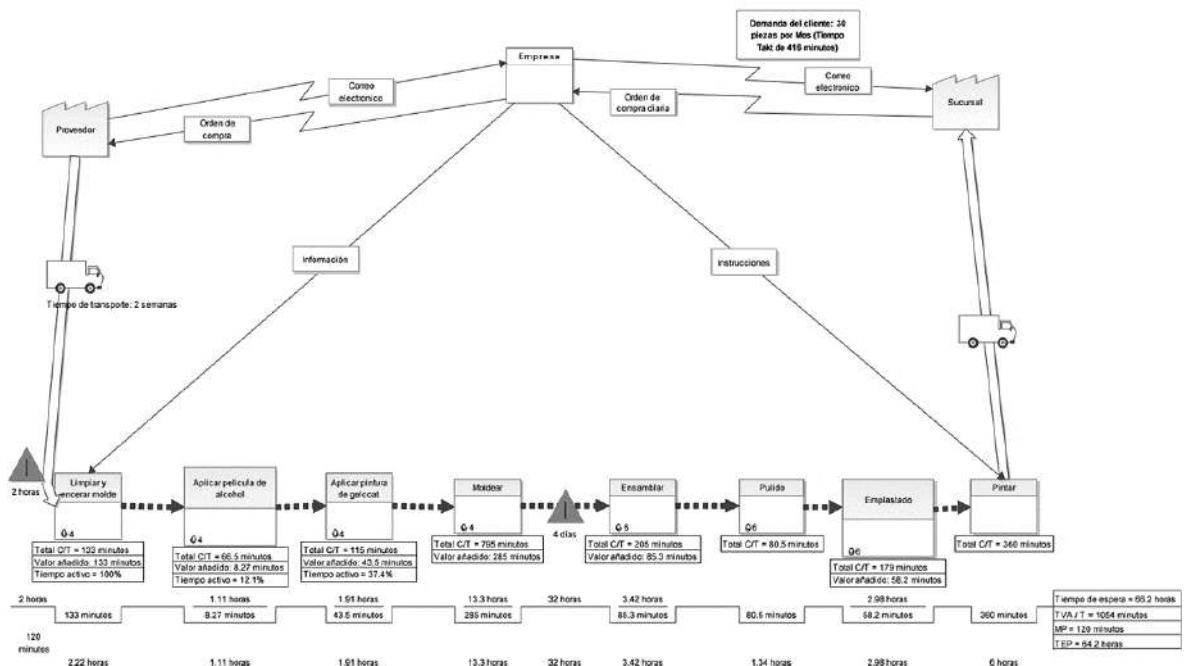


Figura 1. VSM del estado actual. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1 se muestra cómo la empresa primeramente recibe una solicitud por parte del cliente, cuya demanda se estima en 30 pangas al mes, antes de realizar las órdenes de compra de los insumos



correspondientes a los proveedores, quienes requieren en promedio dos semanas para surtir los materiales.

Habiendo una espera de 2 horas antes de iniciar, se ejecutan las cuatro fases del proceso de fabricación de las bases de la panga que fueron explicadas previamente. Como se observa, aunque la primera fase tiene el 100% del tiempo activo como valor añadido, en las siguientes dos este tiempo solo es del 12 y 37% respectivamente, siendo evidente que se requieren implementar acciones de mejora. Por su parte, después de la cuarta fase se presenta un tiempo de espera de 4 días que deben transcurrir antes de continuar con el ensamble, pulido, emplastado y pintado de la panga, obteniendo al final un tiempo de espera de 66 horas.

Tener plasmada toda esta información del proceso de fabricación para las pangas, incluyendo los tiempos que se requieren en cada actividad, permite tener una visión amplia de aquellas que no agregan valor, y de esta forma atacar las mismas para mejorar la eficiencia del ciclo.

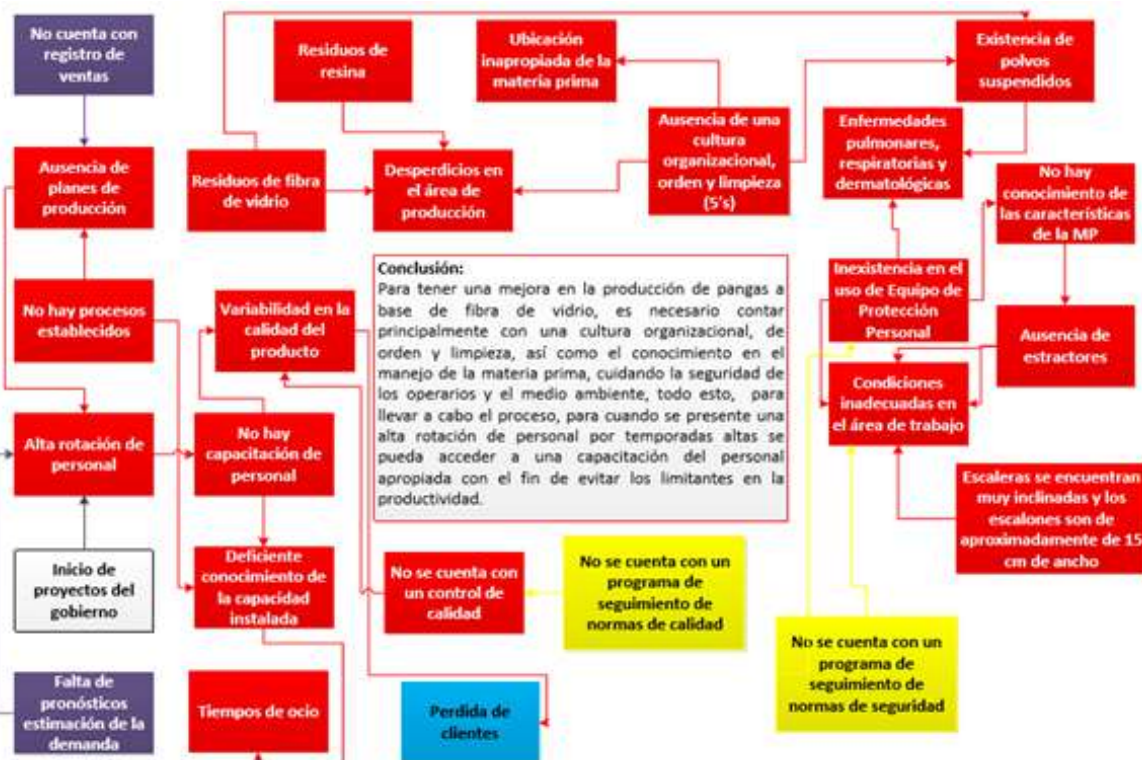


Figura 2. Mapa de Relaciones Causales

Asimismo, se realizó un mapa de relaciones causales, figura 2, donde se detectaron los focos rojos que en el área de producción de pangas resaltaban y así darle un sentido al proyecto desarrollado, en el cual para tener un flujo adecuado en la producción de pangas es necesario contar con una cultura organizacional de orden y limpieza, conocer las buenas prácticas en el manejo de la materia prima, además de cuidar la seguridad de los operarios y el medio ambiente

**Matriz de desperdicios**

Con los hallazgos generados después de la elaboración del VSM del estado actual se elaboró la matriz de desperdicios que se representa en la figura 4, en donde se identificaron y cuantificaron cada uno de estos desperdicios, determinando su tipología y proporción.

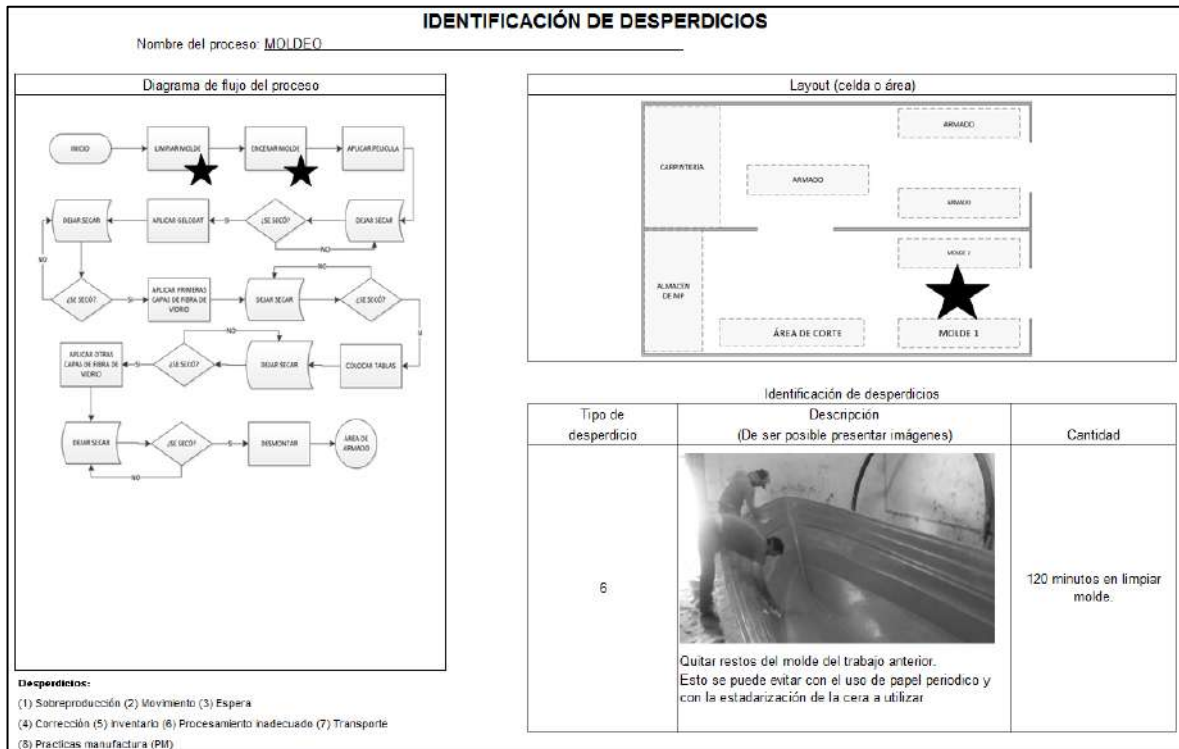


Figura 3. Matriz de desperdicios del taller de fabricación de pangas. Fuente: Elaboración propia

Como se observa en parte izquierda de la Figura 3, se ha nombrado moldeo al diagrama que representa el flujo de las cuatro fases del proceso de fabricación de pangas analizado en el SIPOC. En este diagrama se identifican con una estrella las actividades donde se detectan la mayor parte de los desperdicios, y en la parte superior derecha de la misma figura, y usando el mismo icono de estrella, se señala el área física en el layout del taller donde son ejecutadas dichas actividades. Por último, en la esquina inferior derecha se indica el tipo de desperdicio y su cuantificación en horas-hombre, que como se observa, corresponde a la tipología de procesamiento inadecuado, que se da al quitar los restos de material que quedan en el molde después de su uso, y que no son limpiados en su momento al final del proceso, sino que se convierte en la primera actividad del proceso que lleva 120 minutos que pueden reducirse con la limpieza oportuna con el uso de papel periódico; asimismo, este desperdicio se puede reducir al promover la estandarización entre los empleados sobre la aplicación de la cera utilizada.

### VSM del estado futuro

El mapa de flujo de valor del estado futuro mostrado en la Figura 4 refleja la forma idealizada en la que deberían ejecutarse el proceso, puesto que reduce hasta en un 50% los tiempos de espera identificados.

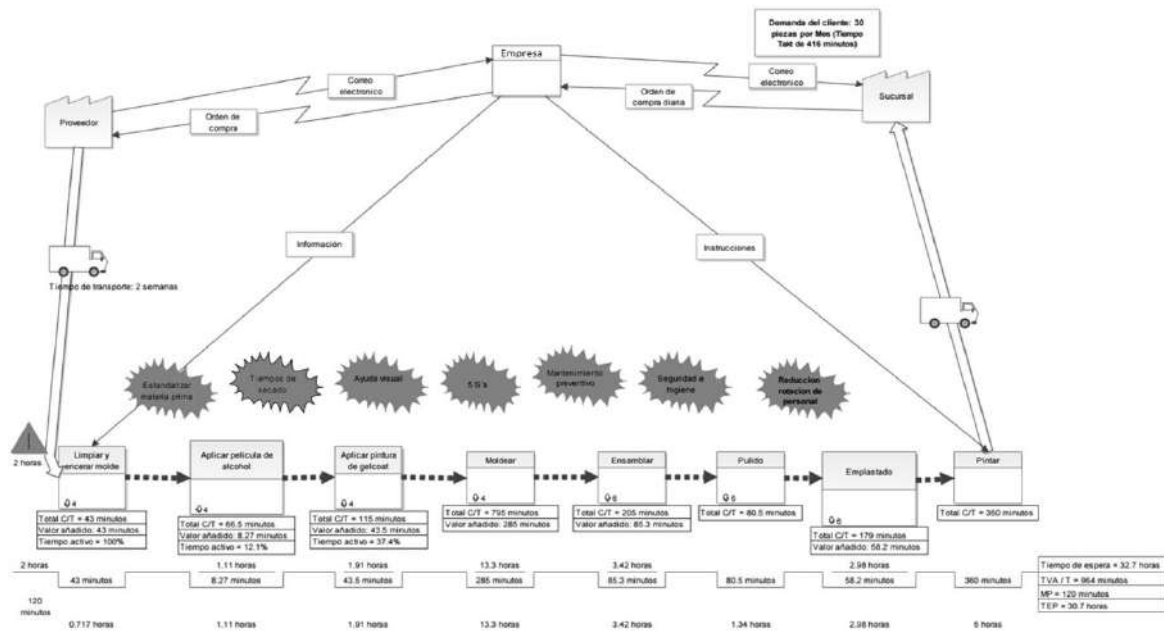


Figura 4. VSM del estado futuro. Fuente: Elaboración propia

Para lograr esta reducción, se requieren implementar las acciones representadas en estrellas en la Figura 4, tales como la estandarización en el uso de materiales, estudio de los tiempos de secado, diseño de ayudas visuales, aplicación de un proyecto de 5S's, establecimiento de un sistema de mantenimiento preventivo, implementación de un programa de seguridad e higiene y la reducción en la rotación del personal operativo.

Cada una de estas acciones impactarán en la reducción del tiempo que implica la fase de limpieza y encerado del molde, de 2.2 horas a 43 minutos, abonando a la reducción del tiempo total de producción, de 64 a 30 horas.

### Plan de acción

Por último, para facilitar la implementación de las acciones de mejora establecidas, se elaboró el plan que se observa en la Tabla 2, el cual muestra el objetivo estratégico de la empresa al cual contribuye el proyecto, así como seis objetivos específicos que se establecen para la mejora de la cadena de valor, las metas para dichos objetivos, el periodo en que se espera se desarrolle la meta y la fecha de revisión para darle seguimiento a su implementación.

Tabla 2. Plan de acción

<b>Objetivo Empresarial:</b> Diseñar un proceso logístico que permita mejorar el proceso productivo de la empresa utilizando los principios de Lean manufacturing, con el fin de lograr aumentar la productividad de los operarios, así como el uso de equipo y herramientas de trabajo.			
Objetivo de Cadena de valor	Meta	Periodo	Fecha de revisión
Estandariza la materia prima usada en el proceso	Optimizar materia prima al 100%	1 a 30 marzo	12 de marzo

Implementar 5Ss en área de producción	5S's implementadas al 100%	1 a 30 marzo	12 de marzo
Implementar ayudas visuales en área de producción	Ayudas visuales implementadas al 100%	1 a 30 marzo	12 de marzo
Aplicar mantenimiento preventivo equipos y herramientas del área de producción	Aumento de mantenimiento preventivo en un 50%	1 de abril a 30 de julio	29 de mayo
Reducir la rotación de personal del área de producción	Disminución de rotación en un 30%	1 de agosto a 30 de agosto	14 de agosto
Implementar programa de seguridad e higiene en área de producción	Implementación en un 100%	1 septiembre a 30 de octubre	29 de octubre
<b>Persona a cargo:</b> Coordinador de logística y producción			
<b>Departamento Relacionado:</b> Área de producción			
<b>Encargado de revisión:</b> Gerente de Cadena de Suministro			

Adicionalmente, al calce del plan de la Tabla 2 se indican las personas que se deben involucrar en su implementación, ya que, para lograr el éxito de lo planteado, es muy importante que el personal de las áreas esté comprometido con las actividades correspondientes y convencidos de que las herramientas que se proponen son la solución a las oportunidades detectadas.

En función al análisis realizado con anterioridad, con respecto a la implementación de las buenas prácticas y una adecuada redistribución física en el área de producción de pangas, se puede resaltar que con la aplicación de la metodología de las 5's en el área de producción se incrementó la eficiencia pasando de un 38% a un 85%. Partiendo de lo anterior se tiene un control en las áreas de trabajo, disminuyó la cantidad de objetos y maquinarias obsoletas, se logró tener una reducción en el tiempo de procesamiento pues los materiales y las herramientas ahora son más fáciles de identificar.

Por último, se puede mencionar que aplicar una metodología como lo es Lean Manufacturing no es algo sencillo, pero es una filosofía que se puede aplicar a diferentes entornos y tipos de empresas ya sea que produzcan bienes o servicios, siempre y cuando se utilice el enfoque adecuado. Es importante considerar que al hacerlo no se debe subestimar la resistencia natural que se presenta con cualquier cambio en los sistemas productivos y que la participación de las personas en los procesos de implantación es esencial para poder aprender de forma rápida y fácil el funcionamiento del sistema objeto de estudio (Prida & Grijalvo, 2007).

#### 4. CONCLUSIONES

Finalmente, se concluye que las empresas realmente competitivas deben ser proclives al cambio, buscando ser productivas al reducir costos o producir bienes o servicios lo que otras no producen, teniendo siempre en mente la satisfacción del cliente.

El papel que juegan las herramientas de apoyo como las utilizadas en este proyecto, es fundamental, dado que esta permite la identificación de áreas de mejora y coordinación de actividades para realmente lograr dichas mejoras. En este caso, y siguiendo los pasos de la metodología propuesta se logró cumplir con el objetivo establecido, al establecer un plan de acción propuesto para la mejora del proceso de fabricación de pangas de fibra de vidrio, que al implementarse se espera lograr una reducción en los tiempos de entrega, aumento de la satisfacción de los clientes, eficacia en el cumplimiento de pedidos, y eventualmente una mayor rentabilidad y mejor visibilidad ante el cliente a nivel nacional.

Sin embargo, es indispensable que la empresa objeto de estudio se comprometa a dar seguimiento a las metas y objetivos planteados para cumplir con la estrategia que ésta tiene establecida y verse favorecida en todos los aspectos posibles.

Es importante considerar que, como cualquier iniciativa de cambio, la implementación de la filosofía esbelta puede diferir de una empresa a otra. Algunas de estas diferencias pueden atribuirse al ambiente competitivo en el que se ven inmersas, el tipo de clientes que atienden, la madurez del proceso productivo, incluso a los conocimientos y experiencia previa que se tiene sobre la propia filosofía. Es por ello que el estudio presentado puede ser utilizado como un referente para otros proyectos futuras sobre la aplicación de dicha filosofía, como por ejemplo investigaciones orientadas a la determinación de la relación e impacto que tiene este sistema de producción y el logro de una adecuada gestión de la cadena de suministro, que permita dar certeza respecto a que cualquier esfuerzo operativo que se realice en cualquiera de sus eslabones, tenga un impacto positivo en el consumidor del bien o servicio que se encuentra al final de la cadena de valor.

## 5. Agradecimientos

Se agradece el apoyo recibido para la realización de esta investigación al Instituto Tecnológico de Sonora por el apoyo recibido a través del Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPICA 2023). De igual manera se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) y al Instituto Mexicano del transporte (IMT) por el apoyo otorgado a través del Laboratorio Nacional Sistemas de Transporte y Logística (SiT-LOG Lab) Sede ITSON para el desarrollo del proyecto.

## 6. REFERENCIAS

Bermudez, A., & Millán, J. L. (2013). *Metodología para el Mejoramiento en los Procesos de Dirección de Proyectos del Fondo de Prevención y Atención de Emergencias-FOPAE*. Gerencia de proyectos, Universidad EAN, Bogotá. Obtenido de <http://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/5825/BermudezAngelica2013.pdf?sequence=1>

Cobos, J. R. (2016). Implementación de la Metodología Lean Manufacturing a una cadena de producción agroalimentaria.. Sevilla, España. Obtenido de [http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70759/fichero/TFM\\_Javier\\_Ruiz\\_Cobos.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70759/fichero/TFM_Javier_Ruiz_Cobos.pdf)

CONAPESCA (2016). *Acuicultura es el futuro de la producción nacional de pescados y mariscos:CONAPESCA*. Mazatlán. Recuperado el 10 de agosto de 2016, de [http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/4\\_de\\_agosto\\_de\\_2016\\_mazatlan\\_sin](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/4_de_agosto_de_2016_mazatlan_sin)

Correa, A. (2009). Tecnologías de la información en la Cadena de Suministro. *DYNA*, 37-48. Obtenido de <http://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/captureCite/9551/11475/ApaCitationPlugin>

Días, M. (2017). *UNAM. Lecturas de ingeniería: la manufactura esbelta*. Ciudad de México, México. Obtenido de [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m4/manufactura%20esbelta.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/manufactura%20esbelta.pdf)

Espinoza, M., Naranjo, A., Coronado, E., Acosta, M., & Ramírez, E. (octubre de 2011). Manufactura esbelta aplicada a una línea de producción de una empresa galletera. *El Buzón de Pacioli*, 74. Obtenido de [http://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no74/2.-\\_manufactura\\_esbelta\\_aplicada\\_a\\_una\\_linea\\_de\\_produccion\\_de\\_una\\_empresa\\_galletera.pdf](http://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no74/2.-_manufactura_esbelta_aplicada_a_una_linea_de_produccion_de_una_empresa_galletera.pdf)

FAO (2016a). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*. Obtenido de Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe: <http://www.fao.org/americas/perspectivas/pesca-y-acuicultura/es/>

FAO (2016b). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Oportunidades y desafíos*. Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>

Miller, D., & Le-Breton (2005). *Managing for the long run: Lessons in Competitive Advantage from Great Family Businesses*. Cambridge: Mass. Harvard Business School Press.

MIT (2012). *Bases del Mapa del Flujo de Valor*. Massachusetts Institute of Technology. Chile: GEPUC, Universidad de Chile. Obtenido de [https://ocw.mit.edu/resources/res-16-001-lean-enterprise-en-espanol-january-iap-2012/material-de-lectura/MITRES\\_16\\_001IAP12\\_1-6\\_Bas.pdf](https://ocw.mit.edu/resources/res-16-001-lean-enterprise-en-espanol-january-iap-2012/material-de-lectura/MITRES_16_001IAP12_1-6_Bas.pdf)

Naveen, K., Sanjay, K., Abid, H., & Pardeep, G. (2013). Implementing Lean Manufacturing System: ISM Approach. *Journal of Industrial Engineering Management*, 996-1012.

Niño Luna, B. M. (noviembre de 2010). Metodología para implantar el sistema de manufactura esbelta en PyMES industriales mexicanas. págs. 1284-1307. Obtenido de CONCYTEG: [http://concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/65042010\\_METODOLOGIA\\_IMPLM\\_SIST\\_MANUFAC\\_ESBELTA\\_PYMES.pdf](http://concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/65042010_METODOLOGIA_IMPLM_SIST_MANUFAC_ESBELTA_PYMES.pdf)

Porter, M. E. (Enero de 2008). Las 5 fuerzas competitivas que le dan a la estrategia. *Harvard Business Review*, 1-15.

Prida, B., & Grijalvo, M. (2007). Un caso real de implantación de "lean manufacturing". Metodología y reflexiones sobre el proceso de implantación. *International Conference of Industrial Engineering & Industrial Management. CIO*, 1301-1312. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/277745052\\_Un\\_caso\\_real\\_de\\_implantacion\\_de\\_lean\\_manufacturing\\_Metodologia\\_y\\_reflexiones\\_sobre\\_el\\_proceso\\_de\\_implantacion](https://www.researchgate.net/publication/277745052_Un_caso_real_de_implantacion_de_lean_manufacturing_Metodologia_y_reflexiones_sobre_el_proceso_de_implantacion)

Ruiz, J., & Longas, C. (2007). La política en la era de la globalización. *Chile: cuarto propio*, 9-15.

Susilawati, A., Tan, J., & Bell, D. (2015). Fuzzy logic based method to measure degree of lean activity in manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Systems*, 34, 1-11.

Turrent, L. (mayo de 2012). Reducción de desperdicios de plástico mediante la aplicación de la metodología SIX SIGMA DMAIC. Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla. Obtenido de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lii/lara\\_t\\_a/portada.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lii/lara_t_a/portada.html)

# Análisis de la doble regulación de las instalaciones eléctricas, desde la seguridad industrial y el riesgo eléctrico

**Blanco Silva, Fernando**

[fblancosi@uoc.edu](mailto:fblancosi@uoc.edu)

*Universitat Oberta de Catalunya (España).*

**BARaza Sánchez, Xavier**

[ibaraza@uoc.edu](mailto:ibaraza@uoc.edu)

*Universitat Oberta de Catalunya (España).*

Fecha de recepción RIII: 27/03/2023

Fecha de aprobación RIII: 19/07/2023

## RESUMEN

Por su naturaleza las instalaciones eléctricas son un foco de peligro importante en los edificios, para lo que es necesario que se diseñen, ejecuten y utilicen con unos criterios muy estrictos que garanticen la seguridad de las personas y las cosas en sus proximidades. En España la seguridad de las instalaciones eléctricas se regula desde dos ámbitos como son las derivadas de la normativa en seguridad industrial (Ley 21/1992 de Industria, Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, Reglamento de Líneas de Alta Tensión...) y la normativa propia de la prevención de riesgos laborales (Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y Real Decreto 614/2001 de prevención del riesgo eléctrico). En el presente artículo realizamos un análisis comparativo de estas dos normas, observando que si bien la mayoría de los conceptos son comunes se trata de normativa complementaria, pero al mismo tiempo aparecen divergencias, en particular en cuanto a los niveles de formación exigidos. La principal conclusión a la que este artículo llega es que para alcanzar la excelencia profesional es imprescindible el cumplimiento de ambas normativas, y que cualquier persona expuesta a riesgo eléctrico conozca ambas normas.

**Palabras Claves:** riesgo eléctrico; normativa electrotécnica; prevención de riesgos laborales; alta tensión y baja tensión



## Analysis of the double regulation of electrical installations, based on industrial safety and electrical risk

### ABSTRACT

The electrical utilities are an important source of danger in buildings, so it is necessary that they be designed, executed and used with very strict criteria, these criteria must guarantee the safety of people and things in their vicinity. In Spain, the safety of electrical installations is regulated from two areas, such as the industrial safety regulations (Industry Law 21/1992, Low Voltage Electrotechnical Regulation, High Voltage Line Regulation...) and the regulations of occupational risk prevention (Law 31/1995 on Occupational Risk Prevention and Royal Decree 614/2001 on electrical risk prevention). In this paper we carry out a comparative analysis of these two regulations; most of these concepts are common, they are complementary regulations but at the same time some divergences appear, particularly in terms of the levels of training required. The main conclusion reached by this paper is that in order to achieve professional excellence it is essential to comply with both regulations, and that any person exposed to electrical risk knows both regulations.

**Keywords:** electrical risk; electrotechnical regulations; occupational risk prevention; high voltage and low voltage.

## Análise da dupla regulação de instalações elétricas, baseada na segurança industrial e risco elétrico

### RESUMO

Pela sua natureza, as instalações elétricas são uma importante fonte de perigo nos edifícios, pelo que é necessário que sejam projetadas, executadas e utilizadas com critérios muito rigorosos que garantam a segurança das pessoas e coisas nas suas imediações. Na Espanha, a segurança das instalações elétricas é regulada a partir de duas áreas, como as derivadas das normas de segurança industrial (Lei da Indústria 21/1992, Regulação Eletrotécnica de Baixa Tensão, Regulação de Linhas de Alta Tensão...) e as normas de prevenção de riscos ocupacionais (Lei 31/1995 sobre Prevenção de Riscos Trabalhistas e Real Decreto 614/2001 sobre Prevenção de Riscos Eléctricos). Neste artigo fazemos uma análise comparativa destes dois regulamentos, verificando que embora a maioria dos conceitos sejam comuns, são regulamentos complementares mas ao mesmo tempo surgem divergências, nomeadamente ao nível dos níveis de formação exigidos. A principal conclusão a que se chega neste artigo é que para alcançar a excelência profissional é imprescindível o cumprimento de ambas as normas, e que qualquer pessoa exposta ao risco elétrico conheça ambas as normas.

**Palavras chave:** risco elétrico; regulamentação eletrotécnica; prevenção de riscos ocupacionais; alta tensão e baixa tensão.



## 1. INTRODUCCIÓN

En España la Constitución es la cima de una estructura normativa que comprende la normalización completa del estado; a su vez cada campo está regido por una ley que la regula y éste se desarrolla posteriormente en reales decretos, órdenes y circulares. Las leyes regulan ámbitos completos, y en este caso nos centraremos en la prevención de riesgos laborales (Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales) o la industria (Ley 21/1992, de 16 de julio de Industria); además la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico es una norma que, desde el punto de vista de la organización del suministro en España, aunque no profundiza en la descripción de las instalaciones. En el caso del sector eléctrico vamos a encontrar contenidos en los tres ámbitos citados, que analizaremos en el presente artículo.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología seguida para la redacción de este artículo ha sido la revisión de los documentos normativos de aplicación (Ley de Prevención de Riesgos Laborales, Real Decreto 614/2001 de prevención del riesgo eléctrico, Ley 21/1992 de Industrial, reglamentos electrotécnicos...) así como una investigación bibliográfica sobre artículos y documentos que los estudian. Una vez analizada esta información hemos realizado una descripción de los contenidos citados, dándole especial relevancia a los vinculados a la seguridad de las instalaciones eléctricas, dividiéndolas en aquellos los que se repiten, los que teniendo distinta forma buscan similares objetivos y finalmente los contenidos que podemos llegar a considerar contradictorios, como es el caso de las exigencias formativas a los trabajadores.

## 3. REVISIÓN TEÓRICA

### La Ley 31/1995 de prevención de riesgos laborales

El artículo 4 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (Ley de P.R.L. en lo sucesivo) define ésta como el conjunto de actividades o medidas adoptadas o previstas en todas las fases de actividad de la empresa con el fin de evitar o disminuir los riesgos derivados del trabajo, siendo una disciplina transversal y con fuertes vínculos con otros ámbitos.

En España la prevención de riesgos pertenecía históricamente al ámbito laboral; la primera ley que recoge algunos contenidos preventivos es la Ley Benot (1873) que regula por primera vez el trabajo en España y lo prohíbe para menores de diez años. Cuando hablamos de PRL el primer documento específico es la Ley de Accidentes de Trabajo de 1900 (Ley Dato), que tenía como intención evitar estos sucesos al realizar tareas laborales (García González, 2008).

Durante el siglo XX se aprobaron otras normas en el ámbito de prevención, destacando la Ordenanza General de Seguridad y Salud en el Trabajo (1973), aunque no es hasta 1995 cuando se aprueba la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales, que regula esta disciplina como un ámbito específico, no supeditado a la normativa laboral como hasta el momento. Esta Ley 31/1995 establece el marco normativo de la prevención de riesgos laborales en España de forma transversal porque hasta ese momento la legislación vigente se caracterizaba por ser incompleta, desactualizada <sup>1</sup> y

---

<sup>1</sup> La Ley 31/1995 sustituye a diferente normativa aprobada en la época preconstitucional como son el Decreto de 11 de

subordinada al derecho laboral; así hasta la aprobación de la Ley 31/1995 existían muchas lagunas jurídicas, y era habitual recurrir al derecho laboral o incluso al civil para resolverlas.

El artículo 2 de la Ley de P.R.L. establece que el objeto de la misma es “promover la seguridad y la salud de los trabajadores mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo”, siendo el ámbito de aplicación de la misma los trabajadores por cuenta ajena, en el sector público y privado; no obstante la Ley 31/1995 establece una serie de colectivos dentro de éstos que son excepciones como los empleados de hogar, cuerpos de seguridad del estado (policía, militares...), establecimientos penitenciarios o protección civil; en estos casos la Ley de P.R.L. establece que se aprobará normativa específica para garantizar la seguridad y salud de los afectados, y éstos también tendrán derecho a su seguridad y salud a la hora de ejercer su actividad laboral (Jiménez de Pablo, 2017). Los trabajadores autónomos y de sociedades cooperativas no están directamente incluidos en el ámbito de aplicación aunque sí serán beneficiarios de las normativas de carácter general que están previstas para los fabricantes, importadores y suministradores de material.

Esta Ley de P.R.L. se compone de siete capítulos, siendo un contenido muy completo imposible de detallar en este artículo. A idea más importante es que por primera vez imputa al empresario la responsabilidad de garantizar la protección de los trabajadores frente a los riesgos laborales (Estropá Zapater & García Blasco, 2015; Escribá Pérez, 2021). Esta obligación del empresario ha sido el principal éxito de la Ley 31/1995, porque aclara una situación previa confusa y muy problemática; no obstante esta responsabilidad no puede entenderse como un valor absoluto, ya que el resto de participantes también tendrán que hacer frente sus obligaciones, por ejemplo los trabajadores:

*Con arreglo a su formación y siguiendo las instrucciones del empresario” deberán cumplir una serie de instrucciones, y el incumplimiento de estas supondrá la consideración de un incumplimiento laboral según el propio Estatuto de los Trabajadores, hoy “absolutamente todos los trabajadores tienen obligaciones en esta materia, por ello, todas las personas que conforman la empresa tiene que tener presente a diario cuáles son las obligaciones en materia de prevención de riesgos laborales (Calvo Maté, 2018).*

Adicionalmente a la obligación de cumplir las instrucciones de los superiores la Ley 31/1995 también reconoce la posibilidad de participación y consulta al trabajador en el desempeño laboral a través de sus representantes (delegados de prevención, Comité de Seguridad y Salud) (Garrido Pérez, 1997; Lozano Eder, 2014). Otros derechos de los trabajadores que recoge la ley son el de formación sobre el ámbito de la prevención de riesgos laborales y la información que tienen los trabajadores de saber a qué riesgos están expuestos, y recibir formación para minimizar los efectos de los mismos (Marín Arce, 2010).

La Ley 31/1995 presta especial atención a situaciones particulares como equipos de trabajo, información, vigilancia de la salud, coordinación de actividades empresariales o la protección de menores de edad o trabajadoras embarazadas o lactantes. Este capítulo es especialmente importante, ya que la Ley 31/1995 establece unas medidas de prevención muy serias con el fin de garantizar la seguridad y salud de estas trabajadoras, cambiando el puesto de trabajo cuando aparecen riesgos para la

---

marzo de 1971, sobre constitución, composición y funciones de los Comités de Seguridad e Higiene en el Trabajo, la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, aprobados por Orden de 9 de marzo de 1971 o el Decreto de 26 de julio de 1957, por el que se fijan los trabajos prohibidos a mujeres y menores, en los aspectos de su normativa relativos al trabajo de las mujeres.

misma e incluso la excedencia temporal pagada cuando no exista una forma de recolocarlas en la misma empresa (Mercado Ruíz, 2018).

Es especialmente importante para en el contexto del riesgo eléctrico el artículo 32 bis. Presencia de los recursos preventivos, añadido mediante la Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales, que obliga a la presencia de este recurso preventivo en los casos siguientes:

*a) Cuando los riesgos puedan verse agravados o modificados en el desarrollo del proceso o la actividad, por la concurrencia de operaciones diversas que se desarrollan sucesiva o simultáneamente y que hagan preciso el control de la correcta aplicación de los métodos de trabajo.*

*b) Cuando se realicen actividades o procesos que reglamentariamente sean considerados como peligrosos o con riesgos especiales.*

*c) Cuando la necesidad de dicha presencia sea requerida por la Inspección de Trabajo y Seguridad Social, si las circunstancias del caso así lo exigieran debido a las condiciones de trabajo detectadas.*

Estos recursos preventivos tendrán los medios necesarios para vigilar el cumplimiento de las actividades preventivas, y se conciben como un profesional de apoyo en el caso de situaciones que por su complejidad o peligrosidad así se requieran, con una altísima presencia en el ámbito eléctrico.

Esta Ley 31/1995 supone el marco jurídico básico que regula la prevención en España, y que posteriormente debe ser completado con documentación que la desarrolla como es el caso de reales decretos, instrucciones y similares. Así entre éstos debemos destacar el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. Este Real Decreto es el que de forma inmediata desarrolla la Ley y concibe el Reglamento de los servicios de Prevención como un documento global, que desarrolla la Ley 31/1995 en todos los ámbitos de la misma. Adicionalmente existen otros documentos que también la desarrollan, aunque de forma parcial, que a grandes rasgos podemos dividir entre:

*i) Reales decretos que se aplican en todos los ámbitos laborales: Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, Real Decreto 216/1999, de 5 de febrero, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo en el ámbito de las empresas de trabajo temporal.*

*ii) Reales decretos que se centran en un único ámbito o profesión: Este sería el caso más claro Real Decreto 67/2010, de 29 de enero, de adaptación de la legislación de Prevención de Riesgos Laborales a la Administración General del Estado, Real Decreto 1216/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo a bordo de los buques de pesca, Real Decreto 1389/1997, de 5 de septiembre, por el que se aprueban las disposiciones mínimas destinadas a proteger la seguridad y la salud de los trabajadores en las actividades mineras o Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.*

*iii) Reales decretos que siendo interdisciplinarios afectan a varias profesiones de forma transversal, como el Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para*

*la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico (Real Decreto 614/2001 de prevención de riesgo eléctrico en lo sucesivo), Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo o Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.*

Esta clasificación anterior no es absoluta, y en función del técnico y sector un real decreto podría incluirse en uno u otro grupo, es obvio que, aunque el riesgo eléctrico, agentes químicos o agentes biológicos pueden afectar a cualquier trabajador su aplicación se centrará principalmente en unos sectores.

Además de los reales decretos que desarrollan la Ley 31/1995 es importante citar que es necesario aplicar la normativa de otros sectores tan diversos como el industrial, laboral, sanitaria, protección civil y autoprotección, edificación o salud ambiental.

La Ley 31/1995 ha tenido un éxito indudable, la PRL hoy es una disciplina completamente regulada y puede presumir de excelente resultado en cuanto a la reducción de los accidentes ya en los primeros años de su vigencia (Fontaneda González, 2002). No obstante también tiene sus sombras como indica Vicente Salvador Gallego, “se observan diferentes comportamientos cíclicos en la evolución de los indicadores, tales como los índices de incidencia, frecuencia y gravedad, que pone de manifiesto su dependencia de la naturaleza y comportamiento cíclico de algunas de las variables explicativas más importantes relacionadas con ciclos económicos, mercado de trabajo, estructura productiva” (Gallego Blasco, 2021).

Entre los múltiples riesgos a los que está expuesto el trabajador en el presente artículo nos centramos en el riesgo eléctrico; son las consecuencias que tiene el ser humano (en este caso los trabajadores) al paso de la corriente a través de su cuerpo, pudiendo alcanzar una gravedad importante; éstas dependerán de la duración del paso de la corriente, la resistencia que opone el cuerpo humano al paso de la misma, humedad del emplazamiento y de las personas afectadas (ya que los efectos sobre las personas dependen mucho de éstas). Las consecuencias van desde las quemaduras (externas e internas) a la tetanización o incluso el fallecimiento por asfixia, por lo que es uno de los campos en los que la prevención de riesgos laborales presta mayor atención (Farina, 2015; Fernández García, 2017; Cortés Díaz, 2018; Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2020).

### **El Real Decreto 614/2001 de prevención de riesgo eléctrico**

Entre la normativa que desarrolla la Ley 31/1995 la única que hace referencia específica al sector eléctrico es el Real Decreto 614/2001 de prevención del riesgo eléctrico; todos los trabajadores están expuestos a este riesgo aunque hay unas profesiones mucho más que tienen más riesgos como el electricista, pero también otros trabajadores del sector de la construcción, instalaciones térmicas o mantenimiento de edificios e instalaciones industriales. Este Real Decreto establece las disposiciones de seguridad para la protección de los trabajadores frente al riesgo eléctrico en el trabajo (artículo 1), y es muy importante ceñirlo al ámbito laboral, ya que no busca la seguridad de personal que no está trabajando (esta protección formaría parte de los reglamentos electrotécnicos o de la normativa en autoprotección).

Así el R.D. 614/2001 indica que las instalaciones eléctricas se adaptarán a las condiciones específicas en donde vayan a utilizarse, considerando las condiciones de trabajo (humedad, atmósferas explosivas,

materiales inflamables, ambientes corrosivos...), usando exclusivamente los equipos eléctricos previstos por el fabricante. En el artículo 3 el Real Decreto 614/2001 hace una referencia explícita al cumplimiento de la reglamentación electrotécnica, así como la normativa general de prevención de riesgos (lugares de trabajo, equipos de trabajo, señalización del trabajo...).

Es muy importante en este Real Decreto las exigencias a los trabajadores, el Anexo I. Definiciones va a incluir los siguientes puestos:

*- Trabajador autorizado: trabajador que ha sido autorizado por el empresario para realizar determinados trabajos con riesgo eléctrico, en base a su capacidad para hacerlos de forma correcta, según los procedimientos establecidos en este Real Decreto.*

*- Trabajador cualificado: trabajador autorizado que posee conocimientos especializados en materia de instalaciones eléctricas, debido a su formación acreditada, profesional o universitaria, o a su experiencia certificada de dos o más años.*

*- Jefe de trabajo: persona designada por el empresario para asumir la responsabilidad efectiva de los trabajos.*

Entre las definiciones se incluye la definición de trabajos sin tensión (aquellos en los que se impide que la instalación tenga tensión), trabajos en tensión (el trabajador entra en contacto con elementos en tensión o una parte de su cuerpo entra en la zona de peligro) y finalmente esta zona de peligro o zona de trabajos en tensión (espacio alrededor de los elementos den tensión en el que la presencia de un trabajador desprotegido supone un riesgo grave e inminente que se produzca un arco eléctrico, o un contacto directo con el elemento en tensión...), es decir que realizar trabajos no eléctricos (instalaciones térmicas, pintura, albañilería...) en las proximidades de una línea en tensión también puede considerarse un trabajo en tensión. Este Anexo I incluye unas distancias límite a la zona de trabajo en función de la tensión, cuando no existe una barrera física; por ejemplo, el realizar trabajos no eléctricos en las proximidades de líneas en tensión puede ser considerado como riesgo eléctrico.

A grandes rasgos esta diferencia incluiría como trabajador autorizado a aquellas personas que pueden realizar trabajos auxiliares con riesgo eléctrico, pero no son electricistas, este sería el caso de un pintor o albañil que está realizando tareas propias de su desempeño laboral en las proximidades de una instalación eléctrica de alta tensión; los trabajadores cualificados son aquellos especialistas en el ámbito de las instalaciones eléctricas (electricistas o profesiones similares) mientras que el jefe de trabajo será una persona con responsabilidad sobre los anteriores, en el Anexo I. Definiciones no está establecida una exigencia específica en cuanto a la formación, aunque en el apartado B del Anexo III. Trabajos en tensión sí se exige que sea un trabajador cualificado que asumirá la responsabilidad directa.

El contenido es bastante complejo, porque entre el cuerpo del Real Decreto 614/2001 incluye una serie de instrucciones sobre las operaciones que cada trabajador puede realizar, tales como la desconexión eléctrica siempre que sea posible (realizar trabajos sin tensión), y limitar a realizar trabajos en tensión cuando sean de poco riesgo (conexiones y desconexiones, mediciones, ensayos y verificaciones, trabajos en las proximidades de instalaciones en tensión...) y en aquellos casos que sea imprescindible por razón de fuerza mayor (por ejemplo aquellos que exigen la continuidad del suministro más allá del punto donde se está realizando el trabajo).

Además, existen los Anexos II. Trabajos sin tensión y Anexo III. Trabajos en tensión, que caracteriza los mismos, indicando en cada uno de estos dos anexos qué tipo de trabajos están incluidos y quién los puede hacer (trabajadores autorizados o cualificados)

El Anexo II indica los trabajos sin tensión serán siempre realizados por trabajadores autorizados, y en el caso de ser en alta tensión serán exclusivamente realizados por los trabajadores cualificados (es decir especialistas). Para realizar los trabajos sin tensión se obliga a que los trabajadores realicen el procedimiento en cinco etapas secuenciales:

*1º Desconectar la red*

*2º Prevenir cualquier posible realimentación*

*3º Verificar la ausencia de tensión*

*4º Poner a tierra y en cortocircuito*

*5º Proteger los elementos próximos en tensión y establece señalización de seguridad para delimitar la zona de trabajo.*

Esta secuencia es habitualmente conocida como las “Cinco Reglas de Oro”, siendo su ámbito de aplicación internacional, tal y como se puede ver en trabajos publicados en distintos países (Ocampo Herrera, 2015; Tamayo Pineda, Vargas Sanabria, 2017).

El Anexo III se obliga a que todos los trabajos en tensión sean realizados exclusivamente por trabajadores cualificados, siguiendo antes un proceso previamente estudiado; y en el caso de los lugares donde la comunicación sea difícil, por su orografía, confinamiento u otras circunstancias deberán ser realizados estando presentes al menos dos trabajadores con formación en primeros auxilios (de facto exige la presencia del recurso preventivo regulado por el artículo 32bis de la Ley de P.R.L.).

Es especialmente importante el Anexo V. Trabajos en proximidad, pensado para realizar trabajos no eléctricos. Cuando se realizan trabajos dentro de la zona de proximidad es necesaria la presencia de un trabajador autorizado para baja tensión y uno cualificado para alta tensión que determinará la viabilidad del trabajo y se asegurará las condiciones de seguridad; además en la empresas cuyas actividades habituales conllevan al realización de trabajos en proximidad el empresario se asegurará que los trabajadores poseen “conocimientos que les permite identificar las instalaciones eléctricas, detectar los posible riegos y obrar en consecuencia” (punto 4 del apartado A.1. Preparación del trabajo). Cuando no se pueda asegurar que las condiciones de trabajo sean suficiente para evitar el riesgo eléctrico será necesario que éstos sean realizados por trabajadores autorizados o bajo la vigilancia de éstos. En la práctica la necesidad de que exista un trabajador autorizado o cualificado que verifique la seguridad de las condiciones de trabajo, que los operarios que participen dispongan de conocimientos básicos en electricidad, y que cuando se mantiene el riesgo eléctrico estén dirigidos por un trabajador autorizado de facto obliga a que estos trabajadores sean autorizados, para garantizar el cumplimiento del Real Decreto 614/2001; es cierto que existen situaciones en las que no es imprescindible esta situación, pero de facto parece obvio que una a empresa del ámbito no eléctrico (albañilería, pintura, instalaciones térmicas....) le compensa impartir formación básica en electricidad a sus empleados y adicionalmente autorizarlos a un coste bastante reducido, si quiere garantizar el cumplimiento de la normativa que no arriesgarse a incumplirla (Blanco Silva & Requejo García, 2009).

### **La Ley 21/1992 de industria y reglamentos del sector eléctrico**

Esta Ley tiene como fin la ordenación del sector industrial en España, y en particular las diferentes disciplinas que forman parte de éste (electricidad, instalaciones térmicas, combustibles petrolíferos,

ascensores, infraestructuras de calidad...) para lo que desarrolla diferentes reales decretos que lo complementan, entre los que citamos el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión, Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09 o Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.

En los tres casos es relevante que estos reglamentos electrotécnicos van a definir los criterios a emplear a la hora de realizar las instalaciones eléctricas, en las fases de diseño, ejecución, puesta en marcha, operación y mantenimiento. Estas condiciones buscan el funcionamiento seguro de las instalaciones, entendido de una forma global, así el Artículo 1 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, establece que el R.E.B.T. tiene por objeto “establecer las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro”, para lo que marca los siguientes fines:

- a) *Preservar la seguridad de las personas y los bienes.*
- b) *Asegurar el normal funcionamiento de dichas instalaciones y prevenir las perturbaciones en otras instalaciones y servicios.*
- c) *Contribuir a la fiabilidad técnica y a la eficiencia económica de las instalaciones.*

El contenido del R.E.B.T. se refiere en múltiples ocasiones al concepto riesgo, pero siempre en un sentido general, y nunca vinculado al riesgo de los trabajadores (sean o no electricistas). El contenido de los otros dos reglamentos de alta tensión es similar al R.E.B.T., aunque ya hacen múltiples referencias al concepto de riesgo laboral. El motivo que el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión apenas haga referencia a la seguridad laboral es la fecha de redacción, ya que el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión fue redactado de forma coetánea con el Real Decreto 614/2001 y en su redacción no se consideró el riesgo eléctrico, ya que coinciden en el tiempo. Los dos reglamentos de alta tensión (Real Decreto 223/2008 y Real Decreto 337/2014) se aprobaron años después del Real Decreto 614/2001, por lo que ya incluyen bastantes referencias al ámbito de la seguridad laboral y del riesgo eléctrico para los trabajadores.

Otro contenido interesante de estos reglamentos es la figura de los trabajadores, en el caso del R.E.B.T. cita al instalador autorizado como “la persona física o jurídica que realiza mantiene o repara las instalaciones eléctricas en el ámbito del R.E.B.T. e I.T.C.s”, para lo que es necesario disponer de la formación y/o experiencia profesional previa que será demostrada con el Certificado de Cualificación Individual de Baja Tensión. El R.E.B.T. no habla de la profesión de electricista, sino de “operario cualificado” como aquel trabajador que trabaja en el sector realizando instalaciones; el R.E.B.T. no exige que todos los operarios cualificados sean instaladores, sino que obliga a que las empresas instaladoras dispongan de al menos un instalador en su plantilla, y obliga a un instalador por cada diez operarios cualificados o fracción, donde éstos trabajan atendiendo a las órdenes del instalador. Los contenidos de los reglamentos de alta tensión son similares, distinguiendo entre el instalador autorizado y los operarios cualificados, como subordinados del primero.

## **La Ley 24/2013 del sector eléctrico**

La Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, organiza el mercado eléctrico entre sus actividades: Producción, transporte, distribución y consumo, así como otras figuras como son el operador del mercado, operador del sistema y los gestores de carga. En este caso la coexistencia con la prevención de riesgos se limita a evitar riesgos para las instalaciones, es decir valores anómalos de tensiones que podrían ser peligrosos para las propias instalaciones, y por extensión para las personas.

#### 4. RESULTADOS

Empezando el análisis comparativo por la prevención de riesgos vemos que aparece una vinculación especial entre la legislación industrial y la de prevención de riesgos; mientras que la primera busca una regulación de las instalaciones que garantice la seguridad de las mismas y por extensión de todos los usuarios (trabajadores y no trabajadores) la segunda se centra en el ámbito laboral, entendiendo como tal aquellas personas que desempeñan un trabajo remunerado por cuenta propia o ajena. No obstante, en la prevención de riesgos es importante subrayar que entre las obligaciones del prevencionista se incluye verificar el cumplimiento de la normativa industrial, para lo que este profesional debe ser conocedor de estos tres reales decretos de instalaciones eléctricas (así como del resto de normas que desarrollan la Ley 21/1992).

La normativa en organización del mercado eléctrico tiene una relación más intensa con la normativa de seguridad industrial (Ley 21/1992 de Industria y los reglamentos electrotécnicos), pero los puntos comunes con la prevención de riesgos laborales se limitan a conceptos generales como garantizar la seguridad de las instalaciones, así como la de las personas, animales o cosas. No se profundiza en los contenidos comunes en cuanto a organización del mercado eléctrico y de seguridad industrial por no ser objeto del presente artículo.

Un punto importante son las figuras profesionales que reconocen la normativa en P.R.L. y los reglamentos electrotécnicos. La legislación laboral reconoce tres figuras como son el trabajador cualificado, el trabajador autorizado y finalmente el jefe de equipo (que estaría al frente de los dos), además existe la figura del recurso preventivo, que sin estar citado en el Real Decreto 614/2001 sí está contemplado de forma general por la Ley 31/1995 de P.R.L. Así tendríamos por un lado el trabajador autorizado (cualquier trabajador sometido a riesgo eléctrico sin exigencia de formación profesional específica en el ámbito de la electricidad), el trabajador cualificado (un trabajador sometido a riesgo eléctrico con formación específica como puede ser un electricista) y el jefe de equipo (que se supone una formación igual o superior al trabajador cualificado y que ejerce de superior de las otras figuras).

En el caso de los reglamentos electrotécnicos existen el instalador electricista y el operario cualificado; el operario cualificado sería un trabajador que realizase tareas sencillas bajo la dirección técnica del instalador electricista, que además es el responsable de la realización de las instalaciones. Se trata de figuras explícitamente distintas, aunque de forma aproximada podemos asimilar al jefe de equipo con el instalador electricista mientras que el operario cualificado del R.E.B.T. puede considerarse bien como trabajador cualificado en el Real Decreto 614/2001 de riesgo eléctrico; el trabajador autorizado no tiene un equivalente en el ámbito de los reglamentos electrotécnicos porque técnicamente no es un electricista, sino un profesional de otros ámbitos que está sometido al riesgo eléctrico (por ejemplo un pintor, albañil, instalador de calefacción o frigorista...).

Aunque objetivamente las figuras profesionales son distintas (e incluso contradictorias) ambos ámbitos presentan un punto en común que los profesionales del sector eléctrico (trabajador cualificado, jefe de equipo, instalador electricista...) deben poseer formación reglada en el ámbito de las instalaciones eléctricas (titulación universitaria o ciclo formativo de grado superior) o al menos una experiencia



profesional previa, y deberán ejercer el en seno de una empresa, ya que no existe el ejercicio profesional “por libre”.

Además, están las protecciones, tanto colectivas como individuales (equipos de protección individual). El rango de las protecciones colectivas (interruptor diferencial, interruptor magnetotérmico, disyuntor...) están recogidas por los criterios de diseño y ejecución de las instalaciones, es decir por los reglamentos electrotécnicos, teniendo su equivalente en los equipos de protección individual definidos mediante la normativa en PRL, en concreto por el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual, en concreto por su ANEXO III. Lista no exhaustiva de actividades y sectores de actividades que pueden requerir la utilización de equipos de protección individual.

## 5. CONCLUSIONES

En el presente artículo se ha expuesto que la normativa del sector eléctrico tiene contenidos en tres ámbitos distintos, desarrollando los contenidos en cada uno de ellos. La normativa eléctrica debe ser analizada desde diferentes ámbitos, y se ha expuesto que es necesaria que tanto el ámbito de la prevención de riesgos (en este caso de la prevención del riesgo eléctrico) como la normativa específica de otros campos (reglamentos electrotécnicos de baja tensión y la normativa de organización del mercado eléctrico) se complementen entre sí para garantizar la seguridad de las personas, instalaciones y cosas.

Después de hacer un resumen de la normativa electrotécnica (aprobada en desarrollo de la Ley 21/1992 de Industria) y de la normativa en prevención de riesgo eléctrico (aprobada en desarrollo de la Ley 31/1995) vemos que teniendo idéntico fin de garantizar la seguridad de personas y cosas hay algunos conceptos que se llegan a solapar, como las figuras profesionales del jefe de equipo y trabajador cualificado (según la legislación en prevención) y el instalador y operario cualificado (en el caso de la legislación electrotécnica), pudiendo ser incluso contradictorios. En otros campos existen similitudes como las exigencias de protección colectiva (regulada por los reglamentos electrotécnicos) y con los requisitos de protección colectiva e individual que regula la normativa en prevención, con aspectos comunes entre ambos.

Como conclusión más importante debemos resaltar que para que un profesional pueda alcanzar la excelencia laboral deberá garantizar la seguridad de las personas, instalaciones y las cosas, para lo que es imprescindible conocer toda la normativa. Así para un buen desempeño laboral en cualquiera de los dos ámbitos es necesario conocer el otro, es necesario que el prevencionista conozca la normativa electrotécnica en profundidad mientras que el electricista también deberá tener un conocimiento en profundidad de la normativa en prevención, al ser disciplinas muy próximas.

## 7. REFERENCIAS

- Blanco Silva, F.; Requejo García, M. A. (2009). Aplicación del RD 614/2001 de prevención del riesgo eléctrico en la Universidad de Santiago de Compostela. *Revista técnico laboral*, 31(120), 203-205.
- Calvo Maté, Silvia (2018). Obligaciones de los trabajadores en materia de prevención de riesgos laborales. Trabajo Fin de Grado en Universidad de Zaragoza
- Cortes Díaz, J. M. (2018). Técnicas de prevención de riesgos laborales: seguridad y salud en el trabajo. Editorial Tébar.
- Echeverría Romero, U. (2014). Gestión de la prevención de Riesgos Laborales. Trabajo Fin de Master. Universidad Pública de Navarra.
- Escribá Pérez, A. N. (2021). Evolución de la responsabilidad del empresario en materia de accidentes de trabajo en el ordenamiento jurídico español. *Lex Social: Revista de Derechos Sociales*, 11(1), 378-409. [https://upo.es/revistas/index.php/lex\\_social/article/view/5416](https://upo.es/revistas/index.php/lex_social/article/view/5416)
- Estropá Zapater, B.; García Blasco, J. (2015). La responsabilidad empresarial en la prevención de riesgos laborales. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza. <https://zaguan.unizar.es/record/32369/files/TAZ-TFG-2015-2424.pdf>
- Farina, A. L. (2015). Riesgo eléctrico. Tecnibook Ediciones.
- Fernández García, R. (2017). Gestión y prevención del riesgo eléctrico. Gestión práctica de riesgos laborales: Integración y desarrollo de la gestión de la prevención, (150), 8-19.
- Fontaneda González, I. (2002). Impacto de la Ley 31/1995 de prevención de riesgos laborales en las condiciones de trabajo en España. Tesis doctoral. Universidad de Burgos.
- Gallego Blasco, V.S. (2021) Análisis de la incidencia de factores causales en la evolución de la siniestralidad laboral en España. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València. <https://riUNET.upv.es/handle/10251/168774>
- García González, G. (2008). Orígenes y fundamentos de la prevención de riesgos laborales en España (1873-1907). Universitat Autònoma de Barcelona.
- García Lirios, G. (2021). Percepciones de riesgo laborales en la era Post Covid-19. *Know and Share Psychology*. <https://ojs.ual.es/ojs/index.php/KASP/article/view/3869>
- Garrido Pérez, E. (1997). La participación de los trabajadores en materia de prevención de riesgos laborales en la Ley 31/1995. *Relaciones laborales: Revista crítica de teoría y práctica*, (2), 397-427.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (2020). Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la protección frente al riesgo eléctrico.
- Jiménez de Pablo, M.V. (2017). Los colectivos desamparados por la Ley 31/1995 de prevención de riesgos laborales. Tesis doctoral en Universidad Alfonso X el Sabio.
- Lozano Eder, A. (2014). Análisis de la participación y consulta de los trabajadores en materia de prevención de riesgos laborales. Trabajo Fin de Master. Universidad Pública de Navarra.
- Marín Arce, J. I. (2010). El derecho de información de los trabajadores en materia de prevención de riesgos laborales y los derechos lingüísticos. *Revista de llengua i dret*, (53), 163-185. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3634532>

Mercado Ruiz, A.M. (2018). Análisis de la protección de la maternidad, art. 26, Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Jaén. <https://tauja.ujaen.es/handle/10953.1/7867>

Ocampo Herrera, A. (2015). Determinación Del Cumplimiento De Las Cinco (5) Reglas De Oro en los procesos de cambio de aislamiento y de transformadores de distribución en redes aéreas de media y baja tensión desenergizadas en dos empresas contratistas del Valle Del Cauca.

Santiago Gómez, A. (2021). Prevención de riesgos laborales ante la situación de emergencia sanitaria (Covid 19) en los lugares de trabajo. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Jaén.

Tamayo Pineda, D. C., & Vargas Sanabria, F. (2017). Prefactibilidad para la Prestación de Servicio de Inspección y Diagnostico de Instalaciones Eléctricas en Bogotá y sus Alrededores. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6438>

## **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria. Boletín Oficial del Estado número 176, de 23 de julio de 1992.

[Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. Boletín Oficial del Estado número 269, de 10 de noviembre de 1995.](#)

Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales. Boletín Oficial del Estado número 298, de 13 de diciembre de 2003.

Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. Boletín Oficial del Estado número 310, de 27 de diciembre de 2013.

Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. Boletín Oficial del Estado número 27, de 31 de enero de 1997.

Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. Boletín Oficial del Estado número 148, de 21 de junio de 2001.

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. [Boletín](#) Oficial del Estado número 224, de 18 de septiembre de 2002.

Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09. Boletín Oficial del Estado número 68, de 19 de marzo de 2008.

Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23. Boletín Oficial del Estado número 139, de 9 de junio de 2014.

# Alternativas para la localización de estaciones de clasificación de RSU en la Provincia de Misiones: clusterización por k-means, aplicación de factores ponderados y jerarquización analítica para la toma de decisiones

**Niezwida, Sonia Romina**

[rominaniezwida@gmail.com](mailto:rominaniezwida@gmail.com)

*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (Argentina).*

**Michalus, Juan Carlos**

[michalus@fio.unam.edu.ar](mailto:michalus@fio.unam.edu.ar)

*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (Argentina).*

**Gavazzo, Graciela Beatriz**

[ggavazzo@gmail.com](mailto:ggavazzo@gmail.com)

*c IMAM - Universidad Nacional de Misiones (Argentina).*

Fecha de recepción RIII: 03/07/2023

Fecha de aprobación RIII: 19/07/2023

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar las alternativas para la localización de estaciones de clasificación de residuos sólidos urbanos (RSU) en la provincia de Misiones. Para ello, primeramente, se determina la cantidad de alternativas a evaluar, mediante el método de clusterización "k-means. Luego, para poder priorizar las alternativas dadas por k-means y determinar las mejores localizaciones se aplican los métodos de factores ponderados y jerarquización analítica, éste último también conocido como AHP (Analytic Hierarchy Process). Las variables evaluadas en la priorización de alternativas comprenden a la densidad poblacional por cada departamento de la provincia, facilidad de instalación de la estación, cantidad de residuos producida y ubicación geográfica (cercanía a la ruta provincial y alejado de la ciudad).

**Palabras Claves:** RSU, localización, estaciones de clasificación, clusterización, alternativas

**Alternatives for the location of USW sorting stations in the Province of Misiones: clusterization by k-means, application of weighted factors and analytical hierarchy for decision-making**

**ABSTRACT**

The objective of this work is to evaluate the alternatives for the location of urban solid waste (USW) classification stations in the province of Misiones. To do this, firstly, the number of alternatives to be evaluated is determined by means of the “k-means” clustering method. Then, in order to prioritize the alternatives given by k-means and determine the best locations, the methods of weighted factors and analytical hierarchy are applied, the latter also known as AHP (Analytic Hierarchy Process). The variables evaluated in the prioritization of alternatives include the population density for each department of the province, ease of installation of the station, amount of waste produced and geographic location (proximity to the provincial route and far from the city).

**Keywords:** USW, localization, classification stations, clustering, alternatives..

**Alternativas para localização de estações de tratamento de RSU na Província de Misiones: clusterização por k-means, aplicação de fatores de ponderação e hierarquia analítica para tomada de decisões**

**RESUMO**

O objetivo deste trabalho é avaliar as alternativas para a localização de estações de classificação de resíduos sólidos urbanos (RSU) no estado de Misiones. Para isso, primeiramente, determina-se o número de alternativas a serem avaliadas, utilizando o método de agrupamento “k-means”. Em seguida, para priorizar as alternativas dadas pelo k-means e determinar as melhores localizações, são aplicados os métodos dos fatores ponderados e o método da hierarquia analítica, este último também conhecido por AHP (Analytic Hierarchy Process). As variáveis avaliadas na priorização das alternativas incluem a densidade populacional de cada departamento da província, facilidade de instalação da estação, quantidade de resíduos produzidos e localização geográfica (proximidade da estrada provincial e distância da cidade).

**Palavras chave:** RSU, localização, estações de triagem, agrupamento, alternativas

## 1. INTRODUCCIÓN

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son “aquellos elementos, objetos o sustancias generados como consecuencia del consumo o el desarrollo de actividades humanas cuyo destino sea el desecho o el abandono; sea su origen residual, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional” (N°25.916/2004, s.f.) y (4274), s.f.).

La realidad actual de la problemática, indica que a medida que los países tienden a desarrollarse, también aumenta la producción de residuos por habitante (Rollandi, 2013) y (Berent, 2004), constituyendo de esta manera al tema de la basura en una situación compleja, que involucra a los diversos actores de la sociedad: universidad, empresas, gobierno. Es por ello, que la gestión de residuos está siendo estudiada en varias partes del mundo, ya que se pretenden desarrollar modelos de gestión para contribuir a mejorar la situación actual (El Fadel, 2001), (Viena, s.f.), (Shidong, 2017) y (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

No obstante, afirman que en Argentina entre los mayores problemas ambientales que se presentan en los municipios se encuentra la deficiente gestión de los residuos urbanos, en la mayoría de los casos dada por la disposición de residuos en vertederos a cielo abierto (Plaza & Zapata, 2011), que lo realiza el municipio, quien es encargado de gestionar la basura que se genera en su territorio. Desde ingeniería Industrial se encuentran herramientas que pueden contribuir a realizar aportes a la temática en cuestión, tal como, evaluación de métodos para la localización de estaciones de clasificación, como punto de partida a reducir el volumen que se deposita en los rellenos sanitarios o bien, una modelización para la gestión que incluya a más de un municipio.

Es importante destacar que la localización de instalaciones refiere al proceso de elegir un espacio geográfico donde emplazar una planta industrial (Ballou, 2004) y (Martínez Rodríguez, 2007), tal como menciona Vásquez (1988) quien cita a uno de los pioneros en localización Industrial Weber (1909) y afirma que el emplazamiento de una planta es afectado por factores varios, como recursos (cercanía de MP), economías de aglomeración y costos (Vásquez, 1988).

El presente trabajo tiene como objetivo determinar y evaluar puntos para la localización de estaciones de clasificación de residuos sólidos urbanos en la provincia de Misiones. De esta manera, se pretende contribuir a determinar las mejores alternativas de ubicación en función a variables que se adoptan para el presente caso de estudio.

Con las estaciones de clasificación funcionando efectivamente, se podría disminuir el volumen de residuos que se depositan actualmente en los rellenos sanitarios.

## 2. DESARROLLO

En los últimos años, se nota el interés creciente en cuanto al fortalecimiento de la conciencia ambiental de la sociedad, mediante la búsqueda permanente de mecanismos, estrategias y tecnologías capaces de mitigar la pérdida acelerada de los recursos naturales del planeta (Berent, M; D. Vedoya, D., 2005).

La generación de residuos origina varios problemas, siendo el tema más preocupante el daño ambiental que ocasiona deterioro en los ecosistemas, contaminando el agua, la tierra y el aire.

La situación ideal es aquella donde los residuos se gestionen desde la generación hasta la disposición final (Carabajal Romero, 2022), incluyendo aquí a la clasificación. Esto puede llevarse a cabo, mediante

la instalación de estaciones de clasificación en puntos estratégicos, donde además de separar y vender los reciclables, se disminuirá el volumen a trasladar hacia el relleno sanitario.

La provincia de Misiones, región que se adopta para el caso de estudio; está dividida en 17 departamentos como indica la Figura 1, donde habitan más de un millón de personas (IPEC, 2022).



Figura1: División política por departamentos de la provincia de Misiones. Fuente: Argentina.gob.ar/IPEC.

Los departamentos más poblados son Capital, Oberá, Iguazú y Eldorado, 4 departamentos donde habitan el más del 54 % de la población de la provincia, tal como indica la Figura 2.



Figura 2: Población por departamentos de la provincia de Misiones. Fuente: Elaboración propia mediante datos del IPEC.

### 3. METODOLOGÍA

Para determinar el número de estaciones de clasificación de residuos se utilizó el “método k means”, que agrupa objetos en k grupos según su característica o variable. Para este caso, la variable ha sido la población y se ha utilizado un algoritmo en lenguaje R, disponible en Rpubs (Diaz, 2019). Una vez cargados los datos de población por departamento, mediante el programa R se ha compilado el algoritmo K-means de Rpubs, que plantea que el mejor modelo o clúster es aquel que ofrece la menor suma de los cuadrados de las distancias de los puntos de cada grupo con respecto a su centro (withinss). En el algoritmo se probaron con hasta 10 k posibles, resultando el k óptimo de 4. Este resultado se puede observar en la Figura 3, donde se visualiza que para un k = 4, se empieza a estabilizar la gráfica.

A continuación, se tomaron estos cuatro puntos que representan a los departamentos con mayor densidad poblacional de la provincia y mediante el método de localización de factores ponderados y AHP se procede a priorizar a las alternativas.

Para aplicar los métodos de factores ponderados y AHP se han establecido criterios, cualitativos y cuantitativos.



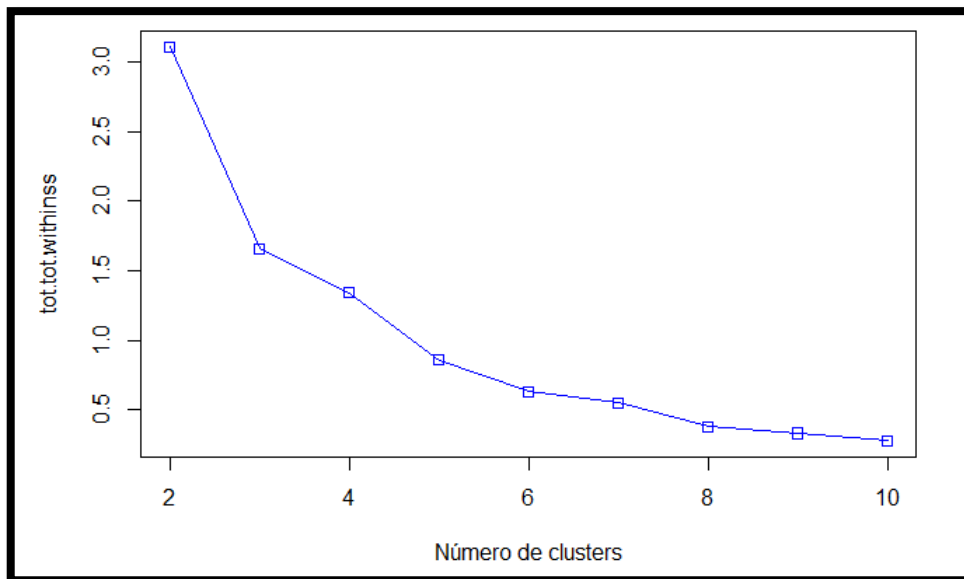


Figura3: Número de clústeres que arroja k-means. Fuente: Compilado en R Studio mediante algoritmo de Rpubs.

Según (Salas Bacalla & Leyva Caballero, 2014), los criterios utilizados condicionan la selección de la mejor alternativa, donde la elección y evaluación de los factores cuantitativos y cualitativos dependen de la apreciación del analista, manteniendo un tinte de subjetividad, lo que hace que no para todos sea óptimo. Es por ello, que algunos autores (Carro Paz & González Gómez, 2012), sugieren utilizar la consulta a expertos para definir los criterios, antes de aplicar los métodos de factores ponderados y AHP. En este caso estos criterios, han sido formulados por el equipo de investigación y son los que se detallan a continuación:

- C1: población de alrededores, superficie y densidad poblacional del departamento
- C2: facilidad de instalación de la estación, en cuanto a posibilidad de financiación y la cercanía al relleno sanitario
- C3: cantidad de residuos producida
- C3: Ubicación geográfica (cercanía a la ruta principal y alejado de la ciudad)

Alternativas (departamentos):

- A1 - Oberá
- A2- Iguazú
- A3- Eldorado
- A4 - Capital

El método de los factores ponderados reúne las condiciones que permite una adecuada integración de factores, tal como lo plantea (Baruzzi, 2022).

A los fines de definir cuál de las localizaciones tiene mejores prestaciones se utilizó el método de los factores ponderados, propuesto por Ballou (Ballou, 2004), que consiste en otorgar pesos relativos a los factores que influyen en la decisión y calificar el grado alcanzado por cada alternativa de localización en cada factor, utilizando la Ecuación (1), donde  $P_i$ : puntaje de la alternativa  $i$ ,  $W_k$ : ponderación del factor  $k$  y  $S_{ki}$ : calificación otorgada al factor  $k$  en la alternativa  $i$ .

$$P_i = \sum W_k S_{ki} \quad (1)$$

Los factores  $k$ , son los criterios ya mencionados (C1, C2, C3, C4). Para la ponderación  $W_k$  y para la calificación  $S_{ki}$ , se han tomado valores que van de 1 a 5, siendo 5 el mejor puntaje posible. La aplicación de método y resultados se pueden visualizar a continuación:

Tabla 1: Aplicación del método de los factores ponderados.

Factores	Wk	Localizaciones - Ski			
		Iguazú	Oberá	Eldorado	Capital
C1	2	2	4	3	5
C2	1	1	5	1	5
C3	5	2	5	2	5
C4	4	3	3	3	4
<b>Total <math>P_i = \sum W_k S_{ki}</math></b>	-	20	37	29	56

El método de jerarquización o AHP optimiza la localización (Baruzzi, 2022) y permite de esta manera tomar decisiones de forma sencilla a partir de criterios múltiples (Martínez Rodríguez, 2007). El método se basa en la separación del problema complejo en una estructura jerárquica multinivel de objetivos o metas, criterios, subcriterios y alternativas (Xu, 2014). En un ambiente de certidumbre, esta metodología permite incluir datos cuantitativos referidos a las alternativas de decisión, además admite la incorporación de aspectos cualitativos que suelen quedarse fuera del análisis debido a su complejidad para ser medidos, pero que pueden ser relevantes en algunos casos. El resultado del AHP muestra la prioridad total de las alternativas de decisión respecto a la meta.

Para el desarrollo del método (los comandos en R se encuentran en un repositorio de Github (Niezwid, 2022) se implementaron los pasos de, (Saaty, 2008) tal como se detalla a continuación:

Primeramente, se ha confeccionado una matriz de comparación pareada de criterios [M], que se formula bajo la importancia de un criterio frente a otro, Matriz (1), según la escala de Saaty (del 1 al 9),

M11: C1-C1=1 igual de importante, M21:C1-C2=donde C1 es 2 veces más importante que C2, por lo tanto, M12: C2 es  $\frac{1}{2}$  más importante que C2 (es el recíproco):

$$M = \begin{bmatrix} & C1 & C2 & C3 & C4 \\ C1 & M11=1 & M12=\frac{1}{2} & 1/5 & 3 \\ C2 & M21=2 & 1 & 1/3 & 5 \\ C3 & 5 & 3 & 1 & 7 \\ C4 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Seguidamente se han confeccionado matrices de comparación de alternativas por cada criterio (cantidad de matrices igual a cantidad de criterios), se han ingresado a Rstudio y se ha compilado mediante comandos que arrojan la consistencia o no de las matrices. Este proceso de consistencia refleja la formulación acertada o no de unos criterios frente a otros. Según el comando utilizado, es correcta la puntuación dada si el índice de consistencia (consistencyRatio) de cada matriz arroja un valor menor a 0.1. Se muestra el proceso para una de las cuatro matrices [Mc1], donde se procede a ponderar de igual manera que lo ya explicado para [M], en la Matriz (2):

Matriz de comparación pareada de alternativas respecto a C1:

$$Mc1 = \begin{bmatrix} & A1 & A2 & A3 & A4 \\ A1 & 1 & 5 & 7 & 1/2 \\ A2 & 1/5 & 1 & 2 & 1/7 \\ A3 & 1/7 & 1/2 & 1 & 1/9 \\ A4 & 2 & 7 & 9 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Se ha realizado la medición de la consistencia en R Studio para cada matriz Mc1, Mc2, Mc3, Mc4, que ha permitido continuar con el proceso de decisión (Kamal & Al-Harbi, 2001).

Finalmente, luego de probar la consistencia de todas las matrices, se ha obtenido como resultado la jerarquización u ordenamiento de las cuatro alternativas consideradas para este problema de localización.

#### 4. RESULTADOS

Como se puede observar en la Tabla 1, las mejores alternativas resultaron los departamentos de Oberá y Capital, definitivamente por el peso que tiene el factor población (C1).

En AHP, la alternativa con mayor peso es A4 - Capital con 46,01 %, seguida por A1- Oberá con 40,64 %, en tercer lugar, A2- Iguazú con 7,59 %, y finalmente el A3- Eldorado con 5,74 %. Con estos resultados, según el método AHP los puntos en nivel de jerarquía son:

Capital, seguida por Oberá, Iguazú y por último Eldorado.

Las mejores alternativas dadas por el método de factores ponderados y AHP han sido los departamentos óptimos donde se podría instalar las estaciones de clasificación de RSU en la provincia de Misiones, estos lugares, cabe destacar, también clasificarán los RSU de las ciudades cercanas, en la Figura 4, se propone una ubicación para cada micro región.

En cuanto a resultados, se concluye que el mayor peso en los métodos lo lleva la variable densidad poblacional, ya que la producción per cápita de RSU es directamente proporcional a la cantidad de habitantes. Los métodos de localización por factores ponderados y AHP arrojan resultados similares.

Los métodos de factores ponderados y jerarquización analítica resultan métodos útiles para evaluar localizaciones, bajo alternativas y criterios adecuadamente analizados.

El método de jerarquización o AHP, posee la ventaja que analiza la consistencia y con ello garantiza la correcta calificación de los criterios frente a las alternativas.

La jerarquización de las alternativas para estaciones de clasificación de residuos, son una propuesta de aporte al estudio de localización para estaciones de clasificación en la provincia de Misiones y con ello a la gestión de los RSU.

Como línea futura, se propone aplicar otras funciones en lenguaje R como ser LeafLet (Diaz, 2019), para lograr encontrar geolocalizaciones exactas en el mapa, dando como resultado los mejores puntos en una determinada región donde ubicar las estaciones de clasificación de residuos.

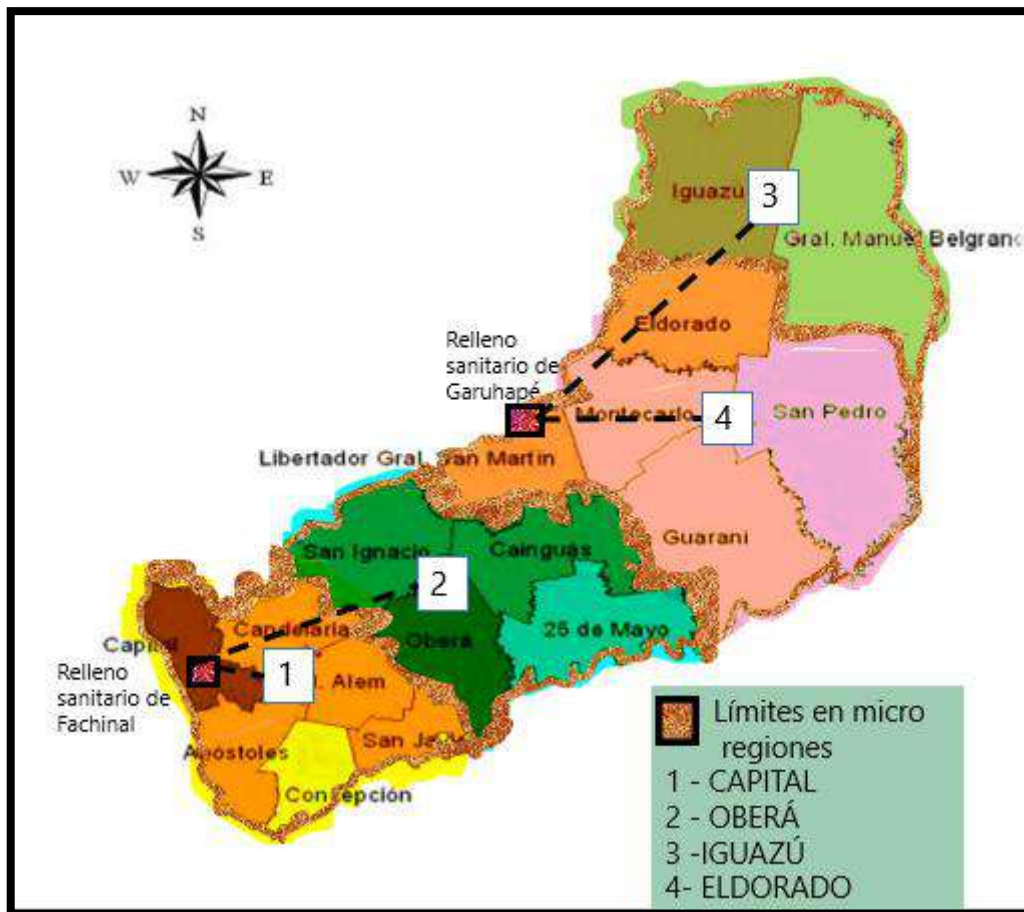


Figura4: Micro-regiones y su respectiva estación de clasificación. Fuente: Elaboración propia a partir del mapa: hacienda/dinrep/Informes/archivos/misiones.

## 5. CONCLUSIONES

Los métodos de factores ponderados y jerarquización analítica resultan métodos útiles para evaluar localizaciones, bajo alternativas y criterios adecuadamente analizados.

El método de jerarquización o AHP, posee la ventaja que analiza la consistencia y con ello garantiza la correcta calificación de los criterios frente a las alternativas.

La jerarquización de las alternativas para estaciones de clasificación de residuos, son una propuesta de aporte al estudio de localización para estaciones de clasificación en la provincia de Misiones y con ello a la gestión de los RSU.

Como línea futura, se propone aplicar otras funciones en lenguaje R como ser Leaflet, para lograr encontrar geolocalizaciones exactas en el mapa, dando como resultado los mejores puntos en una determinada región donde ubicar las estaciones de clasificación de residuos.

## 6. REFERENCIAS

Ballou, R. (2004). Logística, Administración De La Cadena De Suministro. México: Quinta Edición, Pearson Educación. ISBN: 970-26-0540-7

Baruzzi, A. y. (10 de 07 de 2022). Obtenido de Análisis de criterios de localización de estaciones de transferencia. Disponible en: [https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019v1.1%20simpo/Modelos%20e%20Tecnicas%20de%20Planejamento%20de%20Transportes/Transporte%20Publico%20II/6\\_678\\_AC.pdf](https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019v1.1%20simpo/Modelos%20e%20Tecnicas%20de%20Planejamento%20de%20Transportes/Transporte%20Publico%20II/6_678_AC.pdf).

Berent, M. (2004). "Mejoramiento en la gestión de residuos sólidos urbanos en pequeñas ciudades del NEA. El caso de Leandro N. Alem, Misiones". Cuaderno Urbano, Disponible en: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/crn/article/view/1758>.

Berent, M; D. Vedoya, D. (2005). "Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos en Ciudades Intermedias del NEA Sistema de Gestión y Elementos funcionales. Comunicaciones científicas y tecnológicas 2005. Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco, Argentina.

Carabajal Romero, H. y. (2022). "Análisis de la gestión de los residuos sólidos urbanos en Europa". Universidad y Sociedad - VOL. 14 NÚM. 1

Carro Paz, R., & González Gómez, D. (2012). Localización de Instalaciones. Universidad de Mar del Plata. Disponible en: [http://nulan.mdp.edu.ar/1619/1/14\\_localizacion\\_instalaciones.pdf](http://nulan.mdp.edu.ar/1619/1/14_localizacion_instalaciones.pdf)

Diaz, D. (2019). Clustering Geográfico. Algoritmo k-means. Disponible en: [https://rpubs.com/diegotriana11/clustering\\_geografico](https://rpubs.com/diegotriana11/clustering_geografico)

El Fadel, M. (2001). Strategies for vehicle waste-oil management: A case study. Resources, Conservation and Recycling. Elsevier, 75-91 .

IPEC. (10 de julio de 2022). ipecmisiones.org. Disponible en: <https://ipecmisiones.org/>

Kamal, M., & Al-Harbi, A.-S. (2001). Application of the AHP in project management, International Journal of Project Management. SSN 0263-7863, Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00038-](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00038-)

Ley 4274. Disponible en: <http://www.digestomisiones.gob.ar/uploads/documentos/leyes/LEY%20XVI%20-%20N%2089.pdf>

Ley N°25.916/2004. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25916-98327#:~:text=Resumen%3A,AUTORIDADES%20COMPETENTES.>

Martínez Rodríguez, E. (. (2007). Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una pyme. Anuario Jurídico y Económico Escurialense (págs. 523 - 542). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2267954>.

Niezwida, R. (10 de 07 de 2022). GITHUB. Disponible en: <https://github.com/rominaniezwida/Grupo3-FACILITY-LOCATION>

Plaza, G., & Zapata, O. (2011). Residuos y salud: Tartagal, Provincia de Salta. Revista Ciencia Tecnología, 35-43.

Rollandi, R. (2013). "Problemática de la gestión de residuos sólidos en las megaciudades. Vial, Disponible en: <https://revistavial.com/la-problematica-de-la-gestion-de-residuos-solidos-urbanos-en-las-megaciudades/>.

Saaty, T. (2008). Toma de decisiones con el proceso de jerarquía analítica. . Revista Internacional de Ciencias de Servicios, 83-89.

Salas Bacalla, J., & Leyva Caballero, C. F. (2014). . Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial Industrial . redalyc. Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial Industrial: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81640856014>

Shidong, S. (2017). "Organic carbon storage change in China's urban landfills from 1978–2014". Disponible en: [https://scholar.google.com.ar/scholar?q=%22Organic+carbon+storage+change+in+China%E2%80%99s+urban+landfills+from+1978%E2%80%932014%22.&hl=es&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholart](https://scholar.google.com.ar/scholar?q=%22Organic+carbon+storage+change+in+China%E2%80%99s+urban+landfills+from+1978%E2%80%932014%22.&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart)

Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). Handbook of solid waste management. En Handbook of solid waste management (págs. 500-563). Nueva York: McGraw - Segunda edición.

Vásquez, A. (1988). "Las iniciativas locales y los sistemas de localización industrial". Revista estudios regionales, n°22,, 69-82.

Viena, I. -I. (s.f.). " Internacional Solid Waste Association Key Issue Paper on Waste Prevention, Waste Minimization and Resource Managemen. Disponible en: [https://scholar.google.com.ar/scholar?q=IS4WA,+Internacional+Solid+Waste+Association+Key+Issue+Paper+on+Waste+Prevention,+Waste+Minimization+and+Resource+Management&hl=es&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholart](https://scholar.google.com.ar/scholar?q=IS4WA,+Internacional+Solid+Waste+Association+Key+Issue+Paper+on+Waste+Prevention,+Waste+Minimization+and+Resource+Management&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart)

Xu, Z. y. (2014). Proceso de jerarquía analítica difusa intuicionista. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. doi:10.1109/TFUZZ.2013.2272585.