



Riii Revista
Internacional
Ingeniería
Industrial

Septiembre 2024 / Enero 2025
www.aacini.org



Número 11 - 4(2) – septiembre de 2024 a enero de 2025

ISSN 2684-060X

Contenido

EDITORIAL – Palpitando el COINI 2025 en la UCA – IV –

EDITORIAL – Cómo y por qué se debe incorporar al Saber Ser en la carrera de Ingeniería Industrial (y también en otras carreras de Ingeniería) – V –

Artículos premiados - COINI

Preferencias Análisis de las propiedades de ladrillos cerámicos alivianados obtenidos a partir de arcilla y agregados de diversos residuos agroindustriales – 1 –

Artículos

Logística, energía y sostenibilidad, revisión de literatura – 14 –

Desafíos en la formación de ingenieros industriales en los albores de la industria 5.0 – 32 –

Retención de talentos en una start up Agtech – 47 –

Distribución de planta 4.0 – 56 –

Reseñas de Tesis de grado y posgrado

Un viñedo en la Patagonia austral: Desafiando al clima en Viñas del Nant y Fall – 69 –

Transformación Digital y Mejora de Procesos en Comercio Electrónico: Caso de Estudio de una PYME de productos regionales de Mar del Plata – 73 –

** Imagen de tapa generada con inteligencia artificial*

Asociación Argentina de Carreras de Ingeniería Industrial y Afines
www.aacini.org / San José 964, PB. A, Capital Federal
Tel: (011) 4304-7997/9960

AACINI – Revista Internacional de Ingeniería Industrial

Número 11 - 4(2) – septiembre de 2024 a enero de 2025

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:

Alejandro Molina
Claudia Noemí Zárate
Franco Chiodi
Gregorio Lambert
Jacqueline Bounoure
José Ignacio Nicolao García
Juan Perez

Leticia Arcusin
María Betina Berardi
María Julia Carballeda
María Risiglione
María Victoria D' Onofrio
Ramsés Cabrera-Gala

COMISIÓN DIRECTIVA AACINI

| | | |
|------------------------------|-------------------------|----------|
| Presidente: | Rubén Mario LURBE | UTN FRSC |
| Vicepresidente: | Jorge Alejandro MOHAMAD | UCA CABA |
| Vicepresidente 2do: | Oscar Antonio MORCELA | UNMDP |
| Secretaria: | María Laura GALLEGOS | UTN FRSN |
| Prosecretario: | Julián Edgardo VELA | UTN FRA |
| Tesorero: | León Natalio HOROWICZ | UBA |
| Protesorera: | Claudia Noemí ZÁRATE | UNMDP |
| 1° Vocal Titular: | Federico MENDIZÁBAL | U MORÓN |
| 2° Vocal Titular: | Jorge Eduardo ABET | UTN FRC |
| 3° Vocal Titular: | Tomás Martín AVETTA | UTN FRSN |
| 1° Vocal Suplente: | Blanca Rosa CARRIZO | UTN FRC |
| 2° Vocal Suplente: | Carlos Adrián VECCHI | UNNE |
| 3° Vocal Titular: | Marcelo Adrián PELAYO | UNLZ |
| Revisor de Cuentas Tit.: | Rodolfo Iván BARÓN | UTN FRSR |
| Revisora de Cuentas Supl.: | Jesica Elizabeth ROMERO | UTN FRSR |
| Presidente Honorario: | Miguel Ángel RISSETTO | UTN FRA |

DIRECTORES/AS DE CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

| | | |
|---|--|---|
| Ing. Gustavo Rodríguez (ITBA) | Ing. Miguel Benegas (UNGS) | Ing. Néstor Rubio (UTN-FRA) |
| Ing. Martín Ignacio Tilve (UADE) | Esp. Ing. Teresa Antequera (UNJu) | Mg. Lic. Roque Sanchez (UTN-FRBB) |
| Ing. Industrial Juan Cruz Fernández (UA) | Ing. Mauro Vidal (UNLaM) | Ing. Guillermo Valvano (UTN-FRBA) |
| Lic. Alejandra Martos (UCA-Rosario) | Ing. Juan González Montero (UNLaP) | LOI Santiago Raynoldi (UTN-FRCh) |
| Mg. Ing. Jorge Alejandro Mohamad (UCA-Bs.As.) | Ing. Lucía Lladser (UNSB) | Licenciada en Organización Industrial María José Jairala (UTN-FRCU) |
| Esp. Ing. Juan José López Seoane (UCC) | Ing. Gabriel Crespi (UNLP) | Ing. Pablo Quantín (UTN-FRCo) |
| Esp. Ing. Manuel Luis Zambrano Echenique (UCASAL) | Ing. Jorge Bonavetti (UNLR) | Mg. Ing. Jorge Eduardo Abet (UTN-FRC) |
| Ing. Alfredo Leiter (UB) | Ing. Leonardo Rey (UNLZ) | Ing. María Dolores Gomez (UTN-FRGP) |
| Dr. Ing. Anibal Cofone (UBA) | Ing. Eduardo Agustín Benítez Sigaut (UNLu) | Ing. Sergio Cortese (UTN-FRH) |
| Dr. Ing. Gabriel Gustavo Maresca (UMM) | Mg. Ing. Antonio Morcela (UNMDP) | Mg. Ing. Agustín Caferri (UTN-FRLP) |
| Ing. Ind. Patricio Gonzalez Viescas (UMendoza) | Mg. Ing. Mario Mantulak (UNAM) | Mg. Eduardo Carlos Monier (UTN-FRRa) |
| Ing. Alejandro Jorge Vaquer (UMorón) | Ing. Eliseo Daniel Guzmán (UNR) | Lic. Victor Cogno (UTN-FRRa) |
| Mg. Ing. Lucas Damián Herrero (UP) | Dr. Ing. Antonio Adrián Arciénaga Morales (UNSA) | Ing. Carolina Inés Apendino (UTN-FRSF) |
| Ing. Sergio Alberto Colombo (UNSTA) | Ing. Florencia Caamaño (UNSJ) | Esp. Ing. Tomás Avetta (UTN-FRSN) |
| Ing. Marcelo Zanitti (USAL) | Ing. María Eugenia Rimini (UNSL) | Ing. Jérica Romero (UTN-FRSR) |
| Mg. Ing. Franco Chiodi (UNICEN) | Ing. Alejandro Remigio Ferreiro (UNSE) | Ing. Mario Lurbe (UTN-FRSC) |
| Ing. Federico Walas (UNA) | Ing. Luis Cánepa (UNTdF) | Ing. Diego Pereyra (UTN-FRSF) |
| Dra. Ing. Mónica Gómez (UNC) | Dra. Ing. Paula Araujo (UNT) | Ing. Aníbal Vallejos (UTN-FRTdF) |
| Ing. Pablo De Simone (UNCu) | Ing. industrial María Daniela Vivas (UNCAUS) | Ing. Adrián Amador (UTN-FRTL) |
| | Mg. Leticia Arcusín (UNL) | |
| | Mg. Ing. Carlos Adrián Vecchi (UNNE) | |
| | Ing. Ernesto Castagnet (UNS) | |
| | Ing. Oscar Spada (UNNOBA) | |

XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Industrial COINI 2025

**Jueves 30 y Viernes 31 de Octubre
de 2025**

*Facultad de Ingeniería y Ciencias
Agrarias de la Universidad Católica
Argentina (Campus Puerto Madero,
Ciudad de Buenos Aires)*



***“Ingeniería Industrial y los desafíos del
desarrollo”***

La Asociación Argentina de Carreras de Ingeniería Industrial (AACINI) y la [Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias de la Universidad Católica Argentina](#) organizan el **XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Industrial COINI 2025**. Este es un espacio académico y profesional de la Ingeniería Industrial para la presentación y publicación de investigaciones que aporten originalidad desde perspectivas científico-técnicas y educativas. Este evento busca fomentar la creatividad, la innovación y el emprendimiento, así como promover el debate y la divulgación de experiencias que contribuyan al desarrollo de la especialidad a nivel nacional e internacional. Dirigido a académicos, investigadores, empresarios, y profesionales del sector, el COINI ofrece un espacio para el intercambio de conocimientos y la generación de sinergias.

El COINI también ofrece la tradicional Reunión Anual de los miembros de la AACINI, Directores, Coordinadores y responsables académicos de las carreras Ingeniería Industrial tanto del ámbito nacional como internacional, y los delegados de la AArEII, de manera de proporcionar el espacio adecuado para el intercambio entre profesores, directores y estudiantes.

Ejes Temáticos:

1. Operaciones y Logística
2. Gestión de las Organizaciones, Economía y Toma de Decisiones
3. Desarrollos Tecnológicos Industriales
4. Empresas de Triple Impacto
5. Educación en la Ingeniería Industrial
6. Trabajos de Cátedras Estudiantiles (Solo para estudiantes)

Enterate más: <https://aacini.org/>

Consultas: info.aacini@gmail.com

Editorial - Cómo y por qué se debe incorporar al Saber Ser en la carrera de Ingeniería Industrial (y también en otras carreras de Ingeniería)

El CONFEDI (Consejo Federal Decanos de Ingeniería - Argentina) señala en su Libro Rojo (2018) que al estudiante no sólo se le debe transmitir aptitudes (el saber conocer y el saber hacer). También se lo debe formar como profesional. Por eso establece incluir al saber ser en los planes de estudio de ingeniería.

Sin embargo, pese a que el Libro Rojo menciona al saber ser en muchos párrafos y lo relaciona con las competencias genéricas que se esperan de un profesional de la ingeniería:

- En ningún apartado define al saber ser de manera explícita.
- Da lugar a que se confunda el saber ser con las llamadas habilidades blandas.
- No remarca toda la importancia y el alcance que tiene este tema en la formación profesional.
- No señala cómo incorporar al saber ser en los planes de estudio.

Por lo tanto, la comisión directiva del AACINI consideró necesario clarificar esos ítems y transmitirlo a sus asociados. Por eso junto con el entonces presidente del AACINII Mg. Arq. Miguel Ángel Risetto disertamos sobre el Saber Ser en todos los COINI desde el XII COINI 2019 UTN FRSC. He aquí un resumen de ellas.

Agradezco también el Ing. Alejandro J. Vaquer, Director de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Morón con quién estamos investigando sobre este tema, por su colaboración en este texto.

Las diferencias entre el Saber Ser y las habilidades blandas

EL ámbito laboral del ingeniero industrial (cada vez más complejo, demandante y competitivo) requiere egresados formados en el saber ser (SS) y habilidades blandas (HB). Ambas se refieren a las relaciones interpersonales, pero las HB se orientan a las aptitudes y el SS a con qué actitud encarar esas aptitudes.

El SS es el conjunto de valores, actitudes y comportamientos que caracterizan a una persona. Es su capacidad para ser consciente de sí mismo, de actuar con responsabilidad social, y desenvolverse de modo íntegro en su entorno. Por eso incluye la dimensión ética, moral, emocional, relacional y actitudinal que deben guiar su interacción con el entorno (personas y naturaleza), encarar las tareas, administrar las emociones, desarrollar la empatía, etc.

El SS, en última instancia, es ser feliz y esto implica tomar conciencia que la felicidad:

- No la debo buscar fuera de mí, sino dentro mío (para no ser esclavo de personas y/o de las cosas).
- No depende de lo que tengo y/o me pasa, sino de qué hago con lo que tengo y con lo que me pasa.
- Depende de encontrarle sentido a mi vida (y que éste sea positivo para mí y para los demás).

El SS es actitudinal y su clave es “ama al prójimo como a tí mismo”: si no me amo, me auto destruyo y si no amo al prójimo, entro en conflicto con los demás y pierdo eficiencia, eficacia y efectividad.

Por eso, no es casual que el “amar al prójimo como a ti mismo” es la base de las negociaciones ganar/ganar de la Escuela de Negocios de Harvard y lo inculcan las religiones (en los Evangelios, la Torá, el Corán y las Hadices, el Hinduismo, el Budismo, etc.). Esto nos asegura además que el SS no está sesgado por partidismos y/o por ideologías y/o por modas.

Las HB son competencias sociales e interpersonales y les corresponden su saber conocer y saber hacer. Son herramientas para comunicarse, negociar, resolver conflictos, solucionar problemas, conformar y participar en equipos, motivar, etc. Su desarrollo es mucho más reciente que el SS y se van actualizando.

Para el Ingeniero Industrial el SS representa, la ética profesional, la responsabilidad, la adaptabilidad, el sentido crítico acompañado con el espíritu creativo, el ser proactivo, la inteligencia emocional, capacidad de adaptarse al

cambio, ser resiliente, estar predispuesto para trabajar en equipo, etc. Las empresas japonesas inculcan el SS y dicen que implica poner “*kokoro*” (corazón, alma) en lo que hacen y que eso se refleja en sus productos. “*Kokoro*” describe conceptos como el corazón o la mente como centro de la emoción y la conciencia; la esencia o el espíritu de una persona; la conexión emocional o espiritual con los demás y con lo que hace. Las HB se refieren a las técnicas para llevarlas a cabo esas actividades.

La sociedad necesita de los ingenieros industriales para desarrollar un mundo mejor. El SS induce a que el ingeniero sea más confiable, respetado y valorado por sus colegas, sus superiores, el personal a cargo donde se desempeñe y por la sociedad”.

Las HB facilitan la interacción eficaz con otras personas: comunicarse, resolver conflictos y participar y liderar equipos de trabajo. Como decir HB, induce a considerarlas menos valiosas que las habilidades duras (las tecnológicas), algunos prefieren llamar a las HB habilidades interpersonales. El SS "impacta en la vida personal y profesional porque se refiere a la actitud ante la vida, las personas y la profesión. Por eso algunos denominan al SS como la “esencia del profesional”.

Las HB "son herramientas para resolver problemas interpersonales (profesionales, laborales, sociales, etc.) que están vinculadas con lo aptitudinal. Al ser herramientas, lo bueno y lo malo que generan las HB, no dependen de ellas, sino de lo que el profesional haga con ellas. Por lo tanto, el SS es el “cimiento” sobre el cual se deben construir las HB.

Sin el SS, las HB conducen a consecuencias en: la vida personal (falta de autenticidad, problemas de relaciones, sentimiento de vacío), la vida profesional (abuso de poder, falta de ética, problemas legales), la reputación (pérdida de credibilidad, daño a la reputación, falta de respeto) y la salud mental (estrés y ansiedad, depresión, falta de autoestima).

El SS está muy relacionado con el “*ikigai*” término japonés que se traduce como “razón de ser” o “propósito de vida” y que refiere a la búsqueda de la felicidad y la satisfacción a través de la realización de actividades que se ajustan a nuestros valores, pasiones y habilidades. Los 5 elementos que conforman el *ikigai* son: 1) lo que amo, lo que me apasiona y me hace sentir vivo; 2) lo que soy bueno, habilidades y talentos naturales; 3) lo que el mundo necesita, cómo puedo contribuir a la sociedad y hacer una diferencia positiva; 4) por lo que me pueden pagar por hacer, cómo puedo ganarme la vida haciendo algo que me guste y que sea valioso para los demás; 5) lo que es mi misión, el propósito y la razón de ser en la vida. Encontrar el “*ikigai*” requiere reflexión, exploración y experimentación y cuando se lo halla es fuente de motivación, inspiración y felicidad en la vida.

El SS hace foco en la vida personal y profesional. Implica comprender y gestionar las emociones y el comportamiento para lograr integridad (equilibrio y coherencia personal y profesional). Las HB hacen foco en “el personaje”: en generar buena imagen en su entorno laboral y profesional.

El SS implica tener una conducta ética (personal y profesional) en todo momento aún si no lo exigen las leyes y priorizar los valores y la moral sobre la conveniencia personal. Las HB se limitan a cumplir con las leyes y normas vigentes.

EL SS implica ser positivo, estar comprometido con el trabajo, responsabilidad social y honestidad. Las HB se enfocan en cumplir (con las consignas y objetivos planteados) y quedar bien. Para ello usa técnicas (de comunicación, liderazgo, negociación, motivación, gestión del tiempo, etc.).

El SS está ligado al código de ética. Las HB se orientan a las normas y procedimientos de la organización.

La importancia del saber ser en los egresados

Cada vez es más importante y urgente incorporar al SS en los planes de estudio de ingeniería debido a:

La mayoría de los avances científicos y tecnológicos son exponenciales, están relacionados con la ingeniería y se desarrollan y se ponen en marcha antes que las leyes y los reglamentos que los deben regular. Esto genera vacíos legales temporales que causan miedo y/o tecnofobia, al desconocerse las consecuencias negativas que pueden generar sobre la salud y/o el medio ambiente especialmente a futuro, (como aconteció con la contaminación gaseosa y sonora de los automóviles, con los plásticos en los mares, etc.). Ese temor aumenta a su vez con la creciente competencia empresarial.

Como la ley permite lo no prohibido, la sociedad y el planeta dependen cada vez más de la ética (el SS) de los ingenieros industriales por su interacción con los avances tecnológicos presentes y futuros.

Hace diez años, a la mayoría del conocimiento técnico relacionado con la ingeniería los comunicaban las Universidades y los centros de investigación, a través de sus profesores, sus investigadores y sus bibliotecas. En breve la mayoría los conocimientos los comunicará la IA y con ella:

- Va perdiendo validez que “el conocimiento que tenemos en nuestra mente no pierde vigencia” y que “nada supera a la capacidad de pensar del ser humano”.
- Muchas veces se desconocen las fuentes de IA y/o sus fines y/o sus auto condicionamientos.
- Se requiere el SS para encausar estos avances y que no se destruya al ser humano.

La norma ISO 26000 Es una guía internacional con directrices sobre responsabilidad social para todo tipo de organizaciones. Lo señalado en los ítems anteriores refuerzan la necesidad de una actitud: la confianza (confianza en uno mismo, confiar en los demás y ser confiables para los demás) y esto lo aporta el SS.

Los deportistas, para destacarse en el profesionalismo (o top ten olímpicos), ya no solo desarrollan aptitudes. También desarrollan actitudes ante los desafíos. Por ende, la carrera de ingeniería industrial no debe limitarse a transmitir conocimientos sino a formar profesionales, o sea, desarrollar su SS. La formación del SS no solo está orientada al desempeño los graduados sino también a los estudiantes

Las nuevas tecnologías y el desarrollo de la inteligencia

Como es muy probable que los futuros egresados de ingeniería industrial deban interactuar y/o mejorar tecnologías no enseñadas en la facultad (por no existir cuando eran estudiantes), deberán aprender técnicas de creatividad y análisis de tecnologías (HB.) y usar aportes del SS: sentido crítico, espíritu creativo; predisposición positiva a intercambiar ideas, plantear, discutir y resolver problemas, etc.

Tradicionalmente los conocimientos impartidos en la universidad eran “garantizados” porque eran chequeados previamente por los profesores. La información que brinda la IA es abundante pero los estudiantes y graduados la deben leer con sentido crítico para no caer en errores.

Ernesto Sábato (escritor, humanista y doctor en física con posgrado en Harvard) decía: “nadie crea nada. El mérito del innovador/inventor es ser el primero en recombinar cosas existentes de esa manera”. EL desarrollo de nuevas tecnologías es proporcional a la cantidad de tecnologías existentes. La IA posibilita incrementar las tecnologías en forma exponencial y ese será el ambiente de los nuevos egresados.

Inteligencia deriva del latín “*intelligere*” (elegir entre” o “comprender). Depende de factores genéticos y de la estructura cerebral, pero también del SS: darse la libertad para comprender y desarrollar. Esto se logra mediante la motivación y la estimulación cognitiva que brindan la resolución de problemas y los debates (y estos se deben incluir en forma abundante en cada asignatura de la carrera).

Formar en el SS implica fomentar la resiliencia en los graduados (porque tendrán escenarios tecnológicos cada vez más cambiantes y fuentes de frustraciones) y en los estudiantes (para que no abandonen la carrera por frustraciones). Por lo tanto, se requiere el SS para no perjudicar a los graduados, a los estudiantes, a las universidades y a la sociedad que los solventó.

El SS incluye la honestidad. Por eso se debe controlar y condenar el copiarse por ser: una falta de ética de quien lo hace, una estafa (a la universidad que le da el título y a las empresas que lo contraten como egresado) desprestigiar a esa universidad en el ámbito laboral y devaluar el título de sus egresados.

Beneficios que aporta la formación de saber ser a la economía de un país

El SS no solo aporta elementos positivos a la convivencia de un país sino también a su economía. Japón, pese a estar en una isla con continuos terremotos y que prácticamente carece de recursos naturales (petróleo, minerales, agricultura, etc.), es uno de los 4 primeros países con mayor PBI, es uno de los 4 primeros países con mayor cantidad de robots/habitante y además es uno de los 4 primeros países con menor índice de desempleo/habitante. Su clave: Japón es famoso por enfocarse en la excelencia técnica, pero también en la disciplina, la responsabilidad, trabajo en

equipo, etc. Sus universidades (Tokio, Kioto, etc.) no solo forman ingenieros en habilidades técnicas, también en cómo abordar los desafíos éticos y sociales (SS).

Cómo incorporar al SS en los planes de estudio

Es necesario incorporar el SS en los planes de estudio de las carreras de ingeniería industrial, porque lo piden los Decanos de las Carreras de Ingeniería de Argentina en su Libro Rojo del CONFEDI y lo necesita la sociedad. Pero la incorporación del SS:

- No se debe limitar a un tema de una asignatura.
- Debe estar incluido en todas las asignaturas, desde el comienzo de la carrera.
- No requiere modificar la cantidad de asignaturas y/o los contenidos de ellas, sino el cómo dictarlas.

Era una tarea que hasta un par de años atrás, insumía mucho tiempo y esfuerzo a los docentes a cargo de esas asignaturas y/o a los directores de carrera, pero este camino se allanó a fines del 2024 gracias a aplicaciones de Inteligencia Artificial (IA) gratuitas, tales como Chat GPT, Gemini y Meta IA. que indican cómo hacerlo, incluso en asignaturas no humanistas como análisis matemático.

Pasos para implementar al SS en las carreras de ingeniería industrial

Paso 1: Capacitar a todos los docentes en el SS.

Paso 2: Que cada docente determine como incluir el SS en c/u de sus asignaturas con el apoyo de la IA.

Paso 3: Compartir esa información con el director de carrera (o quien/es éste designe), para analizar cómo mejorar su propuesta y/o alinearla y/o complementarla con otras asignaturas.

Paso 4: Implementar el SS en las clases.

Paso 5: Mejora continua: hacer el seguimiento periódico y retroalimentar los resultados obtenidos.

Actividades adicionales (no exhaustiva)

- Fomentar el aprendizaje y práctica mediante concursos de go, de ajedrez y de juegos que desarrollen la creatividad y la innovación, mediante aplicaciones gratuitas de IA
- Aprovechando que las nuevas generaciones están más predispuestas a los trabajos prácticos que a las clases teóricas. desarrollar soluciones a problemas integradores que requieran utilizar lo aprendido en esas materias aprobadas.
- Resolver problemas símil reales por el método del caso en cursos superiores.
- Generar convenios con las Cámaras de Industrias y con los Parques industriales para:
- Generar pasantías que sean efectivas para las empresas y para los estudiantes, donde se desarrollen estos conceptos.
- Fomentar concursos para que alumnos de una misma universidad y/o entre universidades resuelvan problemas reales de industrias.
- Trabajos voluntarios en tareas relacionadas con el desarrollo de emprendimientos en ONG. asistenciales.

Federico M. Mendizabal

Análisis de las propiedades de ladrillos cerámicos alivianados obtenidos a partir de arcilla y agregados de diversos residuos agroindustriales

Pelozo, Gisela

gpelozo@frsn.utn.edu.ar

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás (Argentina).

Caligaris, Marta

mcaligaris@frsn.utn.edu.ar

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás (Argentina).

Quaranta, Nancy

nquaranta@frsn.utn.edu.ar

*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás (Argentina).
Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires - CICPBA*

Fecha de recepción RIII: 03/11/2024

Fecha de aprobación RIII: 24/11/2024

RESUMEN

Numerosas investigaciones fueron realizadas incorporando diversos residuos agroindustriales a mezclas arcillosas, con el fin de producir materiales cerámicos alivianados. En este trabajo se han analizado algunos de estos estudios, tomando como partida aquellos que se desarrollaron en las mismas condiciones experimentales, de tal forma que las variables a analizar son las densidades de las biomásas, y el porcentaje de residuo adicionado. Los descartes biomásicos seleccionados son cáscaras de maní, cáscaras de pistacho, carozos de aceitunas, marlos de maíz, entre otros. La caracterización de estos materiales se realizó con diversas técnicas. Los diagramas de XRD presentan en todos los casos los picos característicos de la porción cristalina de la celulosa. Por su parte los estudios de comportamiento térmico muestran picos exotérmicos correspondientes a los procesos de combustión-descomposición de los biopolímeros presentes. Se han estudiado las propiedades y características de los productos cerámicos obtenidos, pudiéndose observar que, en todos los casos, para contenidos de hasta 10% de material residual, se cumplen los requerimientos del mercado para este tipo de ladrillos. Además, un análisis detallado de la forma y tamaño de los poros producidos en las muestras ha conducido a establecer una importante relación con las características de las partículas de biomásas agregadas.

Palabras Claves: cerámicos; biomasa; residuos.

Analysis of the properties of lightweight ceramic bricks obtained from clay and aggregates of various agro-industrial wastes

ABSTRACT

Numerous investigations were carried out incorporating various agro-industrial wastes into clay mixtures, in order to produce lightweight ceramic materials. In this work, some of these studies have been analyzed, taking as a starting point those that were developed under the same experimental conditions, in such a way that the variables to be analyzed are the densities of the biomasses, and the percentage of added waste. The selected biomass waste is peanut shells, pistachio shells, olive pits, corn cobs, among others. The characterization of these materials was carried out with various techniques. The XRD diagrams present in all cases the characteristic peaks of the crystalline portion of cellulose. The thermal behavior studies show exothermic peaks corresponding to the combustion-decomposition processes of the biopolymers present. The properties and characteristics of the ceramic products obtained have been studied, and it can be observed that, in all cases, for contents of up to 10% of residual material, the market requirements for this type of bricks are met. Furthermore, a detailed analysis of the shape and size of the pores produced in the samples has led to establishing an important relationship with the characteristics of the aggregated biomass particles.

Keywords: ceramic; biomass; residues

Análise das propriedades de tijolos cerâmicos de baixo peso obtidos de argila e agregados de diversos resíduos agroindustriais

RESUMO

Inúmeras investigações foram realizadas incorporando diversos resíduos agroindustriais em misturas de argila, a fim de produzir materiais cerâmicos porosos. Neste trabalho foram analisados alguns desses estudos, tomando como ponto de partida aqueles que foram desenvolvidos nas mesmas condições experimentais, de forma que as variáveis a serem analisadas sejam as densidades das biomassas e a porcentagem de resíduos adicionados. Os resíduos de biomassa selecionados são cascas de amendoim, cascas de pistache, caroços de azeitona, espigas de milho, entre outros. A caracterização destes materiais foi realizada com diversas técnicas. Os diagramas de XRD apresentam em todos os casos os picos característicos da porção cristalina da celulose. Os estudos de comportamento térmico mostram picos exotérmicos correspondentes aos processos de combustão-decomposição dos biopolímeros presentes. Foram estudadas as propriedades e características dos produtos cerâmicos obtidos, podendo-se observar que, em todos os casos, para teores de até 10% de material residual, as exigências do mercado para este tipo de tijolos são atendidas. Além disso, uma análise detalhada da forma e tamanho dos poros produzidos nas amostras permitiu estabelecer uma importante relação com as características das partículas de biomassa agregada.

Palavras chave: cerâmica; biomassa; resíduos

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos agroindustriales son materiales de descarte generados por actividades productivas que no tienen un interés directo, y que por lo general son mantenidos en predios para ser enviados a disposición final o destinados para otros usos. En el caso de no ser reutilizados originan importantes problemas ambientales debido a que son grandes volúmenes de residuos que no son fácilmente recibidos por los lugares de disposición ya establecidos, lo que hace que a menudo se ubiquen a cielo abierto en las mismas empresas que los producen y posteriormente quemados para reducirlos. Afortunadamente, en los últimos años, han surgido numerosas investigaciones sobre la posible valorización de este tipo de materiales en diversas aplicaciones. Así pueden observarse varias biomásas que han sido estudiadas como catalizadores [Cheng T. et al, 2022], fuentes de extracción de diferentes productos químicos [Nath P. et al, 2023; Cho E. et al, 2020], refuerzos de matrices poliméricas [Mohite A. et al, 2022; Dubey S. et al, 2021; Koodalingam B. et al, 2020], etc.

Otra de las aplicaciones estudiadas para estos descartes de proceso se relaciona a su uso en la industria de la construcción, como agregados a materiales cementíceos, o en la fabricación de productos cerámicos. En el primer caso se agregan como refuerzos estructurales y como reemplazo de las materias primas originales [Kumaresan M. et al, 2022; Jannat N. et al, 2021], y en el caso de los cerámicos, se adicionan como formadores de porosidad, con el objetivo de obtener piezas cerámicas alivianadas, buscándose prestaciones similares a las tradicionalmente logradas con arcilla [Lawanwadeekul S. et al, 2023; de la Casa J. et al, 2021; Pérez-Villarejo L. et al, 2020; Al-Fakih A. et al, 2019].

En trabajos previos del grupo se ha estudiado la fabricación de ladrillos cerámicos alivianados con una gran diversidad de biomásas agregadas y variando los porcentajes adicionados entre 5% y 15% en volumen. Algunos de los residuos agrícolas investigados son cebada, aserrines, cáscaras de maní, cáscaras de pistacho, carozos de aceitunas, marlos de maíz, cáscaras de nuez, entre otros [Quaranta N. et al, 2023a; Quaranta N. et al, 2023b; Quaranta N. et al, 2018; Pelozo G. et al, 2018; Quaranta N. et al, 2016].

En la mayoría de los casos se ha determinado que para los productos con agregados de hasta 10%, se obtienen las propiedades y características requeridas por el mercado de este tipo de materiales. En algunas muestras, dichas propiedades se mantienen aún para porcentajes de 15% de biomasa agregada. La Figura 1 muestra algunas de las piezas obtenidas en dichos trabajos, en las que resulta evidente que a medida que se incrementa la proporción de biomasa agregada, aumenta la porosidad de las piezas cerámicas.



Figura 1. Ladrillos cerámicos obtenidos con diversas biomásas agregadas.

Algunos de los parámetros que influyen en la producción de ladrillos con mezcla de residuos adicionados pueden ser seleccionados de tal forma que dejen de ser variables de proceso y puedan dar lugar a análisis comparativos. Así, en este trabajo se ha diseñado un estudio sistemático estableciendo el porcentaje de material residual agregado, la proporción de agua para humectación de las mezclas, la presión uniaxial de compactación y la temperatura de cocción, como valores constantes de proceso. Es importante mencionar sin embargo que, si bien el porcentaje de biomasa en volumen es tomado como constante, dependiendo de la densidad de la misma dicho volumen corresponderá a diferentes pesos. Esto se hará notorio en algunas de las propiedades finales del ladrillo, tales como la pérdida de peso por calcinación y la variación volumétrica permanente.

Generalmente los estudios de incorporación de descartes agroindustriales en mezclas cementíceas o arcillosas son llevados a cabo considerando los porcentajes en volumen, de manera tal de mantener la misma cantidad de arcilla en las muestras. Así, los cuerpos en verde tendrán tamaños similares y los procesos de sinterización serán comparables.

En estas investigaciones, el tamaño y forma de las partículas de residuo agregadas, y la densidad de las biomásas utilizadas son consideradas las variables de proceso. Los descartes agroindustriales seleccionados son cáscaras de maní, marlos de maíz, cáscaras de pistacho y carozos de aceituna. Los dos primeros son considerados materiales de baja densidad, mientras que los otros dos corresponden a biomásas de densidad alta. Este parámetro, que habitualmente no es considerado en la literatura, es sumamente importante ya que las biomásas con bajas densidades tienden a ser de características más fibrosas, con estructuras más abiertas, y en la etapa de molienda conducen a mezclas más heterogéneas en relación a la forma de las partículas.

Las diferentes etapas de este trabajo y la metodología de estudio, se han diseñado con el objetivo de determinar la influencia del tamaño y forma de las partículas de biomasa, sobre las características de los poros obtenidos en los productos cerámicos.

2. EXPERIMENTAL

Los diversos descartes agroindustriales han sido caracterizados por microscopía óptica (OM), microscopía electrónica de barrido (SEM) con análisis dispersivo de rayos X (EDS), difracción de rayos X (XRD), y análisis térmico diferencial y termogravimétrico (DTA-TGA). Además se ha determinado la pérdida de peso por calcinación de estos materiales en polvo.

Las observaciones por OM fueron realizadas con un equipo Zeiss-Axiotech con cámara marca Donpisha 3CCD, con digitalizador de imágenes. Los análisis por SEM se realizaron con un equipo FEI Inspect S50, con un detector de rayos X marca EDAX Phoenix.

Los diagramas de difracción de rayos X de las muestras en polvo se registraron con un equipo PANalytical X'Pert PRO, con radiación $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.5406 \text{ nm}$), en condiciones de operación de 40 kV y 40 mA. Los ensayos de comportamiento térmico de las biomásas (DTA-TGA) fueron llevados a cabo con un equipo Shimadzu DTA-50 TGA-50 con analizador TA-50 WSI, con velocidades de calentamiento de $1^\circ\text{C}/\text{min}$, en atmósfera de aire, en el rango de temperaturas amb- 1000°C .

La pérdida de peso por calcinación de las materias primas en polvo se determinó a partir de las curvas DTA-TGA. El tamaño de partícula de las biomásas y de la arcilla utilizada en este trabajo es menor a 1mm. La distribución granulométrica de las muestras se utilizó para determinar el tamaño de partícula mayor presente en cada muestra, y el tamaño de partícula que se encuentra en mayor porcentaje.

Las piezas cerámicas fueron obtenidas utilizando una presión de compactación uniaxial de 25 MPa en mezclas de arcilla comercial y residuo agroindustrial (cáscaras de maní, cáscaras de pistacho, marlos de maíz y carozos de aceituna) adicionados en un porcentaje de 10% en volumen, con agregado de humedad (8% en peso), conformados en moldes de 70mm x 40mm, resultando ladrillos de aproximadamente 15mm de altura.

Luego del proceso de secado, las piezas en verde fueron tratadas térmicamente a 950°C, siguiendo curvas de calentamiento similares a las utilizadas en la industria cerámica. Los ladrillos cerámicos obtenidos fueron caracterizados por diferentes técnicas: porosidad aparente (P), variación volumétrica permanente (VVP), pérdida de peso por calcinación (PPC), y propiedades mecánicas.

La porosidad de las muestras fue determinada según ensayos estandarizados por ASTM C20-00. Los valores de VVP se obtuvieron midiendo las dimensiones (alto, ancho y espesor) de los ladrillos antes y después del tratamiento a 950°C. De igual forma la PPC se calculó por la diferencia de peso entre las piezas en verde y las cocidas.

El comportamiento mecánico se determinó mediante el módulo de rotura obtenido en una máquina de ensayos Instron Model 1125, con capacidad máxima de 10000 kg, según la norma ASTM C133-97.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan características de diversas biomazas, tales como la densidad y los picos observados en los diagramas de difracción de rayos X. Además de las cuatro biomazas estudiadas en este trabajo, se han agregado otras con fines comparativos.

Tabla 1. Características de diversas biomazas

| Biomasa | Densidad [g/cm ³] | Pico XRD [2θ] | | | | | |
|----------------------|-------------------------------|---------------|------|------|------|------|------|
| Cáscaras de pistacho | 0.44 | 16.7 | 21.7 | --- | 34.7 | 44.4 | --- |
| Carozos de aceitunas | 0.36 | --- | 21.8 | 31.7 | 34.5 | 45.3 | --- |
| Cebada residual | 0.22 | 15.9 | 20.9 | 31.7 | --- | 44.5 | --- |
| Cáscaras de girasol | 0.16 | 15.4 | 22.0 | 31.9 | 34.8 | 45.1 | 26.5 |
| Cáscaras de maní | 0.12 | 16.8 | 22.4 | --- | 35.3 | --- | 26.7 |
| Marlos de maíz | 0.10 | --- | 22.3 | 31.5 | 35.4 | 43.9 | 26.9 |
| Aserrín de pino | 0.10 | 16.1 | 22.4 | 31.6 | 34.7 | 45.3 | 26.5 |

Las densidades de los residuos agroindustriales fueron determinadas por el método tradicional de masa/volumen, partiendo de los materiales en polvo con tamaño de partículas menores a 1 mm, utilizando un volumen fijo de 50 cm³. Como puede observarse en la Tabla 1, las biomazas se han ordenado según su valor de densidad de mayor a menor, considerándose materiales densos las dos primeras, y de baja densidad las tres últimas, coincidentemente con la apariencia granular de los materiales de mayor densidad, y fibrosa de aquellos menos densos. En el caso de las cáscaras de girasol y de los residuos de cebada, se observan características intermedias, por ello se han seleccionado para este análisis las biomazas que presentan mayores diferencias.

Las biomazas agroindustriales pueden presentar varios picos característicos de difracción, que son asignados a la celulosa semicristalina. Pueden alcanzar un máximo de cinco picos en el rango de 2θ entre 0° y 50°. En la Tabla 1 se presentan los picos determinados para cada biomasa analizada, y como puede observarse no todas presentan los cinco picos característicos, la mayoría presenta cuatro de ellos. El pico determinado a valores de 2θ = 26.7 ± 0.2 corresponde a un pico característico de la sílice (SiO₂) en

su fase cuarzo, en este caso presente en los diagramas correspondientes a las biomazas de más baja densidad.

A modo de ejemplo, el diagrama de difracción del aserrín de pino se presenta en la Figura 2, seleccionado debido a que presenta el diagrama completo, con los cinco picos correspondientes a la celulosa semicristalina, y también un pico intenso de la fase cuarzo ($2\theta = 26.5$).

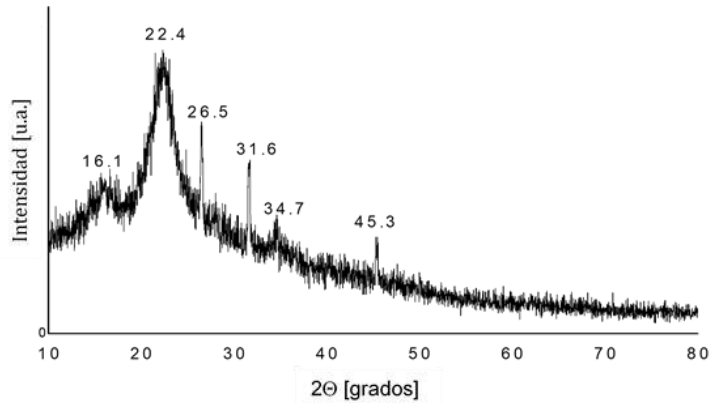


Figura 2. XRD de aserrín de pino molido.

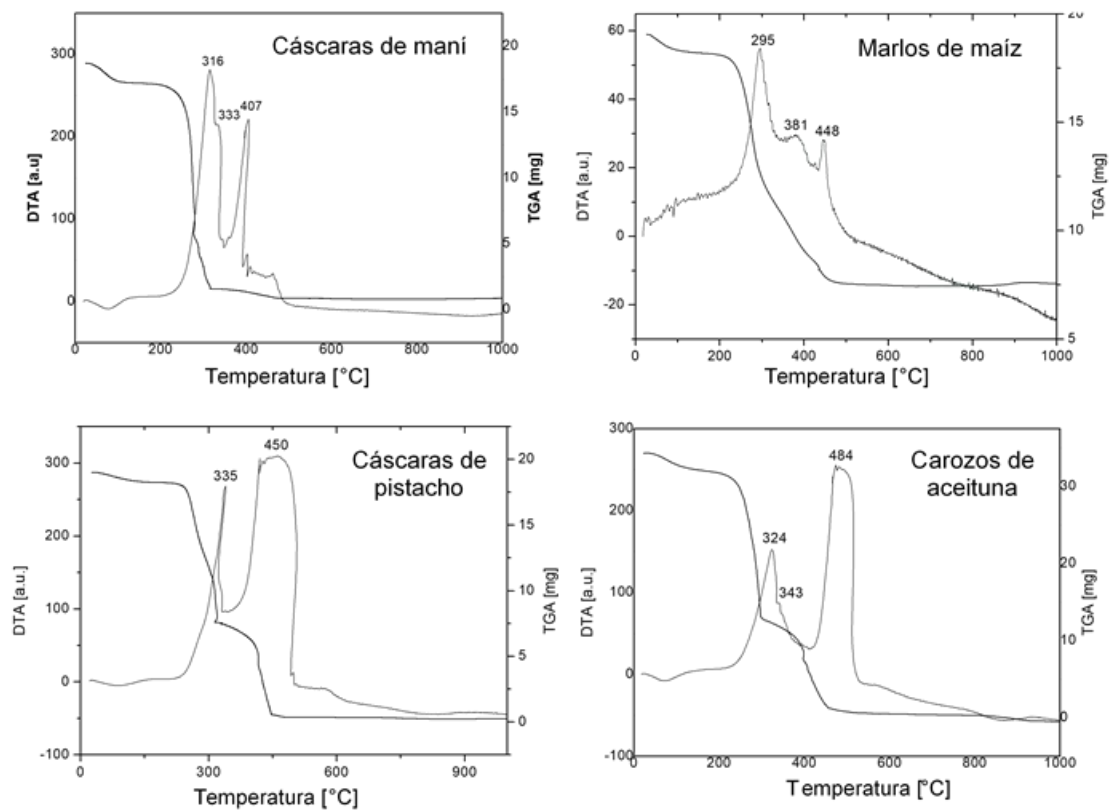


Figura 3. DTA-TGA de las biomazas utilizadas.

Los análisis térmico diferencial y termogravimétrico de las cuatro biomásas utilizadas en este trabajo son presentados en la Figura 3. Se observan picos exotérmicos en los DTA de todas las muestras, notándose que las curvas de las cáscaras de maní y de los marlos de maíz, biomásas consideradas de baja densidad, muestran tres picos que pueden asignarse a reacciones de descomposición-combustión de los biopolímeros: hemicelulosa, celulosa y lignina, apareciendo en ese orden a medida que se incrementa la temperatura. En el caso de las curvas de cáscaras de pistacho y carozos de aceituna, biomásas más densas, se observan dos picos, uno bien definido correspondiente a hemicelulosa, y otro ancho, probablemente debido a la coexistencia de los picos de celulosa y lignina.

Las curvas TGA de estas muestras registran las pérdidas de peso que van ocurriendo a medida que la combustión de los biopolímeros se va produciendo. En las muestras de menor densidad, de estructuras fibrosas, se observa una pérdida continua de peso hasta obtener el peso final constante, mientras que las biomásas de estructura más compacta, de densidades mayores, presentan pérdidas de peso escalonadas, pudiendo identificar por un lado la combustión de la hemicelulosa, y por otro la región de combustión conjunta de celulosa y lignina.

Las pérdidas de peso por calcinación de estas muestras en polvo, pueden calcularse a partir de estas curvas, por su intersección con el eje de TGA [mg], que determina la cantidad de cenizas que se producen en el proceso de combustión de la biomasa. Para las biomásas de baja densidad se han observado mayores porcentajes de cenizas que para las de mayores densidades. Siendo dichos valores los siguientes: 4.7% para cáscaras de maní, 7.5% para marlos de maíz, y 1.8% para carozos de aceituna y cáscaras de pistacho. Esto es coincidente con el hecho de haber observado en los diagramas de XRD (Tabla 1), que las muestras de bajas densidades contienen en su composición cantidades detectables de sílice, material que no combustiona y queda presente en las cenizas.

En todos los casos, el hecho de que estas biomásas presenten un amplio rango de temperaturas de combustión, hace que se constituya en un factor importante que permite inferir que, al ser incorporadas a mezclas arcillosas, no se producirán grietas durante el proceso de sinterización de las piezas cerámicas.

Las siguientes figuras (Figura 4 a 7), muestran las imágenes SEM de las biomásas molidas. Las cáscaras de maní, Figura 4, presentan una estructura laminar y fibrosa.

Las partículas de marlos de maíz, Figura 5, se presentan en diferentes formas, triangulares y alargadas, con estructura laminar, y cuando son observadas a mayores aumentos, se hacen evidentes sus estructuras abiertas fibrosas, típicas de las biomásas de baja densidad.

Las cáscaras de pistacho y los carozos de aceituna, consideradas biomásas de alta densidad, cuando son molidas, aparecen con estructuras más cerradas y definidas, como puede observarse en las Figuras 6 y 7. A pesar de que las características fibrosas son comunes a todos los residuos agroindustriales, en el caso de estas biomásas más densas, aún a altas magnificaciones no se observan fibras separadas de la estructura.

Los análisis químicos semicuantitativos por EDS de estos materiales biomásicos presentan altos porcentajes de C y O, y en casi todos ellos se hallan presentes en muy pequeñas proporciones Al, Si, Mg, P, S, Na, K, Ca y Fe.

Como se ha mencionado con anterioridad, por fines comparativos se han seleccionado para este estudio, las piezas cerámicas con agregados de 10% en volumen de las biomásas analizadas. La Tabla 2 presenta las características y propiedades determinadas en estos ladrillos, y serán analizadas teniendo en cuenta la densidad de los materiales agroindustriales utilizados.

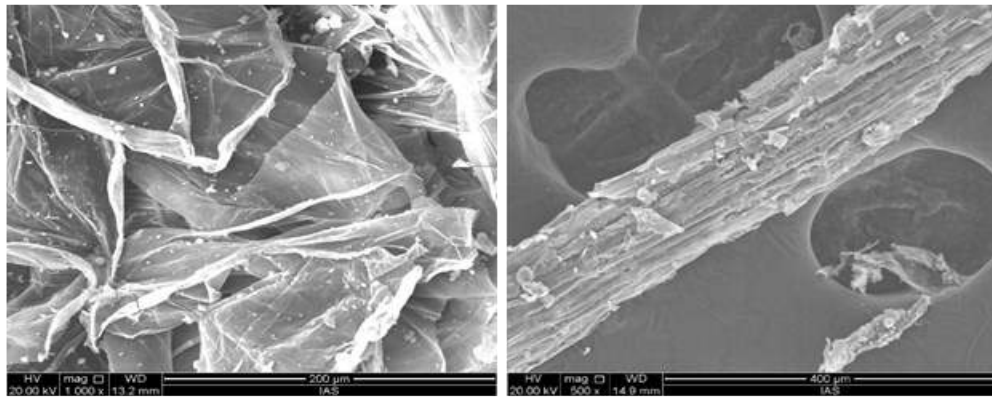


Figura 4. Imágenes SEM de cáscaras de maní molidas.

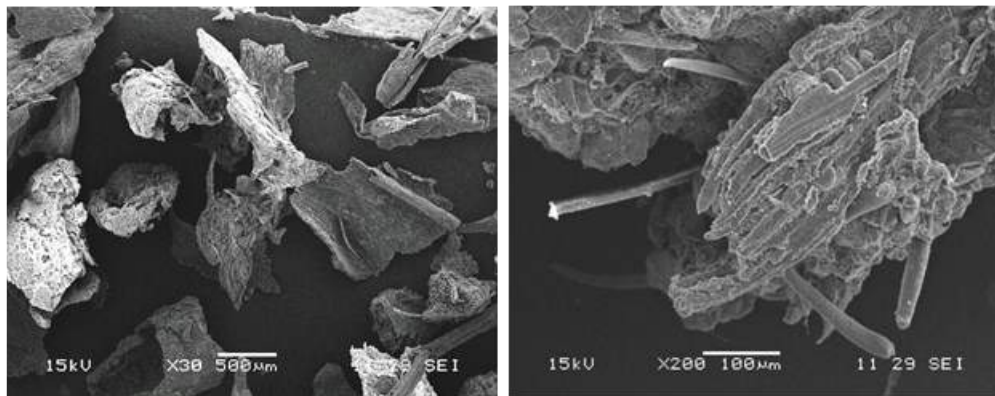


Figura 5. Imágenes SEM de marlos de maíz molidos.

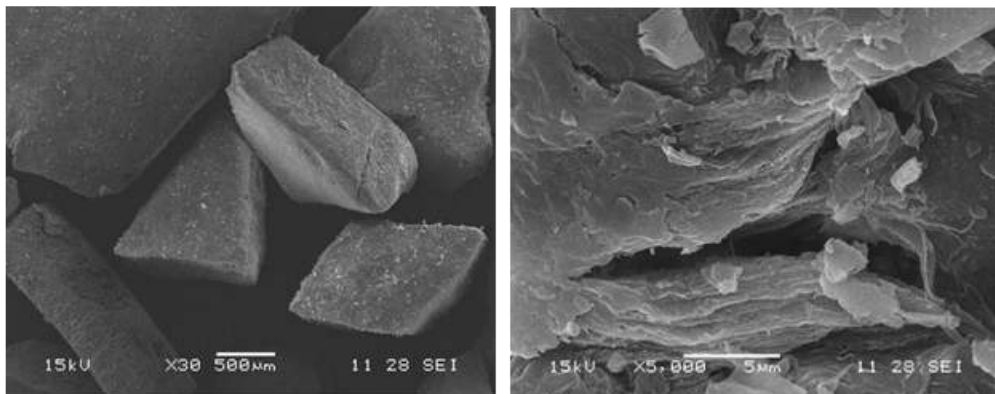


Figura 6. Imágenes SEM de cáscaras de pistacho molidas.

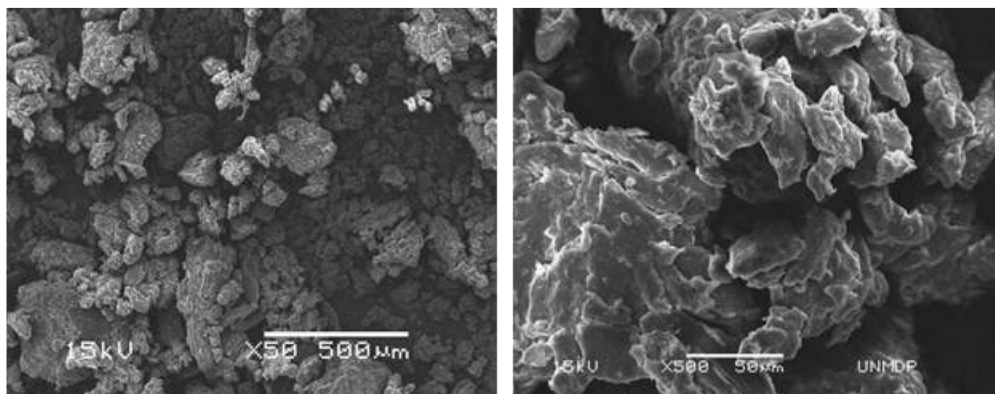


Figura 7. Imágenes SEM de carozos de aceituna molidos

Se observa que los resultados pueden relacionarse a la densidad de los residuos agroindustriales, que directamente se corresponde también a la masa agregada de biomasa. Por ejemplo, las biomásas menos densas, marlos de maíz y cáscaras de maní presentan valores más bajos de VVP, PPC y Porosidad, que los ladrillos con agregados más densos, carozos de aceituna y cáscaras de pistacho. Los valores de resistencia a la flexión expresados en MOR presentan una tendencia a ser más bajos a porosidades más altas (mayor densidad de biomasa). Estos valores no se relacionan de manera directa, ya que se ven influenciados también por las formas y los tamaños de los poros producidos durante la cocción de cada tipo de ladrillo arcilla + biomasa.

Tabla 2. Características de las piezas cerámicas obtenidas

| Biomasa | Densidad [g/cm ³] | VVP | PPC | Porosidad | MOR |
|----------------------|-------------------------------|-----|------|-----------|-----|
| Marlos de maíz | 0.10 | 4.9 | 10.0 | 23.9 | 8.8 |
| Cáscaras de maní | 0.12 | 5.7 | 9.4 | 27.5 | 6.7 |
| Carozos de aceituna | 0.36 | 8.7 | 14.2 | 31.8 | 4.8 |
| Cáscaras de pistacho | 0.44 | 7.3 | 17.2 | 29.4 | 6.9 |

Otra característica que se ha determinado a partir de los estudios llevados a cabo con los diferentes residuos agroindustriales, es que la forma y el tamaño de las partículas de biomasa agregada tiene influencia en el tipo de porosidad producida en los ladrillos, en especial en el tamaño y forma de los poros obtenidos.

La técnica de microscopía óptica (OM) se ha utilizado para hacer el análisis de tamaño y forma de poros de los ladrillos. Para ello las muestras se han cortado, embutido en resina y pulido hasta pasta de diamante de 1 micrón, con el fin de obtener fotografías claras.

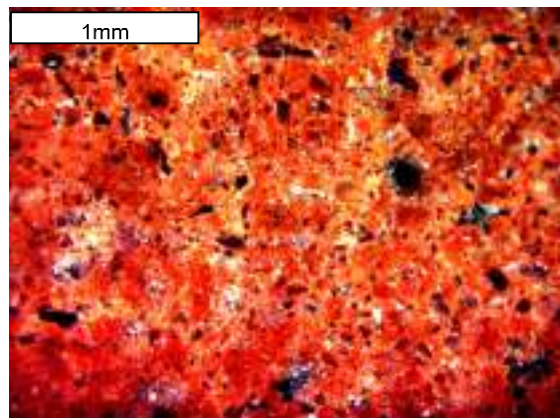


Figura 8. Imágenes OM de ladrillos sin biomasa agregada

La Figura 8 muestra un ladrillo de arcilla sin agregados de biomasa, para ser tenido en cuenta como referencia estructural en relación a aquellos obtenidos con 10% en volumen de las diferentes biomásas. Puede observarse que presentan una matriz con una distribución homogénea de porosidad, con diversas formas de poro, y todos ellos de tamaño muy pequeño.

El análisis de la porosidad de los ladrillos que contienen las diferentes biomásas, conduce a establecer que el tamaño y forma de los poros formados pueden ser relacionados con las características de las partículas del residuo agregado, como se observa en los casos estudiados siguientes.

La distribución de tamaño de partícula de las biomásas utilizadas en la fabricación de los ladrillos tiene características similares, siendo las partículas más grandes agregadas de 1mm, mientras que las más abundantes, presentes en un porcentaje mayor a 50% son de tamaño 0.5mm. En el caso de los carozos de aceituna, las más abundantes son 0.5 mm (30%) y 1mm (30%). Estos datos se han utilizado para calcular la relación entre estos tamaños y el de los poros formados en las muestras.

En la Figura 9 se presentan fotografías tomadas a las muestras con marlos de maíz. Los poros presentes en los ladrillos tienen las mismas formas que las observadas en las partículas agregadas. Se aprecia además la presencia de un gran número de poros alargados de menor tamaño, que se han indicado con amarillo en la fotografía, probablemente originados por fibras que se han desprendido de las partículas durante el proceso de mezclado de las pastas con arcilla. También se han observado en el análisis de estas muestras por SEM, como se muestra en la micrografía incluida en la Figura 9. En relación al tamaño de los poros, se ha determinado que el tamaño más abundante corresponde al 60% del tamaño de partícula de esta biomasa adicionado en mayor proporción.

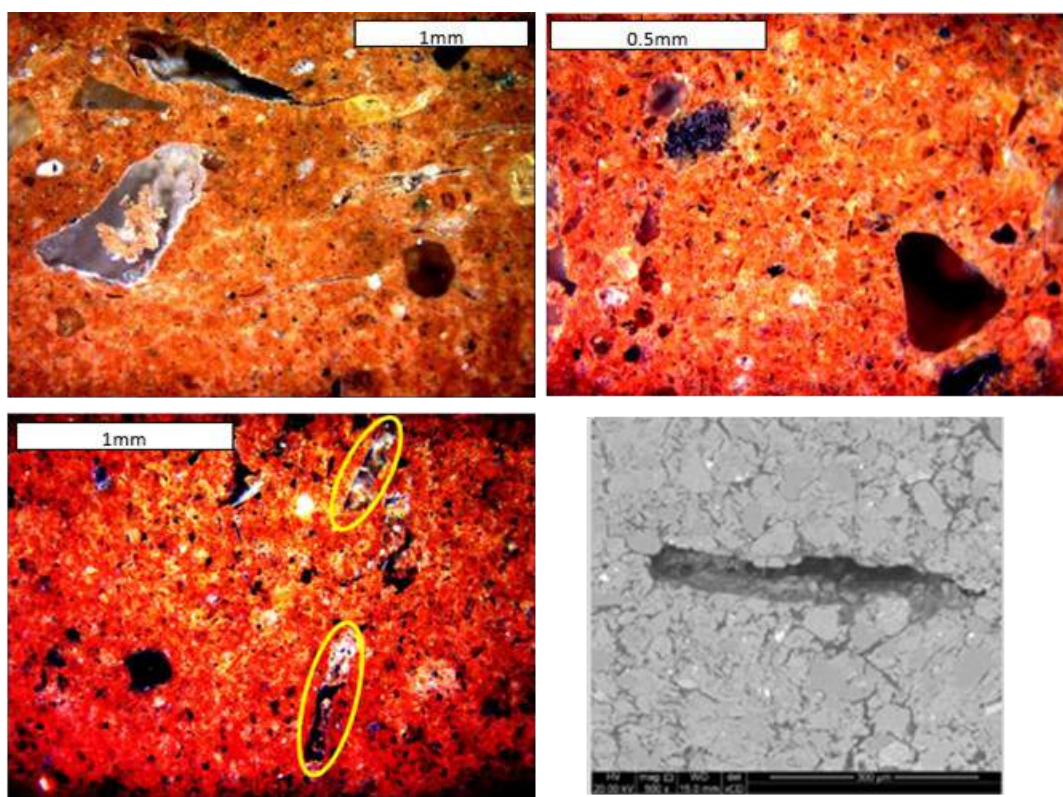


Figura 9. Micrografías de los ladrillos producidos con agregados de marlos de maíz

Para las piezas cerámicas producidas con agregado de cáscaras de maní, biomasa que al igual que los marlos de maíz se considera de baja densidad y de estructura laminar y fibrosa, las formas de los poros se corresponden a las observadas en las partículas de esta biomasa molida. En este caso, también se aprecian numerosos poros alargados como originados por fibras separadas de material. La Figura 10 presenta micrografías de estos ladrillos. En relación al tamaño de los poros observados en estas muestras adicionadas con cáscaras de maní, el tamaño más abundante, corresponde al 60% del tamaño de partícula adicionado en mayor proporción.

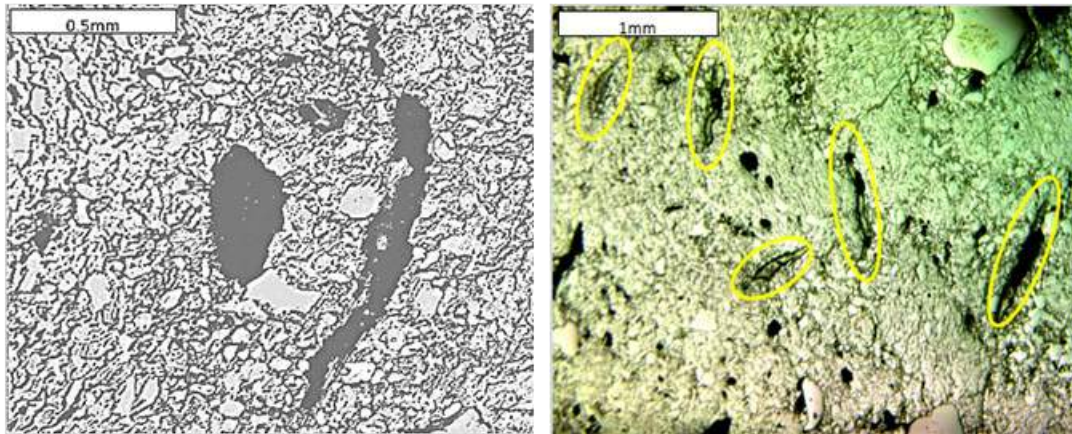


Figura 10. Micrografías de los ladrillos producidos con agregados de cáscaras de maní

En la Figura 11 se presentan las micrografías tomadas a los ladrillos fabricados con agregado de cáscaras de pistacho, biomasa de mayor densidad que las anteriores mencionadas, y en este caso, de característica estructural granular, menos fibrosa y laminar. Puede notarse claramente que los poros producidos presentan formas similares a las observadas en el material molido. No se han observado en estos ladrillos poros alargados como en las muestras anteriores. En cuanto al tamaño más abundante de poros, en este caso se determinó que corresponde al 60% de los tamaños de partícula agregados en mayor proporción.

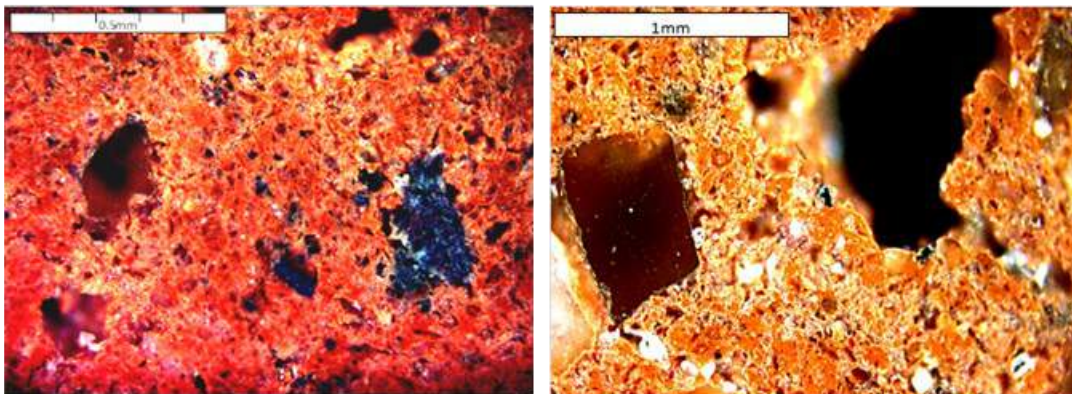


Figura 11. Micrografías de los ladrillos producidos con agregados de cáscaras de pistacho.

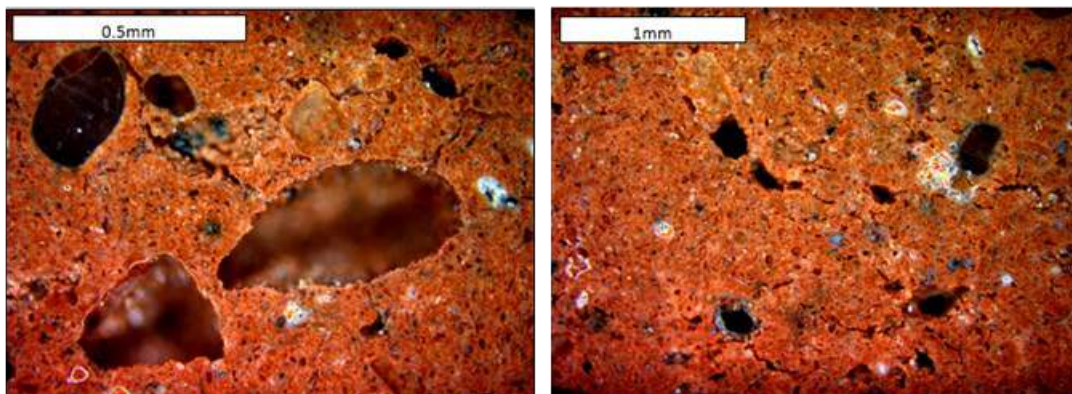


Figura 12. Micrografías de los ladrillos producidos con agregados de carozos de aceituna

Finalmente, la porosidad de los ladrillos producidos con el agregado de carozos de aceituna se presenta en la Figura 12. Este material biomásico también es considerado de densidad alta, y de estructura más compacta y menos fibrosa. Los poros formados conservan las formas de las partículas agregadas. No se han observado poros alargados del tipo producido por materiales fibrosos. También en este caso, el tamaño más abundante de poro observado corresponde al 60% del tamaño de partícula presente en mayor proporción.

En todas las muestras se ha observado además, que los mayores tamaños de poros presentes corresponden a valores de entre 70% y 80% del tamaño de partícula más grande adicionado (1mm).

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, los estudios realizados permiten concluir que diversos materiales biomásicos agroindustriales pueden utilizarse como formadores de poros en matrices cerámicas, siendo las muestras con agregados de hasta 10% en volumen de biomasa, las que presentan propiedades dentro de los requerimientos del mercado.

Se han seleccionado por ello, cuatro biomásas con densidades distintas, marlos de maíz, cáscaras de maní, cáscaras de pistacho y carozos de aceituna, y los ladrillos producidos con ellas, agregadas en la proporción mencionada, para analizar detalladamente las formas y tamaños de los poros formados.

Se ha determinado que en los casos estudiados, la forma de los poros obtenidos se corresponde con la forma de las partículas de biomasa agregadas, y en relación al tamaño de dichos poros, aquellos presentes en mayor proporción corresponden al 60% del tamaño más abundante agregado de las partículas de biomasa. Además, se ha observado que en el caso de las biomásas de densidades más bajas, marlos de maíz y cáscaras de maní, que presentan características estructurales laminares y más fibrosas, se han producido poros alargados, que parecen estar originados por fibras sueltas, probablemente desprendidas de las partículas durante el proceso de mezcla.

Estos resultados resultan atractivos ya que conducen a concluir que pueden diseñarse productos con porosidad controlada mediante una adecuada selección del tipo de biomasa, y del tamaño de partícula a utilizar de la misma.

5. REFERENCIAS.

Al-Fakih A., Mohammed B., Liew M., Nikbakht E. (2019). Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review. *Journal of Building Engineering* 21,37-54.

Cheng T., Li J., Ma X., Zhou L., Wu H., Yang L. (2020). Alkylation modified pistachio shell-based biochar to promote the adsorption of VOCs in high humidity environment. *Environmental Pollution*. 295:Art.118714.

Cho E., Trinh L., Song Y., Lee Y., Bae H. (2020). Bioconversion of biomass waste into high value chemicals. *Bioresource Technology* 298:Art.122386.

de la Casa J., Bueno J., Castro E. (2021). Recycling of residues from the olive cultivation and olive oil production process for manufacturing of ceramic materials. A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production* 296:Art.126436.

Dubey S., Mishra V., Sharma A. (2021). A review on polymer composite with waste material as reinforcement. *Materials Today: Proceedings* 47, 2846-2851.

- Jannat N., Al-Mufti R., Hussien A., Abdullah B., Cotgrave A.(2021). Utilisation of nut shell wastes in brick, mortar and concrete: A review. *Construction and Building Material* 293:Art.123546.
- Koodalingam B., Senthikumar P., Rajesh Babu S. (2020). Study of mechanical properties of the polymer matrix composite materials using pistachio shells. *Material Today Proceedings* 33(7), 2912-2916.
- Kumaresan M., Sindhu Nachiar S., Anandh S. (2022). Implementation of waste recycled fibers in concrete: a review. *Materials Today: Proceedings* 68:1988-1994.
- Lawanwadeekul S., Srisuwan A., Phonphuak N., Chindaprasirt P. (2023). Enhancement of porosity and strength of clay brick fired at reduced temperature with the aid of corn cob and waste glass. *Construction and Building Materials* 369:Art.130547.
- Mohite A., Jagtap A., Avhad M., More A. (2022). Recycling of major agriculture crop residues and its application in polymer industry: A review in the context of waste to energy nexus. *Energy Nexus* 7:Art.100134.
- Nath P., Ojha A., Debnath S., Sharma M., Sridhar K., Nayak P., Inbaraj B. (2023). Biogeneration of Valuable Nanomaterials from Agro-Wastes: A Comprehensive Review. *Agronomy* 13, 561.
- Pelozo G., Quaranta N., Caligaris M., Romano M., Cristóbal A. (2018). Effect of the incorporation of biomass wastes on the properties of fired clay bricks. *The Journal of Solid Waste Technology and Management* 744-751.
- Pérez-Villarejo L., Eliche-Quesada D., Martín-Pascual J., Martín-Morales M., Zamorano M. (2020). Comparative study of the use of different biomass from olive grove in the manufacture of sustainable ceramic lightweight bricks. *Construction and Building Materials* 231:Art.117103.
- Quaranta N., Caligaris M., Unsen M., López H., Pelozo G., Cristóbal A. (2023a). Ceramic bricks using pistachio shells as controlled porosity former. *Journal of Building Materials and Structures* 10, 16-26.
- Quaranta N., Varoli R., Caligaris M., Cristóbal A. (2023b). Use of corncob as controlled porosity former in ceramics. *Revista Tecnología y Ciencia* 46, 1-17.
- Quaranta N., Caligaris M., Pelozo G., Césari A., Cristóbal A. (2018). Use of wastes from the peanut industry in the manufacture of building materials. *International Journal of Sustainable Development and Planning* 13(4), 662-670.
- Quaranta N., Caligaris M., Pelozo G., Unsen M., Cristóbal A. (2016). The characterization of brewing waste and feasibility of its use for the production of porous ceramics. *Transactions on Ecology and the Environment* 202, 299-310.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires por el aporte económico recibido para su desarrollo.

Logística, energía y sostenibilidad, revisión de literatura

Aroca Babich, Alejandro Cruz

alejandro.aroca@frsc.utn.edu.ar

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Cruz

Lurbe, Ruben Mario

ruben.lurbe@frsc.utn.edu.ar

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Cruz

Fecha de recepción RIII: 24/01/2025

Fecha de aprobación RIII: 22/02/2025

RESUMEN

El presente expone los resultados de realizar un análisis de la literatura reciente sobre la importancia de la logística en la generación de gases de efecto invernadero (GEI) y analizar los tópicos que se están investigando para reducir el impacto y aumentar la sostenibilidad de la actividad. La metodología se basó en la revisión sistemática de la literatura disponible, publicada en los años recientes, su análisis y comparación. Los resultados de la investigación muestran que, si bien a la fecha se está avanzando por varios caminos para reducir el impacto de la actividad en relación con los GEI, ninguno a la fecha ha logrado imponerse sobre los demás, mostrando que estamos en una época de transición. En esta transición juegan la sostenibilidad, como objetivo importante, con las limitaciones tecnológicas y las económicas que aún no son fáciles de vencer.

Palabras Claves: Logística; Sostenibilidad; Transporte; Medio ambiente; Transición.

**Logistics, energy and sustainability,
literature review**

ABSTRACT

This document presents the results of an analysis of recent literature on the importance of logistics in the generation of greenhouse gases (GHG) and examines the topics currently being researched to reduce its impact and enhance sustainability of the activity. The methodology was based on a systematic review of the available literature published in recent years, followed by its analysis and comparison. The research results indicate that, although progress is being made through various approaches to reduce the impact of logistics activities on GHG emissions, none has yet emerged as a definitive solution, suggesting that we are in a period of transition. In this transition, sustainability plays a key role as an important objective, alongside technological and economic constraints that remain challenging to overcome.

Keywords: logistics; sustainability; transportation; environmental impact; transition.

**Logística, energia e sustentabilidade,
revisão de literatura**

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados da análise da literatura recente sobre a importância da logística na geração de gases de efeito estufa (GEE) e analisa os temas que estão sendo investigados para minimizar o impacto e aumentar a sustentabilidade da atividade. A metodologia foi baseada em uma revisão sistemática da literatura disponível publicada nos últimos anos, sua análise e comparação. Os resultados da pesquisa mostram que, embora haja progressos até o momento em vários caminhos para minimizar o impacto da atividade em relação aos GEE, nenhum até o momento conseguiu prevalecer sobre os demais, mostrando que estamos em um momento de transição. A sustentabilidade é um objetivo importante nessa transição, ao lado de limitações tecnológicas e econômicas que ainda não são fáceis de superar.

Palavras chave: logística; sustentabilidade; transporte; meio ambiente; transição.

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de la logística y la movilidad para el desarrollo sostenible

La logística y la movilidad son esenciales para lograr un desarrollo sostenible (García & Salazar-Velázquez, 2023). El concepto de desarrollo sostenible, tal como lo define el Informe Brundtland, es "el progreso que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" Tapia, G. (2023). La logística y la movilidad, al optimizar el transporte de bienes y personas, pueden contribuir a este objetivo haciendo que las cadenas de suministro sean más eficientes y sostenibles.

La logística verde, un componente clave de este enfoque, busca minimizar el impacto ambiental de las operaciones logísticas. (Tapia, 2023) y (Timbila et al., 2022) Esto incluye la adopción de tecnologías más limpias, la optimización de rutas para reducir las emisiones y la gestión eficiente de los recursos (Timbila et al., 2022). Al integrar la sostenibilidad en todas las etapas de la cadena de suministro, desde la obtención de materias primas hasta la entrega final, la logística verde impulsa el desarrollo sostenible.

La movilidad sostenible, por otro lado, se centra en mejorar el transporte de pasajeros, especialmente en áreas urbanas. Esto implica promover el transporte público, optimizar las redes de transporte para reducir la congestión y fomentar modos de transporte más ecológicos, como vehículos eléctricos y bicicletas. El objetivo es garantizar una movilidad eficiente y segura que minimice el impacto ambiental y mejore la calidad de vida en las ciudades. (Jaimurzina et al, 2015)

Según Jaimurzina (2015), es crucial destacar que la logística y la movilidad sostenible no solo benefician al medio ambiente, sino que también generan ventajas económicas y sociales. Al reducir el consumo de energía y las emisiones, las empresas pueden optimizar sus costos operativos y mejorar su imagen pública. Además, una mejor movilidad contribuye al desarrollo económico al facilitar el comercio y el acceso a oportunidades.

Sin embargo, la implementación de la logística y la movilidad sostenible presenta desafíos, como la necesidad de inversiones en infraestructura, la resistencia al cambio y la falta de coordinación entre diferentes actores (Jaimurzina et al., 2015; López Restrepo et al., 2022). Superar estas barreras requiere un esfuerzo conjunto de los gobiernos, las empresas y la sociedad civil.

2. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

La Necesidad de una Logística Energéticamente Eficiente y Sostenible

Según López y Castillo (2022) La logística juega un papel crucial en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y en la disminución de la dependencia de las economías de las fuentes de energía no renovables, como los combustibles fósiles. La creciente preocupación por el cambio climático, los gases de efecto invernadero y la limitación de los recursos naturales ha impulsado la necesidad de que las empresas incorporen prácticas sostenibles en sus estrategias logísticas. De hecho, la logística puede representar hasta el 75% de la huella de carbono de una empresa.

El Impacto Ambiental de la Logística

En lo que respecta a las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero el transporte y la distribución de mercancías, componentes esenciales de la logística, generan una cantidad significativa de emisiones de

gases de efecto invernadero, principalmente CO₂. Consumo de Energía: Las operaciones logísticas, especialmente el transporte, consumen grandes cantidades de energía, principalmente proveniente de combustibles fósiles. La logística también contribuye a la contaminación acústica, la congestión del tráfico y la generación de residuos.

La Urgencia de una Logística Sostenible

La transición hacia una logística energéticamente eficiente y sostenible es esencial para mitigar el impacto ambiental del sector y asegurar su viabilidad a largo plazo (Informe sobre el Transporte Marítimo, 2023). Esto requiere un cambio de paradigma que integre la sostenibilidad ambiental en todas las etapas de la cadena logística.

Por lo que resulta necesario implementar una serie de estrategias para una Logística Sostenible, a saber:

Reducción de la Demanda de Transporte: Optimizar las rutas de entrega, consolidar envíos y fomentar la producción local para disminuir la distancia recorrida (Herrera, 2017)

Optimización de la Carga y el Embalaje: Reducir el peso y volumen de los productos y utilizar materiales de embalaje sostenibles para maximizar el uso del espacio de carga y minimizar los residuos.

Mejora de la Eficiencia del Transporte: Utilizar vehículos más eficientes en combustible, implementar tecnologías de conducción eficiente y cambiar a combustibles alternativos con menor impacto ambiental.

Implementación de Tecnologías Limpias: Fomentar el uso de vehículos eléctricos, híbridos o propulsados por hidrógeno verde en el transporte de mercancías.

Colaboración y Transparencia: Establecer alianzas estratégicas entre empresas, gobiernos e instituciones para compartir información, recursos y mejores prácticas en materia de logística sostenible.

Modificar Marcos Regulatorios: Implementar políticas públicas que incentiven la adopción de prácticas sostenibles en la logística, estableciendo incentivos tal como, impuestos a las emisiones de carbono o subsidios para tecnologías limpias.

En definitiva, la logística energéticamente eficiente y sostenible es un imperativo para el futuro del comercio global y la preservación del medio ambiente. A través de la implementación de estrategias innovadoras, la colaboración entre actores clave y un marco regulatorio sólido, es posible avanzar hacia una logística más responsable y sostenible.

3. OBJETIVOS DEL TRABAJO.

Efectuar un análisis de la bibliografía que abordó temáticas tendientes a la reducción de los GEI (Gases de Efecto Invernadero), pero desde un abordaje integral

Logística y movilidad: definición y alcance

Según Jaimurzina (2015) la logística puede ser definida como la articulación de la provisión de servicios de infraestructura, la producción, la facilitación del movimiento, la distribución de bienes y la regulación de servicios e información a lo largo de la cadena global. Esta definición va más allá de la logística

tradicional que se enfocaba principalmente en la distribución de mercancías y la optimización de inventarios. Dentro de los puntos clave de la logística se pueden detallar:

Logística Avanzada: Este concepto, desarrollado por la CEPAL, amplía la visión tradicional al incluir la acción del sector público en la provisión de infraestructura, la regulación y la seguridad de los flujos comerciales y de transporte.

Integración: La logística moderna busca la integración entre diferentes modos de transporte, sectores económicos (como la industria y el comercio) y actores públicos y privados.

Sostenibilidad: La logística actual integra el concepto de sostenibilidad, buscando minimizar el impacto ambiental de sus operaciones y promover un desarrollo económico y social más justo.

La movilidad, por su parte, se refiere al desplazamiento de personas en diferentes ámbitos geográficos. Es un concepto más amplio que el transporte de pasajeros, ya que considera la accesibilidad, la calidad del servicio, el impacto social y ambiental, entre otros aspectos.

Por otra parte, dentro de los puntos clave de la movilidad se encuentran:

Movilidad Urbana: Este tipo de movilidad se enfoca en el transporte de personas dentro de las ciudades, donde la congestión, la contaminación y la seguridad vial son desafíos importantes.

Equidad y Acceso: La movilidad moderna busca garantizar que todas las personas tengan acceso a servicios de transporte de calidad, independientemente de su condición social, económica o física.

Sostenibilidad: Al igual que la logística, la movilidad también integra el concepto de sostenibilidad, buscando reducir el impacto ambiental del transporte de pasajeros y promover un desarrollo urbano más equilibrado.

La logística y la movilidad son conceptos interrelacionados que abarcan la gestión del flujo de bienes y personas, respectivamente. Ambos enfoques buscan la eficiencia, la integración y la sostenibilidad para lograr un desarrollo económico y social más justo y respetuoso con el medio ambiente.

Segmentos de la logística y la movilidad

La logística y la movilidad pueden ser analizadas desde diversas perspectivas. La logística, según el alcance geográfico de los flujos, puede ser clasificada en:

Logística de Comercio Exterior: Impulsada por la globalización, este tipo de logística se enfoca en el transporte de bienes a nivel internacional. La facilitación comercial juega un papel crucial en este ámbito para agilizar los controles fronterizos y evitar obstáculos en el flujo de mercancías.

Logística de Comercio Interior o Doméstica: Este segmento se centra en la distribución de bienes dentro de un mismo país. Su eficiencia impacta directamente en los precios y la calidad del servicio que reciben los consumidores en las diferentes regiones.

Logística Urbana: Esta categoría se distingue por su impacto en los costos de los productos consumidos en las ciudades y por las externalidades negativas que puede generar, especialmente en términos de congestión y contaminación. La logística urbana también influye en la movilidad dentro de las ciudades.

Considerando el tipo de carga, la logística puede clasificarse en:

Logística de Cargas Generales: Involucra el movimiento de contenedores, pallets, vehículos y cargas de grandes dimensiones.

Logística de Cadena de Frío: Este segmento se especializa en el transporte de productos que requieren refrigeración constante, como frutas y alimentos, demandando altos estándares de calidad, instalaciones y equipos especializados.

Logística de Graneles Sólidos y Líquidos Masivos: Este tipo de logística se encarga del transporte y almacenamiento de grandes volúmenes de productos como minerales, cereales, oleaginosas y combustibles, utilizando vehículos e instalaciones específicas para su manejo.

Es importante destacar que estas clasificaciones tienen un fin principalmente expositivo, ya que la Logística es un sistema único e interconectado. La movilidad, por otro lado, se organiza en diferentes niveles según la escala de los flujos de personas:

Movilidad Urbana: Se refiere al transporte dentro de las ciudades, donde los sistemas de metro son un ejemplo de infraestructura especializada.

Movilidad de Cercanías: Conecta las áreas urbanas con su periferia, facilitando el transporte de personas entre ciudades cercanas.

Movilidad Interurbana: Abarca el transporte de pasajeros entre diferentes ciudades de un mismo país, utilizando infraestructuras como carreteras, vías férreas y aeropuertos.

Algunos sistemas de transporte, como aeropuertos, vías férreas, carreteras y puertos, tienen la capacidad de atender flujos interurbanos e internacionales tanto de pasajeros como de carga de forma simultánea, lo que resalta la interconexión entre los diferentes segmentos de la logística y la movilidad.

4. RELACIÓN ENTRE LOGÍSTICA, MOVILIDAD E INTEGRACIÓN PRODUCTIVA

La integración logística es un componente fundamental de la integración productiva. Sin una interconexión eficiente de las redes de infraestructura y servicios asociados, no es viable la creación de cadenas de valor ni la integración productiva en general. La integración productiva se refiere a la integración de los procesos de producción, distribución y consumo a nivel nacional e internacional. La logística, como proceso específico, es indispensable para la integración productiva, ya que proporciona la base física esencial para su funcionamiento.

Una integración productiva robusta depende de la integración logística. Esta última proporciona la estructura física y regulatoria que facilita el intercambio de bienes y servicios, tanto en cadenas de suministro nacionales como internacionales. Para alcanzar el nivel deseado de productividad y competitividad, es necesario un cambio de paradigma en la forma en que se diseñan, implementan y regulan las políticas de infraestructura y los servicios relacionados. La logística y la movilidad deben ocupar un lugar central en este cambio, dejando atrás el enfoque tradicional en los modos de transporte.

5. PRINCIPALES FUENTES DE ENERGÍA EN LA LOGÍSTICA

Según Palermo Garcia et al (2023) La logística se puede analizar en clusters, el primer clúster de análisis en torno a la logística verde se centra en el uso de energía en el transporte y su mejora. Este clúster incluye términos como "vehículos eléctricos", "consumo energético" y "emisiones de carbono".

Si bien no se mencionan fuentes de energía específicas para la logística en el contexto de los clústeres, el texto destaca la importancia de la eficiencia energética en el transporte. Se menciona la biomasa como una fuente de energía renovable relevante para la generación de electricidad y calor, y se destaca su uso en la producción de biocombustibles para el transporte (López Restrepo et al., 2022).

El transporte y la distribución de mercancías son componentes cruciales de la logística y las cadenas de suministro. Este sector es un punto focal en el debate sobre sostenibilidad, lo que impulsa a las partes interesadas a analizar en profundidad la sostenibilidad en la logística (Herrera, 2017). El desarrollo de biocombustibles sostenibles se considera una oportunidad para mejorar la eficiencia energética en el transporte en América Latina (Jaimurzina et al., 2015).

6. IMPACTO AMBIENTAL DE LAS DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA

El análisis del ciclo de vida permite comparar cuantitativamente las emisiones "de la cuna a la tumba" de diferentes tecnologías de generación de energía. Las tecnologías de energía renovable generalmente producen considerablemente menos emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con las opciones de combustibles fósiles. En algunos casos, las emisiones de las energías renovables pueden ser incluso menores que las de los combustibles fósiles que utilizan captura y almacenamiento de dióxido de carbono (IPCC, 2011). Además de las emisiones de gases de efecto invernadero, el impacto ambiental de las diferentes fuentes de energía también debe considerar:

Emisiones de contaminantes atmosféricos: Muchos estudios han examinado las emisiones de contaminantes atmosféricos y el uso operacional del agua en la producción de energía.

Uso de la tierra: El análisis del ciclo de vida a menudo incluye el uso de la tierra y las consecuencias para la salud que no están relacionadas con la contaminación atmosférica.

Impacto en la biodiversidad y los ecosistemas: Estos factores son específicos del lugar y difíciles de cuantificar, por lo que generalmente se presentan desde una perspectiva cualitativa.

Riesgos asociados con accidentes: Es importante tener en cuenta los riesgos vinculados a las tecnologías energéticas, en contraste con la actividad normal.

Si bien la mitigación del cambio climático es un factor importante para considerar al evaluar el impacto ambiental de las diferentes fuentes de energía también es esencial tener en cuenta otros impactos ambientales y sociales. La elección de la fuente de energía más adecuada dependerá de una variedad de factores, incluido el contexto específico de cada país o región.

7. TRANSICIÓN ENERGÉTICA: HACIA UN MODELO BAJO EN CARBONO

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático (IPCC), la transición hacia un sistema de bajo impacto en generación de carbono requiere un cambio estructural en los sistemas

energéticos actuales. Para alcanzar niveles de estabilización de concentración de gases de efecto invernadero con un alto porcentaje de energías renovables, este cambio deberá ocurrir en las próximas décadas. La escala de tiempo para esta transición es más corta que las transiciones energéticas anteriores, como la del carbón al petróleo. La energía renovable debe integrarse en una estructura energética existente diseñada para combustibles fósiles. Esta integración presenta desafíos para lograr una alta penetración de energías renovables en el futuro.

Para lograr una reducción considerable de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero a largo plazo, es esencial aumentar la eficiencia del sector del transporte y eliminar gradualmente el carbono. Algunos criterios para reducir las emisiones relacionadas con el transporte incluyen:

Reducir la demanda de viajes, utilizar vehículos más eficientes, cambiar a modos de transporte más eficientes y reemplazar los combustibles derivados del petróleo por combustibles alternativos bajos o nulos en carbono.

Los biocombustibles líquidos, como el biodiésel y el biogás natural licuado (bio-GNL), son alternativas para descarbonizar el transporte marítimo. El biodiésel se puede usar en motores existentes sin modificaciones y tiene mejores propiedades que el bio-GNL. Sin embargo, los biocombustibles no son una solución definitiva para descarbonizar el transporte marítimo, sino una fuente complementaria para reducir las emisiones (Castillo Aponte, 2022).

El amoníaco (NH₃) y el hidrógeno (H₂) son combustibles prometedores para descarbonizar el transporte marítimo. Ambos son combustibles neutros en carbono con potencial a largo plazo. Sin embargo, enfrentan desafíos relacionados con su contenido de energía en comparación con los combustibles tradicionales. El amoníaco tiene una densidad de energía volumétrica más alta que el hidrógeno, lo que lo convierte en una opción más eficiente para el transporte y almacenamiento.

El metanol es una alternativa viable a corto plazo, ya que reduce las emisiones de NO_x, SO_x, partículas y CO₂. Su implementación ya está en marcha en motores de combustión interna (Castillo Aponte, 2022).

Es importante destacar que la transición energética requiere un enfoque integral que considere no solo la adopción de combustibles alternativos, sino también la mejora de la eficiencia energética en todos los sectores. La Organización Marítima Internacional (OMI) ha establecido objetivos para reducir la intensidad de carbono del transporte marítimo internacional.

8. SOSTENIBILIDAD: DEFINICIÓN Y PRINCIPIOS

Desarrollo sostenible se define como "el progreso que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades". Esta definición fue acuñada por la Comisión Brundtland en su informe "Nuestro Futuro Común". Esta declaración subraya dos puntos clave: la importancia del largo plazo en el desarrollo sostenible y la conexión entre generaciones a través del bienestar, no solo de los recursos naturales (Tapia, 2023).

Sustentabilidad se diferencia de sostenibilidad en que se enfoca en la preservación de los recursos naturales para las generaciones futuras, mientras que sostenibilidad se centra en mantener el equilibrio entre el desarrollo económico, social y ambiental.

Conforme Tapia (2023), algunos de los principios que sustentan el desarrollo sostenible incluyen:

Principio de permanencia: Reconoce la transformación inevitable de los sistemas complejos.

Principio de las condiciones esenciales: Afirma que la vida depende de un sistema ecológico completo, no solo de organismos o especies individuales.

Sostenibilidad social: Involucra al gobierno, las organizaciones y la sociedad en la búsqueda del equilibrio entre el crecimiento económico, la equidad social y la protección del medio ambiente.

Sostenibilidad ambiental o ecológica: Se centra en la protección de la biodiversidad, los recursos naturales y la integridad de los ecosistemas, incluyendo la calidad del agua y el aire.

Sostenibilidad económica: Busca la rentabilidad de los procesos productivos de manera que satisfaga las necesidades humanas sin agotar los recursos naturales no renovables.

El desarrollo sostenible no busca detener el progreso, sino fomentarlo desde un enfoque más amplio que considere las necesidades de las generaciones presentes y futuras. La sostenibilidad, por su parte, argumenta que la naturaleza y el medio ambiente no son recursos ilimitados, por lo que su protección y uso racional son cruciales para el desarrollo social y la mejora de la calidad de vida.

Por otra parte, Rengifo y Arana (2024), sostienen que los pilares de la sostenibilidad empresarial se pueden clasificar en tres grupos, económica, social y ambiental. Este enfoque, conocido como "The Triple Bottom Line", busca un desarrollo que integre estos tres aspectos para asegurar la viabilidad de una empresa a largo plazo y se detalla lo siguiente de cada uno:

Pilar económico: Este pilar, centrado en la rentabilidad, es esencial para la supervivencia de cualquier empresa. Sin embargo, es fundamental considerar no solo la rentabilidad a corto plazo, sino también el valor que la empresa genera (o elimina) para la sociedad en el largo plazo.

Pilar social: Este pilar se centra en la igualdad social y el bienestar de las personas. Una empresa socialmente sostenible busca impactar positivamente en sus empleados, clientes y la comunidad donde opera.

Pilar ambiental: Este pilar se centra en la protección ambiental o del planeta. Implica que las empresas deben ser conscientes del impacto que generan en el medio ambiente y tomar medidas para minimizar cualquier efecto negativo. Esto incluye un uso eficiente de los recursos, la reducción de emisiones y la gestión adecuada de residuos.

9. IMPORTANCIA DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA LOGÍSTICA Y LA CADENA DE SUMINISTRO

Según Herrera (2017), la logística y las cadenas de suministro son esenciales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de las economías de las fuentes de energías no renovables, como los combustibles fósiles. La logística puede producir hasta un 75% de la huella de carbono de una empresa. Por esta razón, las partes interesadas en los procesos logísticos se han visto obligadas a abordar el tema de la sostenibilidad en sus operaciones. La importancia de la sostenibilidad en la logística y la cadena de suministro radica en lo siguiente:

Protege el medio ambiente: El transporte y la distribución de mercancías son componentes esenciales de la logística y la cadena de suministro. Sin embargo, estas actividades tienen un impacto negativo en el medio ambiente, como la contaminación atmosférica, la generación de ruido, accidentes y vibraciones.

Aumenta la competitividad de las empresas: Las empresas pueden aumentar sus ganancias y participación en el mercado si reducen los riesgos e impactos ambientales al mismo tiempo que mejoran la eficiencia ecológica. (Timbila et al, 2022)

Mejora la imagen de una empresa: Las empresas que no implementan la sostenibilidad de manera adecuada corren el riesgo de dañar la imagen y el valor de su marca. Lo opuesto también puede ser cierto, una imagen de empresa "verde" puede aumentar las ventas de productos. (Herrera, 2017)

Es rentable: Cambiar a una estrategia sostenible genera un mayor beneficio económico para todos los involucrados. (Galván & Rivera, 2023).

Asegura la eficiencia: Las empresas deben comprender los impactos negativos de sus cadenas de suministro para rediseñar sus operaciones y mitigar el impacto ambiental.

Las empresas del sector logístico se han visto obligadas a abordar la sostenibilidad debido a:

Mayor conciencia ambiental: Existe una creciente preocupación ambiental por parte de los ciudadanos.

Expectativas cambiantes de los consumidores: La logística verde ha evolucionado debido a las expectativas cambiantes de los consumidores.

Regulaciones ambientales más estrictas: La logística verde ha evolucionado debido a regulaciones más estrictas. (García & Salazar-Velázquez, 2023).

La logística sostenible se enfoca principalmente en reducir los efectos negativos del sector logístico en el medio ambiente, mientras que la logística sustentable considera los aspectos económicos y sociales de las actividades logísticas, buscando mejorar las condiciones económicas e intereses de la sociedad. En la práctica, la logística sustentable es un concepto más amplio que la logística sostenible. Las cadenas de suministro y la logística son fundamentales para la adopción y el desarrollo de la sostenibilidad a nivel global, ya que la primera concibe el producto desde la materia prima y la segunda se encarga del transporte y la distribución. La sostenibilidad puede implementarse a través de diversas actividades dentro de la cadena de suministro y el canal de distribución. (Herrera, 2017)

10. LA LOGÍSTICA Y LA ENERGÍA EN EL MARCO DE LA SOSTENIBILIDAD - IMPACTO AMBIENTAL DEL TRANSPORTE Y LA LOGÍSTICA

El transporte y la logística tienen un impacto ambiental significativo debido a que el transporte es un componente crucial de la logística, utiliza grandes cantidades de combustibles fósiles para distribuir mercancías a nivel mundial. La quema de estos combustibles fósiles libera CO₂, lo que tiene un impacto negativo en el medio ambiente y la salud, de hecho, el transporte y la distribución son los componentes más tangibles y físicos de la logística y las cadenas de suministro, lo que los convierte en un punto focal en el debate sobre la sostenibilidad (Herrera, 2017).

Según Herrera (2017) y Garcia et al. (2023), además de las emisiones de CO₂, la logística es responsable de una serie de otros impactos ambientales negativos, como son: la contaminación atmosférica, ruido, accidentes, vibraciones, fragmentación territorial, contaminación acústica y derrames entre otros. Estos impactos negativos han obligado a las organizaciones a considerar la sostenibilidad de sus operaciones logísticas. Las empresas pueden tomar una serie de medidas para mitigar el impacto ambiental de sus operaciones de transporte y logística, entre ellas:

Utilizar modos de transporte más sostenibles: Los administradores de la cadena de suministro y los gerentes de logística deben considerar modos de transporte alternativos, como el transporte marítimo, ferroviario o el uso de vehículos eléctricos o híbridos, para reducir las emisiones de CO₂.

Optimizar las rutas de transporte: El enrutamiento y la programación eficientes pueden ayudar a maximizar la carga útil y la eficiencia del vehículo, minimizando la congestión y el tiempo de inactividad. Reducir los kilómetros recorridos por vehículo y aumentar el factor de carga también puede conducir a una reducción de las emisiones.

Mejorar la eficiencia del combustible: Mejorar la eficiencia del combustible de los vehículos, mediante el uso de combustibles alternativos o la implementación de una conducción eficiente, puede reducir significativamente los costos y el daño ambiental.

Utilizar embalajes sostenibles: El diseño de productos con embalajes más pequeños puede permitir una mayor densidad durante el transporte, lo que reduce los costos de transporte y las emisiones de CO₂. Embalajes seguros, eficientes y eficaces, integrados en el sistema de embalaje, también puede apoyar la sostenibilidad.

Aprovechar el poder de negociación de los minoristas: Los minoristas, con su gran tamaño y poder de negociación, tienen la capacidad de influir en las prácticas sostenibles en toda la cadena de suministro, presionando a los proveedores de servicios logísticos para que adopten prácticas más ecológicas.

La relación entre la logística verde y el transporte está en constante evolución. La investigación en esta área se centra cada vez más en el uso de la tecnología para optimizar los procesos de transporte. Las futuras investigaciones probablemente seguirán explorando tecnologías de volización limpias como el uso de inteligencia artificial en el enrutamiento de vehículos, dado que ayudan de forma significativa a mejorar la relación entre la logística verde y el transporte al optimizarlos, especialmente en sectores como el transporte marítimo que si bien es fundamental para el crecimiento económico mundial, las emisiones contaminantes de los barcos tienen un impacto directo en la salud humana y el medio ambiente.

11. LA HUELLA DE CARBONO EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Una de las razones por las que la huella de carbono tiene mayor impacto en la logística, está asociada al gran impacto que producen las emisiones de una empresa de este rubro, según el Consejo de Profesionales de la Cadena de Suministro de EE. UU. (Galván & Rivera, 2023).

Para lograr una cadena de suministro sustentable, se debe buscar minimizar el impacto ambiental y asegurar un impacto social positivo, al mismo tiempo que se entrega el mejor servicio al menor costo. Según Timbila (2022), una empresa puede volverse "carbono neutral" al realizar un inventario de los gases de efecto invernadero que se generan en su cadena de suministro. Esto implica tener claridad sobre:

- Cuáles son los gases de efecto invernadero.
- Qué actividades los generan.
- Qué fuentes se deben incluir en la contabilización.

- Algunas estrategias para lograr una sustentable son:
- Consumir eficientemente los combustibles.
- Optimizar los activos productivos y logísticos.
- Aprovechar al máximo las materias primas.
- Minimizar el impacto ambiental de los procesos productivos.
- Reducir los residuos y gestionar adecuadamente los desperdicios.

Es importante destacar que la medición de las emisiones debe incluir otros gases de efecto invernadero además del dióxido de carbono (CO₂), y deben convertirse a su equivalente en CO₂ utilizando estándares internacionales.

12. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL TRANSPORTE

El transporte marítimo juega un papel crucial en el comercio mundial, pero también contribuye a las emisiones globales. Para abordar este desafío, la eficiencia energética en el transporte marítimo se ha vuelto esencial. La (OMI) ha establecido una estrategia para reducir las emisiones de (GEI) de los buques (OMI, s.f.; Batista, 2023).

Medidas para mejorar la eficiencia energética en el transporte

Optimizar rutas y logística

- Planificar rutas eficientes para minimizar las distancias recorridas.
- Consolidar envíos para optimizar la capacidad de carga.
- Utilizar sistemas de gestión de transporte para optimizar las operaciones.
- Adoptar tecnologías de propulsión más eficientes: Utilizar motores marinos más eficientes, como los motores eléctricos, que ofrecen hasta un 90% de eficiencia en comparación con el 30-40% de los motores de combustión interna.

Explorar tecnologías emergentes: la propulsión eléctrica, celdas de combustible y reactores nucleares.

Implementar combustibles alternativos: Transición hacia combustibles más limpios como el gas natural licuado (GNL), que reduce las emisiones de GEI en comparación con los combustibles fósiles tradicionales.

Investigar y utilizar combustibles renovables: Hidrógeno verde, metanol, amoníaco y biocombustibles.

Fomentar el uso de vehículos eléctricos o híbridos.

Mejorar la eficiencia operativa de los buques: Implementar un Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque para optimizar el consumo de combustible y reducir las emisiones.

Utilizar sistemas de recuperación de calor residual; Mejoras de la eficiencia energética.

Realizar un mantenimiento adecuado: Limpieza regular de las partes sumergidas del buque y la hélice.

Implementar políticas e incentivos: Establecer normas de eficiencia energética y regulaciones para el transporte marítimo, como las establecidas por la OMI.

Incentivar la adopción de tecnologías limpias y eficientes: Incentivos financieros y fiscales.

Promover la colaboración e intercambio de conocimientos: Principalmente entre los países para impulsar la innovación.

Es importante destacar que la eficiencia energética en el transporte no se limita solo al transporte marítimo. La búsqueda de combustibles alternativos, la optimización de rutas y la adopción de vehículos más eficientes son estrategias aplicables a otros modos de transporte, como el terrestre y aéreo. La transición hacia un transporte más sostenible requiere un enfoque integral que combine la innovación tecnológica, la implementación de políticas efectivas y la colaboración entre los diferentes actores del sector.

Regulación y Políticas para una Logística Energéticamente Eficiente y Sostenible

Las políticas públicas juegan un papel crucial en la transición hacia una logística más sostenible y eficiente en el uso de la energía. Es necesario un cambio de paradigma en la formulación de políticas para el sector transporte, adoptando un enfoque integrado y sostenible que considere la logística y la movilidad como elementos centrales. Esto implica la acción coordinada de múltiples actores, incluyendo gobiernos, empresas y la sociedad civil (López Restrepo et al., 2022).

Gestión de la Flota y Renovación de Vehículos

La gestión de flotas, especialmente en el contexto de la sostenibilidad, implica optimizar el uso de vehículos para minimizar el consumo de combustible y las emisiones. Algunas estrategias clave incluyen maximizar la carga útil, minimizar el tiempo de inactividad de los vehículos y capacitar a los conductores en prácticas de conducción eficiente. La selección del vehículo adecuado para cada tarea también es crucial, al igual que el uso de las TIC para optimizar rutas y programación (Jaimurzina et al., 2015; Herrera, 2017).

La renovación de vehículos

Particularmente en el transporte marítimo, es esencial para una gestión de flotas sostenible. La presión para la descarbonización ha llevado a la industria a considerar combustibles alternativos y tecnologías de propulsión más limpias. Sin embargo, los armadores se enfrentan a la incertidumbre sobre las mejores opciones y los costos asociados con la renovación de sus flotas, especialmente considerando la larga vida útil de los buques (UNCTAD (2023).

Dentro de los puntos clave a considerar, según el informe de transporte marítimo 2023, se destacan:

Envejecimiento de la flota: La flota mundial de transporte marítimo está envejeciendo, lo que presenta desafíos para la renovación.

Incertidumbre tecnológica: La incertidumbre sobre los combustibles y las tecnologías verdes dificulta la toma de decisiones de inversión.

Costos de renovación: Los altos costos de construcción naval y la limitada capacidad de los astilleros complican aún más las decisiones de renovación.

Necesidad de inversión: Se necesita inversión para modernizar las flotas y adoptar tecnologías de bajas emisiones de carbono.

13. GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO SOSTENIBLE

La gestión de la cadena de suministro sostenible busca minimizar el impacto ambiental y asegurar un impacto social positivo. Se trata de una decisión de negocio que ofrece beneficios y un verdadero retorno de la inversión (Herrera, 2017). Como todo cambio de procedimientos en cualquier organización es menester que el compromiso de la dirección en el sentido del avance sea claro consistente y permanente. Es importante establecer convenios con los proveedores y clientes para que sea claro el compromiso de mejora en la cadena logística y tomar decisiones basadas en datos para una gestión más sostenible.

14. CASOS DE ESTUDIO

Logística Energéticamente Eficiente y Sostenible

UPS es una empresa de transporte y logística que ha implementado iniciativas de sostenibilidad en áreas como comunidad, mercado, lugar de trabajo y medio ambiente. Algunos ejemplos son el uso de biocombustible en sus vehículos y la reducción del ruido y la emisión de CO₂ de su flota aérea en un 3% anual. UPS también ha mejorado la economía del combustible por carretera en un 28,9% al incluir en su flota vehículos híbridos de suministro eléctrico-diesel (Pazos Delgado, 2023).

TNT NV es una empresa líder en operaciones de logística global que ha implementado iniciativas para convertir la sostenibilidad en parte de su cultura empresarial. Su programa PlanetMe busca reducir las emisiones de CO₂ y aumentar la eficiencia de las operaciones a nivel global, con el objetivo de convertirse en la primera empresa de transporte con cero emisiones de CO₂ (Herrera, 2017).

Mercadona es un minorista español, uno de los más grandes del mundo, implementa su estrategia de "Siempre precios bajos" a través de un modelo de Gestión de la Calidad Total (TQM) que busca eliminar los residuos a lo largo de toda la cadena de suministro, desde los proveedores hasta los almacenes y supermercadros, mediante programas de sostenibilidad. (Herrera, 2017).

Transporte Marítimo

Según Elizalde, (2022), el transporte marítimo, aunque vital para el comercio mundial, genera fuertes emisiones de GEI, principalmente CO₂, lo que impacta negativamente al medio ambiente y a la salud humana. Se estima que el sector marítimo produce cerca del 3% de las emisiones globales de CO₂ y entre el 1,6% y 4,1% de las emisiones mundiales de CO₂ resultantes de la quema de combustibles por todos los sectores productivos. Adicionalmente, es responsable de un 15% de las emisiones de óxido de nitrógeno (NO_x) y 8% de las emisiones de óxido de azufre (SO_x) en todo el mundo (Pazos Delgado, 2023).

Para enfrentar este desafío, la industria marítima está en camino a la descarbonización, alejándose de los combustibles fósiles mediante:

Regulación y Acuerdos Internacionales: Diversos organismos, como la OMI, han establecido regulaciones para reducir las emisiones de GEI. Un ejemplo es el Convenio MARPOL, que incluye medidas para descarbonizar el sector

Estrategias de la OMI: La Estrategia de la OMI para 2023 busca una maximización de la eficiencia energética y la transición de combustibles fósiles a renovables para 2030.

Medidas Basadas en el Mercado (MBM): La OMI está considerando la implementación de MBM para reducir las emisiones, incluyendo el establecimiento de estándares para el contenido carbónico de los combustibles marítimos.

Combustibles Alternativos: Se están investigando combustibles alternativos como el hidrógeno verde, el amoníaco y el gas natural licuado (GNL) para reducir el impacto ambiental del transporte marítimo.

15. DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES

Barreras para la Adopción de una Logística Energéticamente Eficiente y Sostenible

Como contexto general de las barreras se puede enunciar que: *“Las importantes restricciones que presentan las políticas públicas sectoriales en América Latina y el Caribe para resolver las actuales demandas de logística de carga y movilidad de pasajeros, hacen necesario un nuevo paradigma de políticas. La ausencia de una visión integrada de las políticas de infraestructura, logística, movilidad y transporte, como también la falta de criterios de sostenibilidad en el diseño y ejecución de las políticas, conllevan el desaprovechamiento de todo el potencial que la logística y la movilidad representan para alcanzar un crecimiento económico con inclusión social”* (Jaimurzina, Pérez & Sánchez, 2015).

Dentro de las barreras específicas se pueden detallar las siguientes:

Nivel empresarial: Ausencia de un enfoque holístico, las empresas no siempre consideran el impacto ambiental y social en todas las etapas de la cadena de suministro.

Falta de inversión: La implementación de tecnologías y prácticas sostenibles requiere inversiones iniciales que no todas las empresas están dispuestas a realizar.

Falta de conocimiento: Existe un desconocimiento sobre los beneficios económicos y la viabilidad de las prácticas de logística verde.

Resistencia al cambio: Adaptarse a nuevas tecnologías y prácticas puede ser complejo y generar resistencia en las empresas.

Nivel gubernamental y regulatorio: Falta de integración de políticas: La falta de coordinación entre las políticas de transporte, energía e industria dificulta la creación de un entorno favorable para la logística sostenible.

Ausencia de criterios de sostenibilidad en infraestructura: Los proyectos de infraestructura no siempre integran criterios de sostenibilidad desde su planificación, lo que limita el desarrollo de un sistema de transporte sostenible.

Regulaciones ambientales limitadas: La falta de regulaciones ambientales más estrictas en algunos países no incentiva la adopción de prácticas sostenibles en la logística.

De las barreras tecnológicas se puede decir que:

Falta de madurez de las tecnologías limpias: Si bien existen tecnologías prometedoras, como el hidrógeno, aún se encuentran en desarrollo y requieren optimización para su implementación a gran escala.

Costo de las tecnologías verdes: La inversión inicial en tecnologías más limpias, como vehículos eléctricos o sistemas de energía renovable, puede ser alta y poco competitiva en principio.

Sobre las barreras relacionadas con el mercado:

Falta de demanda de servicios sostenibles: La conciencia ambiental aún no está generalizada, y la demanda de servicios logísticos sostenibles no es lo suficientemente alta como para impulsar un cambio significativo.

Competencia de alternativas tradicionales: Los combustibles fósiles y las prácticas logísticas tradicionales siguen siendo, en muchos casos, más económicas a corto plazo, lo que dificulta la competencia de las alternativas sostenibles.

La creación de una cadena de suministro sostenible implica optimizar el consumo de combustible, los activos productivos y logísticos, así como gestionar la huella de carbono y trabajar con las comunidades. Implementar estrategias sustentables e innovadoras puede generar beneficios económicos, reducir el consumo de recursos naturales y las emisiones de gases de efecto invernadero (Sintec Consulting, 2013).

16. OPORTUNIDADES ECONÓMICAS DE LA LOGÍSTICA SOSTENIBLE

Mayor Competitividad: Mejorar la logística y la movilidad puede aumentar la competitividad nacional e internacional al reducir los costos de transporte, mejorar la conectividad y optimizar las cadenas de suministro.

Reducción de Costos: La logística sostenible, incluyendo la eficiencia energética en el transporte, puede generar ahorros significativos en combustible y costos operativos para las empresas.

Innovación y Nuevas Tecnologías: La búsqueda de soluciones sostenibles en logística fomenta la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías, como combustibles alternativos, sistemas de transporte inteligentes y plataformas logísticas digitales.

Mejora en la Imagen y el Valor de Marca: Adoptar prácticas sostenibles en la logística puede mejorar la imagen de una empresa y fortalecer su marca ante los consumidores, que cada vez se preocupan más por el medio ambiente.

Acceso a Nuevos Mercados: Los mercados desarrollados están mostrando una creciente demanda de productos y servicios sostenibles. Implementar prácticas de logística verde puede abrir oportunidades para acceder a estos mercados.

17. EL ROL DEL GOBIERNO EN LA LOGÍSTICA Y LA MOVILIDAD SOSTENIBLE

El rol del sector público en la logística y la movilidad es fundamental para alcanzar un desarrollo sostenible. La gestión pública es imprescindible para organizar, administrar y regular estos sectores, que son claves para el desarrollo económico y social de los países. (Sintec Consulting, 2013).

Puntos clave

Intervención necesaria: El Estado no puede desligarse de los sectores de logística y movilidad, y su intervención es crucial para un desarrollo sostenible. Se requiere una política pública definida democráticamente que establezca un curso de acción claro.

Definición de condiciones: Si bien las actividades logísticas son llevadas a cabo principalmente por el sector privado, el estado define las condiciones para su desarrollo. Esto se logra a través de la provisión de infraestructura, la regulación de servicios de transporte, el apoyo al desempeño privado (como la capacitación) y la gestión de procesos para facilitar el comercio.

Coordinación intersectorial: Las políticas de logística y movilidad deben estar alineadas con otras políticas nacionales como las de producción y competitividad, energía, ordenamiento territorial, integración regional, sociales, promoción de turismo, ambientales, salud pública y recursos naturales.

Visión de largo plazo: Es crucial superar la visión cortoplacista, enfocada en proyectos específicos dentro de un solo periodo gubernamental. Se requiere una política de estado que establezca un horizonte de tiempo amplio y una institucionalidad sólida que trascienda los cambios políticos.

Planificación y financiamiento: El Estado debe asegurar una planificación estratégica, un presupuesto adecuado y una gestión eficiente de la contratación y la fiscalización en el sector. También debe definir mecanismos de financiamiento adecuados, considerando la participación público-privada.

Regulación efectiva: El Estado debe formular e implementar una política sistémica e integrada, desarrollando instrumentos de regulación y fiscalización efectivos. Esto incluye la asignación de costos completos a los modos de transporte, considerando las externalidades para la sociedad, y la promoción de la competencia en un marco regulatorio adecuado.

18. CONCLUSIONES.

La logística desempeña un papel clave en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), consolidándose como un eje central en las estrategias de sostenibilidad global. Su impacto es cada vez más reconocido, y la necesidad de transformar los sistemas logísticos hacia modelos más eficientes y menos contaminantes se ha convertido en una prioridad tanto para el sector privado como para los organismos reguladores.

Nos encontramos en un período de exploración en el que diversas líneas de trabajo buscan optimizar el impacto ambiental del transporte y la distribución de bienes. La transición hacia fuentes de energía no contaminantes es una de las principales áreas de desarrollo, aunque hasta el momento no se ha identificado una alternativa definitiva que pueda consolidarse como el estándar global. La coexistencia de múltiples enfoques refleja la complejidad del problema y la necesidad de seguir investigando soluciones adaptadas a distintos contextos económicos y tecnológicos.

Más allá del desarrollo de nuevas fuentes de energía, la reducción del impacto ambiental de la logística también pasa por la mejora de la eficiencia y el uso racional de los recursos disponibles. Minimizar el consumo energético innecesario, optimizar rutas y cargas, y emplear tecnologías más limpias contribuirán significativamente a mitigar la huella de carbono del sector.

Particularmente en el ámbito del transporte marítimo, la adopción de tecnologías más sostenibles es fundamental para lograr una reducción efectiva de las emisiones. La implementación de combustibles alternativos, el desarrollo de nuevas normativas y el incentivo a la inversión en infraestructuras más eficientes son aspectos clave para avanzar hacia una logística marítima más limpia y resiliente. La combinación de innovación tecnológica, regulaciones efectivas y estrategias económicas adecuadas permitirá consolidar un modelo logístico globalmente sostenible.

19. REFERENCIAS

- Batista, R. R. D. C. (2023). Descarboxização de combustíveis marítimos (Bachelor's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte).
- Castillo Aponte, I. (2022). Estudio e implementación de combustibles alternativos a los tradicionales en el camino hacia la descarbonización del transporte marítimo (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Elizalde Monteagudo, P. A. (2022). Los ODS y el transporte marítimo en México: el marco legal internacional para alcanzar las metas del ODS 3 buena salud y del ODS 13 acción por el clima. *Revista de la Facultad de Derecho y Ciencias Políticas*, 52(136), 24-38.
- Galván, J. L. L., & Rivera, M. Á. H. (2023). Optimización, sustentabilidad y políticas públicas: un enfoque robusto.
- García, B. P., & Salazar-Velázquez, R. (2023). Transporte en la logística verde: análisis bibliométrico. *Inquietud Empresarial*, 23(2), e15998-e15998. <https://doi.org/10.19053/01211048.15998>
- Herrera, K. C. (2017). Estrategias sustentables en logística y cadenas de suministro. *LOGINN Investigación Científica y Tecnológica*, 1(1).
- Jaimurzina, A., Pérez, G., & Sánchez, R. (2015). Políticas de logística y movilidad para el desarrollo sostenible y la integración regional.
- López Restrepo, J. C., Castillo Herrera, J. C., Tibaquirá Giraldo, J. E., & Ríos Osorio, D. A. (2022). IPCC Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático 2011, ISBN 978-92-9169-331[7] Escenarios de emisiones hacia 2030: potencial de reducción de la presión ambiental provocada por los autobuses del transporte público en Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México, Santiago y São Paulo.
- OMI Organización Marítima Internacional. ANEXO 15 RESOLUCIÓN MEPC.377(80) (adoptada el 7 de julio de 2023) ESTRATEGIA DE 2023 DE LA OMI SOBRE LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI PROCEDENTES DE LOS BUQUES. Disponible en: <https://miniurl.cl/cyhdp>
- Pazos Delgado, V. (2023). Perspectiva futura del transporte marítimo de gas natural licuado.
- Rengifo Mejía, N., & Arana Bejarano, C. (2024). *La logística verde una ventaja competitiva en el Comercio Internacional para las pymes del sector de confecciones de Tuluá Valle del Cauca* (Bachelor's thesis, Comercio Internacional).
- Sintec Consulting (2013) Cadena de Suministro Sustentable: Ser verde es redituable., visto en : <https://2y2.co/zlmgdC>
- Tapia, G. (2023). Sustentabilidad, desarrollo e indicadores. 43 Jornadas Nacionales de Administración Financiera Septiembre 21 y 22, 2023. Disponible en: <https://2y2.co/YWMbXn>
- Timbila, L. G. G., Vega, R. F. V., Cisneros, V. A. G., & Molina, P. G. V. (2022). La logística verde.¿ Es la planificación de rutas del futuro?. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7(4), 17.
- UNCTAD (2023) Informe sobre el Transporte Marítimo 2023: unctad.org/rmt Printed at United Nations, Geneva – 2316552 (S) – November 2023 – 229 – UNCTAD/RMT/2023 (Overview)

Desafíos en la formación de ingenieros industriales en los albores de la industria 5.0

Benegas, Miguel

mbenegas@campus.ungs.edu.ar

Universidad Nacional de General Sarmiento. Instituto de Industria; Argentina

Camblong, Jorge

jcamblong@campus.ungs.edu.ar

Universidad Nacional de General Sarmiento. Instituto de Industria; Argentina

Fecha de recepción RIII: 27/01/2025

Fecha de aprobación RIII: 08/02/2025

RESUMEN

Industria 5.0 es producto de la evolución incremental del modelo 4.0. Sin rasgos disruptivos, este modelo se diferencia a partir de una mayor focalización en valores sociales y ecológicos. Sus desafíos incluyen la heterogeneidad social, la medición del valor ambiental y social y la integración de toda la cadena de valor. Mientras la industria 4.0 aborda la sostenibilidad desde una perspectiva tecnológica, la industria 5.0 adopta un enfoque holístico que coloca al ser humano en el núcleo del proceso productivo. Este cambio de enfoque empodera a la industria para alcanzar metas sociales, además de las económicas. Este contexto trae consigo la necesidad de una educación 5.0 que se centre en la gestión de tecnologías y maquinarias con un enfoque humanista, desarrollando habilidades cognitivas avanzadas y gestión organizacional. Las competencias esenciales incluyen tanto habilidades técnicas y digitales como blandas e inteligencia emocional. Se identifican cinco grupos de competencias clave: habilidades blandas (flexibilidad y competencias sociales), duras (competencias profesionales y habilidades técnicas), cognitivas (habilidades analíticas e inteligentes), emocionalmente inteligentes (autoconciencia y empatía) y digitales (alfabetización e interactividad digitales). La educación 5.0 para ingenieros industriales debe basarse en las tecnologías habilitadoras de la industria 5.0, fomentando competencias cognitivas elevadas tanto en tecnologías como en gestión organizacional. Basándose en lineamientos conceptuales de diversos autores, se propone crear un espacio formativo llamado "Espacio de Innovación en Ingeniería 5.0" (ExI²50). Este espacio, orientado hacia la producción futura, funcionará como una plataforma educativa y de formación, proporcionando un entorno para la enseñanza práctica y multidisciplinaria en producción. El ExI²50 busca materializar la visión de la industria 5.0 mediante un enfoque de fábrica de aprendizaje combinado con aprendizaje basado en escenarios que permita que los estudiantes adquieran experiencia práctica en todo el proceso productivo, desde la solicitud del cliente hasta la entrega de los productos desarrollados y fabricados.

Palabras Claves: Industria 5.0; Factor humano; Educación 5.0; Competencias; Fábrica de aprendizaje

Challenges in the training of industrial engineers at the dawn of industry 5.0

ABSTRACT

Industry 5.0 is the product of the incremental evolution of the 4.0 model. Without disruptive features, this model differentiates itself through a greater focus on social and ecological values. Its challenges include social heterogeneity, the measurement of environmental and social value, and the integration of the entire value chain. While Industry 4.0 addresses sustainability from a technological perspective, Industry 5.0 adopts a holistic approach that places the human being at the core of the production process. This change of focus empowers industry to achieve social goals, in addition to economic ones. This context brings with it the need for a 5.0 education that focuses on the management of technologies and machinery with a humanistic approach, developing advanced cognitive skills and organizational management. Essential competencies include both technical and digital skills, as well as soft skills and emotional intelligence. Five groups of key competencies are identified: soft skills (flexibility and social skills), hard skills (professional skills and technical skills), cognitive skills (analytical and intelligent skills), emotionally intelligent skills (self-awareness and empathy) and digital skills (digital literacy and interactivity). Education 5.0 for industrial engineers should be based on the enabling technologies of Industry 5.0, fostering high cognitive skills in both technologies and organizational management. Based on conceptual guidelines from various authors, it is proposed to create a training space called "Engineering Innovation Space 5.0" (ExI²50). This space, oriented towards future production, will function as an educational and training platform, providing an environment for practical and multidisciplinary teaching in production. ExI²50 seeks to materialize the vision of Industry 5.0 through a blended learning factory approach with scenario-based learning that allows students to gain practical experience throughout the production process, from customer request to delivery of developed and manufactured products.

Keywords: Industry 5.0; Human factor; Education 5.0; Competencies; Learning factory

Desafios na formação de engenheiros industriais no alvorecer da indústria 5.0

RESUMO

A Indústria 5.0 é um produto da evolução incremental do modelo 4.0. Sem características disruptivas, esse modelo se diferencia pelo maior foco em valores sociais e ecológicos. Seus desafios incluem heterogeneidade social, medição de valor ambiental e social e integração de toda a cadeia de valor. Enquanto a Indústria 4.0 aborda a sustentabilidade de uma perspectiva tecnológica, a Indústria 5.0 adota uma abordagem holística que coloca os humanos no centro do processo de produção. Essa mudança de foco capacita a indústria a atingir objetivos sociais e econômicos. Esse contexto traz consigo a necessidade de uma educação 5.0, focada na gestão de tecnologias e máquinas com uma abordagem humanística, desenvolvendo habilidades cognitivas avançadas e gestão organizacional. As competências essenciais incluem habilidades técnicas e digitais, bem como habilidades sociais e inteligência emocional. São identificados cinco grupos de competências-chave: soft skills (flexibilidade e competências sociais), hard skills (competências profissionais e competências técnicas), cognitivas (competências analíticas e de inteligência), emocionalmente inteligentes (autoconsciência e empatia) e digitais (alfabetização digital e interatividade). A Educação 5.0 para engenheiros industriais deve ser baseada nas tecnologias facilitadoras da Indústria 5.0, promovendo altas habilidades cognitivas tanto em tecnologias quanto em gestão organizacional. Com base em diretrizes conceituais de diversos autores, propõe-se a criação de um espaço de formação denominado "Espaço de Inovação em Engenharia 5.0" (ExI²50). Este espaço, voltado para a produção futura, funcionará como uma plataforma educacional e formativa, proporcionando um ambiente para o ensino prático e multidisciplinar na produção. O ExI²50 busca materializar a visão da Indústria 5.0 por meio de uma abordagem de fábrica de aprendizagem combinada com aprendizagem baseada em cenários que permite aos alunos ganhar experiência prática em todo o processo de produção, desde a solicitação do cliente até a entrega dos produtos desenvolvidos e fabricados.

Palavras chave: Indústria 5.0; Fator humano; Educação 5.0; Competências; Fábrica de aprendizagem

1- INTRODUCCIÓN

En la transición del paradigma de industria 4.0 al de industria 5.0, uno de los grandes retos consiste en potenciar las habilidades requeridas para los nuevos puestos de trabajo en especial para los futuros ingenieros industriales. Potenciar competencias de las personas potenciando sus habilidades tecnológicas y sus habilidades blandas, mejoraría ampliamente el impacto de este paradigma 5.0 tanto en la industria como en la sociedad. Los cambios tecnológicos implican cambios de comportamiento y esto, con planes adecuados, derivará en un beneficio para todos.

Existe una necesidad de repensar de qué forma los futuros ingenieros industriales adquieren las competencias a la luz de los nuevos desarrollos tecnológicos que tienen un impacto significativo en la forma en que diseñarán los sistemas de producción del futuro.

Los ingenieros industriales como actores en un escenario de producción futuro necesitarán competencias específicas para enfrentar los nuevos desafíos relacionados con los desarrollos tecnológicos y organizacionales y los modelos de negocio vinculados a la industria 5.0.

En este artículo, se describen las características de la transición hacia el paradigma de industria 5.0 y se analizan las perspectivas que afronta el factor humano en este proceso. Para ello, se realizó una revisión sistemática de la literatura. El estudio comienza con la descripción de las características de este operador 4.0 vinculado a los nuevos procesos de producción y las competencias necesarias para este nuevo escenario.

Además, se analizan las características de la formación de los futuros ingenieros industriales en el contexto del paradigma 5.0, analizando las características y enfoques necesarios para la misma. Esta debe sustentarse en las tecnologías facilitadoras de la industria 5.0, promoviendo el desarrollo de competencias cognitivas avanzadas en tecnologías, procesos de trabajo y gestión organizacional.

Finalmente, a partir de lineamientos conceptuales enunciados por diversos autores se propone la creación de un espacio formativo que haga más efectiva la formación de los futuros ingenieros industriales. Este espacio busca hacer más concreta la visión abstracta de la industria 5.0 mediante un enfoque de fábrica de aprendizaje combinado con el aprendizaje basado en escenarios.

2- LA TRANSICIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0 A LA INDUSTRIA 5.0

Han pasado poco más de 10 años desde que se estableció en Alemania el concepto de industria 4.0. Este paradigma, basado en la idea de fusionar lo físico y lo virtual a través de sistemas ciber físicos e interconectando humanos, máquinas y dispositivos a través del Internet de las cosas (Internet of things – IoT) entre otros habilitadores tecnológicos, hace posible la interconexión horizontal y vertical en toda la cadena de valor, desde el cliente hasta el proveedor, en todo el ciclo de vida del producto, y a través de diferentes departamentos funcionales conformando nuevas redes de valor y ecosistemas (Schwab, 2016a) (Schwab, 2016b) (Walas Mateo, 2023).

En la actualidad, estamos atravesando la madurez del modelo de industria 4.0, desarrollándose una vertiginosa evolución de los sistemas de producción hacia un nuevo paradigma conocido como industria 5.0. Este nuevo modelo, que surge como una versión superadora del modelo industria 4.0, impulsa a empresas productivas tradicionales a migrar hacia entornos de producción inteligentes, que demandan nuevas soluciones para adaptar los procesos productivos e incorporar nuevas prácticas que permitan generar mayor competitividad por parte de las empresas industriales. La evolución hacia un nuevo paradigma desde el modelo industria 4.0, se puede explicar por la dinámica de los sistemas productivos, la digitalización, el aumento de la complejidad en los mercados, la necesidad de dar respuesta a la emergencia ambiental, entre otras cuestiones (Walas Mateo, 2023).

Mientras que la industria 4.0 apunta a generar sistemas productivos cognitivos, la naciente era de la industria 5.0 propone una evolución desde la anterior, para establecer cadenas de valor globales más resilientes, sostenibles y circulares que beneficien a la sociedad en su conjunto.

Una de las primeras cuestiones que genera debate sobre el alcance e implicancias de los nuevos modelos productivos, es sobre el rol de las personas. Particularmente uno de los pilares del modelo 5.0 está en la centralidad de las personas dentro del sistema productivo (Müller, 2020) (Breque et al., 2021).

Breque et al (2021) afirman que una de las transiciones paradigmáticas más importantes que caracterizan a la industria 5.0 es el cambio de enfoque del progreso impulsado por la tecnología a un abordaje completamente centrado en el ser humano. Esto significa que la industria debe tener en cuenta las limitaciones sociales, con el objetivo de no dejar a nadie atrás. Esto tiene una serie de consecuencias, relacionadas con la seguridad y entorno de trabajo propicio, al respeto de los derechos humanos y a las competencias requeridas para los trabajadores.

Walas Mateo & Redchuk (2021) hablan de la oportunidad de complementación y la nueva definición del rol de las personas, trabajando en forma sinérgica con los sistemas tecnológicos.

Asistimos a una transición innovadora que define el ritmo del cambio tecnológico, pero también económico y social. La industria 5.0 “reposiciona” completamente las tecnologías al servicio de las personas y de toda la humanidad (Breque et al., 2021).

Xu et al. (2021) consideran que la industria 5.0 debe entenderse como una extensión de las características principales y factores esenciales diseñados para colocar la industria futura en la nueva sociedad.

La Comisión Europea identificó los seis principales ejes tecnológicos 5.0: soluciones centradas en el ser humano e interacción personalizada humano-máquina, tecnologías inspiradas en la naturaleza y materiales inteligentes, gemelos digitales y simulación en tiempo real, tecnologías seguras para la transmisión, almacenamiento y análisis de datos, inteligencia artificial y finalmente tecnologías para la eficiencia energética, energía renovable, almacenamiento de energía y autonomía confiable (Breque et al., 2021).

En el pasado, la interacción entre el usuario y las tecnologías ha sido analizada desde diferentes perspectivas, abordando las capacidades y limitaciones del operador y las máquinas para definir los criterios para automatizar tareas de proceso y reemplazar completamente a los operadores industriales (Winter et al., 2014).

Es cada vez más posible que la industria 5.0 genere una innovación sin precedentes en la interacción humano-máquina (HMI) partiendo de la creciente presencia de máquinas en la vida cotidiana de las personas y la consiguiente demanda de habilidades específicas en el campo de la HMI y, más generalmente, en el análisis computacional de factores humanos (Nahavandi, 2019).

3- PERSPECTIVAS DEL ROL DEL FACTOR HUMANO EN LA TRANSICIÓN A LA INDUSTRIA 5.0

Aunque existe un acuerdo común sobre la creciente necesidad de continuar con el desarrollo tecnológico y su implementación en nuevos modelos de negocios, un obstáculo importante radica en la percepción y complejidad que se tiene en la sociedad sobre lo que representa la industria 4.0, cómo adoptarla para la práctica industrial, cómo incluir el factor humano en lugar de excluirlo y cómo evaluar su aplicabilidad (Erol et al., 2016).

Es importante determinar las funciones y habilidades requeridas por el factor humano en la transición de la industria 4.0 a la industria 5.0. Las empresas deben evolucionar hacia la industria 5.0 con la premisa de implementar un sistema automatizado balanceado, donde la relación hombre-máquina sea representada ahora como una relación capacidad física-capacidad intelectual (Carro Suárez & Sarmiento Paredes, 2022).

Se relaciona a la industria 5.0 con el desarrollo exponencial de la robótica y de la inteligencia artificial a través de dos enfoques:

1. El primero, es el trabajo en conjunto con el ser humano (Kadir & Broberg, 2021) donde la colaboración activa y el trabajo en sincronía entre el robot y los empleados humanos les permite complementarse mutuamente, combinando la capacidad creativa del ser humano, su experiencia y juicio con la fuerza de trabajo del robot (Østergaard, 2018).
2. El segundo, se refiere a la bioeconomía, como el uso inteligente de recursos biológicos para propósitos industriales en la búsqueda de equilibrio entre la ecología, la industria y la economía, es decir, priorizar la sustentabilidad (Demir et al., 2019).

Como se mencionó anteriormente, la Comisión Europea definió las tecnologías que respaldan el concepto de industria 5.0. Con estas tecnologías se busca empoderar al sector industrial para alcanzar objetivos sociales (Lu et al., 2021); la sostenibilidad, desarrollando procesos circulares que reutilicen y reciclen los recursos naturales, que reduzcan residuos y el impacto ambiental con una mejor eficiencia; y la resiliencia, preparando a las empresas y sociedad contra disrupciones y eventos impredecibles en tiempos de crisis e incertidumbre (Breque et al., 2021).

La necesidad de recopilar más conocimientos y una mejor comprensión del papel que juega el factor humano en conjunto con la tecnología es fundamental. Por lo que preparar a las personas de las empresas y sociedad en general a través de una educación, capacitación y motivación adecuadas en escuelas, universidades, empresas, sociedad civil y el propio gobierno es el gran desafío que enfrentarán las nuevas generaciones en esta nueva era digital (Carro Suárez & Sarmiento Paredes, 2022).

Es por esto por lo que las organizaciones tendrán que desarrollar una nueva cartera de capacidades de transformación digital que permita flexibilidad y capacidad de respuesta a los rápidos cambios necesarios para generar nuevas propuestas de valor para los clientes y transformar los modelos operativos (Berman, 2012).

4- OPERADOR 4.0

En este escenario, nace el concepto de “Operador 4.0”, describiendo una visión futurista de trabajadores inteligentes y capacitados haciendo el trabajo, asistidos por máquinas y herramientas tecnológicas digitales. Tal operador puede utilizar completamente las capacidades digitales y capitalizar las oportunidades emergentes en fábricas habilitadas para la industria 4.0 (Kadir & Broberg, 2021).

Se concibe al operador 4.0 como un operador inteligente y hábil que no solo realiza trabajo “cooperativo” con robots, sino también trabajo asistido por máquinas según sea necesario, mediante sistemas ciber físicos humanos, tecnologías avanzadas de interacción humano-máquina y automatización adaptativa hacia sistemas de trabajo en simbiosis humano-automatización (Romero, Stahre, et al., 2016).

El concepto del operador 4.0 surge en paralelo a la 4° revolución industrial y sus necesidades, y también resultó de la constante evolución de los operadores. Romero, Stahre, et al. (2016) describen la evolución de estos operadores. La primera generación de operadores, operador 1.0, se caracterizaba por el trabajo manual con el uso de algunas herramientas y máquinas que funcionaban manualmente. El operador 2.0 corresponde al trabajo asistido, es decir, el trabajador utiliza el apoyo de herramientas computacionales. Luego, el operador de tercera generación, el operador 3.0, se define como el trabajador cooperativo, en el cual el ser humano se involucra con robots, resultando en un trabajo de colaboración. Finalmente, y de acuerdo con las necesidades actuales, el operador 4.0 corresponde al operador inteligente del futuro que realiza un trabajo asistido a través de la integración humana en los sistemas ciberfísicos.

El operador 4.0 se caracteriza como una proyección futura de un operador inteligente que, dependiendo de la situación y/o necesidad, realiza el trabajo cooperativo con robots y el trabajo asistido por máquinas, a

través de sistemas ciberfísicos, tecnologías avanzadas de interacción hombre-máquina y automatización adaptativa (Romero, Stahre, et al., 2016). De una manera más simplificada, el operador 4.0 se refiere a trabajadores calificados que desarrollan habilidades creativas, innovadoras y de improvisación, sin comprometer los objetivos de producción. Además, a través de la incorporación de sistemas automatizados, también alivian la sobrecarga física y mental (Kaasinen et al., 2020).

Romero, Stahre, et al. (2016) categorizan al operador 4.0 a partir de las tecnologías asociadas y los subdividen en diferentes tipos:

- El Operador Superfuerte corresponde al trabajador que, con el uso de la tecnología, mejora sus condiciones físicas para el trabajo, por ejemplo, usando exoesqueletos.
- El Operador Aumentado y el Operador Virtual utilizan herramientas de Realidad Aumentada y Virtual respectivamente.
- El Operador Inteligente recurre a la inteligencia artificial.
- El Operador Colaborativo utiliza la tecnología para mejorar y facilitar la interacción Hombre-máquina, por ejemplo, mediante el uso de robots colaborativos (Cobots).
- El Operador Social utiliza y comparte su conocimiento con la sociedad.
- El Operador Analítico corresponde al trabajador enfocado en el análisis de datos.
- El Operador Saludable es el operador que ha despertado gran interés de estudio, ya que usa dispositivos de rastreo de bienestar, permitiendo así que se tomen medidas que pongan al ser humano en el centro de la producción de forma saludable y segura (Kaasinen et al., 2020) .

El operador saludable 4.0 surgió como respuesta a las preocupaciones relacionadas con la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores, ya que anteriormente no era posible cuantificar, en tiempo real, el bienestar de los operadores ni su satisfacción en el trabajo.

La visión del operador 4.0 tiene como objetivo crear relaciones basadas en la confianza y la interacción entre humanos y máquinas, permitiendo que esas fábricas inteligentes capitalicen no solo las fortalezas y capacidades de las máquinas inteligentes, sino que también empoderen a sus “operadores inteligentes” con nuevas habilidades y dispositivos para capitalizar plenamente las oportunidades creadas por las tecnologías de la industria 4.0. En este sentido, un sistema de producción centrado en el ser humano se caracteriza por permitir una unificación de la planificación y la implementación, esperando que el operador esté en control del proceso de trabajo y la tecnología, y fomentando la utilización de las competencias humanas (Romero, Stahre, et al., 2016).

Taylor et al. (2020) sostienen que el operador 4.0 pasará de “operador” a “tomador de decisiones”, trabajando con sistemas de producción digitalizados y automatizados y utilizando la creatividad para resolver desafíos inesperados e imprevistos. Siguiendo estas visiones futuristas, Romero et al. (2018) destacan que los futuros operadores necesitarán ser capaces de gestionar diferentes situaciones laborales e interacciones complejas. Por lo tanto, necesitan recibir la información correcta y el conocimiento organizado para adaptarse a sus procesos cognitivos. De manera similar, (Peruzzini et al., 2018) consideran las necesidades del operador 4.0 como fundamentales al adoptar el enfoque centrado en el ser humano para integrar factores humanos en los sistemas de trabajo (Kadir & Broberg, 2021).

El operador 4.0 desempeña un papel clave en la fábrica del futuro, donde las tecnologías permiten que pueda implementar sus capacidades y mejorar las tareas que realiza (Fantini et al., 2020). Este operador 4.0, cuyo rol evoluciona hacia la toma de decisiones y la resolución de problemas, interviene en sinergia con sistemas artificiales en todas las fases del proceso de producción, desde la comprensión de las tareas hasta la toma de decisiones y el rendimiento productivo (Emmanouilidis et al., 2019).

La implementación del operador 4.0 en el ambiente fabril exige nuevas cualificaciones y flexibilidad por parte de los operadores, para que sea posible acompañar la evolución de la tecnología digital y las nuevas fábricas

inteligentes. Una parte integral del concepto del operador 4.0 es, entonces, su relación con las tecnologías de la industria 4.0, es decir, cómo las capacidades cognitivas, sensoriales, físicas e interactivas de los operadores pueden ser potenciadas por la interacción con las diversas tecnologías (Alves, 2020).

Para lograrlo, es crucial adoptar estrategias que apoyen a los trabajadores, tanto a aquellos que ya están familiarizados con las nuevas tecnologías digitales como a quienes no lo están. En cualquier caso, es indispensable reorganizar los procesos de trabajo al incorporar estas tecnologías (Kaasinen et al., 2020).

5- COMPETENCIAS PARA LA PRODUCCIÓN 5.0

Para los escenarios de producción futuros en el sentido de la industria 5.0, deben abordarse competencias que permitan a los futuros gerentes y trabajadores de una fábrica enfrentar los desafíos de un sistema de producción cada vez más digitalizado (Erol et al., 2016).

A nivel de empleados, la industria 4.0 promueve la idea de trabajadores que se centrarán cada vez más en actividades creativas, innovadoras y comunicativas. Las actividades rutinarias, que también incluyen tareas de monitoreo, son asumidas total o parcialmente por las máquinas.

Erol et al. (2016) proponen una taxonomía de las habilidades y competencias requeridas con respecto a los desafíos de la industria 4.0 en base a esta visión del trabajo futuro:

- **Competencias personales:** la capacidad de una persona para actuar de manera reflexiva y autónoma. La competencia personal también comprende la capacidad de aprender (desarrollar habilidades cognitivas), desarrollar una actitud propia y un sistema de valores éticos.
- **Competencias sociales/interpersonales:** se refiere al hecho de que un individuo incrustado en un contexto social, por ejemplo, una organización, requiere la capacidad de comunicarse, cooperar y establecer conexiones y estructuras sociales con otros individuos y grupos.
- **Competencias relacionadas con la acción:** relacionada con la acción de una persona es la capacidad de llevar ideas individuales o socialmente construidas a la acción. Es la capacidad de un individuo para integrar conceptos en su propia agenda para transferir exitosamente los planes a la realidad, no solo a nivel individual sino también a nivel organizacional.
- **Competencias relacionadas con el dominio:** se refieren a la capacidad de acceder y usar el conocimiento del dominio para un trabajo o tarea específica. El conocimiento del dominio incluye metodologías, lenguajes, herramientas que son especialmente importantes para un problema o dominio empresarial y va más allá de lo trivial.

Para los ingenieros, una comprensión profunda de las interrelaciones entre los componentes eléctricos, mecánicos y computacionales será una habilidad vital para desarrollar productos y procesos innovadores y resolver problemas relacionados con la calidad. Tanto los productos como los procesos serán cada vez más diseñados a través de las llamadas representaciones virtuales, lo que requiere una habilidad hacia el pensamiento abstracto y la modelización con el apoyo de software especializado. El software y los datos son elementos clave para la planificación y el control inteligentes de máquinas y fábricas del futuro. Por lo tanto, se requiere que los ingenieros adquieran conocimientos sobre arquitecturas de software de vanguardia, técnicas de modelado y programación. Además, los métodos estadísticos y las técnicas de minería de datos son habilidades clave para los ingenieros de producción del futuro. Los avances en la tecnología de materiales requerirán habilidades relacionadas con nuevos procesos de producción, por ejemplo, la impresión 3D. Los principios lean pueden considerarse una competencia básica que también debe transferirse al nivel técnico.

La educación 4.0 consiste en la combinación de la información y los datos del mundo real y virtual en el ámbito de la enseñanza, pues el conocimiento, las cualificaciones y la formación personal son una parte esencial de la industria 4.0.

La formación y la educación deben estar orientadas a la creación de competencias específicas: tecnológicas, metodológicas, sociales, políticas y actitudinales. Las competencias tecnológicas incluyen las competencias especializadas para áreas específicas y las competencias adquiridas en el ámbito profesional, es decir, la capacidad, ejecución y experiencia de trabajo. Las competencias metodológicas son las habilidades analíticas, estadísticas y de toma de decisiones. Las competencias sociales, políticas y actitudinales corresponden a las habilidades de gestión de equipos, resolución de problemas, trabajo en equipo y capacidad de comunicación. Por último, las competencias de actitudinales se definen por la autoorganización, creatividad, capacidad de trabajo y de aprendizaje, y apertura y disponibilidad para los cambios.

Además de las cualificaciones académicas y el conocimiento técnico y teórico, cada vez más las “soft skills” o “competencias blandas” revelan una mayor importancia para la industria y las empresas, especialmente aquellas que demuestran la capacidad de toma de decisiones complejas. Estas se basan en las experiencias de los operadores y según Bongomin et al. (2020) son: adaptabilidad y capacidad de cambio, autogestión y organización, trabajo en equipo, habilidades sociales y de comunicación, creatividad, liderazgo, mentalidad de mejora continua y formación a lo largo de la vida, capacidad para tomar decisiones, autonomía, flexibilidad, pensamiento crítico y responsabilidad y confianza.

A partir de la industria 4.0 y su evolución a la 5.0 la educación tiene que modificar sus diferentes programas y desarrollo de competencias para que los estudiantes cuenten con las habilidades necesarias para enfrentarse a un mercado laboral y una sociedad que con mayor frecuencia demanda soluciones tecnológicas personalizadas, hechas a la medida de cada usuario y sus necesidades (García Contreras & Mendoza Hernández, 2023).

En definitiva, la educación 5.0 marca dos grandes competencias, las de alta cognición sobre tecnología (duras y digitales) y las de gestión organizacional (blandas y de inteligencia emocional) (Lopes Martínez et al., 2022).

De esta forma el contexto educativo se ve en la obligación de cambiar sus contenidos e innovar sus procesos de enseñanza aprendizaje, para crear las competencias adecuadas que cumplan con las diferentes demandas de la industria y sociedad, así como cubrir necesidades específicas y generales, para poder dar lugar a nuevas tecnologías que sustituirán a las anteriores (García Contreras & Mendoza Hernández, 2023).

Se busca entonces, fomentar el aprendizaje centrado en el estudiante, el uso de tecnologías educativas avanzadas, el desarrollo de habilidades socioemocionales y la integración de enfoques multidisciplinares en la formación de ingenieros (Velásquez Hernández & Echeverri Flórez, 2023).

6- HACIA LA FORMACIÓN DE INGENIEROS 5.0

La incorporación de diferentes tecnologías es una realidad indiscutible que está transformando los procesos de producción y generando nuevas exigencias en cuanto a habilidades para los ingenieros. Por ello, es fundamental que su formación se mantenga actualizada y en sintonía con estos cambios, de modo que los profesionales estén equipados para afrontar los desafíos que surgen.

El avance de la industria 5.0, caracterizada por la convergencia de la tecnología, la automatización, y los humanos ha transformado la forma en que se lleva a cabo la producción industrial. La necesidad de profesionales capacitados y especializados en los avances tecnológicos actuales se vuelve apremiante. Además de poseer y desarrollar habilidades blandas correspondientes al área de la inteligencia emocional de las organizaciones y empresas industrializadas

La industria y los ingenieros pueden desempeñar un papel activo en la provisión de soluciones a los desafíos de la sociedad, incluida la preservación de los recursos, el cambio climático y la estabilidad social.

Por lo tanto, es muy importante analizar y comprender la formación de ingenieros para la industria 5.0, identificando los desafíos y oportunidades presentes en el contexto tecnológico y económico actual. Es

fundamental explorar a fondo las necesidades y requerimientos del mercado laboral, así como los elementos que conforman el contexto de la formación educativa y pedagógica profesional.

La educación en ingeniería juega un papel fundamental en la preparación de profesionales capacitados para enfrentar los desafíos productivos del futuro. Además de proporcionar conocimientos técnicos y científicos, la educación en ingeniería debe promover habilidades como el pensamiento crítico, la creatividad, la resolución de problemas y la colaboración, para fomentar la capacidad de adaptación a los avances tecnológicos y las demandas del mercado laboral.

El futuro de la educación en ingeniería está estrechamente vinculado a los avances tecnológicos y las necesidades cambiantes de la industria 5.0. Se espera que la formación de los futuros ingenieros se oriente hacia enfoques más prácticos y orientados a proyectos, intentando lograr la integración de tecnologías emergentes, el aprendizaje a distancia y el desarrollo de habilidades transversales, como la resolución de problemas complejos y la comunicación efectiva.

Velásquez Hernández & Echeverri Flórez (2023) identifican cinco enfoques fundamentales que deben estar presentes en la formación de los ingenieros en la era 5.0:

1. **Enfoque científico:** la formación en ingeniería para la industria 5.0 debe incluir temas de vanguardia en ciencia y tecnología, como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, la computación en la nube, la ciberseguridad y la robótica. Las metodologías de enseñanza deben fomentar el pensamiento crítico, el análisis de datos y la resolución de problemas, así como la experimentación y la investigación científica aplicada.
2. **Enfoque humano:** reconoce la importancia de las habilidades blandas y el bienestar de los individuos. La formación de ingenieros debe abordar temas relacionados con la inteligencia emocional, el liderazgo, la comunicación efectiva, la gestión del cambio y la diversidad. Es necesario desarrollar competencias que promuevan el trabajo en equipo, la colaboración multidisciplinaria y la ética profesional. Las metodologías de enseñanza deben fomentar la participación activa de los estudiantes, la resolución de problemas reales y la reflexión sobre el impacto social y ético de la tecnología.
3. **Enfoque tecnológico:** los ingenieros deben recibir formación en temas como la Internet de las cosas, la realidad aumentada, la fabricación aditiva, la automatización y la gestión de datos. Además, deben estar familiarizados con las últimas tendencias y avances en su campo de especialización. Las metodologías de enseñanza deben incluir el uso de herramientas y software de vanguardia, la simulación y el diseño virtual, así como proyectos prácticos que permitan a los estudiantes aplicar sus conocimientos en entornos tecnológicos reales.
4. **Enfoque resiliente:** los ingenieros deben ser capaces de gestionar situaciones imprevistas, identificar soluciones alternativas y aprender de la adversidad. La formación en ingeniería debe abordar temas como la gestión de riesgos, la planificación de la continuidad del negocio, la gestión de la cadena de suministro y la seguridad cibernética. Las metodologías de enseñanza deben incluir casos de estudio, simulaciones y ejercicios prácticos que permitan a los estudiantes desarrollar habilidades de resiliencia y toma de decisiones bajo presión.
5. **Enfoque sostenible:** los ingenieros deben recibir formación en temas relacionados con la eficiencia energética, la gestión de recursos, la economía circular y la responsabilidad social corporativa. Se debe promover el diseño y la producción sostenible, así como la implementación de prácticas que reduzcan la huella de carbono y fomenten la conservación del medio ambiente. Las metodologías de enseñanza deben incluir proyectos que aborden desafíos ambientales y sociales, así como la sensibilización sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS). Además, es importante fomentar la ética ambiental y la responsabilidad social en la toma de decisiones y la implementación de soluciones tecnológicas en el contexto de la industria 5.0.

Por esta razón, es necesario que el sistema de formación y entrenamiento de las personas en el marco del sistema educativo sea lo más integral posible, de modo que el estudiante vea de manera integral la aplicación y uso de las tecnologías. Un concepto disruptivo es el de las Fábricas de Aprendizaje (Learning Factories en su terminología en inglés) para crear un ambiente realista e integral en la educación en Ingeniería, entrenamiento e investigación (Lopes Martínez et al., 2021).

Las fábricas de aprendizaje representan un entorno de fabricación realista para la educación, la formación y la investigación. En las últimas décadas, se han construido numerosas fábricas de aprendizaje en el ámbito académico y en la industria.

La definición generalmente aceptada fue acordada dentro de la Academia Internacional de Ingeniería de Producción y de acuerdo con ello una fábrica de aprendizaje se define por:

- Procesos que sean auténticos, incluyan múltiples estaciones y comprendan aspectos tanto técnicos como organizativos.
- Un entorno cambiante se asemeja a una cadena de valor real.
- Un producto físico que se está fabricando.
- Un concepto didáctico que comprende el aprendizaje formal, informal y no formal, posibilitado por las propias acciones de los estudiantes.

Dependiendo del propósito de la fábrica de aprendizaje, el mismo se lleva a cabo a través de la enseñanza, la capacitación y/o la investigación. En consecuencia, los resultados del aprendizaje pueden ser el desarrollo de competencias y/o la innovación.

Lopes Martínez et al. (2021) sostienen que si se fomenta el aprendizaje activo o experiencial mediante experiencias como la creación de laboratorios similares a las Fábricas de Aprendizaje, que replican de manera detallada o general un entorno realista e integral de manufactura, se puede avanzar en lo planteado por Günther et al. en 2020, alineado con la educación 5.0, que coloca al ser humano en el centro y en un nivel superior en la gestión de tecnologías y máquinas.

7- INGENIEROS INDUSTRIALES 5.0

Los procesos disruptivos de la industria 5.0 llevan a la necesidad de una transformación del talento humano, lo cual significa desarrollar nuevas competencias para los futuros ingenieros industriales.

Las tecnologías habilitadoras deben estar presentes en este entorno educacional de manera que sea posible el aprendizaje por experiencia o vivencial, como motor impulsor de la transformación del talento humano requerido actualmente.

Como se ha mencionado, además de las cualificaciones académicas y el conocimiento técnico y teórico, cada vez más las soft skills revelan una mayor importancia para la industria y las empresas, especialmente aquellas que demuestran la capacidad de toma de decisiones complejas. Según Deepa & Seth (2013) el 80% del desempeño profesional está determinado por las habilidades blandas (Soft) y solo el 20% por las habilidades duras (Hard), al mismo tiempo existe un consenso en que las competencias o habilidades blandas son en general difíciles de enseñar en el entorno educativo tradicional, lo cual ha traído como consecuencia que una gran parte de los graduados no tengan las habilidades necesarias para enfrentar de forma efectiva los procesos en la vida real, tal como se demuestra en estudios de campo sobre el tema publicados.

Pero si los futuros ingenieros no comprenden cómo las tecnologías pueden aplicarse en la práctica, no promoverán su uso. Por lo tanto, es necesario desarrollar entornos de aprendizaje que garanticen que la

formación se realice con un sentido práctico, siendo un prototipo de la realidad que las personas se encontrarán en el entorno laboral real.

Por ese motivo, las fábricas de aprendizaje han demostrado ser un medio esencial para educar a estudiantes y profesionales en la aplicación práctica de los principios de gestión de la producción.

La práctica de la ingeniería y la gestión se debe lidiar con la incertidumbre, con información incompleta y contradictoria del entorno de una organización. Además, los continuos cambios tecnológicos y organizacionales en el lugar de trabajo también imponen desafíos al individuo.

Sin embargo, el modo predominante de enseñanza es similar a las prácticas de enseñanza desarrollados por décadas, con grandes clases y cursos basados en clases magistrales de una sola disciplina. Por lo tanto, los desarrollos recientes muestran un cambio lento hacia el aprendizaje centrado en el estudiante, como el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje basado en proyectos.

El aprendizaje basado en escenarios (SBL, por sus siglas en inglés) está arraigado en la teoría del aprendizaje situado y la cognición. La teoría del aprendizaje situado sostiene que el aprendizaje es más efectivo cuando tiene lugar en su contexto natural, donde el conocimiento adquirido se va a utilizar. Así, el conocimiento puede transformarse en competencias de acción. Kolb afirma de manera similar que el aprendizaje es efectivo cuando cambia constantemente entre “pensar” – un proceso de conceptualización abstracta, “sentir” – basado en gran medida en experiencias, “observar” – un proceso de observación y reflexión y “hacer” – una etapa activa de experimentación (Erol et al., 2016).

El aprendizaje basado en escenarios (SBL) utiliza escenarios, descripciones estructuradas de problemas del mundo real e instrucciones relacionadas, para apoyar el aprendizaje activo. Por lo tanto, los escenarios son el punto de partida para que los estudiantes se sumerjan en un problema del mundo real y en un proceso de búsqueda de soluciones. Durante este proceso, los estudiantes deben aplicar su conocimiento individual y sus habilidades cognitivas y sociales para resolver problemas de manera colaborativa en un entorno seguro. SBL es un proceso iterativo y proporciona numerosas oportunidades para retroalimentación y discusiones (Erol et al., 2016).

Erol et al. (2016) realizan una interesante propuesta para la Universidad Técnica de Viena (TU Wien) combinando una Fábrica de Aprendizaje con un enfoque de Aprendizaje Basado en Escenarios.

El propósito es hacer la industria 5.0 más tangible, en el sentido de que el área básica de problemas y el área de soluciones de la industria 5.0 puedan ser más fácilmente abordadas por practicantes y estudiantes.

Para desarrollar escenarios particulares como base para aprender diferentes tipos de competencias en relación con diferentes áreas problemáticas, desarrollaron un marco de competencia-problema que se ilustra en forma de cubo (figura 1), lo que implica un enfoque tridimensional. La primera dimensión del cubo se refiere a los niveles de gestión de la empresa (Management Level): objetos (sensores, actores, red), automatización y control de máquinas, operaciones y control, fabricación, operaciones y control, planificación de negocios y logística. Los niveles de gestión en combinación con las áreas de proceso que corresponden a la segunda dimensión del cubo (Production Process) proporcionan un mapa completo de las diferentes áreas problemáticas de una empresa manufacturera (diseño, ingeniería, fabricación y montaje de productos), desde el diseño del producto hasta la entrega (Erol et al., 2016).

Para un desarrollo dirigido de escenarios como medio para el aprendizaje orientado a problemas, la tercera dimensión del cubo (Type of Competency) que corresponde a los tipos de competencias (dominio, destrezas, sociales, personales) sirve como punto de referencia. Basado en estas dimensiones, se pueden modelar y abordar diferentes roles y grupos objetivo para el aprendizaje (por ejemplo, gerente, ingeniero, trabajador) y sus competencias requeridas a través de escenarios apropiados.

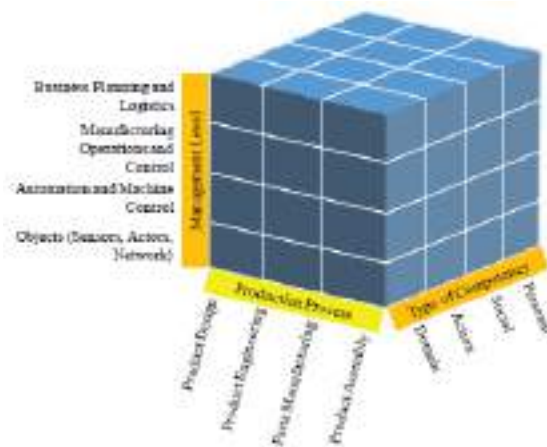


Figura 1 – Cubo problemas y competencias. Fuente: Erol et al. (2016)

8- PROPUESTA

A partir de estas directrices conceptuales se propone la creación de un espacio o laboratorio denominado “Espacio de Innovación en Ingeniería 5.0” (ExI250). Este ámbito, relacionado con la producción del futuro, funcionará como una plataforma educativa y de capacitación, proporcionando un espacio para la enseñanza práctica y multidisciplinaria en el ámbito de la producción.

El objetivo de ExI250 es que los estudiantes puedan aprender de manera práctica a lo largo de todo el proceso de producción, desde la solicitud del cliente hasta la entrega de los productos desarrollados y fabricados. Además, ExI250 ampliará su alcance en relación con las competencias de la industria 5.0, como se menciona en secciones anteriores, y abarcará a diferentes grupos objetivo, como gerentes, ingenieros y trabajadores de empresas industriales.

Las principales características propuestas para ExI250 son:

- **I+D+i:** poder desarrollar líneas de investigación vinculadas a la “Producción Inteligente”. Se espera que ExI250 sea un “hub” de modo que proveedores de soluciones tecnológicas, empresas de TI y diseñadores de software puedan desarrollar nuevos conceptos, modelos, tecnologías y sistemas en cooperación con la Universidad y puedan validar resultados junto con empresas manufactureras que aplican tecnología en el área experimental de ExI250.
- **TIC:** proporcionar acceso a nuevas tecnologías y TIC para empresas, especialmente PyMEs, que predominantemente no tienen infraestructura de I+D propia. Si es necesario, expertos académicos de varios campos de investigación pueden apoyar sus actividades de investigación, desarrollo o pruebas.
- **Fabricación:** apoyo a PyMEs o startups, que requieren competencias tecnológicas especiales y capacidades de fabricación o ensamblaje para producir sus prototipos o series pequeñas.
- **Tecnologías blandas o de gestión:** investigación, formación y transferencia de tecnologías vinculadas a la gestión industrial.
- **Enseñanza:** formación en tecnologías habilitadoras 5.0 en carreras de ingeniería y otras carreras tecnológicas. Más allá de eso, la infraestructura se utiliza para construir un vínculo con los actores productivos del territorio.
- **Vinculación:** a través de talleres prácticos y seminarios para graduados y personal de la industria. Especialmente el campo creciente de la digitalización.

9- CONCLUSIONES

Los procesos y tecnologías disruptivas de la industria 5.0 están impulsando una transformación esencial en el talento humano, enmarcada en la educación 5.0, la cual prioriza al ser humano, situándolo en un lugar central y superior en la gestión de tecnologías y máquinas. Un desafío clave es fortalecer las habilidades necesarias para los nuevos roles laborales, especialmente para los futuros ingenieros industriales. Al mejorar tanto las competencias tecnológicas como las habilidades blandas de las personas, se optimizará significativamente la gestión organizacional. Los avances tecnológicos requieren cambios en el comportamiento, y con planes adecuados, esto beneficiará a todos los involucrados.

Es imperativo reconsiderar cómo los futuros ingenieros industriales adquirirán competencias, considerando los desarrollos tecnológicos que impactan profundamente en el diseño de los sistemas de producción del futuro. Como actores en un entorno de producción futuro, los ingenieros industriales necesitarán competencias específicas para enfrentar los nuevos desafíos relacionados con el desarrollo tecnológico, organizacional, y los modelos de negocio asociados a la industria 5.0.

Las tecnologías integradas en la formación de los ingenieros industriales deben contextualizarse en los procesos de enseñanza-aprendizaje activos de los estudiantes.

En este artículo, se describieron las características de la transición hacia el paradigma de la industria 5.0 y se analizaron las perspectivas que enfrenta el factor humano en esta transición. Además, se detallaron las características del operador 4.0 vinculado a los nuevos procesos de producción y las competencias necesarias en este nuevo escenario.

Asimismo, se examinaron las características de la formación de los futuros ingenieros industriales en este paradigma 5.0 y los enfoques que deben estar presentes en su preparación.

Finalmente, a partir de los conceptos propuestos por Erol et al. (2016), se sugiere la creación de un "Espacio de Innovación en Ingeniería 5.0" (ExI²50). Este espacio pretende hacer tangible la visión abstracta de la Industria 5.0 mediante un enfoque de Fábrica de Aprendizaje, combinado con el Aprendizaje Basado en Escenarios.

Este entorno académico no se concibe como un simple showroom de tecnologías, ni como un laboratorio de informática, sino como un espacio diseñado para simular de manera generalizable la práctica empresarial común a cualquier tipo de industria o servicio, permitiendo escalar el uso de tecnologías según sea necesario, siempre sobre la base de un funcionamiento adecuado de los procesos.

10- BIBLIOGRAFÍA

- Albrieu, R., Basco, A. I., Brest López, C., de Azevedo, B., Peirano, F., Rapetti, M., & Vienni, G. (2019). *Travesía 4.0 hacia la transformación industrial argentina BID INTAL*. Nota técnica del BID; 1672.
- Alves, J. M. (2020). *A indústria 4.0 e o desafio sociodemográfico: Propostas para colocar o fator humano no centro da produção Engenharia e Gestão Industrial*. Univerdade Beira Interior.
- Berman, S. J. (2012). Digital transformation: Opportunities to create new business models. *Strategy and Leadership*, 40(2), 16–24. <https://doi.org/10.1108/10878571211209314>
- Bongomin, O., Gilibrays Ocen, G., Oyondi Nganyi, E., Musinguzi, A., & Omara, T. (2020). Exponential Disruptive Technologies and the Required Skills of Industry 4.0. In *Journal of Engineering (United Kingdom)* (Vol. 2020). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2020/4280156>
- Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). *Industry 5.0 Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. <https://doi.org/10.2777/308407>
- Carro Suárez, J., & Sarmiento Paredes, S. (2022). El factor humano y su rol en la transición a Industria 5.0: una revisión sistemática y perspectivas futuras. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 10(24). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.81727>

- Demir, K. A., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688–695. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>
- ElFar, O. A., Chang, C. K., Leong, H. Y., Peter, A. P., Chew, K. W., & Show, P. L. (2021). Prospects of Industry 5.0 in algae: Customization of production and new advance technology for clean bioenergy generation. *Energy Conversion and Management: X*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2020.100048>
- Emmanouilidis, C., Pistofidis, P., Bertonecelj, L., Katsouros, V., Fournaris, A., Koulamas, C., & Ruiz-Carcel, C. (2019). Enabling the human in the loop: Linked data and knowledge in industrial cyber-physical systems. *Annual Reviews in Control*, 47, 249–265. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2019.03.004>
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., & Sihm, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. *Procedia CIRP*, 54, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162>
- Fantini, P., Pinzone, M., & Taisch, M. (2020). Placing the operator at the centre of Industry 4.0 design: Modelling and assessing human activities within cyber-physical systems. *Computers and Industrial Engineering*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.01.025>
- García Contreras, J. M., & Mendoza Hernández, L. E. (2023). The impact of Industry and Society 5.0 on education. *UNO Sapiens Boletín Científico de La Escuela Preparatoria No. 1*, 5(10), 15–18. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa1/issue/archivehttps://orcid.org/0000-0001-9082-3358> correo electrónico: eloisamh@uaeh.edu.mx Fecha de publicación: 05/01/2023
- Giugliano, G., Laudante, E., Formati, F., & Buono, M. (2023). Approaches and Technologies for the Human-Centered Industry 5.0. *Proyecta56, an Industrial Design Journal*, 3. <https://doi.org/10.25267/p56-idj.2023.i3.05>
- González-Varona, J. M., López-Paredes, A., Poza, D., & Acebes, F. (2021). Building and development of an organizational competence for digital transformation in SMEs. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(1), 15–24. <https://doi.org/10.3926/jiem.3279>
- Gotfredsen, S. (2016, June 15). *Bringing back the human touch: Industry 5.0 concept creating factories of the future*. <https://www.manmonthly.com.au/>
- Hitachi-UTokyo Laboratory. (2020). *Society 5.0 A People-centric Super-smart Society*.
- Kaasinen, E., Schmalfuß, F., Öztürk, C., Aromaa, S., Boubekour, M., Heilala, J., Heikkilä, P., Kuula, T., Liinasuo, M., Mach, S., Mehta, R., Petäjä, E., & Walter, T. (2020). Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions. *Computers and Industrial Engineering*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.052>
- Kadir, B. A., & Broberg, O. (2021). Human-centered design of work systems in the transition to industry 4.0. *Applied Ergonomics*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103334>
- Lopes Martínez, I., Cuesta Santos, A., Neumann, G., Günzel, M., Marrero Durán, P. S., Noya Domínguez, L., Martínez Pérez, E., Cruz Ruiz, A., Machado de Armas, D., & Diaz Pereira, D. (2021). La transformación del talento humano en el marco de la Industria 4.0. *REVISTA CUBANA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL*, 2(2), 118–133. <https://orcid.org/0000-0001-6921-2026>
- Lopes Martínez, I., Cuesta Santos, A., Vilalra Alonso, J., Fleitas Triana, M. S., Neumann, G., & Cruz Ruiz, A. (2022). CREANDO CAPACIDADES: HACIA LA INDUSTRIA 5.0 EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS INDUSTRIALES. *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial*, 6(2). <https://doi.org/10.5281/zenodo.6817718>
- Lu, Y., Adrados, J. S., Chand, S. S., & Wang, L. (2021). Humans Are Not Machines—Anthropocentric Human–Machine Symbiosis for Ultra-Flexible Smart Manufacturing. In *Engineering* (Vol. 7, Issue 6, pp. 734–737). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.09.018>
- Müller, J. (2020). *Enabling Technologies for Industry 5.0: results of a workshop with Europe's technology leaders*. <https://doi.org/data.europa.eu/doi/10.2777/082634>
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—a human-centric solution. *Sustainability (Switzerland)*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/su11164371>
- Ortega, A. (2019). *Sociedad 5.0: el concepto japonés para una sociedad superinteligente*. Real Instituto Elcano. <https://www.realinstitutoelcano.org/analisis/sociedad-5-0-el-concepto-japones-para-una-sociedad-superinteligente/>
- Østergaard, E. (2018, October 1). *Industria 5.0: el toque humano vuelve a la manufactura*. <https://www.metalmecanica.com/es/noticias/industria-50-el-toque-humano-vuelve-la-manufactura>

- Pacaux-Lemoine, M. P., Trentesaux, D., Zambrano Rey, G., & Millot, P. (2017). Designing intelligent manufacturing systems through Human-Machine Cooperation principles: A human-centered approach. *Computers and Industrial Engineering*, *111*, 581–595.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.05.014>
- Peruzzini, M., Pellicciari, M., Bil, C., Stjepandić, J., & Wognum, N. (2018, July 3). Transdisciplinary engineering methods for social innovation of Industry 4.0. *25th ISPE Inc. International Conference on Transdisciplinary Engineering*.
- Romero, D., Bernus, P., Noran, O., Stahre, J., & Berglund, Å. F. (2016). The operator 4.0: Human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, *488*, 677–686.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7_80
- Romero, D., Mattsson, S., Wuest, T., Fast-Berglund, Å., Gorecky, D., & Stahre, J. (2018). *Digitalizing Occupational Health, Safety and Productivity for the Operator 4.0*.
<https://www.researchgate.net/publication/327230622>
- Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, Å., & Gorecky, D. (2016). Towards an Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies. *CIE46 Proceedings*, 29–31.
<https://www.researchgate.net/publication/309609488>
- Salgues, B. (2018). *Society 5.0: industry of the future, technologies, methods and tools*. Wiley-ISTE.
- Schwab, K. (2016a). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.
- Schwab, K. (2016b, January 14). *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*. Weforum.Org/Agenda/2016/01/the-Fourth-Industrial-Revolution-What-It-Means-and-How-to-Respond/.
- Deepa, S., & Seth, M. (2013). Do Soft Skills Matter?-Implications for Educators Based on Recruiters' Perspective. *IUP Journal of Soft Skills*, *7*(1), 7–20.
- Taylor, M. P., Boxall, P., Chen, J. J., Xu, X., Liew, A., & Adeniji, A. (2020). Operator 4.0 or Maker 1.0? Exploring the implications of Industrie 4.0 for innovation, safety and quality of work in small economies and enterprises. *Computers and Industrial Engineering*, *139*.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.047>
- Velásquez Hernández, A. F., & Echeverri Flórez, H. M. (2023). *Hacia la formación de ingenieros para la industria 5.0: desafíos y oportunidades*. 1–12. <https://doi.org/10.26507/paper.2785>
- Walas Mateo, F. (2023). *Nuevos modelos de negocio en el paradigma Industria 5.0. Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático para optimizar procesos industriales*. Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
- Winter, J., Rönkkö, K., & Rissanen, M. (2014). Identifying organizational barriers - A case study of usability work when developing software in the automation industry. *Journal of Systems and Software*, *88*(1), 54–73. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2013.09.019>
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, *61*, 530–535.
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>

Retención de talentos en una start up Agtech

Prestes, Paola

paola.prestes@fi.mdp.edu.ar

Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina)

Fecha de recepción RIII: 28/01/2025

Fecha de aprobación RIII: 14/02/2025

RESUMEN

Este estudio analiza las estrategias de gestión y retención de talentos en un startup Agtech en Argentina, combinando marcos teóricos con perspectivas prácticas de un caso real. A partir de una tesis de maestría sobre retención de talentos y entrevistas con los socios y colaboradores del startup, la investigación explora los desafíos en la gestión de recursos humanos en un entorno innovador.

Las startups se definen como empresas innovadoras y escalables con gran potencial de crecimiento y riesgos inherentes. Se destaca el liderazgo de Argentina en startups disruptivas, especialmente en biotecnología, inteligencia artificial y energías limpias. El estudio analiza atributos como la innovación, el ajuste al mercado y la escalabilidad en el contexto de estrategias de recursos humanos.

El artículo enfatiza la importancia de alinear la gestión del talento con los objetivos corporativos. Elementos clave incluyen la Propuesta de Valor al Empleado (PVE), el desarrollo basado en la experiencia, relaciones y educación, y el diseño de beneficios competitivos. La retención del talento se centra en el reconocimiento de los empleados, oportunidades de desarrollo y la promoción de culturas organizacionales flexibles.

Los resultados revelan que los empleados valoran el teletrabajo, salarios competitivos y flexibilidad, mientras que los socios destacan la necesidad de adaptar los beneficios a las diversas necesidades de los empleados. El estudio concluye que las startups deben mejorar sus estrategias de retención clarificando roles, actualizando las compensaciones y manteniendo una comunicación abierta.

Palabras Claves: Gestión del talento; retención de talentos, Startup, empresas tecnológicas

Talent Retention in an Agtech Startup

ABSTRACT

This study examines talent management and retention strategies within an Agtech startup in Argentina, combining theoretical frameworks with practical insights from a real-world case. Using a previous master's thesis on talent retention and interviews with the startup's partners and collaborators, the research explores challenges in managing human resources in an innovative environment.

Startups are defined as innovative and scalable enterprises with significant growth potential and inherent risks. Argentina's leadership in disruptive startups, particularly in biotechnology, artificial intelligence, and clean energy, is highlighted. The study analyzes startups' attributes like innovation, market fit, and scalability in the context of human resource strategies.

The paper emphasizes aligning talent management with corporate goals. Key elements include the Employee Value Proposition (EVP), development through experience, relationships, and education, and the design of competitive benefits. Talent retention focuses on recognizing employees, offering development opportunities, and fostering flexible organizational cultures.

Findings reveal that employees value remote work, competitive salaries, and flexibility, while partners stress adapting benefits to employees' diverse needs. The study concludes that startups must enhance retention strategies by clarifying roles, updating compensation, and maintaining open communication.

Keywords: Talent Management; Talent Retention; Startup; Tech Companies.

Retenção de Talentos em uma Startup Agtech

RESUMO

Este estudo analisa as estratégias de gestão e retenção de talentos em uma startup Agtech na Argentina, combinando bases teóricas com perspectivas práticas de um caso real. Com base em uma dissertação de mestrado sobre retenção de talentos e entrevistas com os sócios e colaboradores da startup, a pesquisa explora os desafios na gestão de recursos humanos em um ambiente inovador.

As startups são definidas como empresas inovadoras e escaláveis, com grande potencial de crescimento e riscos inerentes. Destaca-se a liderança da Argentina em startups disruptivas, especialmente em biotecnologia, inteligência artificial e energias limpas. O estudo analisa atributos como inovação, adequação ao mercado e escalabilidade no contexto de estratégias de recursos humanos.

O artigo enfatiza a importância de alinhar a gestão de talentos com os objetivos corporativos. Elementos-chave incluem a Proposta de Valor ao Empregado (PVE), o desenvolvimento baseado em experiência, relacionamentos e educação, e o design de benefícios competitivos. A retenção de talentos foca no reconhecimento dos colaboradores, oportunidades de desenvolvimento e promoção de culturas organizacionais flexíveis.

Os resultados revelam que os colaboradores valorizam o trabalho remoto, salários competitivos e flexibilidade, enquanto os sócios destacam a necessidade de adaptar benefícios às diversas necessidades dos funcionários. O estudo conclui que as startups devem melhorar suas estratégias de retenção clarificando funções, atualizando as compensações e mantendo uma comunicação aberta.

Palavras chave: Gestão de Talentos; Retenção de Talentos; Startup; Empresas de Tecnologia

1- INTRODUCCIÓN

El presente artículo pretende analizar la experiencia laboral de la autora en una empresa de tecnología de Argentina (Agtech) con los resultados y conclusiones obtenidos en un trabajo de Maestría de “Retención de Talentos” (Prestes, 2021). El desarrollo se centra en analizar la motivación y retención de talentos, enfocados en este nuevo modelo de empresas denominadas “startup”

1. El desarrollo del trabajo se compone de una primera sección introductoria al modelo startup, definiendo sus características y particularidades, así como también datos relevantes de Argentina;
2. en segundo lugar, se diferencia entre la información relacionada a la gestión y retención de talentos
3. para finalizar, se analizan los resultados de encuestas semiestructuradas y en profundidad, a los socios y colaboradores de la empresa para determinar los aspectos relevantes en la retención de talentos.

2- EL CONCEPTO DE STARTUP Y LA GESTIÓN Y RETENCIÓN DE TALENTOS

Las “Startups” son empresas emergentes generalmente enfocadas en tecnología e innovación, con el objetivo de crear un modelo de negocio escalable y disruptivo. Esta terminología fue acogida por Steve Blank, un emprendedor de Silicon Valley, quien bautizó así a las organizaciones que se encuentran en una fase inicial, pero con grandes posibilidades de crecimiento. Los startups generalmente se encuentran inmersas en procesos de crecimiento y desarrollo con: inversores, business angels y capital de riesgo.

Según Eric Ries (Ries, 2012), las startups son instituciones diseñadas para crear un nuevo producto o servicio bajo condiciones de extrema incertidumbre. Dentro de las premisas principales de una startup se encuentra la creación de la innovación, ya sea a través de un descubrimiento científico, un desarrollo tecnológico o la reutilización de una tecnología existente. No se ajustan a una forma jurídica determinada, pudiendo encontrarse dentro de estas organizaciones formatos tipo ONG.

Las características imprescindibles son:

I. **Innovación:** el desarrollo de una startup suele iniciarse como una idea innovadora que logró implantarse en un momento adecuado en el mercado (es por ello que la gran mayoría son de base tecnológica.)

II. **Crecimiento:** suelen disfrutar de grandes posibilidades de un crecimiento rápido, también llamado: market fit (es una estrategia empresarial que implica contar con: clientes dispuestos a pagar por el producto o servicio; el costo debe ser menor al precio de venta, y el mercado debe recibir esta idea de negocio para que sea rentable).

III. **Escalable:** una empresa es escalable, cuando además de su capacidad de crecimiento la misma cuenta con grandes posibilidades de internacionalizarse. ¿Como se traduce la escalabilidad? Como productos o servicios que puedan atraer a muchos clientes desde el inicio.

IV. **Riesgo,** las startups poseen un alto nivel de riesgo. Al ser empresas con soluciones innovadoras, su “modelo de negocio” no ha sido testeado con anterioridad, no hay referencias sobre su éxito y/o errores durante su puesta en marcha, esta misma característica le brinda, así como un crecimiento elevado, un riesgo directamente proporcional.

V. **Experimentación continua:** la gran premisa que menciona Ries es: “si no puedes fracasar, no puedes aprender”. De la misma forma que la experimentación científica se basa en la teoría, la experimentación de las startups se guían por su visión. El objetivo de cada experimento es descubrir cómo crear un negocio sostenible a partir de esa visión.

3- LAS STARTUPS EN ARGENTINA

Según el Banco Interamericano de Desarrollo, Argentina cuenta con el mayor número de compañías con potencial de realizar transformaciones disruptivas de América Latina. Según datos del 2023, en total hay 103 startups de este tipo, las cuales en su mayoría se encuentran en etapa temprana de desarrollo.

El perfil de las empresas de alta innovación indica que el 67% se especializa en biotecnología, el 8% apuesta a la inteligencia artificial, el 8% a nanotecnología, 6% a industrias del espacio y el 3% a las energías limpias, entre otros sectores.

Si sumamos la capitalización conjunta de estas empresas, la cifra estaría cercana a los 1900 millones de dólares. Al mismo tiempo han surgido del país, proyectos que fueron adquiridos por compañías multinacionales (Kucher, 2023).

4- GESTIÓN Y RETENCIÓN DE TALENTOS

Melamed (2012), quien, citando a Claudio Fernández Araoz, define que los verdaderos talentos se destacan por una combinación de tres factores: experiencia, inteligencia emocional y coeficiente intelectual. Estos elementos, al estar presentes en un colaborador, lo convierten en un activo estratégico para la organización. Sin embargo, para que dicho talento pueda aportar valor, es fundamental implementar estrategias de gestión efectivas que lo retengan y lo desarrollen.

En este sentido, Hatum (2011) propone que la gestión del talento debe encontrarse alineada con la estrategia corporativa. Esto significa que la atracción, desarrollo y retención del talento no pueden tratarse como tareas independientes, sino como pilares integrados en la visión organizacional. Esta perspectiva coincide con Frank (2004), quien argumenta que la retención del talento requiere un enfoque estratégico para cumplir los objetivos empresariales.

Para planificar la gestión del talento, Hatum (2011) identifica los siguientes pasos claves:

- a) Alinear la gestión del talento con la estrategia corporativa: Es crucial entender los objetivos estratégicos de la empresa y vincularlos con las políticas de recursos humanos. Esto garantiza que las prioridades organizativas se reflejen en la gestión de las personas. "Este paso refuerza la necesidad de coherencia entre las metas organizativas y las prácticas de gestión del talento, tal como lo sugiere Hatum (2011)."
- b) Identificar y transmitir los valores de la empresa: Según Hatum, los valores corporativos deben ser compartidos por los colaboradores. Esto fomenta un sentido de pertenencia y compromiso, alineándose con la propuesta de valor al empleado (PVE).
- c) Definir la Propuesta de Valor al Empleado (PVE): Hatum (2011) explica que la PVE incluye tanto el salario como beneficios y compensaciones intangibles, como el interés genuino de la empresa por el bienestar de sus empleados. Este enfoque complementa lo expuesto por Melamed (2012), quien enfatiza que los empleados valoran sentirse protegidos y cuidados por su organización.
- d) Desarrollar el talento: El desarrollo debe ser planificado a través de tres niveles: basado en experiencia (rotación de puestos y asignaciones estratégicas), en relaciones (feedback continuo, coaching) y en educación (cursos y capacitaciones formales). Estos niveles aseguran que los colaboradores estén preparados para asumir desafíos más complejos en el futuro (Hatum, 2011).

Relacionando con el punto anterior, y tomando como base la empresa SYNGENTA (Hatum, 2011), propone que el desarrollo se enfoque en tres niveles de aprendizaje:

1. Aprendizaje basado en la experiencia: cuando el desarrollo se planifica en relación a las reorganizaciones internas de las empresas, rotación de puestos, asignaciones de proyectos y comunidades profesionales.
2. Aprendizaje basado en relaciones: el desarrollo se realiza mediante de: feedback continuos, revisiones de desempeño, autoevaluaciones y feedback 360, también a través de coaching y mentorías.
3. Aprendizaje basado en educación: cuando el desarrollo se formaliza a través de capacitaciones formales como cursos, talleres, módulos de aprendizaje, posgrados, etc.

El desarrollo y retención del talento no solo fortalece la competitividad de la empresa, sino que también responde a las expectativas cambiantes de los colaboradores en un mercado laboral dinámico. Como señala Mejías (2010), las empresas que diseñan estrategias diferenciadas de beneficios y desarrollo para sus empleados, logran destacarse frente a la competencia y retener a los mejores talentos.

Según (Frank, 2004) es el esfuerzo del empleador por mantener a los trabajadores deseables, para cumplir los objetivos de negocios, en tanto que Mejías (2010) refiere a 7 pasos para retener talento, a saber:

1. Definir quienes serán las personas claves a retener. Es importante definir si se trabajará con toda la nómina, o solamente con algunas áreas o personas. Por lo general en startups, el área que mayor énfasis realiza en la retención de talentos es el área de I+D.
2. Hacerles saber a los colaboradores que son importantes y que la organización desea que puedan “hacer carrera” y crecer junto con la organización.
3. Brindar reconocimiento explícito, evaluar mejoras o posibilidades de elevar los puestos (de analista a referente, o responsable, por ejemplo).
4. Ofrecer oportunidades de desarrollo y compromiso profesional. En este paso, se debe tener muy en cuenta quienes serán las personas que la organización deseara retener, y poder ofrecer oportunidades que sean de su interés, no siempre 2 personas tienen los mismos intereses, aunque se encuentren ocupando el mismo puesto.
5. Establecer planes de compensaciones ligado a resultados. Definir objetivos medibles y cuantificables y que los mismos se encuentren sujetos a un reconocimiento por parte de la organización (los cuales no necesariamente deben ser económicos; también podrían incluir cambios de puestos, proyectos de interés, etc.).
6. Revisar y analizar si la cultura que actualmente posee la empresa, es coherente con la propuesta de retención.
7. Proponer y/o crear oportunidades para los talentos dentro de la organización.

En cambio (Hatun, 2011) nos propone un modelo más simple y que incluye 3 elementos:

Identidad organizacional: Destacamos que la responsabilidad de crear y mantener los valores recae sobre la escala jerárquica (CEO, C-level) es por ello que (Gagliardi, 1986) menciona que la primera estrategia de las organizaciones es el mantenimiento de su identidad cultural.

Compensaciones y recompensa, las compensaciones no deben ser siempre monetarias, podrían incluir premios sobre el desempeño de sus colaboradores y sobre los resultados que estos generen a la organización. Es importante destacar que los programas de compensaciones y beneficios deben tener en cuenta 2 premisas: cuáles serán los incentivos a utilizarse y que los mismos sean flexibles. Hatun indica que “las compensaciones y recompensas a corto plazo ayudan a incentivar el desempeño, mientras que las de largo plazo son las que arraigan a las personas a la organización”. No debemos olvidar que este tipo de organización de rápido crecimiento, suelen requerir posiciones valoradas por el mercado, lo que implica que los sueldos monetarios deben ser competitivos con el mercado.

Empleabilidad y carrera: se entiende por empleabilidad al concepto propuesto por (Brown, 2004): son las chances relativas de conseguir y mantener diferentes tipos de empleado. Por lo tanto, nos encontramos ante el paradigma en el cual las personas: si poseen un puesto, en el cual no se le permita desarrollar sus habilidades, probablemente optaran por oportunidades de aprendizaje en otro lugar.

5- METODOLOGÍA

El trabajo se plantea tomando como base las siguientes consideraciones: revisión documental de la tesis de Maestría sobre retención de talentos; análisis documental sobre los conceptos de startups y datos sobre Argentina; entrevistas semiestructuradas y en profundidad sobre la temática a una empresa startup argentina, dedicada desarrollo de tecnología para el agro.

La empresa en cuestión es una Startup con una nómina de 12 personas (al momento de realizar el trabajo), de las cuales 9 son colaboradores y 3 son los socios y trabajan actualmente en la empresa a tiempo completo. La encuesta, se realizó a los colaboradores y los socios, para los cuales se planteó el siguiente esquema de preguntas.

Tabla 1 – Cuestionario de preguntas para colaboradores y socios. Fuente: elaboración propia.

| Preguntas a los colaboradores | Preguntas a los socios |
|--|---|
| ¿Hace cuánto tiempo trabajas en la empresa? | ¿cuentan actualmente con un plan para el desarrollo de sus colaboradores? |
| ¿Actualmente realizas las mismas tareas que al inicio de la relación? | ¿Toman en consideración las distintas particularidades que poseen las personas en la empresa, para armar el plan de desarrollo? |
| ¿Por qué decidiste ingresar a trabajar a la empresa? | ¿Qué beneficios poseen actualmente en la empresa? |
| ¿Qué beneficios otorga la empresa? | ¿Tienen intenciones de otorgar otro tipo de beneficios? ¿Cuales? |
| ¿Consideras que hoy debería haber otros beneficios además de los actuales? | ¿Poseen indicadores para medir la rotación? ¿Toman acciones para mejorarlo? |
| ¿Cuáles serían 3 factores que inciden en tu decisión de pertenecer a la empresa? | |

6- RESULTADOS

En cuanto a los resultados obtenidos por parte de los colaboradores, los podemos resumir de la siguiente manera:

- **Antigüedad en la empresa:** la antigüedad promedio de los empleados en la empresa es de 15,4 meses, mientras que la edad de la empresa es de 60 meses. En los inicios de la empresa, solamente quienes trabajaban en ella eran los socios (en algunos casos *part time*), pero a medida que el producto respondía a las pruebas y comenzaba a escalar, se fueron incorporando colaboradores para tomar las tareas y funciones que se agregaban propias del crecimiento (marketing, administración, producción, soporte técnico, etc.).
- **En relación a las tareas actuales vs las tareas que realizaba al inicio de su relación laboral:** en todos los casos, los colaboradores mencionaron o que las tareas han cambiado, o incluso tienen hoy en día mas tareas que al inicio.
- **Cual es el motivo que hizo que ingresaras a trabajar a la empresa:** dentro de los mas mencionados fue el potencial de crecimiento que vieron en la empresa; en segundo lugar, se menciona el desafío

de crear un área o de generar experiencia, y por último se menciona el conocimiento que tenían con los socios (cercanía). Es importante resalta, que las empresas startup suelen ser del tipo tecnológicas (denominadas Tech), lo que las hacen atractivas al momento de publicar vacantes e incorporar talentos.

- Cuales son los beneficios que otorga la empresa: los mencionados por los colaboradores son los que otorga la empresa (2 días home office, clases de inglés pagas, almuerzo pago, prepaga, capacitaciones y licencia por paternidad extendida a 10 días mas un mes home office
- ¿Consideras que debería haber mas beneficios, de los que existen actualmente en la empresa? El beneficio mas nombrado fue la posibilidad de incorporar mas días off (días no laborables), ya sea como vacaciones, día de cumpleaños, etc.; en segundo lugar, fue la posibilidad de incorporar mas días home office y por último mejoras salariales.
- Podrías indicarnos 3 factores que inciden para pertenecer a la empresa: los resultados fueron los siguientes: Home office (8), Mejoras salariales (4), Flexibilidad (4), Prepaga (3), Capacitaciones (2), Mejorar tareas/funciones (2), Mas días free (1).

Sobre los resultados de las encuestas a los socios, se indican los siguientes:

- Si bien la empresa cuenta con beneficios como: *home Office*, licencia por paternidad extendida, almuerzo pago por la empresa, clases de inglés pagas, cursos de capacitación pagos (según lo requiera la posición) y prepaga para el grupo familiar a cargo de la empresa. Aun evalúan la incorporación de beneficios a sus colaboradores.
- Al momento de planificar los beneficios, toman en cuenta la edad de sus colaboradores; ya que los intereses no son los mismos para una persona de 20, 30, 40 o 50 años, y también su estructura familiar (con o sin hijos).
- Al ser una pequeña empresa con una nómina reducida, es importante destacar que poseen planes de desarrollo para los puestos claves.
- Un punto a mejorar, podría ser la medición de índices de rotación además de evaluar incorporar otro tipo de análisis de datos.

Tabla 2 - Resumen de resultados de la encuesta y entrevistas a colaboradores

| Preguntas a los colaboradores | Emp 1 | Emp 2 | Emp 3 | Emp 4 | Emp 5 | Emp 6 | Emp 7 | Emp 8 | Emp 9 |
|--|---|---|---|---|---|--|--|--|--|
| ¿Hace cuanto tiempo trabajas en la empresa? | casi 3 años | 1,5 años | 2 años | 1,5 años | 1 año | 6 meses | 4 meses | 9 meses | 1,5 años |
| ¿Actualmente realizas las mismas tareas que al inicio de la relación? | solamente hacia cuestiones comerciales y hoy estoy colaborando con soporte tecnico en | No, ingrese como marketing pero tambien hago cuestiones administrativas | no, estoy en I+D pero tambien en pruebas y software | no, ademas de armar los informes, tambien se reviso la informacion | no, pase por 2 posiciones antes de llegar aca | no, desde mi ingreso ya tuve un cambio de tareas | no, ademas de mi puesto colaboro con otros poryectos | si, aunque colaboro con otras areas | no, se fueron sumando mas tareas a las que tenia al inicio |
| ¿Por qué decidiste ingresar a trabajar a la empresa? | tenia potencial de crecimiento | conocia a los socios y me parecia una linda posibilidad | trabaje con uno de los socios y la idea ademas de ser interesante me permite seguir aprendiendo | lo senti como un desafio, era una empresa nueva y tenia mucho potencial | cuando vi el aviso, no solo me gusto el puesto sino lo que hacian | pude combinar lo que estudio con la practica | necesitaba un cambio y veo un gran potencial | buscaba una posicion que me permita seguir estudiando y tener experiencia y aca lo tengo | era un desafio armar un area desde cero |
| ¿Qué beneficios otorga la empresa? | prepaga, home office e idioma | almuerzo, ingles, prepaga, home office y capacitaciones | ingles, home office, almuerzo, licencia extendida de paternidad y prepaga | esquema hibrido (2 dias home), clases de ingles, y cursos de capacitacion | clases de ingles, y capacitaciones, almuerzo | ingles, almuerzo pago | ingles, homeoffice, prepaga y almuerzo, | part time, ingles, almuerzo, 2 dias home | licencia paternidad, homeoffice, almuerzos, cursos y capacitaciones, prepaga |
| ¿Consideras que hoy debería haber otros beneficios además de los actuales? | mas dias de vacaciones | incrementar los dias free, y mas dias home office | no se me ocurre ninguno | creo que estan bien, por ahí mas adelante incorporar mas dias free | mas dias home | que todos podamos hacer homeoffice | dias free o premios por rendimiento | mejoras salariales | dia free por cumpleaños |
| ¿Cuáles serian 3 factores que inciden en tu decisión de pertenecer a la empresa? | sueldo, prepaga y flexibilidad | dias home, sueldo acorde, capacitacion | dias home, flexibilidad, prepaga | seguir aprendiendo, homeoffice y premios | mas dias home, y no se mejoras salariales | home office, mejorar sueldo y las tareas | dias home, dias free | home office, flexibilidad y tarea interesante | flexibilidad, home office y sueldo |

Tabla 3 - Resumen de resultados de encuesta y entrevistas a socios

| Preguntas a los socios | socio 1 | socio 2 | socio 3 |
|---|---|--------------------------------------|---|
| ¿cuentan actualmente con un plan para el desarrollo de sus colaboradores? | si | no se, si tenemos acciones concretas | si, desde el año pasado lo evaluamos e implementamos |
| ¿Toman en consideración las distintas particularidades que poseen las personas en la empresa, para armar el plan de desarrollo? | si, sobre todo con las edades | | si, por ejemplo licencia por paternidad extendida o dias home flexible en casos particulares |
| ¿Qué beneficios poseen actualmente en la empresa? | clases de ingles, portgues, homeoffice, almuerzos | ingles, portgues, almuerzos, prepaga | son varios: homeoffice, prepaga, almuerzos, ingles, porque portgues solo los socios lo tenemos, y algunos cursos y capacitaciones pagas |
| ¿Tienen intenciones de otorgar otro tipo de beneficios? ¿Cuales? | | actualmente no | estamos evaluando otras posibilidades, pero no tenemos nada decidido aun |
| ¿Poseen indicadores para medir la rotación? ¿Toman acciones para mejorarlo? | no | no se | no, pero al ser tan poco el personal, tenemos la informacion porque nos conocemos todos |

7- CONCLUSIONES

Las empresas startups, al ser en su gran mayoría de corte tecnológico, generan un gran interés en las personas al momento de aplicar a una vacante para ingresar en ellas (como la tecnología se pone en práctica para resolver problemas actuales en las empresas), este punto es una gran ventaja competitiva que poseen las startups, pero su desconocimiento las lleva a no aprovecharlo ni expresar el potencial que poseen.

Se observa también, que las personas que ingresan a trabajar en este tipo de empresas son colaboradores que pretenden mejorar su experiencia laboral e incrementar sus conocimientos, por lo tanto, no se conforman solamente con “ingresar” sino también desean mejorar su salario y beneficios como homeoffice, flexibilidad, prepaga por mencionar algunos.

Para lograr una mejora en la retención de talentos, es importante resaltar algunos pasos importantes a tener en cuenta cuando hablamos de la gestión de las personas:

- La empresa/organización debe tener claridad respecto a las tareas, funciones y posiciones que ocupan sus colaboradores. Algunas herramientas útiles para ponerlo en práctica son los organigramas y descriptivos de puestos, dada la gran volatilidad de este tipo de organizaciones, se sugiere revisarlo cada vez que ingresa una nueva persona a la organización (perfil de puesto) y el organigrama al menos una vez al año.
- Si la organización cuenta con puestos o perfiles críticos, éstos deben estar claramente identificados.
- Analizar y actualizar periódicamente el nivel de salarios de la empresa, con la intención que sean competitivos.
- Desarrollar un programa de beneficios que sea acorde a lo que la organización se encuentra dispuesta a ofrecer y que el mismo sea valorado por todas las personas que forman parte de ella.
- Establecer una política de comunicación tanto de las revisiones salariales, como de los beneficios.

8- BIBLIOGRAFÍA

Brown, P. &. (2004). *The Mismanagement of Talent*. Oxford: Oxford University Press.

Frank, F. F. (2004). *The race for talent. Retaining and engaging workers in 21st century*. Human Resource Planning, 12-15.

Gagliardi, P. (1986). *The creation and change organizational cultures*. Organisation Studies, 11-34.

Gore, E. (2021). *La vida en las organizaciones*. Management Conocimiento.

Hatum, A. (2011). *El futuro del Talento*. Buenos Aires: Temas.

Jajamovich, M. (2019). *Agilidad en 4 estaciones*. Temas

Kucher, F. (2023, 07 23). *www.pagina12.com.ar*. Retrieved from <https://www.pagina12.com.ar/570065-argentina-primera-en-startups-innovadoras#:~:text=Argentina%20cuenta%20con%20el%20mayor,en%20etapa%20temprana%20de%20desarrollo>.

Mejias, C. (2010). *El sillón vacío*. Buenos Aires: Granica.

Melamed, A. (2012). *Empresas + humanas*. Buenos Aires: Planeta.

Prestes, P. (2021). *Retención de Talentos Jerárquicos en Empresas Constructoras de Posadas*. Posadas: Universidad Nacional de Misiones.

Ries, E. (2012). *Lean Startup*. Planeta.

www.asana.com (2024, 01 29). (M. Alonso, Producer) Retrieved from <https://asana.com/es/resources/what-is-a-startup>

www.infobae.com (2025.02.15) Retrieved from <https://www.infobae.com/economia/2023/03/18/los-unicornios-que-vienen-6-startups-argentinas-que-prometen-incluso-en-tiempos-de-crisis-tech-global/>

www.santander.com (2025,02.15) Retrieved from <https://www.santander.com/es/stories/que-es-una-startup>

Distribución de planta 4.0

Maillmann, Fernando

fmaillma@itba.edu.ar

Instituto Tecnológico de Buenos Aires (Argentina).

De Bernardez, Leopoldo

ldb@itba.edu.ar

Instituto Tecnológico de Buenos Aires (Argentina).

Fecha de recepción RIII: 29/01/2025

Fecha de aprobación RIII: 14/02/2025

RESUMEN

En este trabajo se aborda el diseño de proyectos de implantación de herramientas de captura de datos en tiempo real en planta, también conocidas como tecnologías de Internet Industrial de las Cosas (IIoT por sus siglas en inglés). Estas herramientas son fundamentales para optimizar la gestión de las operaciones industriales. Se discute que una concepción equivocada, que no considere las diferencias clave entre una distribución por proceso y una distribución por producto, puede generar una serie de dificultades que impidan la transformación de los datos obtenidos en información útil para la mejora continua. Se han encontrado diferencias muy significativas: mientras que un monitoreo inicial indicaba un OEE del 88%, la realidad, desconocida hasta entonces, reveló un valor catorce puntos inferior, situándose en el 74%. Esta brecha provoca que no se ataque correctamente la identificación y eliminación de desperdicios (mudas), dificultando la optimización del estado de resultados de la compañía. Se demostrará que la diferencia observada es consecuencia de la incorrecta imputación de retrabajos generados al realizar un seguimiento de la actividad basado en el tiempo de ocupación de los operarios, en lugar de hacerlo sobre el tiempo efectivo en producir unidades buenas de forma continua. Este estudio es de carácter descriptivo y se basó en datos empíricos obtenidos de forma asincrónica durante el año 2023. La investigación se realizó sobre una muestra representativa de una empresa manufacturera especializada en la producción de instrumentos de pesaje comercial para el mercado argentino y latinoamericano.

Palabras clave: IIoT; OEE; Operaciones; Distribución; Industria

Plant Layout 4.0

ABSTRACT

This paper addresses the design of projects for the implementation of real-time data capture tools in plants, also known as Industrial Internet of Things (IIoT) technologies. These tools are essential for optimizing the management of industrial operations. It is discussed that an erroneous conception, which does not consider the key differences between a distribution by process and a distribution by product, can generate a series of difficulties that prevent the transformation of the data obtained into useful information for continuous improvement. Very significant differences have been found: while initial monitoring indicated an OEE of 88%, the reality, unknown until then, revealed a value fourteen points lower, standing at 74%. This gap causes the identification and elimination of waste (mudas) to not be addressed correctly, making it difficult to optimize the company's income statement. It will be shown that the observed difference is a consequence of the incorrect allocation of rework generated when monitoring the activity based on the time of occupation of the operators, instead of doing so on the effective time to produce good units continuously. This study is descriptive in nature and was based on empirical data obtained asynchronously during the year 2023. The research was carried out on a representative sample of a manufacturing company specialized in the production of commercial weighing instruments for the Argentine and Latin American markets.

Keywords: IIOT; OEE; Operations; Distribution; Industry

Layout da Planta 4.0

RESUMO

Este artigo aborda o desenho de projetos para implementação de ferramentas de captura de dados em tempo real em plantas, também conhecidas como tecnologias de Internet Industrial das Coisas (IIoT). Essas ferramentas são essenciais para otimizar a gestão das operações industriais. Argumenta-se que um equívoco, que não considere as principais diferenças entre uma distribuição por processo e uma distribuição por produto, pode gerar uma série de dificuldades que impedem a transformação dos dados obtidos em informações úteis para a melhoria contínua. Foram encontradas diferenças muito significativas: enquanto o monitoramento inicial indicava um OEE de 88%, a realidade, até então desconhecida, revelou um valor quatorze pontos menor, situando-se em 74%. Essa lacuna significa que a identificação e eliminação de desperdícios (mudanças) não são tratadas adequadamente, dificultando a otimização da demonstração de resultados da empresa. Será demonstrado que a diferença observada é consequência da alocação incorreta do retrabalho gerado ao monitorar a atividade com base no tempo de ocupação dos operadores, em vez de fazê-lo com base no tempo efetivo de produção contínua de unidades boas. Este estudo é de natureza descritiva e foi baseado em dados empíricos obtidos de forma assíncrona durante o ano de 2023. A pesquisa foi realizada em uma amostra representativa de uma empresa fabricante especializada na produção de instrumentos de pesagem comerciais para os mercados argentino e latino-americano.

Palavras chave: IIOT; OEE; Operações; Distribuição; Indústria

1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia global de equipamiento, conocida internacionalmente como OEE por las siglas en inglés de Overall equipment effectiveness, es un indicador clave de actividad que resume el grado de salud operativa de una organización, ya que se define como la relación de productividad entre la fabricación real y lo que podría fabricarse idealmente (Braglia, Frosolini & Zammori, 2008). Es una forma eficaz de medir la eficiencia de una máquina, una línea de producción o la planta completa. Usualmente forma parte de los tableros de comando de mandos directivos y permite identificar, para diferentes períodos temporales, el correcto funcionamiento de la actividad (Ng Corrales, Lambán, Hernandez Korner & Royo, 2020).

En su denominador usualmente se establece un valor objetivo, el cual puede estar expresado en unidades físicas o en tiempo, mientras que en su numerador se indican las unidades buenas o tiempo efectivo logrado. Valores elevados, cercanos al cien por ciento (100%), serán interpretados como una ausencia de pérdidas, también llamadas mudas según la escuela de la manufactura esbelta, mientras que valores bajos despertarán una alarma que impulsará la toma de acciones correctivas. Ejemplos conocidos de mudas son: retrabajos, sobre procesamientos, generación de material defectuoso o scrap, paros correctivos, entre otros.

Las nuevas tecnologías, enmarcadas en el concepto de Industria 4.0 (Ng Corrales, Lambán, Hernandez Korner & Royo, 2020), han permitido que las PYMES argentinas puedan acceder con mayor rapidez y precisión al conocimiento de los distintos eventos productivos. Si bien publicaciones tales como Travesía 4.0: Hacia la transformación industrial argentina (3) indican que tan sólo una de cada diez empresas tiene implementado algún habilitador tecnológico en sus procesos en la actualidad, se estima que, para principios de 2030, la creciente competencia en los mercados globales impulse al menos una duplicación de este nivel.

Tradicionalmente, la toma de información primaria operativa de planta se efectuaba en base a planillas en papel compuestas por una serie de datos diarios, tales como la identificación por código de la orden de trabajo, seguida por la pieza a fabricar, nombre del operador, turno, cantidad producida y eventos.

Para el caso de producciones continuas con tres turnos ininterrumpidos en serie, se generaban en el mismo sentido tres hojas reporte entregadas por sus respectivos líderes de equipo a la jefatura de producción o gerente de planta. Finalmente, estos datos se volcaban a formato digital en planillas históricas para su posterior procesamiento y generación de indicadores clave (KPI). La desventaja de este método de trabajo es que retrasa la toma de decisiones del mando medio directivo hasta la mañana siguiente, lo que a menudo implica una reacción con hasta 24 horas de demora frente a la aparición de una anomalía.

La incorporación de dispositivos móviles, como tabletas con acceso a Wi-Fi, junto con software de procesamiento de datos de bajo costo, ha permitido a las pequeñas y medianas empresas replantear sus sistemas de información integrados para optimizar sus operaciones.

La baja inversión asociada a estos proyectos, acompañada por la presión accionaria de mejorar los estados de resultados, provocaron que muchas empresas argentinas pusieran sobre la mesa proyectos de recambios tecnológicos antes de lo previsto.

La toma de información operativa tiene carácter sensible, ya que en una gran parte de las organizaciones se encuentra asociada a una tasa de rendimiento productivo (TRP) que se refleja en las remuneraciones quincenales o mensuales del personal en planta. La concepción del sistema de la información integrada (SIG) lleva consigo una gran responsabilidad para la alta dirección, que deberá adecuarse a las realidades de cada actividad para que la misma pueda brindar la información más fidedigna y justa para con su personal.

El presente trabajo busca ilustrar, con un caso real, aspectos de diseño de proyecto de transformación digital que será necesario tener en cuenta para lograr el éxito en su implementación.

Para ello, se analizaron dos tipos de distribución de planta, cada uno con sus particularidades: la distribución por producto, donde la secuencia de las operaciones no es un factor crítico, y la distribución por proceso, predominante en plantas con líneas de producción continua. Un ejemplo del primer caso es un taller mecánico, mientras que dentro del segundo se encuentra una industria de bebidas, donde el proceso de llenado de envases sigue una serie de etapas definidas, desde la disposición de la materia prima hasta la

obtención del producto terminado. Las conclusiones presentadas en este trabajo buscan brindar a las PYMES argentinas una guía más clara para la toma de decisiones en la implementación de estas tecnologías.

2. MARCO TEÓRICO

La Industria 4.0 representa una transformación radical en los procesos de manufactura (Albrieu, Basco, Brest López, De Azevedo, Peirano, Rapetti & Vienni, 2019), impulsada por la integración de tecnologías avanzadas que fusionan el mundo físico con el digital. Este concepto engloba un conjunto de tecnologías, como los sistemas ciberfísicos (CPS) (Frank, Dalenogare & Ayala, 2019), Internet de las Cosas (IoT) (Aouedi, Vu, Sacco, Nguyen, Piamrat, Marchetto & Pham, 2024), la inteligencia artificial (IA) (Leng, Zhu, Huang, Li, Zheng, Zhou & Liu, 2024), la robótica avanzada (Soori, Dastres, Arezoo & Jough, 2024) y la computación en la nube (Javaid, Haleem, Singh & Sinha, 2024). Los CPS permiten monitorear y controlar procesos físicos en tiempo real, creando réplicas virtuales que facilitan la toma de decisiones descentralizada. La IA junto con IoT permite que máquinas y dispositivos se comuniquen y aprendan unos de otros, mejorando la eficiencia y reduciendo errores. La computación en la nube y el análisis de grandes cantidades de datos (Big data) (Udeh, Orieno, Daraojimba, Ndubuisi & Oriekhoe, 2024) ofrecen acceso a vastos volúmenes de información, optimizando la producción y la cadena de suministro. Estas tecnologías se combinan para crear fábricas inteligentes, donde los procesos son más flexibles, personalizados y eficientes. La Industria 4.0 no solo mejora la productividad, sino que también facilita la adaptación rápida a las demandas cambiantes del mercado, posicionándose como un pilar esencial en la evolución hacia un futuro industrial más sostenible y competitivo. El diseño de un proyecto de transformación digital en el contexto de Industria 4.0 requiere un enfoque meticuloso que considere las particularidades de la distribución de planta. Para los dos tipos de distribución consideradas en este trabajo se exploran las potenciales mejoras en la Eficiencia Global de Equipamiento (OEE) que pueden lograrse utilizando las tecnologías aplicadas en Industria 4.0.

La distribución por producto se caracteriza por la disposición de las operaciones en función de los productos fabricados y donde cada producto puede seguir rutas diferentes dentro del taller o fábrica. Este enfoque es común en entornos de manufactura flexible como talleres mecánicos. Dentro de las tecnologías de I4.0 aplicables, las que en principio muestran mayor potencial en este caso serían IoT, análisis de datos y robótica.

Esta tecnología, que también se conoce a nivel industrial como IIoT (Industrial Internet of Things) (Khan, Solvang, & Yu, 2024), se basa en la interconexión de dispositivos y máquinas dentro de un entorno industrial. Esta red de dispositivos conectados permite la recopilación, intercambio y análisis de datos en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones, la optimización de procesos y la mejora de la eficiencia operativa.

Los sensores conectados a la red envían datos con la frecuencia requerida a sistemas centralizados o a la nube, donde es posible analizarlos para identificar patrones, detectar anomalías o predecir fallos. La implementación de sensores conectados puede permitir un monitoreo en tiempo real del estado de las máquinas y herramientas, mejorando la capacidad de respuesta ante fallos y optimizando el mantenimiento preventivo.

En cuanto al análisis de datos, la recolección de datos operativos, potenciada por la utilización de recursos de IoT y su análisis mediante herramientas de machine learning, permite identificar patrones que posibilitan la mejora continua, reduciendo tiempos muertos y mejorando la calidad del producto.

Por otra parte, la integración de robots, especialmente los colaborativos (cobots) puede aumentar la flexibilidad operativa, permitiendo una reconfiguración rápida de las líneas de producción para adaptarse a las variaciones en la demanda.

En una distribución por producto, la implementación de estas tecnologías puede entonces reducir significativamente los tiempos de inactividad no planificados mediante el mantenimiento predictivo, aumentando la disponibilidad de los equipos. La calidad también se ve beneficiada por el análisis de datos en tiempo real, que permite detectar defectos de manera temprana. Sin embargo, la eficiencia del conjunto podría no mejorar tan significativamente debido a la naturaleza variable y personalizada de la producción.

Por otra parte, La distribución por proceso es común en industrias con líneas de producción continua, como la industria de bebidas, donde el producto sigue una secuencia específica de operaciones. Las tecnologías que tendrían mayor impacto positivo en este caso serían IoT, automatización y control avanzado, desarrollo de gemelos digitales (Tao, Wang & Nee, 2019) y digitalización de la cadena de suministro.

IoT permite obtener continuamente datos de los equipos. La automatización mediante controladores analógicos y PLCs integrados en sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) (Nechibvute & Mafukidze, 2024), junto con el procesamiento de la información mediante algoritmos de machine learning, permite un control preciso y adaptable de la línea de producción, optimizando cada etapa del proceso. También se pueden desarrollar herramientas de machine learning para mantenimiento predictivo aprovechando información obtenida mediante IoT.

Los gemelos digitales, particularmente útiles en plantas con distribución por proceso pueden simular la operación completa de la línea de producción, permitiendo probar cambios y simular situaciones de contingencia sin interrumpir la producción real. Esto mejora la planificación y reduce riesgos.

La digitalización de la cadena de suministro permitiría una coordinación más eficiente entre el aprovisionamiento de materias primas y la producción, asegurando el cumplimiento de la planificación y mejorando la eficiencia.

Comparando los efectos de la implementación de tecnologías de I4.0 en la OEE encontramos que, si la distribución es por producto, en principio parece posible lograr una mejora en la disponibilidad de los equipos y la calidad de los productos, pero solo un impacto moderado de la eficiencia. Por otra parte, si la distribución es por proceso podría lograrse en una mejora tanto en la disponibilidad de equipos, como en la calidad de producto y la eficiencia, resultando por lo tanto en una optimización global de la OEE.

3. EL PRODUCTO

El producto que se analiza en este trabajo responde al mercado de soluciones de pesaje electrónico, abordando tres grandes líneas de clientes: comerciales, industriales y personas.

Podemos decir que es un producto de manufactura compleja porque engloba diferentes etapas compuestas por: (1) una parte electrónica, que requiere equipamientos de manufactura con tecnología sofisticada, (2) otra parte de cableado interno en lo referido a alimentación eléctrica y comunicación y (3) piezas plásticas tercerizadas producidas mediante moldeo por inyección con herramientas propios para conformar el esqueleto de soporte para el ensamblaje del producto final.

4. EL MERCADO

La empresa bajo estudio, en adelante Empresa X, comercializa el 70% de su producción en el mercado local y exporta el 30% restante a países de Latinoamérica, con Brasil y México como principales destinos. Dado el alto nivel de exigencia en términos de calidad, sus soluciones deben cumplir con estrictos estándares y controles productivos para minimizar fallas eléctricas, de diseño y funcionales.

Además, las regulaciones eléctricas establecidas por la IEEE, junto con los requisitos de las normas ISO 9001 y 14001, imponen elevados estándares que deben ser cumplidos por las distintas áreas de la empresa.

5. EL PROCESO PRODUCTIVO

En la figura 1 se presenta esquemáticamente el lay Out de la planta donde se muestran los diferentes sectores operativos.

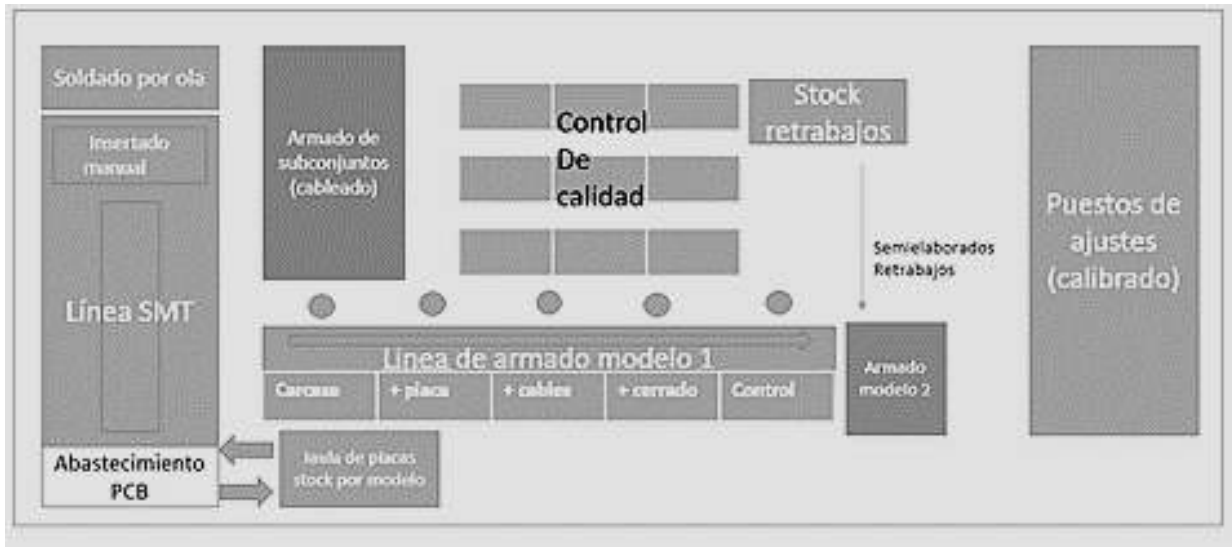


Figura 1 Lay Out de Planta

5.1 Área de soldadura

La nave productiva cuenta con un área de electrónica organizada en una línea continua de producción. El proceso inicia con el abastecimiento y almacenamiento de circuitos impresos (PCBs), diseñados previamente por el Departamento de Ingeniería y cuya fabricación es tercerizada a proveedores externos en Buenos Aires. Una vez recepcionados por el área de logística, los PCBs son sometidos a un control de calidad antes de ser utilizados en la producción.

Según el modelo y lote de fabricación, las placas son suministradas a la etapa de tecnología de montaje superficial (SMT), donde se les aplica un recubrimiento de flux, una pasta compuesta por estaño y plomo que facilita la posterior inserción de componentes electrónicos a alta velocidad (aproximadamente cinco por segundo). Estos componentes, de pequeño tamaño y peso, incluyen chips SMD, resistencias y diodos.

Para finalizar, sobre una línea continua *conveyor* los PCBs ya insertados y bañados por la mezcla de soldadura pasan a una fase de horneado a altas temperaturas, alrededor de los 250°C, para finalmente enfriarse y ser depositados en *magasines* como productos semielaborados.

Posteriormente, dichas placas procesadas por la SMT son abastecidas por los operarios del área, pasando a una siguiente etapa de inserción manual de componentes a los que llamaremos “pesados”, tales como capacitores, *switchs* de alimentación, entre otros.

La inserción manual es acompañada por la soldadura con estaño aplicada por lápices con puntas de calentamiento eléctrico. Una vez que se finaliza dicha operación con los componentes “pesados”, se pasa a una siguiente etapa llamada soldadura por olas, en donde las placas son llevadas y trasladadas por cinta continua a un baño de estaño tipo cascada para terminar de asegurar la fijación de las partes en la placa PCB.

Para finalizar, las placas son recuperadas y llevadas a estaciones de control donde los diversos circuitos son testeados en probadores equipados con programas diseñados específicamente para esta función por parte del Equipo de Ingeniería.

Una vez que se asegura que las placas funcionen correctamente, son depositadas fuera del área de soldadura en un rack compuesto por gavetas plásticas de almacenaje con separadores para ser tomadas por el sector productivo de armado de balanzas en un paso posterior.

5.2 Zona de armado de cables

El siguiente semielaborado productivo que debe ser preparado para el armado de las balanzas previamente a su ensamblaje corresponde a los cables, los cuales son de diferentes diámetros según el amperaje que deban soportar, en el caso de los de alimentación, y de diferente número de pines, para el caso de aquellos destinados a la comunicación de información a ser traducida como datos de lectura en los visores del equipo (pantalla LCD) para el cliente final.

En todos los casos, los cables se componen tanto por filamentos como terminales de diferentes tipos y modelos.

Los operarios especializados en el armado de cables seleccionan los distintos insumos almacenados en gavetas y distribuidos en sus estaciones de trabajo. Durante el ensamblaje, realizan pruebas de calidad para garantizar el correcto funcionamiento, poniendo especial atención en el crimpado de los terminales para evitar falsos contactos y asegurar la durabilidad del producto.

Una vez finalizado el proceso, los cables terminados se agrupan en cantidades estándar mediante bandas elásticas y se almacenan en gavetas destinadas a productos semielaborados, quedando listos para su posterior utilización.

5.3 Línea de armado por proceso – Producto TIPO A

El objetivo de este trabajo es analizar y distinguir dos diseños de flujo de proceso. En esta ocasión, nos enfocaremos en la línea continua de montaje para el ensamblaje de balanzas, cuya dotación de operarios puede ajustarse según el nivel de productividad requerido.

En la Empresa X, esta línea de montaje suele contar con un equipo de entre cuatro y seis operarios distribuidos de manera contigua. Cada trabajador ensambla componentes específicos según su posición en la línea, de modo que el producto se va conformando progresivamente, desde la primera estación hasta la última etapa de ajuste.

Este diseño de línea continua por proceso se aplica a los productos de mayor demanda mensual, cuya producción justifica una capacidad aproximada de 200 unidades por turno de ocho horas. En adelante, nos referiremos a este producto como TIPO A.

5.4 Estación de armado por producto – Producto TIPO B

Por otro lado, los productos TIPO B presentan un volumen de producción mensual que no justifica la inversión ni la instalación de una línea de manufactura continua. En su lugar, se organizan en lotes de producción más reducidos, con un promedio de 20 unidades por turno de ocho horas.

La distribución de este proceso se asemeja a la de un taller, donde las secuencias operativas dentro de un mismo turno pueden alternarse con otras estaciones según las necesidades de la planta en cada momento. Esto da lugar a un flujo de trabajo menos lineal y más flexible, permitiendo que, según la demanda operativa, se prioricen diferentes actividades, como la fabricación de semielaborados o el retrabajo de productos provenientes de un buffer de reparaciones o con insumos pendientes.

5.5 Puestos de ajuste y calibrado

La etapa de ajuste y calibración es una de las fases finales antes de que el producto sea considerado terminado. En esta instancia, los equipos provenientes de las líneas de ensamblaje TIPO A o TIPO B son sometidos a pruebas de funcionamiento para garantizar el cumplimiento de los estándares de pesaje exigidos por el mercado.

El proceso consiste en verificar que cada punto de contacto con el objeto a pesar—en sus diferentes esquinas y en el centro—arroje valores consistentes y precisos, expresados en kilogramos (kg) y gramos (g). Para ello, se emplean pesas cilíndricas patrón, seleccionadas según la capacidad de cada modelo, con la asistencia de una pluma mecánica que facilita su manipulación y mejora la ergonomía del operario a cargo.

Una vez completados los ajustes y la calibración, el software del equipo valida electrónicamente el procedimiento, generando automáticamente un resultado de aprobación o desaprobación del funcionamiento del dispositivo.

5.6 Control de calidad

El proceso productivo está certificado bajo normas ISO 14011 e ISO 9001.

Dentro del Manual de Calidad se exige que los equipos, una vez calibrados, sean dispuestos en buffers de estacionamiento por un período de 48 horas, de modo de poder detectar durante este tiempo posibles desperfectos eléctricos de apagado o intermitencia.

Una vez cumplido este lapso, el equipo es acondicionado en su correspondiente embalaje de cartón y partes amortiguadoras, con el fin de que no se dañe al momento de distribución y transporte al intermediario o cliente final. A su vez, es identificado por una etiqueta con su respectivo número de serie para asegurar la correcta trazabilidad (Schuitemaker & Xu, 2020).

Por otro lado, el equipo es sometido por muestreo a diferentes tipos de ensayos, dentro de los cuales los funcionales adquieren mayor relevancia.

6. ANÁLISIS DEL OEE

La eficiencia operativa se monitorea en la empresa mediante el OEE por ser un indicador clave en la gestión de operaciones. Existen dos enfoques principales para su cálculo, a saber:

6.1 Cálculo del OEE

Existen dos enfoques principales para su cálculo:

Seguimiento por unidades: se divide la cantidad de unidades buenas producidas por la cantidad teórica que debería haberse fabricado según el ciclo estándar definido.

Seguimiento por tiempo: se mide la relación entre el tiempo real consumido y el tiempo teórico requerido, generalmente expresado en minutos u horas.

La Empresa X bajo estudio eligió en una primera instancia el seguimiento por unidades.

6.2 Metodología

Los datos se obtuvieron de los registros de la empresa que fueron volcados a la base de datos en formato digital a partir de las planillas de turno. Se tomaron los datos generados durante todo el año 2023. En la Tabla 1 se detallan las [UN plan] como aquellas unidades planificadas, [UN realizadas] como las tomadas buenas según control de calidad, [UN capacidad] como la máxima cantidad de unidades standard que podrían fabricarse. Si las [UN plan] difieren de las [UN capacidad], significará que hubo parte del mes no aprovechado, por ejemplo, por falta de demanda comercial, mientras que las diferencias que se obtengan entre [UN realizadas] y [UN plan], indicarán ineficiencias en la operación, ya que hubo carga comercial, pero por algún motivo, sea productivo, humano, técnico, no se realizó lo acordado.

Según el tiempo de ciclo definido, las UN realizadas se pueden traducir en [Suma de TO], que corresponde al Tiempo Operativo insumido en realizar las piezas reales buenas y es, a fin de cuentas, el tiempo utilizado de manera efectiva. Dividiendo [Suma de TO] por el tiempo total disponible, sin considerar mantenimientos y paradas preventivas o anticipadas asumidas, dará como resultado el OEE calculado en función del tiempo en lugar de las unidades producidas.

La tabla 1 muestra los datos obtenidos en cada mes del año 2023. Se incluyen las unidades planificadas, las realizadas, la capacidad de producción, la suma de tiempo operativo (TO), los tiempos perdidos por fallas de

mantenimiento (MNTO) y por falta de abastecimiento (ABAS), así como la eficiencia porcentual según el cálculo de OEE.

Tabla 1 Resultados operativos en 2023 por mes

| Mes | UN plan | UN realizadas | UN capacidad | Suma de TO | MNTO | ABAS | RETRAB | Suma Fallas | % Tasa paros MNTO | % Eficiencia |
|-------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|----------|---------------|-------------------|--------------|
| 2023 | 51.023 | 45.017 | 61.907 | 418.134 | 7.457 | 26.708 | 0 | 34.165 | 8,17% | 88% |
| 1 | 2.782 | 2.555 | 6.493 | 36.960 | 702 | 2.365 | 0 | 3.068 | 8,30% | 92% |
| 2 | 3.346 | 2.648 | 4.719 | 26.900 | 215 | 1.695 | 0 | 1.910 | 7,10% | 79% |
| 3 | 3.480 | 2.985 | 6.565 | 33.320 | 1.133 | 2.083 | 0 | 3.215 | 9,65% | 86% |
| 4 | 4.101 | 3.522 | 5.148 | 34.572 | 1.106 | 2.143 | 0 | 3.250 | 9,40% | 86% |
| 5 | 1.914 | 1.693 | 2.771 | 31.324 | 470 | 1.723 | 0 | 2.193 | 7,00% | 88% |
| 6 | 5.947 | 5.497 | 6.136 | 31.723 | 571 | 2.062 | 0 | 2.633 | 8,30% | 92% |
| 7 | 6.194 | 5.407 | 6.486 | 46.900 | 844 | 3.283 | 0 | 4.127 | 8,80% | 87% |
| 8 | 4.212 | 3.755 | 4.360 | 40.621 | 284 | 2.640 | 0 | 2.925 | 7,20% | 89% |
| 9 | 5.310 | 4.932 | 5.490 | 37.440 | 861 | 2.059 | 0 | 2.920 | 7,80% | 93% |
| 10 | 6.114 | 5.185 | 6.178 | 38.979 | 1.130 | 2.339 | 0 | 3.469 | 8,90% | 85% |
| 11 | 5.147 | 4.758 | 5.127 | 35.498 | 248 | 3.017 | 0 | 3.266 | 9,20% | 92% |
| 12 | 2.476 | 2.080 | 2.434 | 23.897 | 96 | 1.434 | 0 | 1.529 | 6,40% | 84% |

El OEE fue elevado, con un valor promedio anual del 88% y un volumen de 45.017 unidades producidas. Es importante tener en cuenta, a modo de referencia, que valores superiores al 80% son considerados buenos a nivel industrial.

Las fallas registradas en los equipos totalizaron 7.457 minutos, mientras que los inconvenientes relacionados con el abastecimiento de insumos alcanzaron 26.708 minutos, generando paros productivos debido a la imposibilidad de continuar con las tareas en tiempo y forma.

Cabe destacar que en la columna de retrabajos [RETRAB] se registró 0 minutos. Esto se debe a que los retrabajos se realizaron en el puesto asignado a los productos TIPO B. Dado que estas actividades no interrumpieron el flujo de trabajo continuo en la línea de productos TIPO A, no fueron registradas ni consideradas como paros al calcular el OEE de dicha línea.

7. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Se considera en este trabajo el caso de una línea operando con una distribución por proceso y uno o más puestos de trabajo que tienen una distribución por producto. Para el caso en análisis la forma más eficiente de aplicar tecnologías con impacto positivo en la empresa es digitalizar las operaciones incorporando Internet de las cosas (IoT).

Para el caso en análisis se propone implementar una solución de identificación de productos en proceso utilizando códigos de barras. A cada producto se le asigna un código de barras único al inicio del proceso de producción. Este código de barras contendrá información sobre el código de producto (2 dígitos), fecha (4 dígitos), hora y minuto de fabricación (4 dígitos). En el momento en que comienza el montaje de un producto se genera una etiqueta autoadhesiva mediante una impresora de códigos de barra. La etiqueta se pega en el chasis del equipo que se está montando y lo lee el primer operario de la línea actualizando la base de datos

con la información incluida en el código. Además, ingresa su código de identificación personal y la hora de finalización de la tarea. Los códigos de barras pueden leerse en diferentes etapas del proceso. A lo largo de la línea de producción, se instalan escáneres en los puntos donde se realizan las diferentes operaciones que leerán el código de barras y actualizarán la información de la base de datos como en el primer caso. Esto permite registrar en qué etapa del proceso se encuentra cada producto. Si un producto necesita ser reprocesado, debido a un fallo o defecto detectado, la base de datos se actualizará con esta nueva información permitiendo un seguimiento continuo del estado del producto.

El sistema de identificación de códigos de barras puede integrarse con un Sistema de Ejecución de Manufactura (MES) para un control exhaustivo de la producción. Esto permite que todos los datos recopilados se almacenen y analicen, facilitando la toma de decisiones en tiempo real.

8. BENEFICIOS DE LA SOLUCIÓN PLANTEADA

Los beneficios de la solución propuesta se pueden resumir como:

- Permite rastrear cada producto desde los insumos hasta el producto terminado, incluyendo cualquier etapa de reprocesamiento.
- Minimiza los errores humanos en la identificación y clasificación de productos.
- Mejora la eficiencia del proceso al permitir una gestión más ágil y precisa de los flujos de trabajo, ya que asegura que se mantenga un control preciso sobre cada producto en cada fase del proceso de fabricación, mejorando tanto la trazabilidad como la calidad del producto final.

A partir de los datos recopilados en la base, presentados en la Tabla 1, se puede calcular el OEE en el contexto de la solución propuesta considerando tres factores clave: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad (Ullah, Molla, Siddique, Siddique & Abedin, 2023). Las ecuaciones 1 a 4 muestran cómo realizar el cálculo.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad} \quad (1)$$

La disponibilidad mide cuánto tiempo estuvo realmente disponible la máquina o el proceso para producir en comparación con el tiempo programado.

$$\text{Disponibilidad} = T_o / T_p \quad (2)$$

Siendo:

T_o el Tiempo de operación real o tiempo en que la máquina estuvo en funcionamiento.

T_p el Tiempo Programado, o tiempo total disponible para la producción.

En este caso, se debe considerar el tiempo que la máquina estuvo en producción

El rendimiento mide la velocidad a la que se produce en comparación con la capacidad máxima teórica.

$$\text{Rendimiento} = C_R / C_T \quad (3)$$

Siendo:

C_R la cantidad real producida, o el número total de unidades producidas

C_T la cantidad teórica máxima, o número de unidades que deberían haberse producido en ese tiempo, basado en la capacidad teórica de la máquina.

Calidad

La calidad mide la proporción de productos que cumplen con las especificaciones respecto al total de productos fabricados.

$$\text{Calidad} = U_B / U_T \quad (4)$$

Siendo:

U_B la cantidad de unidades buenas o productos que cumplen con las especificaciones sin necesidad de reprocesamiento.

U_T el total de unidades producidas, que incluye todas las unidades, tanto las buenas como las defectuosas que requieren reprocesamiento.

Un OEE menor al 100% significa que el sistema está funcionando por debajo de su capacidad óptima. Este indicador revela oportunidades de mejora en disponibilidad, rendimiento y calidad, y permite tomar decisiones informadas para optimizar el proceso.

9. ANÁLISIS DE OEE CON PROCESO CORREGIDO

A continuación, aplicaremos la solución propuesta para dimensionar cuál es el efecto de considerar los retrabajos como tiempo improductivo. En este sentido, aun cuando el operario esté trabajando y aprovechando su tiempo para transformar un producto defectuoso en producto terminado de la calidad esperada, a nivel de la operación general consideraremos que el tiempo utilizado es un retrabajo y no debe incluirse como tiempo operativo (TO), ya que es una tarea no deseada.

La Tabla 2 muestra los datos presentados en la Tabla 1. Incluye el tiempo utilizado en retrabajos, los que se descuentan del tiempo operativo de la línea de fabricación de producto TIPO A, ya que fueron realizados por operarios asignados a la fabricación de productos TIPO B.

Los resultados obtenidos son alarmantes, pasando de un OEE de TABLA 1 del 88% anual a 12 puntos menos en TABLA 2 del 74%. Este cálculo pone en evidencia que existen ineficiencias en la línea de productos TIPO A que quedan ocultas si el cálculo del OEE se hace en forma incorrecta.

Tabla 2 Resultados operativos 2023 corregidos

| Mes | UN plan | UN realizadas | UN capacidad | Suma de TO | MNTO | ABAS | RETRAB | Suma Fallas | % Tasa paros MNTO | % Eficiencia |
|-------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|--------------|
| 2023 | 51.023 | 45.017 | 61.907 | 353.386 | 7.457 | 26.708 | 64.288 | 98.453 | 23,55% | 74% |
| 1 | 2.782 | 2.555 | 6.493 | 31.046 | 702 | 2.365 | 5.914 | 8.981 | 24,30% | 77% |
| 2 | 3.346 | 2.648 | 4.719 | 24.614 | 215 | 1.695 | 2.287 | 4.196 | 15,60% | 72% |
| 3 | 3.480 | 2.985 | 6.565 | 28.155 | 1.133 | 2.083 | 5.165 | 8.380 | 25,15% | 73% |
| 4 | 4.101 | 3.522 | 5.148 | 28.522 | 1.106 | 2.143 | 6.050 | 9.300 | 26,90% | 71% |
| 5 | 1.914 | 1.693 | 2.771 | 25.372 | 470 | 1.723 | 5.952 | 8.144 | 26,00% | 71% |
| 6 | 5.947 | 5.497 | 6.136 | 27.123 | 571 | 2.062 | 4.600 | 7.233 | 22,80% | 79% |
| 7 | 6.194 | 5.407 | 6.486 | 38.693 | 844 | 3.283 | 8.208 | 12.335 | 26,30% | 72% |
| 8 | 4.212 | 3.755 | 4.360 | 35.137 | 284 | 2.640 | 5.484 | 8.409 | 20,70% | 77% |
| 9 | 5.310 | 4.932 | 5.490 | 32.573 | 861 | 2.059 | 4.867 | 7.788 | 20,80% | 81% |
| 10 | 6.114 | 5.185 | 6.178 | 33.327 | 1.130 | 2.339 | 5.652 | 9.121 | 23,40% | 73% |
| 11 | 5.147 | 4.758 | 5.127 | 28.753 | 248 | 3.017 | 6.745 | 10.010 | 28,20% | 75% |
| 12 | 2.476 | 2.080 | 2.434 | 20.073 | 96 | 1.434 | 3.824 | 5.353 | 22,40% | 71% |

10. CONCLUSIONES

Se ha demostrado en el presente trabajo que conceptualizar la operación de planta desde el punto de vista del tiempo de trabajo del operario es un error, que deriva en no tomar acciones correctivas sobre los efectos contrarios de destinar mano de obra a retrabajos, con su respectiva pérdida económica originados por horas de mano de obra directa no productiva en los resultados de la empresa.

Una vez corregida la configuración de la aplicación de registro de fallas utilizando recursos de IIOT como facilitador de trazabilidad de operaciones, en conjunto con las etiquetas de código de barra, se registraron a nivel anual 64.288 minutos imputados a tareas no productivas en el puesto TIPO B, distribución por producto, lo que se tradujo en corregir el valor calculado de OEE de 88% a 74%.

Cuando un operario de un puesto TIPO B realizaba tareas de retrabajo de productos TIPO A, el evento quedaba evidenciado en la base de datos por la lectura del código de barras, el que se había asignado al producto cuando se iniciaba su producción. De esta forma, el tiempo dedicado no se incluía en el tiempo operativo total de la línea. Se ajustaron las fórmulas de cálculo para diferenciar dos rendimientos: la tasa de ocupación del operario, por un lado, y la tasa de rendimiento de planta por el otro, en donde la primera toma como válido el uso de tiempo para realizar retrabajo y la segunda lo resta del numerador del KPI (OEE).

La forma de identificar un producto en estado bueno continuo, y en estado retrabajo fue asociar dichos estados al número de serie vinculados al código de barras (único).

De no haberse realizado las correcciones mencionadas, la eliminación de la causa raíz de los retrabajos se habría retrasado, asumiendo erróneamente que la operación se mantenía dentro de parámetros aceptables.

11. REFERENCIAS

- Albrieu, R., Basco, A. I., Brest López, C., De Azevedo, B., Peirano, F., Rapetti, M., & Vienni, G. (2019). Travesía 4.0: hacia la transformación industrial argentina. <https://doi.org/10.18235/0001731>
- Aouedi, O., Vu, T. H., Sacco, A., Nguyen, D. C., Piamrat, K., Marchetto, G., & Pham, Q. V. (2024). A survey on intelligent Internet of Things: Applications, security, privacy, and future directions. *IEEE communications surveys & tutorials*.
- Braglia, M., Frosolini, M., & Zammori, F. (2008). Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML) An integrated approach to assess systems performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(1), 8-29.
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). "Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies". *International journal of production economics*, 210, 15-26.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Sinha, A. K. (2024). Digital economy to improve the culture of industry 4.0: A study on features, implementation and challenges. *Green Technologies and Sustainability*, 100083.
- Khan, N., Solvang, W. D., & Yu, H. (2024). Industrial Internet of Things (IIoT) and Other Industry 4.0 Technologies in Spare Parts Warehousing in the Oil and Gas Industry: A Systematic Literature Review. *Logistics*, 8(1), 16.
- Leng, J., Zhu, X., Huang, Z., Li, X., Zheng, P., Zhou, X. & Liu, Q. (2024). Unlocking the power of industrial artificial intelligence towards Industry 5.0: Insights, pathways, and challenges. *Journal of Manufacturing Systems*, 73, 349-363.
- Nechibvute, A., & Mafukidze, H. D. (2024). Integration of scada and industrial iot: Opportunities and challenges. *IETE Technical Review*, 41(3), 312-325.
- Ng Corrales, L. D. C., Lambán, M. P., Hernandez Korner, M. E., & Royo, J. (2020). "Overall equipment effectiveness: Systematic literature review and overview of different approaches". *Applied sciences*, 10(18), 6469.
- Schuitemaker, R., & Xu, X. (2020). "Product traceability in manufacturing: A technical review". *Procedia cirp*, 93, 700-705.
- Soori, M., Dastres, R., Arezoo, B., & Jough, F. K. G. (2024). Intelligent robotic systems in Industry 4.0: A review. *Journal of Advanced Manufacturing Science and Technology*, 2024007-0.

- Tao, F., Qi, Q., Wang, L., & Nee, A. Y. C. (2019). "Digital twins and cyber–physical systems toward smart manufacturing and industry 4.0: Correlation and comparison". *Engineering*, 5(4), 653-661.
- Udeh, C. A., Orieno, O. H., Daraojimba, O. D., Ndubuisi, N. L., & Oriekhoe, O. I. (2024). Big data analytics: a review of its transformative role in modern business intelligence. *Computer Science & IT Research Journal*, 5(1), 219-236.
- Ullah, M. R., Molla, S., Siddique, I. M., Siddique, A. A., & Abedin, M. M. (2023). "Optimizing performance: a deep dive into overall equipment effectiveness (OEE) for operational excellence". *Journal of industrial mechanics*, 8(3), 26-40.

Un viñedo en la Patagonia austral: Desafiando al clima en Viñas del Nant y Fall

Trabajo Final de Especialización en Gestión de la Tecnología y la Innovación (UNMDP).

Berardi, María Betina

bberardi@fi.mdp.edu.ar

Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina).

Fecha de recepción RIII: 23/01/2025

Fecha de aprobación RIII: 02/02/2025

RESUMEN

Los procesos productivos en agricultura y ganadería han estado desde siempre condicionados por las características del suelo, el clima, las fuentes de irrigación y la variedad y naturaleza del ecosistema circundante. Si bien en algunas regiones privilegiadas del planeta, la naturaleza es tan pródiga que los cultivos se desarrollan con facilidad, en la mayoría de los casos, el hombre ha tenido que recurrir a su ingenio para lograr que los cultivos sean viables y sostenibles en el tiempo. En lo que se refiere a la producción de viñedos, la especie *Vitis vinifera* tiene preferencias específicas por suelos con buen drenaje, balance adecuado de nutrientes, clima templado y seco, lluvias suficientes, pero no muy frecuentes, y abundante iluminación solar. En Argentina, los viñedos se desarrollan en las regiones de suelos semiáridos y temperaturas entre cálidas y templadas, desde la provincia de Río Negro hasta Salta, existiendo viñedos exitosos en algunos microclimas, incluso en la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires. En la Patagonia, donde los suelos apropiados son abundantes, el clima frío y las heladas impiden el desarrollo de los viñedos tradicionales. Hay viñedos importantes en el valle entre los ríos Negro y Colorado, pero más al sur, el clima no es favorable para el cultivo. El caso Nant y Fall se trata de un emprendimiento pionero en las afueras de Trevelin, provincia de Chubut, en el cual se desarrolló un viñedo viable mediante la incorporación de tecnología de detección y protección contra heladas.

Palabras Claves: viñedo, innovación por adquisición de tecnología, control de heladas, riego por aspersión.

A vineyard in southern Patagonia: Challenging the climate at Viñas del Nant y Fall.

Final Specialization Project in Technology and Innovation Management (UNMDP).

ABSTRACT

Production processes in agriculture and livestock have always been conditioned by the characteristics of the soil, the climate, the sources of irrigation and the variety and nature of the surrounding ecosystem. Although in some privileged regions of the planet, nature is so bountiful that crops are grown with ease, in most cases, man has had to resort to his ingenuity to ensure that crops are viable and sustainable over time. As far as vineyard production is concerned, the *Vitis vinifera* species has specific preferences for soils with good drainage, an adequate balance of nutrients, a temperate and dry climate, sufficient but not very frequent rainfall, and abundant sunlight. In Argentina, vineyards are grown in regions with semi-arid soils and temperatures between warm and temperate, from the province of Rio Negro to Salta, with successful vineyards existing in some microclimates, including on the Atlantic coast of the province of Buenos Aires. In Patagonia, where suitable soils are abundant, cold weather and frost prevent the development of traditional vineyards. There are important vineyards in the valley between the Negro and Colorado rivers, but further south, the climate is not favorable for cultivation. The Nant and Fall case is about a pioneering venture on the outskirts of Trevelin, Chubut province, where a viable vineyard was developed by incorporating frost detection and protection technology.

Keywords: vineyard, innovation through technology acquisition, frost control, sprinkler irrigation.

Um vinhedo no sul da Patagônia: desafiando o clima em Viñas del Nant y Fall

Projeto Final de Especialização em Gestão de Tecnologia e Inovação (UNMDP).

RESUMO

Os processos de produção na agricultura e pecuária sempre foram condicionados pelas características do solo, do clima, das fontes de irrigação e da variedade e natureza do ecossistema envolvente. Embora em algumas regiões privilegiadas do planeta a natureza seja tão pródiga que as culturas crescem com facilidade, na maioria dos casos, o homem teve que recorrer ao seu engenho para tornar as culturas viáveis e sustentáveis ao longo do tempo. No que diz respeito à produção de vinha, a espécie *Vitis vinifera* tem preferências específicas por solos bem drenados, equilíbrio adequado de nutrientes, clima temperado e seco, precipitação suficiente mas não muito frequente e luz solar abundante. Na Argentina, os vinhedos se desenvolvem em regiões com solos semiáridos e temperaturas quentes a temperadas, desde a província de Rio Negro até Salta, existindo vinhedos de sucesso em alguns microclimas, inclusive na costa atlântica da província de Buenos Aires. Na Patagônia, onde os solos adequados são abundantes, o clima frio e as geadas impedem o desenvolvimento dos vinhedos tradicionais. Existem importantes vinhedos no vale entre os rios Negro e Colorado, mas mais ao sul o clima não é favorável ao cultivo. O caso Nant e Fall trata de um empreendimento pioneiro nos arredores de Trevelin, província de Chubut, no qual foi desenvolvido um vinhedo viável incorporando tecnologia de detecção e proteção contra geadas.

Palavras chave: vinha, inovação através de aquisição de tecnologia, controle de geadas, rega por aspersão.

1. INTRODUCCIÓN

El 11 de diciembre de 2024 el Ing. Daniel Toffetti realizó la defensa de su Trabajo Final de la Especialización en Gestión de la Tecnología y la Innovación, dictada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata. El título del trabajo es “Un viñedo en la Patagonia austral: Desafiando al clima en Viñas del Nant y Fall”. La dirección estuvo a cargo de la Esp. Ing. María Betina Berardi y su jurado evaluador compuesto por Dr. Ing. Mario Cisneros y la Mg. Ing. María Victoria D’Onofrio, pertenecientes al Departamento de Ingeniería Industrial.

El objetivo del Trabajo Final del Ing. Toffetti fue estudiar el impacto innovador que tiene la implementación de una tecnología para la detección y control de heladas mediante riego por aspersión del pequeño viñedo enoturístico Nant y Fall, ubicado en la Patagonia Argentina. Este viñedo forma parte de una finca que combina diversas actividades, incluyendo una hostería, un restaurante, un camping y la venta de productos regionales. Situada en las afueras de Trevelin, en el noroeste de la provincia de Chubut, la región presenta condiciones climáticas que, debido a las frecuentes heladas a lo largo del ciclo productivo de la vid, no son naturalmente favorables para la viticultura.

Las indagaciones del Ing. Toffetti determinaron que, durante la etapa de evaluación de la viabilidad del viñedo, se consideró que la región enfrenta heladas recurrentes a lo largo de todo el ciclo productivo de la vid, que abarca desde la primavera hasta principios del otoño, coincidiendo con la temporada de cosecha. Estas heladas pueden incluso presentarse en pleno verano. Aunque la frecuencia e intensidad de las heladas varían cada año, se estimó que, para garantizar un margen de seguridad, era necesario calcular un promedio de aproximadamente 30 heladas por ciclo de producción. Las heladas pueden clasificarse en diferentes tipos, cada uno con impactos específicos dependiendo de su intensidad y la etapa del ciclo en que ocurran.

El Ing. Toffetti expone que la solución tecnológica adoptada es el riego por aspersión como método activo de control “anti-heladas”. Se basa en el aporte de grandes cantidades de agua que recubre la planta que al enfriarse disipa el calor que calienta el ambiente y además se mantiene a 0° C hasta que se congela, manteniendo al cultivo a baja temperatura, pero sin llegar a la congelación.

2. DESARROLLO

De acuerdo con la investigación desarrollada por el Ing. Toffetti, el riego por aspersión es una de las alternativas de control de heladas más económicas, ya que el consumo de energía del sistema de bombas y aspersores es considerablemente menor al que normalmente consumen los sistemas que utilizan calentadores, ventiladores y otros equipos eléctricos.

El control de heladas se basa en el principio de liberación de calor durante la fusión para mantener la temperatura de la planta en 0 °C. En esencia, cuando la temperatura del aire alrededor de las plantas desciende por debajo del punto de congelación, el agua comienza a solidificarse y forma cristales, liberando cerca de 80 calorías de calor por cada gramo de agua que se congela. Este hielo que se forma alrededor de la planta actúa como un aislante parcial, protegiéndola de las bajas temperaturas externas.

El riego por aspersión presenta algunas ventajas características con respecto a otros sistemas de control de heladas tales como que en general el consumo de agua requerido es menor que en cualquier otro de los métodos que utilizan agua, y especialmente mucho menor que el consumo de agua del método por inundación; es mucho más adaptable a los terrenos irregulares; permite también controlar la cantidad de agua que se brinda a las plantas con una dosificación precisa y, en cultivos donde no se requiere que la producción no sea orgánica, por ejemplo si el cultivar no está dedicado a una variedad comestible, este sistema permite la aplicación de productos fitosanitarios, fertilizantes y compuestos anti-heladas.

El Ing. Toffetti señala que, para llevar a cabo este proyecto, fue imprescindible contar con diversos recursos técnicos y logísticos. En primer lugar, se utilizó maquinaria pesada para acondicionar el terreno, lo que incluyó la remoción de grandes piedras, nivelación del suelo y excavación de zanjas para instalar tuberías de riego y otros sistemas, tareas que en su mayoría fueron subcontratadas. Posteriormente, la instalación del sistema de riego se realizó con el apoyo de personal técnico especializado proporcionado por la empresa proveedora de los componentes principales, quienes aportaron su experiencia y conocimiento en este tipo de implementaciones.

Por otra parte, menciona que se realizó una evaluación de la calidad de suelo, que se considera un estudio de factibilidad, en el cual se encargó un análisis de la composición química y presencia de minerales y nutrientes claves para un emprendimiento agrícola de este tipo. Además, se realizó una estimación de la disponibilidad de agua a lo largo del año, tanto pluvial como la que proviene del cauce del arroyo Nant y Fall, de donde toma el nombre la finca, así como del impacto del consumo de agua que agregaría a las instalaciones de la finca la implementación del cultivo.

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El Ing. Toffetti concluye que varios factores han contribuido al éxito de la finca. Por un lado, la visión y el sueño de los emprendedores han sido fundamentales para impulsar el proyecto. Por otro, la implementación exitosa de una tecnología innovadora, adecuada para resolver los desafíos de la región, ha sido clave.

Además, señala que el arduo trabajo diario dedicado al cuidado de las vides ha desempeñado un papel crucial. Gracias a esta combinación de elementos, la finca ha alcanzado en 2024 su 8ª cosecha.

Sus tres hectáreas cultivadas producen anualmente 12.000 botellas de vino de alta calidad, cuya demanda supera la capacidad de producción actual. Sin embargo, este resultado tiene expectativas de mejora, ya que al madurar la totalidad de las vides plantadas más recientemente, se espera poder aumentar la producción hasta llegar a unas 20 mil botellas anuales.

Finalmente, considero que resulta fundamental resaltar el valor de haber desarrollado el Trabajo Final de la Especialización en Gestión de la Tecnología y la Innovación enfocado en un viñedo que implementó el riego por aspersión como solución al problema de las heladas en la región. Su importancia radica en que permite profundizar en el análisis de los desafíos y oportunidades que enfrentan los productores al incorporar tecnologías innovadoras en entornos con condiciones climáticas adversas. Además, proporciona una base sólida para diseñar estrategias y soluciones que promuevan la mejora continua y el uso eficiente de tecnologías adaptadas al contexto.

Los resultados y recomendaciones obtenidos no solo enriquecen el conocimiento académico y profesional, sino que también pueden contribuir a la toma de decisiones y a la formulación de políticas que beneficien al sector vitivinícola y a otros emprendimientos locales.

4. REFERENCIAS

Toffetti, D. (2024). Un viñedo en la Patagonia austral: Desafiando al clima en Viñas del Nant y Fall. [Tesis de Especialización]. Universidad Nacional de Mar del Plata.

Transformación Digital y Mejora de Procesos en Comercio Electrónico: Caso de Estudio de una PYME de productos regionales de Mar del Plata

Trabajo Final de la Carrera de grado Ingeniería Industrial (UNMDP).

Mariela Beatriz Ambrústolo

ambrus@fi.mdp.edu.ar

Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina).

RESUMEN

El comercio electrónico se ha convertido en un factor clave para la transformación y crecimiento de las pymes a nivel global. En este contexto, la investigación realizada por Manuel Fernández Montero y Bautista Gende, estudiantes de ingeniería industrial en la Universidad Nacional de Mar del Plata aborda los desafíos operativos de Zizou Mates, una pyme que ha experimentado un crecimiento exponencial en las ventas en línea. Utilizando herramientas de ingeniería industrial para el análisis del mercado, de los clientes y de los procesos internos, identificaron problemas como la falta de digitalización en la gestión de pedidos y la ausencia de indicadores clave de desempeño. Para ello, propusieron soluciones basadas en tecnología, incluyendo un sistema integral en Google Sheets, reingeniería de procesos y optimización del control de calidad. Este estudio refleja la importancia del comercio digital en la competitividad de las empresas en un entorno globalizado, donde la digitalización, la mejora continua y el análisis de datos son esenciales para la sostenibilidad y el éxito en mercados dinámicos y exigentes.

Palabras Claves: E-commerce, pymes, transformación digital, mejora de procesos, gestión de calidad.

Digital Transformation and Process Improvement in E-Commerce: Case Study of an SME Specializing in Regional Products from Mar del Plata
Final Project for the Industrial Engineering Degree (UNMDP).

ABSTRACT

E-commerce has become a key factor in the transformation and growth of SMEs globally. In this context, the research conducted by Manuel Fernández Montero and Bautista Gende, industrial engineering students at the National University of Mar del Plata, addresses the operational challenges of Zizou Mates, an SME that has experienced exponential growth in online sales. Using industrial engineering tools to analyze the market, customers, and internal processes, they identified issues such as the lack of digitalization in order management and the absence of key performance indicators. To address these challenges, they proposed technology-based solutions, including an integrated system in Google Sheets, process reengineering, and quality control optimization. This study highlights the importance of digital commerce in enhancing business competitiveness in a globalized environment, where digitalization, continuous improvement, and data analysis are essential for sustainability and success in dynamic and demanding markets.

Keywords: E-commerce, SMEs, Digital transformation, Process improvement, Quality management

Transformação Digital e Melhoria de Processos no Comércio Eletrônico: Estudo de Caso de uma PME de Produtos Regionais de Mar del Plata
Trabalho Final da Graduação em Engenharia Industrial (UNMDP).

RESUMO

O comércio eletrônico tornou-se um fator fundamental para a transformação e o crescimento das PMEs em nível global. Nesse contexto, a pesquisa realizada por Manuel Fernández Montero e Bautista Gende, estudantes de engenharia industrial da Universidade Nacional de Mar del Plata, aborda os desafios operacionais da Zizou Mates, uma PME que experimentou um crescimento exponencial nas vendas online. Utilizando ferramentas de engenharia industrial para analisar o mercado, os clientes e os processos internos, eles identificaram problemas como a falta de digitalização na gestão de pedidos e a ausência de indicadores-chave de desempenho. Para enfrentar esses desafios, propuseram soluções baseadas em tecnologia, incluindo um sistema integrado no Google Sheets, a reengenharia de processos e a otimização do controle de qualidade. Este estudo destaca a importância do comércio digital na competitividade das empresas em um ambiente globalizado, onde a digitalização, a melhoria contínua e a análise de dados são essenciais para a sustentabilidade e o sucesso em mercados dinâmicos e exigentes.

Palavras chave: Comércio eletrônico, PMEs, Transformação digital, Melhoria de processos, Gestão da qualidade

1. INTRODUCCIÓN

En el marco de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Mar del Plata, los estudiantes Manuel Fernández Montero y Bautista Gende han desarrollado su trabajo final de grado que se distingue por su profundidad analítica y su aplicabilidad real en el contexto empresarial de las pymes. El mismo ha sido defendido en la Facultad de Ingeniería el 26 de noviembre de 2024, siendo la directora la Ing. Mariela Ambrústolo y su codirectora la Ing. Mercedes Cabut. El trabajo fue calificado como sobresaliente por los evaluadores, el Dr. Adolfo E. Onaine y el Ing. Joaquín Negri. Esta investigación se centra en el caso de Zizou Mates, una empresa local que ha experimentado un crecimiento significativo en el comercio electrónico, enfrentando nuevos desafíos operativos y de gestión.

Un aspecto destacable de este trabajo es que uno de los autores es emprendedor y socio de la pyme en estudio, lo que ha permitido un análisis integral desde una perspectiva interna y externa. Esta doble visión enriquece el diagnóstico y las propuestas de mejora, ya que combina el conocimiento académico con la experiencia práctica. La combinación de estos factores permitió que las conclusiones y recomendaciones de la tesis no solo sean teóricamente sólidas, sino también de fácil implementación en el contexto real de la organización. Esta característica posibilitó el desarrollo y evaluación de la mayoría de las acciones propuestas generando resultados de análisis sobre los planes desarrollados.

El comercio electrónico ha adquirido una relevancia crucial para las pymes en Argentina, representando una oportunidad de crecimiento y expansión sin precedentes. La posibilidad de llegar a clientes en todo el país sin las limitaciones geográficas del comercio tradicional ha permitido a muchas pequeñas y medianas empresas aumentar su volumen de ventas y diversificar su mercado objetivo. Además, el uso de plataformas digitales ha facilitado la implementación de estrategias de marketing más eficaces y económicas en comparación con los canales publicitarios convencionales.

El comercio electrónico brinda una alternativa resiliente y escalable, especialmente para empresas cuyo público objetivo es nativo de las diferentes aplicaciones y redes digitales. Sumado a esto, la posibilidad de implementar sistemas de comunicación, seguimiento, pago electrónico y logística eficiente contribuye a una mejor experiencia del cliente y a una mayor fidelización.

El auge del comercio electrónico en Argentina impulsado por los cambios en los hábitos de consumo, especialmente tras la pandemia de COVID-19 ha sido un rasgo presente en la empresa caso de estudio. Los consumidores han adoptado con mayor facilidad la compra en línea, exigiendo a las empresas una presencia digital sólida y un servicio de calidad. En este sentido, las pymes que han sabido adaptarse a esta transformación han logrado mejorar su competitividad, incorporando tecnologías innovadoras que optimizan su gestión y operación.

Sin duda, el comercio electrónico no solo representa una herramienta de crecimiento, sino también un factor clave para la sostenibilidad a largo plazo. La capacidad de analizar datos en tiempo real, personalizar ofertas y adaptarse rápidamente a las tendencias del mercado les permite responder con agilidad a los desafíos y oportunidades del entorno digital. La digitalización de los procesos, la integración de plataformas de gestión y la mejora en la atención al cliente son algunos de los aspectos que han demostrado ser fundamentales para el éxito de las pymes en este nuevo ecosistema comercial.

Estos desafíos son los abordados por el Trabajo Final de carrera titulado "Propuesta de mejora para una pyme del rubro de artículos regionales en los procesos vinculados al comercio electrónico" objeto de esta reseña.

La metodología utilizada por los estudiantes en este proyecto final se basa en un diagnóstico exhaustivo de la situación actual de la empresa. Para ello, los autores han aplicado diversas herramientas de la

ingeniería industrial, incluyendo el análisis de mercado mediante el modelo CANVAS, la matriz de perfil competitivo y las cinco fuerzas de Porter. Además, se ha realizado un estudio interno de la organización, abordando aspectos como la estructura organizacional, los procesos productivos y la gestión de la calidad.

Este enfoque integral ha permitido identificar una serie de problemas que afectan la eficiencia operativa de la empresa. Entre ellos, se destacan la falta de digitalización en la gestión de pedidos, lo que genera demoras en la producción y entrega de productos, la ausencia de indicadores de gestión clave para la toma de decisiones y la falta de procedimientos estandarizados para la operación y la resolución de no conformidades. La empresa también enfrenta desafíos en la gestión de stock, ya que no cuenta con un sistema eficiente que permita predecir la demanda y reducir costos operativos innecesarios.

Uno de los principales problemas identificados por los autores es la falta de digitalización y trazabilidad en la gestión de pedidos, lo que afecta la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente. Como respuesta a esta problemática, los estudiantes desarrollaron una solución innovadora basada en un sistema integral en Google Sheets, con diferentes módulos el cual permite optimizar el control de pedidos, stock, producción y no conformidades. Esta propuesta no solo mejora la gestión interna de la empresa, sino que también proporciona indicadores clave para la toma de decisiones estratégicas.

Además de la implementación de herramientas digitales, los estudiantes propusieron una reingeniería de los procesos productivos y administrativos de la empresa. Se llevaron a cabo entrevistas con el personal para identificar cuellos de botella en la operación diaria y se analizaron los tiempos de producción para mejorar la eficiencia. Como resultado, se propusieron cambios en la distribución de tareas, mejoras en el control de calidad y nuevas estrategias para la atención al cliente.

Otra de las fortalezas del trabajo es la utilización de metodologías de mejora continua. Se proponen acciones concretas como la reingeniería de subprocesos, la definición de procedimientos estandarizados y la implementación de una nueva estructura organizacional. Estas iniciativas están alineadas con los principios de la gestión de la calidad y buscan garantizar la sostenibilidad del crecimiento de la empresa en el tiempo. Se plantea, además, un plan de capacitación para los empleados, con el objetivo de que puedan adaptarse a los nuevos procesos y mejorar la eficiencia de sus tareas.

Uno de los aspectos más destacados del trabajo es la implementación de indicadores clave de desempeño (KPIs) para monitorear la evolución de las mejoras propuestas. Entre estos indicadores se incluyen la tasa de cumplimiento de pedidos en tiempo y forma, el porcentaje de no conformidades detectadas y corregidas, y el nivel de satisfacción del cliente. Estos KPIs permiten evaluar de manera objetiva el impacto de las mejoras implementadas y realizar ajustes en función de los resultados obtenidos.

Desde el punto de vista de la ingeniería industrial, este trabajo constituye un ejemplo sobresaliente de aplicación del conocimiento académico a la realidad empresarial. La combinación de herramientas de análisis, la comprensión profunda del contexto de la pyme y la propuesta de soluciones pragmáticas hacen de este trabajo un valioso aporte tanto para la empresa en cuestión como para el campo de estudio de la ingeniería industrial.

Finalmente, este proyecto demuestra la capacidad de los futuros ingenieros industriales para enfrentar desafíos complejos, adaptarse a entornos dinámicos y contribuir al desarrollo de las pymes a través de soluciones innovadoras y sostenibles. El compromiso y la rigurosidad demostrada por los autores evidencian la relevancia de la formación académica en la generación de impacto positivo en el sector productivo. Adicionalmente, esta investigación deja abierta la posibilidad de futuras mejoras en la empresa, como la implementación de software de gestión más sofisticado o el desarrollo de estrategias de expansión del negocio a mercados internacionales.

2. REFERENCIAS

Fernández Montero, M. y Gende, B. (2024). Propuesta de mejora para una pyme del rubro de artículos regionales en los procesos vinculados al comercio electrónico. [Proyecto Final de la carrera Ingeniería Industrial]. Universidad Nacional de Mar del Plata.