

COW DUNG SUCH AS RENEWABLE ENERGY SOURCE

Fernanda Magos-Chávez¹, Donaji Jiménez-Islas^{1,4} * and Miriam E. Pérez-Romero^{2,3}

¹TecNM/ ITS Huichapan, Renewable Energy Division, 42411 Hidalgo, Mexico

²TecNM/ ITS Huichapan, Business Management Division, 42411 Hidalgo, Mexico

³The International Doctoral School, Doctoral Program in Sustainable Territorial Development (R015), The University of Extremadura, 06006 Badajoz, Spain.

⁴Doctoral Program in Sustainable Territorial Development (R015), The International Doctoral School, University of Extremadura, 06006 Badajoz, Spain

* Correspondence: djimenez@iteshu.edu.mx

ABSTRACT

The energy required to maintain people's comfort and productive activities is limited by the availability of fossil energy. The extraction, refining, transport and use of fossil fuels has enabled the development of new forms of energy such as biofuels. Materials such as cow dung have been explored as a source of solid biofuel with the potential to supply energy needs in cookers, and several studies have been developed to identify the advantages and disadvantages of its combustion. The aim of this article is to describe through bibliometric indicators the evolution of publications related to cow dung as a renewable energy source in the period 2020 to 2023, using the Scopus database. VOSviewer and Power BI were used to make the maps that show the information in a visual form. The results indicate that India is the country that contributes the most in publications related to cow dung as a raw material for renewable energy sources, in addition to the fact that the topic of pollutant emissions and health problems associated with exposure to combustion emissions is emerging as a new line of research. Also, the authors publish in journals with an impact factor within quartile 1 and 2. The study allows to establish the evolution and future directions of the energy field concerning the feedstock cow dung, providing information for researchers, students, decision-makers in the energy sector and environmental stakeholders.

INTRODUCTION

Today, humanity continues to depend mainly on fossil fuels derived from petroleum and the dependence is approximately 80% of total world energy demand [1-4]. Pollution from fossil fuels is a problem that affects human health and the environment. Fossil fuels, such as oil, natural gas and coal, are responsible for most greenhouse gas emissions, which contribute to global warming. Widespread dependence on fossil fuels has led to resource scarcity and energy instability in countries, with consequences for the economy and energy independence. In the face of current energy challenges, developing renewable and sustainable energy sources such as solar energy, wind energy, hydropower and biomass energy has been identified as a priority to reduce dependence on fossil fuels and mitigate the negative effects of pollution.

The use of biomass resources for biofuel production has attracted worldwide attention from researchers in the field of renewable technology [5]. The energy source from biofuels is considered environmentally friendly and can meet energy needs [6], biofuels can be in gaseous, solid and liquid form and can be obtained directly or indirectly from different materials [7-9]: *a)* vegetable oils for methanol production, *b)* animal fats for jet fuels [10], *c)* ethanol from sawdust (hydrolysis), *d)* biomethane from manure [11] *e)* biodiesel and biohydrogen from microalgae [12,13], *f)* pellets from wood [14], *g)* charcoal from firewood [15] and other organic wastes.

The availability of feedstocks, the treatment, production and purification process determine the potential of biofuels to be used on a commercial scale.

Animal manure is an organic waste, considered a primary raw material that has great potential for obtaining energy [16], because it contains significant amounts of carbon and also oxygen [17] and it is possible to take advantage of the waste originated by livestock farming to produce renewable energy such as biogas or implement it as organic fertilizer [18,19]. Using waste as a potential source of energy generation from the use and implementation of technologies that allow its utilization contributes to reducing waste storage and dependence on fossil fuels. As a

result, the use of organic waste in biogas production is visualized as an important source of renewable energy generation, which allows waste to be managed efficiently [20, 21].

Cows being the main generators of animal waste produce considerable amounts of manure, significantly influencing the generation of greenhouse gas (GHG) emissions. Inefficient management of bovine manure originates from environmental challenges [22, 23]. In addition, it has led to the release of harmful microorganisms, ammonia and greenhouse gas into the atmosphere, generating great concern associated with environmental pollution [24-26]. Environmental problems are associated with water pollution, production of unpleasant odors, and the presence of bacteria that harm human well-being [27, 22].

Managing manure ensures minimal impact on the environment [16, 28]. Transforming cow dung into fuel can contribute to a decrease in the use of conventional fuels, generate benefits by producing material with a high added value from residual biomass and can provide a solution to the problem of solid waste production and management. This purpose is aimed at creating a society that saves resources and practices recycling [2, 29].

The need for affordable energy from local resources has led to the use of raw materials without the need for prior treatment, such as the use of manure for biodigestion and the burning of dried manure cakes. Some authors have produced briquettes from cow dung as a material for gasification in stoves to obtain syngas [30]. In countries such as Nepal, South Africa and India, cow dung is an energy source used to heat people's domestic cookers [31, 32]. Technology integration has also been an option explored by the authors, in which they incorporate cow dung biogas-solar thermal-kinetic energy as hybrid energy systems [33].

Although the energy potential of cow dung has been reported by multiple authors, mostly as a promising source of biogas generation through the process of biodigestion, there is an area of knowledge that needs to be explored and is of relevance because it has been used as a combustion material in household cookers in some remote areas, when the gasification can also be considered as a viable option [34].

The consumption of domestic energy from cow dung has disadvantages in the health of people who do not have an adequate stove for combustion, where problems arise because the dung generates a high concentration of CO emissions compared to other materials such as firewood and agricultural residues [35]. Also, biohydrogen production through anaerobic fermentation with cow dung microorganisms has also been documented [36].

The development of research in the field of energy through raw materials such as cow dung has been reported, it is important to know the evolution of research using bibliometric tools. The following research questions were posed for this work: RQ1: In the field of renewable energy utilizing cow dung, what is the ideal document type for authors to submit their articles and how does it relate to citations? RQ2: How did the quest for cow dung and renewable energy evolve and change between 2000 and 2023? RQ3: What potential paths may the nation's research take in the future in connection to this topic? RQ4: How do citations to articles in the scientific community relate to the quartiles in which journals are positioned? RQ5: Which countries and prominent writers are involved in the fields of cow dung and renewable energy? RQ6: What keywords do authors employ in their articles, and how has author participation in the area changed over time? The goal of this study was to evaluate the trends in the literature on cow dung as a renewable energy source by employing bibliometric data analysis from 2000 to 2023 using the Scopus database.

MATERIALS AND METHODS

DATA

The Scopus database, emerged in 2004 by Elsevier [37-39], is one of the most recognized platforms and largely employed by students, professionals engaged in academia and researchers [37]. In order to compare, evaluate, and objectively assess research activity, it is necessary to quantify specific features of the documentation created due to the explosion in scientific research that has occurred in all fields of knowledge, particularly in the previous few decades [40].

The bibliography on the use of cow dung as a renewable energy source from 2000 to 2023 was downloaded from the Scopus bibliographic database. According to the search for publications that had information about the topic of study and generating a restriction to filter the publications, the following terminology was used:

(TITLE-ABS-KEY ("cow dung") OR TITLE-ABS-KEY ("dung cake") AND TITLE-ABS-KEY ("fire fuel") OR TITLE-ABS-KEY ("heat*") OR TITLE-ABS-KEY ("energy") AND TITLE-ABS-KEY ("cook*") AND NOT TITLE-ABS-KEY (biogas))

Where (*) is used to acquire singular and plural versions of two of the words used in the search and quotation marks (" ") were applied to search for exact phrases. Eighty-one Scopus documents were evaluated; the data obtained were classified according to document typology without applying language limitations. The term (biogas) was excluded to discard publications related to biogas production because the research focuses on the direct use of cow dung as fuel.

The downloaded data was imported into VOSviewer software version (1.6.20). VOSviewer is a very useful software to elaborate bibliometric visualization networks; it was used in order to carry out citation analysis [41]. On the other hand, the Microsoft Power BI platform was used to complement the data analysis. This tool is a cloud platform widely used in the business environment for data analysis and visualization [42]. The software facilitates the evaluation of data because it is integrated by multiple tools that facilitate its analysis by allowing the association of information from various sources. In addition, it speeds up the elaboration of reports, dashboards, graphs and visualizations allowing the evaluation of metrics and indicators that are a key factor for business development [42].

ASSESSMENT OF PUBLICATIONS THROUGH BIBLIOMETRIC ANALYSIS

A bibliometric analysis, in particular, is performed with the aim of identifying trends and systematically analyzing the findings of relevant academic studies [43].

The analysis in VOSviewer was performed by applying the network and overlay visualizations to identify the clustering of publications. The overall data analysis made use of productivity, authors, keywords, organizations, thematic research areas, countries and journals.

Maps were created with VOSviewer to identify co-occurrence and co-authorship, representing a systematic visualization of collaborations between authors, countries and institutions at the international level. The representation of the maps is based on labels and circles, in the visualization the weight or importance of the elements is designated by the prominence or dimension of the circle [44-45]. According to VOSviewer, the colors shown in the chain indicate an association of grouped components and the separation distance between elements showed the strength of the bond [45, 46].

The Microsoft Power BI platform was used to relate the origins of the information and make the data visually attractive. *Chord* charts were used to present the data in the form of a matrix where the connections indicate that the entities are associated, allowing the identification of similarities. In the *Sankey* Charts, it can be identified that the information has a beginning and an end and in turn a dynamic association with intermediary data.

RESULTS

EVALUATION OF PUBLICATIONS OVER TIME, TYPE OF DOCUMENT, LANGUAGE USED AND ANNUAL CITATIONS.

In this analysis, four different types of documents were identified, comprising 81 publications oriented to the use of cow dung as a renewable energy source. Table 1 shows the classifications and publication languages of the documents.

Table 1. Classifications and languages of publication of documents

Rank	Document type	Records	% of 81	Language	Records	% of 81
1	Article	62	76.54	English	81	100
2	Conference paper	13	16.05			
3	Review	4	4.94			
4	Book chapter	2	2.47			

Source: own elaboration using Scopus database

Within the different categories, the most frequent is the article with 62 papers (76.54%), followed by 13 conference papers (16.05%), 4 reviews (4.94%) and 2 book chapters (2.47%). The evaluation identified that 100% of the papers are written in English. English is the main language of publication [47] and authors prefer to publish in English to maintain a greater reach for being read and cited.

Table 2 shows the ratio of papers per year (2000-2023), the four years with the highest number of publications were 2021 (12 publications), 2019 (9 publications), 2023 (8 publications) and 2017 (7 publications). Based on the number of citations, the four years with the highest number of citations were 2002 with 362 citations, 2016 with 308 citations, 2009 with 256 citations and 2004 with 194 citations. On the other hand, in reference to the average citations per publication (TC/TP), the most outstanding years were 2002 with 2 publications and 362 citations, followed by 2004 with 2 publications and 194 citations, 2009 with 3 publications and 256 citations and 2005 with 2 publications and 143 citations. Figure 1 shows the trends in scientific research (2000-2023) concerning bovine manure as a renewable energy source.

Table 1. List of documents by year (2000-2023) and total citations received

Year	TP	TC	TC/TP
2000	0	0	0.00
2001	0	0	0.00
2002	2	362	181.00
2003	0	0	0.00
2004	2	194	97.00
2005	2	143	71.50
2006	0	0	0.00
2007	1	40	40.00
2008	2	62	31.00
2009	3	256	85.33
2010	3	13	4.33
2011	2	70	35.00
2012	4	147	36.75
2013	1	28	28.00
2014	5	187	37.40
2015	1	47	47.00
2016	6	308	51.33
2017	7	172	24.57
2018	2	14	7.00
2019	9	157	17.44
2020	5	36	7.20
2021	12	114	9.50
2022	4	21	5.25
2023	8	6	0.75

TP= Total Publications; TC= Total Citations; TC/TP= Ratio Total Citations/Total Publications

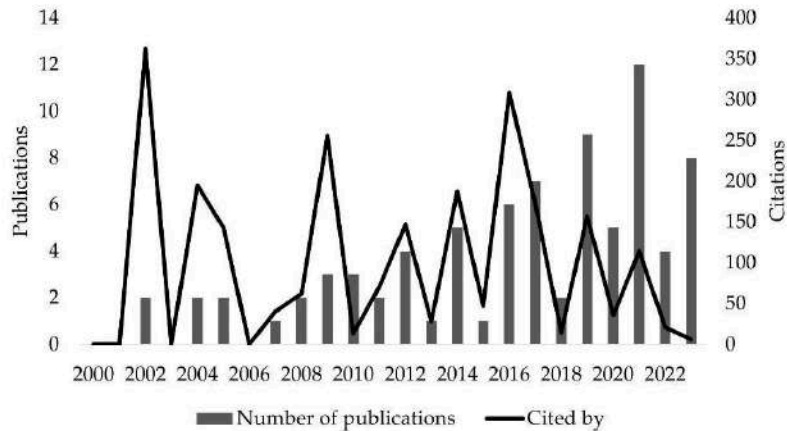


Figure 1. Time evolution of publications and total annual citations in reference to cow dung as a renewable energy source

Some authors estimate an article's merit based on how many people reference it and how often they utilize it in new publications. It is commonly accepted that one reliable indicator of an article's effect is its citation count. But because older works have a larger citation potential just by virtue of being in the public domain for a longer period of time, the citation index has come under scrutiny [48].

SCOPUS SUBJECT RESEARCH

Based on the search criteria it was identified that the papers belonged to nineteen Scopus subject areas associated with the use of cow dung as a renewable energy source, the results are shown in table 2. The top seven subject areas include Environmental Science (43; 53.09%), Energy (25; 30.86), Engineering (17; 20.99), Agricultural and Biological Sciences (14; 17.28), Earth and Planetary Sciences (11; 13.58), Medicine (11; 13.58) and Social Sciences (11; 13.58).

Table 2. Scopus subject areas related to cow dung as a renewable energy source.

Rank	Subject areas	TP	Ratio (%)
1	Environmental Science	43	27.04
2	Energy	25	15.72
3	Engineering	17	10.69
4	Agricultural and Biological Sciences	14	8.81
5	Earth and Planetary Sciences	11	6.92
6	Medicine	11	6.92
7	Social Sciences	11	6.92
8	Chemistry	4	2.52
9	Physics and Astronomy	4	2.52
10	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	3	1.89
11	Business, Management and Accounting	3	1.89
12	Chemical Engineering	3	1.89

13	Economics, Econometrics and Finance	2	1.26
14	Materials Science	2	1.26
15	Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics	2	1.26
16	Arts and Humanities	1	0.63
17	Mathematics	1	0.63
18	Multidisciplinary	1	0.63
19	Veterinary	1	0.63

TP= Total publications; R%= (Publications for each subject/159 publications in different subjects)*100

JOURNALS

According to the data obtained, the search for cow dung as a renewable energy source is present in 73 journals indexed in Scopus. Table 3 lists the top 6 journals. The three most outstanding journals with three publications each were “Atmospheric Environment”, “Biomass and Bioenergy” and “Renewable and Sustainable Energy Reviews” publishing 11.11%. Followed by “Energy for Sustainable Development” and “Conference on the Domestic Use of Energy Due 2017” with 4.93%. Each journal submitted more than one publication. The top four journals were quartile (Q1) and the next two had no quartile assigned.

Table 3. The top 6 journals with the highest relevance concerning cow dung as a renewable energy source.

Ran k	Journal	T P	Ratio (%)	IF 2022	Q
1	Atmospheric Environment	3	3.75	5	Q1
2	Biomass and Bioenergy	3	3.75	6	Q1
3	Renewable and Sustainable Energy Reviews	3	3.75	15.9	Q1
4	Energy for Sustainable Development	2	2.5	5.5	Q1
5	Proceedings of the 25th Conference on the Domestic Use of Energy Due 2017	2	2.5	0	Not yet assigned quartile
6	ASME 2010 4th International Conference On Energy Sustainability Es 2010	1	1.25	0	Not yet assigned quartile

TP= Total Publications; Ratio %= (TP/81)*100; IF= Impact Factor; Q= Quartile.

Figure 2 (Chord chart) and Figure 3 (Sankey chart) show the relationship of the main journals, associating the number of publications and the country of origin. According to the data, India was the country where most research on cow dung as a renewable energy source was developed, with 15 publications, followed by 3 publications from the United States and 1 publication each from Bangladesh, Brazil, Chile, Ethiopia, Japan and Portugal.

The relationship of the main journals and the quartile to which they belong according to the number of publications is described in Figure 4. According to the Chord chart, most of the journals (4) belong to the Q1 quartile. The Q1 quartile generates a total sum of 11 published papers and the two journals that have no quartile assigned accumulate 3 publications.

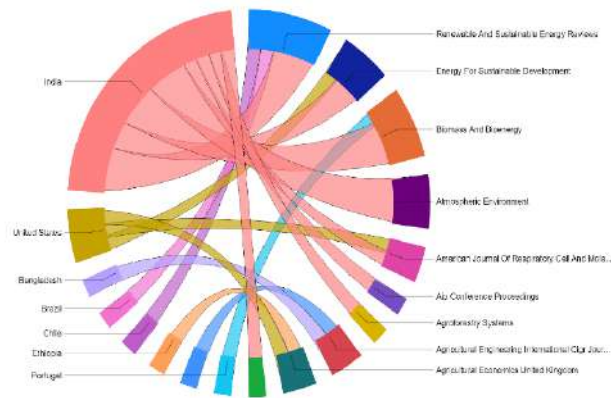


Figure 2. Chord chart of the countries that contribute with publications and that belong to the main journals related to the subject of study.

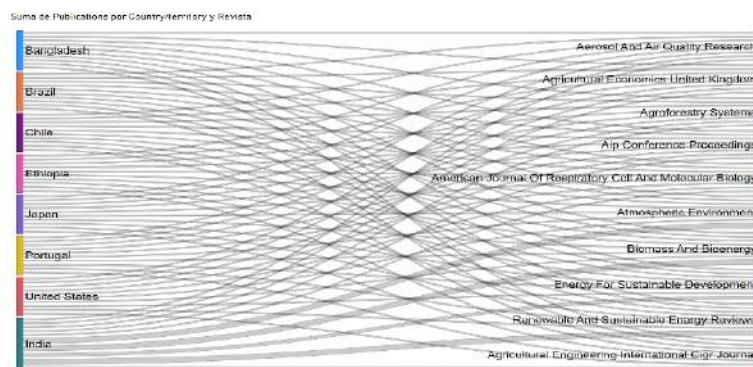


Figure 3. Sankey chart of the countries contributing publications and belonging to the main journals related to the topic of study.

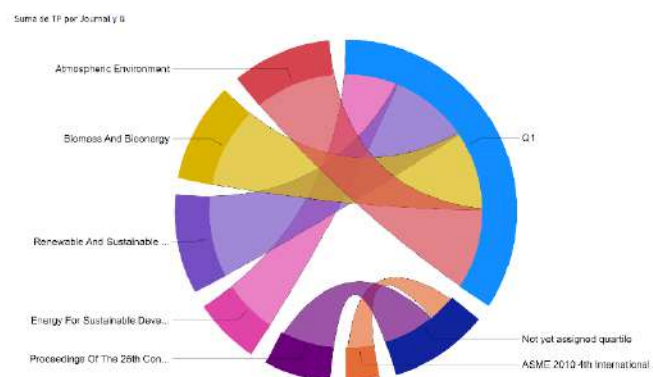


Figure 4. Chord chart of top journals and assigned quartile.

ANALYSIS OF COLLABORATION BETWEEN AUTHORS (CO-AUTHORSHIP) AND SCIENTIFIC PRODUCTION OF ORGANIZATIONS

Contributed to the development of the documents (81) and all of them had at least one contribution. The network map of the authorship analysis of cow dung as a renewable energy source is described in Figure 5. The grouping of authors in the same cluster indicates that they have addressed the same object of study and that they

collaborate closely. Information about the 19 main authors addressing the subject of study is given in Table 4, which contains the countries, number of publications, citations and organizations in the time period from 2000 to 2023.

The top five authors contributing more than two publications were Venkataraman, C., Chakrabarty, R.K., Habib, G., Mandal, T.K. and Pervez, S. The top nine authors with the most citations in their publications were identified as Venkataraman, C., Habib, G., Mottaleb, K.A., Rahut, D.B., Mandal, T.K., Sharma, S.K., Pandit, G.G., Sahu, S.K. and Tiwari, M. According to the 19 authors with the highest number of publications, fourteen are from India, three from the United States and one each from Mexico and Japan. The relationship of the authors, their country of origin and the number of publications is described by Figure 6, it can be observed that most of the authors are from India and that this is the country where more research is generated about the topic of study.

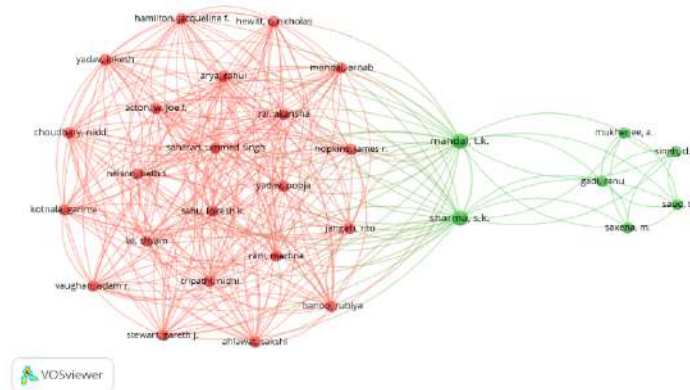


Figure 5. Scopus network map of authors conducting studies on cow dung as a renewable energy source.

According to Table 5, the organizations that contributed more than two publications were Indian Institute of Technology Bombay with 5 publications, followed by Council of Scientific and Industrial Research India with 4 publications, Pt. Ravishankar Shukla University, CSIR-National Physical Laboratory, Washington University in St. Louis, Chinese Academy of Sciences, Environmental Science and Engineering Department, McKelvey School of Engineering and Institute of Earth Environment with three publications. Figure 7 shows a visual representation of the main nations and organizations contributing research related to the topic of study.

Venkataraman, C. is the author with the highest number of publications with the search criteria proposed in this work, having 5 publications, he is also the most cited author with 524, followed by Habib, G. with 3 papers and 162 citations, sharing nationality with both authors, Table 4 and Figure 5.

Table 4. Top 19 authors with the highest number of publications on cow dung as a renewable energy source.

Ran k	Author	Article s	Citation s	Organization	Country
1	Venkataraman, C.	5	524	Indian Institute of Technology Bombay	India
2	Chakrabarty, R.K.	3	45	Mckelvey School of Engineering	United States
3	Habib, G.	3	162	Indian Institute of Technology Delhi	India
4	Mandal, T.K.	3	67	CSIR-National Physical Laboratory	India
5	Pervez, S.	3	45	Pt. Ravishankar Shukla University	India
6	Arya, R.	2	10	Academy of Scientific and Innovative Research (AcSIR)	India
7	Chow, J.C.	2	25	Desert Research Institute	United States

8	Deb, M.K.	2	25	Pt. Ravishankar Shukla University	India
9	Faizan, M.A.	2	34	Indian Institute of Technology Mandi	India
10	Mottaleb, K.A.	2	95	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	México
11	Pandit, G.G.	2	54	Bhabha Atomic Research Centre	India
12	Pervez, Y.F.	2	25	Government Dr. Waman Wasudev Patankar Girls PG College	India
13	Rahut, D.B.	2	95	Asian Development Bank Institute	Japan
14	Sahu, S.K.	2	54	Homi Bhabha National Institute	India
15	Sharma, S.K.	2	67	CSIR-National Physical Laboratory	India
16	Thakur, R.	2	34	Indian Institute of Technology Mandi	India
17	Tiwari, M.	2	54	Homi Bhabha National Institute	India
18	Verma, M.	2	25	Pt. Ravishankar Shukla University	India
19	Watson, J.G.	2	25	Desert Research Institute	United States

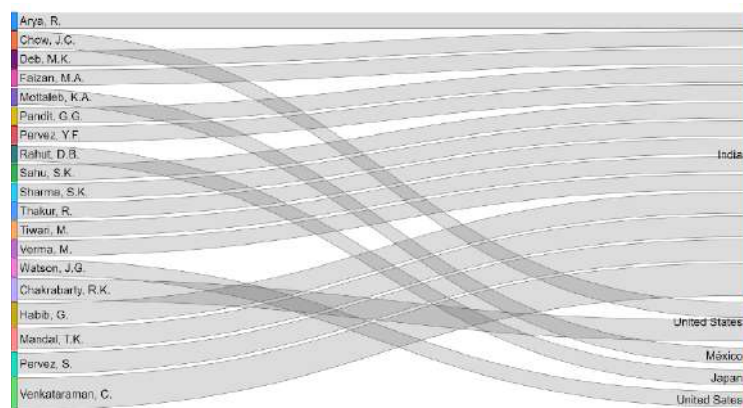


Figure 5. Sankey chart of the main authors and countries of origin contributing publications related to the topic of study.

Of the top 25 organizations, 56 % of the published papers are attributed to India, with the Indian Institute of Technology Bombay and the Council of Scientific and Industrial Research India contributing the most to this indicator. and the Council of Scientific and Industrial Research India, which contributes the most to this indicator, Table 5 and Figure 7.

Table 5. The top 25 organizations with the highest production of publications related to cow dung as a renewable energy source.

Ran k	Organization	Documents	Country
1	Indian Institute of Technology Bombay	5	India
2	Council of Scientific and Industrial Research India	4	India
3	Pt. Ravishankar Shukla University	3	India
4	CSIR-National Physical Laboratory	3	India

5	Washington University in St. Louis	3	United States
6	Chinese Academy of Sciences	3	China
7	Environmental Science and Engineering Department	3	India
8	McKelvey School of Engineering	3	United States
9	Institute of Earth Environment	3	China
10	University of Johannesburg	2	South Africa
11	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	2	México
12	University of Birmingham	2	United Kingdom
13	Anna University	2	India
14	Indian Institute of Technology Kanpur	2	India
15	Desert Research Institute	2	United States
16	Desert Research Institute Reno, Division of Atmospheric Sciences	2	United States
17	The Energy and Resources Institute India	2	India
18	Indian Institute of Tropical Meteorology	2	India
19	University of Delhi	2	India
20	Indian Institute of Technology Delhi	2	India
21	Bhabha Atomic Research Centre	2	India
23	Addis Ababa University	2	Ethiopia
24	Indian Institute of Toxicology Research	2	India
25	Indian Institute of Technology Mandi	2	India

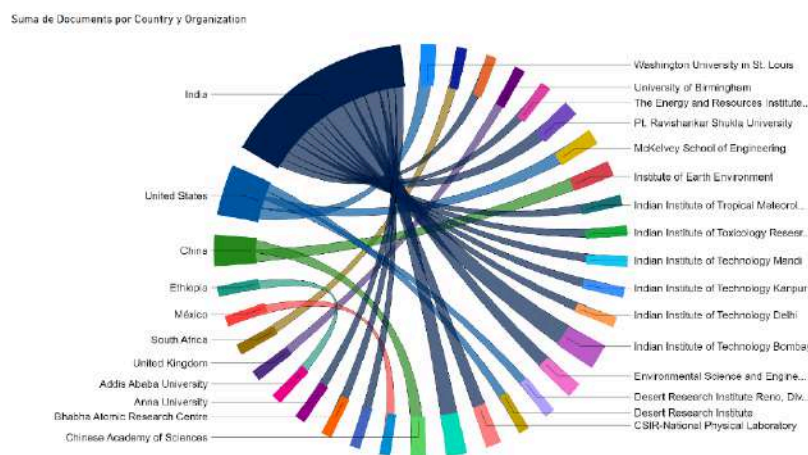


Figure 7. Chord chart of the main nations and organizations contributing publications related to the subject of cow dung as a renewable energy source.

ANALYSIS OF COLLABORATION BETWEEN AUTHORS AT THE REGIONAL AND INTERNATIONAL LEVEL

Of the top 25 organizations, 56 % of the published papers are attributed to India, with the Indian Institute of Technology Bombay and the Council of Scientific and Industrial Research India contributing the most to this indicator. and the Council of Scientific and Industrial Research India, which contributes the most to this indicator, Table 5 and Figure 7.

Twenty-seven countries participated in the 81 documents found in this analysis. The 12 countries with the highest number of citations are concentrated in Table 6. The seven countries with the most citations were India, United States, Bangladesh, Brazil, Chile, United Kingdom and China. In terms of the number of publications, India, the United States, Bangladesh, the United Kingdom and China were the countries that contributed the largest number of documents. India is the main country that contributes with studies related to cow dung as a source of energy, besides being the country that maintains a dependence on bioenergy (75%) in rural populations [49]. In addition, due to the availability of other feedstocks, cow dung can be used mixed with woody biomass fuel in gasifiers to improve the combustion process [34].

Figure 8 shows a map of the international collaboration network between countries, elaborated in VOSviewer, the minimum value was set at 1. The 27 countries complied with the established value and only 18 were linked.

Table 6. Top 12 countries with the highest number of citations concerning cow dung as a renewable energy source.

Ran k	Country	Citations	Total Link Strength	Records
1	India	1759	22	54
2	United States	341	12	10
3	Bangladesh	187	4	6
4	Brazil	174	2	1
5	Chile	174	2	1
6	United Kingdom	141	4	5
7	China	116	6	5
8	Mexico	95	2	2
9	Pakistan	84	1	2
10	Japan	64	3	4
11	Ethiopia	53	2	2
12	Portugal	53	1	1



Figure 8. Map of the international collaboration network of countries conducting research on cow dung as a renewable energy source.

According to VOSviewer, the 18 countries that were linked were grouped into 7 groups identified with different colors. The diversity of colors and groupings was established according to the countries. The dimension of

the circle represented a recorded data and the strength of the relationship between countries was designated according to its rank.

Figure 8 shows that larger circles indicate countries such as India, the United States, China and Bangladesh. Croatia, India, Poland and Switzerland were included in the first grouping, designated with red color. In the second cluster were 4 countries: Bangladesh, Japan, Mexico and Pakistan, identified with green color. The third cluster consisted of 3 countries: Canada, China and Saudi Arabia, represented with blue color. The fourth cluster consisted of 3 countries: Ethiopia, United Kingdom and United States, designated with yellow color. Brazil and Chile were part of the fifth group (violet). Portugal was the only country in the sixth grouping and was designated light blue. In the eighth set was only Singapore (brown color). According to the data, India showed superiority in the studies conducted and the number of citations in relation to cow dung as a renewable energy source.

ANALYSIS OF COLLABORATION AMONG ORGANIZATIONS

According to the information in the published documents, the 81 publications were created by 203 organizations. Figure 9 shows a map of the international collaboration network among the organizations, elaborated in VOSviewer. The program assigned coloring to the organizations, the minimum value was set to 1 and all 202 organizations had this value. However, only 19 organizations were linked and VOSviewer assigned them to a single group. Publications with institutional collaborations from different countries favor the quality of the article [50], which is coincident with the quality of the journals that maintain good journal impact factor and quartile Q1 and Q2 shown in Table 3 and Figure 4.

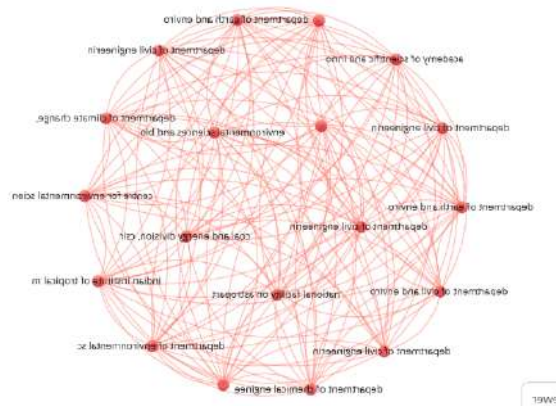


Figure 9. Map of the international collaborative network of organizations conducting research on cow dung as a renewable energy source.

KEYWORD ANALYSIS (CO-OCCURRENCE)

Setting a minimum value of four occurrences in the data per keyword, 75 words reached the value of 1008 total words. Through the word map generated by Vosviewer, it is possible to analyze the evolution of keywords in the 2020 period. All items were associated and the largest group of associated items contained 26 items, Figure 10. The larger the diameter of the circle, the more frequently the word is used [51]. Group number 1 was identified with red color and the associated items referred to topics centered on agriculture, environment and energy, in this group were words such as agricultural wastes, agriculture, air pollution, Bangladesh, biomass, biomass fuels, charcoal, cow dung, crop residue, crops, developing countries, energy, energy policy, energy utilization, fossil fuels, fuels, heating, household energy, liquefied petroleum gas, rural areas, solar cookers, solar energy, South Asia, surveys, sustainable development and wood fuels.

Group 2 (green color) was associated with topics related to air pollution and its effect on human health, and consisted of words such as air pollutant, air pollutants, air pollution, indoor, animals, article, black carbon, carbon monoxide, controlled study, cooking, cow, female, fuel, household, human, humans, India, particulate matter, rural area, rural population and smoke.

In group 3, identified with blue color, the words were related to topics such as air pollution, fuel combustion and associated emissions. It consisted of the following keywords: aerosol, aerosols, biofuel, biofuels, biomass burning, coal combustion, combustion, emission, emission factor, emission factors, emission inventory, PHA, particulate emissions, pollution, polycyclic aromatic hydrocarbons, priority journal, stoves, sulfur dioxide and wood.

Figure 10. Visual network map of co-occurrence (at least four key terms) based on research conducted in Scopus on cow dung as a renewable energy source.

In group number 4 (yellow), the focus was on topics related to air quality and atmospheric pollution. It included words such as air quality, atmospheric pollution, carbon dioxide, concentration (composition), cooking appliance, energy efficiency, indoor air, indoor air pollution, methane and organic carbon.

Within the identified nodes, Figure 9, the topic of health related to emissions is incorporated into the study areas, the words of: particulate emissions, indoor air, CO₂, emissions, smoke, aerosol, air pollutant. In this case, the use of traditional cookstoves and low awareness of the health risks posed by exposure to pollutants when using solid fuels, a proposed solution is a program for the incorporation of cleaner cookstoves to reduce the risk of exposure [52]. Also, preliminary studies show that emissions from solid biomass combustion cause a decrease in lung function at elevated PM_{2.5} particulate matter concentrations [53]. The use of inefficient biomass stoves causes atmospheric pollution and threatens the health of users in the long term, so the replacement of traditional stoves for use with solid biomass requires consideration of cost, fears and cultural traditions of the population [54].

Cow manure represents a viable alternative source of renewable energy beyond biogas, particularly through its conversion to solid fuels and electricity generation. Research indicates that cow dung can be processed into fuel compounds and pellets, improving its calorific value and combustion properties, while microbial fuel cells (MFCs) can harness its organic content for electricity production

The benefits of using dry cow dung also present problems of use. Exposure to air pollutants from the combustion of livestock manure presents significant health risks, mainly due to the emission of particulate matter (PM) and volatile organic compounds (VOCs). These contaminants can cause respiratory problems, gastrointestinal infections and other health complications for both humans and livestock. Exposure to air pollutants from burning

livestock manure (acetone, methyl ethyl ketone, benzene, and toluene) can increase the risk of chronic obstructive pulmonary disease, acute respiratory infections, lung cancer and other health problems, contributing to significant indoor air pollution and posing serious health risks, especially in developing countries [56]. In addition to combustion, during storage of raw material, high levels of ammonia from manure decomposition can adversely affect respiratory health and contribute to chronic diseases. Cow dung cakes are a traditional fuel source in India, particularly in rural areas, where they are used for cooking and heating. However, their use raises significant health and environmental concerns, particularly in arsenic-affected regions. In arsenic-contaminated areas, burning cow dung cakes can lead to inhalation of arsenic, posing serious health risks [57]. The unventilated cooking environments exacerbate these risks, highlighting the need for safer cooking alternatives.

In many regions, cow dung is traditionally valued not only for its usefulness for cooking and heating, but also for its role in agricultural practices. This cultural attachment can both facilitate and hinder the transition to alternative energy sources such as biogas. In many communities, cow dung is also considered a valuable input for agriculture as it serves as an organic fertilizer, which reinforces its cultural importance [58]. Also, traditional food cooking sources, such as cow dung, have not been adequately replaced by more efficient energy sources, such as biogas, suggesting that cultural importance influences the adoption of alternative energy technologies in rural communities [59].

Combustion technology such as the stove plays an important role in the process of obtaining energy and minimizing health risks. The gasifier stove using cow dung significantly reduces greenhouse gas emissions by reducing PM_{2.5} and CO emissions by 58.9% and 88.6%, respectively, compared to traditional stoves, thus improving environmental outcomes in rural communities that rely on biomass for cooking [60].

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

In this article, a bibliometric analysis was applied to the different papers on cow dung as a renewable energy source, which helps to understand the evolution of the field of knowledge to facilitate the generation of future work. Under the search criteria 81 documents were found in the Scopus database for the period 2000-2023.

The following findings were found from the study:

- Collaborative work was identified between authors that generate important contributions on the subject of cow dung as a source of energy, and there is also international collaboration between organizations, improving the quality of publications to be published in journals in the first quartiles. It was identified that India, the United States, Bangladesh, and other countries in advancing research on cow dung as a renewable energy source. It also emphasizes India's reliance on bioenergy and the potential for utilizing cow dung in combination with other feedstocks to enhance energy production.
- The dominance of articles as the primary publication type, the preference for English as the language of publication, and the temporal trends in publication and citation patterns related to the research on cow dung as a renewable energy source.
- The international collaboration network suggests opportunities for strengthening global partnerships in this field of study.
- The analysis reveals insights into the keyword distribution and thematic grouping of the research, with a focus on agriculture, environment, and energy-related topics.
- India shows superiority in the studies conducted and the number of citations related to cow dung as a renewable energy source.

LIMITATIONS:

The study used an important database such as Scopus; future studies should consider other databases such as Web of Science to increase the number of publications that contrast the results obtained. Although English is the

language most used by researchers, the study could be complemented by considering a search for publications in other languages through others database.

Based on the results, the study could be targeted only to countries with a higher use of cow dung as an energy source, which will allow to know the cultural and social features of the site.

Author Contributions: Conceptualization, M.E.P.R. and F.M.C.; methodology, D.J.I.; formal analysis, D.J.I. and F.M.C.; writing—original draft preparation, F.M.C.; writing—review and editing, M.E.P.R.; visualization, F.M.C.; supervision, D.J.I.; project administration, D.J.I.; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

REFERENCES

1. Chanifah, C.; Arianti, F. D.; Triastono, J.; Pertiwi, M. D.; Prabowo, A.; Prasetyo, T.; Haryanto, B.; Megawati, M.; Astuti, W.; Djarot, I. N.; Santoso, A. D.; Widjayanti, S. P. Renewable Energy Potential of Rice Straw and Paunch Manure as Bioethanol Feedstocks in Central Java, Indonesia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* **2024**, *9*. [\[CrossRef\]](#)
2. Wu, R.; Bao, A. Preparation of cellulose carbon material from cow dung and its CO₂ adsorption performance. *Journal of CO₂ Utilization* **2023**, *68*, 102377. [\[CrossRef\]](#)
3. Holechek, J. L.; Geli, H. M. E.; Sawalhah, M. N.; Valdez, R. A Global Assessment: Can Renewable Energy Replace Fossil Fuels by 2050? *Sustainability* **2022**, *14*(8), 4792. [\[CrossRef\]](#)
4. Sohail, H.; Hassan, M.; Anwar, M.; Masuad, S. F. B.; Ahmad, W. Biomass pelletizing: Characterization of cow dung assisted solid recovered bio-fuel from agricultural waste. *2021 4th International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE)* **2021**. [\[CrossRef\]](#)
5. Malik, K.; Capareda, S. C.; Kamboj, B. R.; Malik, S.; Singh, K.; Arya, S.; Bishnoi, D. K. Biofuels Production: A Review on Sustainable Alternatives to Traditional Fuels and Energy Sources. *Fuels* **2024**, *5*(2), 157–175. [\[CrossRef\]](#)
6. Sungur, Ş. Biofuels. *Handbook of Emerging Materials for Sustainable Energy*, Chapter 17, **2024**, 399–417. [\[CrossRef\]](#)
7. Lim, H. Y.; Rashidi, N. A.; Othman, M. F. H.; Ismail, I. S.; Saadon, S. Z. A. H.; Chin, B. L. F.; Yusup, S.; Rahman, M. N. Recent advancement in thermochemical conversion of biomass to biofuel. *Biofuels* **2023**, *15*(5), 587–604. [\[CrossRef\]](#)
8. Duarte, J. H.; Lucas, B. F.; Bezerra, P. Q. M.; Moreira, J. B.; de Moraes, M. G.; Costa, J. A. V. Microalgal liquid, solid, and gaseous biofuels: Cultivation and production strategies for biofuel accumulation. In *Microalgal Biomass for Bioenergy Applications*, 1ed.; Sangeetha, J., Thangadurai, D., Eds.; Elsevier Ltd, **2024**; Volume 1, pp. 113–144. [\[CrossRef\]](#)
9. Güleç, F.; Parthiban, A.; Umenweke, G. C.; Musa, U.; Williams, O.; Mortezaei, Y.; Suk-Oh, H.; Lester, E.; Ogbaga, C. C.; Gunes, B.; Okolie, J. A. Progress in lignocellulosic biomass valorization for biofuels and value-added chemical production in the EU: A focus on thermochemical conversion processes. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* **2023**, *18*(3), 755–781. Portico. [\[CrossRef\]](#)
10. Isah, S.; Ozbay, G. Valorization of Food Loss and Wastes: Feedstocks for Biofuels and Valuable Chemicals. *Frontiers in Sustainable Food Systems* **2020**, *4*. [\[CrossRef\]](#)
11. Jafri, Y.; Ahlström, J. M.; Furusjö, E.; Harvey, S.; Pettersson, K.; Svensson, E.; Wetterlund, E. Double Yields and Negative Emissions? Resource, Climate and Cost Efficiencies in Biofuels With Carbon Capture, Storage and Utilization. *Frontiers in Energy Research* **2022**, *10*. [\[CrossRef\]](#)

12. Chhandama, M. V. L.; Satyan, K. B.; Changmai, B.; Vanlalveni, C.; Rokhum, S. L. Microalgae as a feedstock for the production of biodiesel: A review. *Bioresource Technology Reports* **2021**, 15, 100771. [\[CrossRef\]](#)
13. Wang, J.; Yin, Y. Fermentative hydrogen production using pretreated microalgal biomass as feedstock. *Microbial Cell Factories* **2018**, 17(1). [\[CrossRef\]](#)
14. Picchio, R.; Latterini, F.; Venanzi, R.; Stefanoni, W.; Suardi, A.; Tocci, D.; Pari, L. Pellet Production from Woody and Non-Woody Feedstocks: A Review on Biomass Quality Evaluation. *Energies* **2020**, 13(11), 2937. [\[CrossRef\]](#)
15. García-Quezada, J.; Musule-Lagunes, R.; Wehenkel, C.; Prieto-Ruiz, J. A.; Núñez-Retana, V.; Carrillo-Parra, A. Effect of Firewood Moisture Content on Quality, Yield, and Economic Gain during Charcoal Production in a Modified Half-Orange Kiln. *Fuels* **2023**, 5(1), 1–16. [\[CrossRef\]](#)
16. Hoyos-Sebá, J. J.; Arias, N. P.; Salcedo-Mendoza, J.; Aristizábal-Marulanda, V. Animal manure in the context of renewable energy and value-added products: A review. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification* **2024**, 196, 109660. [\[CrossRef\]](#)
17. Deb Majumder, S.; Ghosh, A.; De, S. Experimental Investigation of briquettes formed from various sources of biochar mixed with cow dung as alternate source of energy – A West Bengal study. *Materials Today: Proceedings* **2021**, 46, 7996–8001. [\[CrossRef\]](#)
18. Sahara, D. Livestock waste as alternative energy for rural households: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **2024**, 1292(1), 012002. [\[CrossRef\]](#)
19. Nugraha, A. T.; Prayitno, G.; Al Himah, D. The Concept for the Development of Biogas as Renewable Energy in Rural Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning* **2021**, 16(6), 1177–1183. [\[CrossRef\]](#)
20. Şenol, H.; Ali Dereli, M.; Özbilgin, F. Investigation of the distribution of bovine manure-based biomethane potential using an artificial neural network in Turkey to 2030. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2021**, 149, 111338. [\[CrossRef\]](#)
21. Mao, C.; Feng, Y.; Wang, X.; Ren, G. ChemInform Abstract: Review on Research Achievements of Biogas from Anaerobic Digestion. *ChemInform* **2016**, 47(28). Portico. [\[CrossRef\]](#)
22. Shaibur, M. R.; Husain, H.; Arpon, S. H. Utilization of cow dung residues of biogas plant for sustainable development of a rural community. *Current Research in Environmental Sustainability* **2021**, 3, 100026. [\[CrossRef\]](#)
23. Gupta, K. K.; Aneja, K. R.; Rana, D. Current status of cow dung as a bioresource for sustainable development. *Bioresources and Bioprocessing* **2016**, 3(1). [\[CrossRef\]](#)
24. Alkhrissat, T. The impact of organic loading on the anaerobic digestion of cow manure: Methane production and kinetic analysis. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* **2024**, 9, 100589. [\[CrossRef\]](#)
25. Tufaner, F.; Avşar, Y. Effects of co-substrate on biogas production from cattle manure: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology* **2016**, 13(9), 2303–2312. [\[CrossRef\]](#)
26. Gopinathan, M.; Kumaran, P.; Rahaman, A. A.; bt Ismail, Z. (2018). Progress of Biogas Industry in Malaysia: Cattle Manure as Potential Substrate for Biogas Production and Issue and Challenges. *2018 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE)* **2018**. [\[CrossRef\]](#)
27. Kusmiyati, K.; Wijaya, D. K.; Hartono, B. J. R.; Shidik, G. F.; Fudholi, A. Harnessing the power of cow dung: Exploring the environmental, energy, and economic potential of biogas production in Indonesia. *Results in Engineering* **2023**, 20, 101431. [\[CrossRef\]](#)
28. Niles, M. T.; Wiltshire, S.; Lombard, J.; Branan, M.; Vuolo, M.; Chintala, R.; Tricarico, J. Manure management strategies are interconnected with complexity across U.S. dairy farms. *PLOS ONE* **2022**, 17(6), e0267731. [\[CrossRef\]](#)
29. Jothi Ramalingam, R.; Sivachidambaram, M.; Vijaya, J. J.; Al-Lohedan, H. A.; Muthumareeswaran, M. R. Synthesis of porous activated carbon powder formation from fruit peel and cow dung waste for modified electrode fabrication and application. *Biomass and Bioenergy* **2020**, 142, 105800. [\[CrossRef\]](#)
30. Susanti, A. D.; Paryanto; Wibowo, W. A. Preparation of Cow Dung Bio-briquettes (CDBs) for Gassification Stoves as Renewable Energy Sources. *Journal of Physics: Conference Series* **2019**, 1364, 012012. [\[CrossRef\]](#)
31. Gautam, S.; Edwards, R.; Yadav, A.; Weltman, R.; Pillarsetti, A.; Arora, N.K.; Smith, K.R. Probe-based measurements of moisture in dung fuel for emissions measurements. *Energy Sustain. Dev.* **2016**, 35, 1–6. [\[CrossRef\]](#)

32. Szymajda, A.; Łaska, G.; Joka, M. Assessment of Cow Dung Pellets as a Renewable Solid Fuel in Direct Combustion Technologies. *Energies* **2021**, 14(4), 1192. [[CrossRef](#)]
33. Bagdadee, A. H.; Maitraya, A. M.; Islam, A.; Siddique, Md. N. E. A. A review on hybrid energy generation: Cow dung biogas, solar thermal and kinetic energy integration for power production. *Energy and Built Environment* **2023**. [[CrossRef](#)]
34. Roy, P. C.; Datta, A.; Chakraborty, N. Assessment of cow dung as a supplementary fuel in a downdraft biomass gasifier. *Renewable Energy* **2010**, 35(2), 379–386. [[CrossRef](#)]
35. Birzer, C.; Medwell, P.; MacFarlane, G.; Read, M.; Wilkey, J.; Higgins, M.; West, T. A biochar-producing, dung-burning cookstove for humanitarian purposes. *Procedia Engineering* **2014**, 78 (2014) 243–249. [[CrossRef](#)]
36. Behera, S. S.; Ray, R. C. Bioprospecting of cowdung microflora for sustainable agricultural, biotechnological and environmental applications. *Current Research in Microbial Sciences* **2021**, 2, 100018. [[CrossRef](#)]
37. Pranckutė, R. Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World. *Publications* **2021**, 9(1), 12. [[CrossRef](#)]
38. Baas, J.; Schotten, M.; Plume, A.; Côté, G.; Karimi, R. Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies* **2020**, 1(1), 377–386. [[CrossRef](#)]
39. Sánchez, A. D.; de la Cruz Del Río Rama, M.; García, J. Á. Bibliometric analysis of publications on wine tourism in the databases Scopus and WoS. *European Research on Management and Business Economics* **2017**, 23(1), 8–15. [[CrossRef](#)]
40. Álvarez-García, J.; Durán-Sánchez, A.; del Río-Rama, M. de la C.; Simonetti, B. Big data and tourism research: measuring research impact. *Quality & Quantity* **2020**, 57(S3), 271–292. [[CrossRef](#)]
41. Xu, P.; Jia, Z.; Ning, H.; Wang, J. Global Bibliometric Analysis of Research on the Application of Unconventional Water in Agricultural Irrigation. *Water* **2024**, 16(12), 1698. [[CrossRef](#)]
42. Gonçalves, C. T.; Gonçalves, M. J. A.; Campante, M. I. Developing Integrated Performance Dashboards Visualisations Using Power BI as a Platform. *Information* **2023**, 14(11), 614. [[CrossRef](#)]
43. Valenzuela-Fernández, L.; Escobar-Farfán, M. Zero-Waste Management and Sustainable Consumption: A Comprehensive Bibliometric Mapping Analysis. *Sustainability* **2022**, 14(23), 16269. [[CrossRef](#)]
44. Rolim, R.; López-González, C.; Viñals, M. J. Analysis of the Current Status of Sensors and HBIM Integration: A Review Based on Bibliometric Analysis. *Heritage* **2024**, 7(4), 2071–2087. [[CrossRef](#)]
45. Biberici, M. A. Bibliometric Analysis of the Use of Biodiesel Production from Essential Oils as Biofuels. *Processes* **2023**, 11(4), 974. [[CrossRef](#)]
46. Yuan, B.-Z.; Bie, Z.-L.; Sun, J. Bibliometric Analysis of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Research Publications from Horticulture Category Based on the Web of Science. *HortScience* **2021**, 56(11), 1304–1314. [[CrossRef](#)]
47. Hernández-Torrano, D.; Ho, Y.-S. A Bibliometric Analysis of Publications in the Web of Science Category of Educational Psychology in the Last Two Decades. *Psicología Educativa* **2021**, 27(2), 101–113. [[CrossRef](#)]
48. Hong, J. H.; Yoon, D. Y.; Lim, K. J.; Moon, J. Y.; Baek, S.; Seo, Y. L.; Yun, E. J. Characteristics of the Most Cited, Most Downloaded, and Most Mentioned Articles in General Medical Journals: A Comparative Bibliometric Analysis. *Healthcare* **2020**, 8(4), 492. [[CrossRef](#)]
49. Ramachandra, T.V.; Hegde, G.; Setturu, B.; Krishnadas, G. (2014). Bioenergy: A Sustainable Energy Option for Rural India. *Advances in Forestry Letters* **2014**, 3, 1–15.
50. Duan, C. Analyses of Scientific Collaboration Networks among Authors, Institutions, and Countries in FinTech Studies: A Bibliometric Review. *FinTech* **2024**, 3(2), 249–273. [[CrossRef](#)]
51. Wang, J.; Wu, J.; Zhang, J.; Guan, L.; Feng, H.; Zhu, K.; Zhang, Y.; Zhao, W.; Peng, Q.; Meng, B.; Yang, S.; Sun, H.; Cheng, Y.; Zhang, L. Bibliometric and visualized analysis of hydrogels in organoids research. *Regenerative Therapy* **2024**, 25, 395–404. [[CrossRef](#)]
52. Alam, A.; Tawale, N.; Patel, A.; Dibley, M.; Jadhao, S.; Raynes-Greenow, C. (2016). Household Air Pollution Intervention Implications: Findings from Qualitative Studies and a Field Trial of Clean Cookstoves in Two Rural Villages in India. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2016**, 13(9), 893. [[CrossRef](#)]
53. Medgyesi, D.; Holmes, H.; Angermann, J. Investigation of Acute Pulmonary Deficits Associated with Biomass Fuel Cookstove Emissions in Rural Bangladesh. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2017**, 14(6), 641. [[CrossRef](#)]

54. Hollada, J.; Williams, K.; Miele, C.; Danz, D.; Harvey, S.; Checkley, W. Perceptions of Improved Biomass and Liquefied Petroleum Gas Stoves in Puno, Peru: Implications for Promoting Sustained and Exclusive Adoption of Clean Cooking Technologies. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2017**, *14*(2), 182. [[CrossRef](#)]
55. Anwar, M. T.; Ullah, N.; Khalid, S.; Ahmad, N.; Shahzeb Khan, M. Fuel Composites Development Using Cow Dung and Agricultural Biomass. *CEMP 2023* **2024**, 23. [[CrossRef](#)]
56. Park, D.; Barabad, M. L.; Lee, G.; Kwon, S.-B.; Cho, Y.; Lee, D.; Cho, K.; Lee, K. Emission Characteristics of Particulate Matter and Volatile Organic Compounds in Cow Dung Combustion. *Environmental Science & Technology* **2013**, *47*(22), 12952–12957. [[CrossRef](#)]
57. Pal, A.; Nayak, B.; Das, B.; Hossain, M. A.; Ahamed, S.; Chakraborti, D. Additional danger of arsenic exposure through inhalation from burning of cow dung cakes laced with arsenic as a fuel in arsenic affected villages in Ganga–Meghna–Brahmaputra plain. *Journal of Environmental Monitoring* **2007**, *9*(10), 1067. [[CrossRef](#)]
58. Ratminingsih; Jumadi, J. A Study on the Potential of Cow Dung Waste as an Environmentally Friendly Alternative Energy Source. Proceedings of the 7th International Conference on Research, Implementation, and Education of Mathematics and Sciences (ICRIEMS 2020) **2021**. [[CrossRef](#)]
59. Ming'ate, F. L. M.; Ikonya, S. N. The Social Cultural Factors Influencing the Level of Adoption of Biogas as an Alternative Energy Source in Gakawa Location, Nyeri County, Kenya. *Journal of Modern Green Energy* **2023**. [[CrossRef](#)]
60. Tadesse, A. S.; Gabisa, E.; Mekonnen, B. A. Prototyping and Performance Evaluation of Household Cow Dung Gasifier Stove: Cooking and Environmental Performance in the Case of Ethiopia. *J Chem Edu Res Prac* **2022**, *6*(1), 231-239.

OPTIMIZACIÓN LA CADENA DE DISTRIBUCIÓN DE FRUTAS MICHOACANAS HACIA LA EXPORTACIÓN Y SU HUELLA AMBIENTAL

Raúl Junior Sandoval Gómez ¹, Jorge Alberto Mendoza Dominguez ², Isela Janeth López Valle ³

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas, ^{2,3} Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

rsandova@ipn.mx

RESUMEN

El emprendimiento orientado a la optimización de la distribución de frutas en Michoacán particularmente aguacate, mango y frutos rojos se ha convertido en un factor clave para incrementar la competitividad en mercados internacionales. Diversos estudios destacan que las empresas agroexportadoras innovadoras tienden a integrar tecnologías de trazabilidad, cadenas de frío eficientes y modelos logísticos basados en datos para reducir pérdidas postcosecha y mejorar la calidad del producto durante el transporte (Bourlakis y Wightman, 2004; Aung y Chang, 2014).

Además, la coordinación entre productores, transportistas y comercializadores en cadenas globales de valor (Trienekens, 2011). Los emprendimientos michoacanos enfrentan el reto de asegurar con calidad sus productos y procesos logísticos y adoptar estándares internacionales de inocuidad alimentaria, lo cual se asocia con mayores tasas de éxito en exportación (Hernández- Aguilar et al., 2019).

Por otra parte, Michoacán es uno de los principales productores de frutas en México, enfrenta desafíos significativos en la distribución de productos, incluyendo insuficiencias logísticas, desperdicio postcosecha y un impacto ambiental negativo debido a prácticas agrícolas industrializadas y transporte a larga distancia (FAO, 2021). El presente proyecto propone un modelo que optimiza la distribución de frutas, reduce la huella de carbono y valora el conocimiento tradicional de las comunidades locales (Bayuelo, 2015) A través de diseñar un modelo de negocio que mejore la distribución de frutas de Michoacán para exportación, minimizando el impacto ambiental y reconociendo la sabiduría local incorporando conocimientos tradicionales en el proceso logístico y fomentando la capacitación en comunidades productoras.

Adicional, la producción de frutas en Michoacán es crucial, pero enfrenta problemas logísticos que afectan la calidad y competitividad (Cortez, 2006). La infraestructura es deficiente, el transporte intensivo en carbono y el uso excesivo de agroquímicos contamina el entorno (SAGARPA, 2007). Sin embargo, las comunidades locales poseen conocimientos ancestrales que pueden fomentar prácticas más sostenibles (CONABIO, 2017).

Por lo antes mencionado mejorar la infraestructura, reducir el uso de energía, fomentar la agricultura orgánica, capacitar a jóvenes agricultores y formar cooperativas para mejorar el acceso a recursos forma parte de las estrategias a implementar.

Palabras Clave: Emprendimiento, Optimización, Distribución, Exportación y Huella de Carbono

INTRODUCCIÓN

El emprendimiento para optimizar la distribución de diferentes frutas procedentes de Michoacán para exportación y su impacto en la degradación ambiental, es una iniciativa empresarial cuyo objetivo es mejorar la eficiencia, sostenibilidad y trazabilidad en la cadena de distribución de frutas producidas en Michoacán (como aguacate, guayaba, frambuesa, mango, limón, papaya), destinadas a mercados internacionales.

Se busca reducir los impactos que la producción y distribución de estas frutas pueden generar en el medio ambiente, especialmente en lo relacionado con: deforestación, sobreexplotación del agua, pérdida de biodiversidad, emisiones de carbono por transporte, cambio de uso de suelo.

La calidad de las frutas abarca aspectos nutricionales y de seguridad alimentaria. Con el crecimiento del comercio global y la creciente demanda de productos frescos con características específicas como apariencia visual (color, forma, tamaño), cumplimiento de requisitos fitosanitarios internacionales y condiciones adecuadas de conservación y

transporte, también se ha incrementado la exigencia por frutas con aseguramiento de la calidad. Este tipo de productos garantiza buenas prácticas agrícolas y está orientado a mercados exigentes, lo que permite acceder a nichos Premium (orgánicos, sostenibles, comercio justo), aumentando la confianza del comprador y reduciendo los riesgos para el importador. En este contexto, los sistemas de aseguramiento de calidad han evolucionado significativamente.

En las últimas décadas, Michoacán ha experimentado un notable crecimiento agroexportador. La demanda global de frutas frescas ha impulsado la creación de emprendimientos que buscan mejorar la cadena de distribución mediante técnicas de conservación, reducción de pérdidas post-cosecha y mayor eficiencia logística. Estos proyectos han fortalecido la economía regional, la expansión intensiva de la producción y el incremento en el transporte internacional han generado presiones significativas sobre los ecosistemas locales, particularmente en materia de uso de suelo, consumo energético y emisiones contaminantes.

Los emprendimientos logísticos en Michoacán han adoptado tecnologías como sistemas de enfriamiento controlado, trazabilidad digital, empaques biodegradables y plataformas de gestión de rutas. Estas innovaciones buscan disminuir mermas, asegurar la calidad de exportación y optimizar tiempos de traslado. Emprendedores locales han encontrado oportunidades en la tercerización de servicios logísticos, permitiendo que pequeños productores accedan a canales globales sin invertir en infraestructura propia. El crecimiento del sector requiere un balance entre eficiencia comercial y responsabilidad ambiental, especialmente cuando las operaciones implican transporte de larga distancia y manejo intensivo de recursos.

TEORÍA

Las características más importantes del producto son: si es perecedero o no, si es inflamable, si tiene sustituibilidad, el ciclo de vida, el peso, el volumen y su valor, esto influye en la estrategia a utilizar en la red logística porque son indicadores de los requerimientos de almacenamiento, de los inventarios, del transporte, del manejo de materiales y del procesamiento de pedidos (Ballou, 2006).

Ciclo de vida del producto: Los productos no generan su volumen de ventas máximo inmediatamente después de ser introducidos en el mercado, ni mantienen su volumen de ventas pico en forma indefinida. Es característico que con el tiempo los productos sigan un patrón de volumen de ventas, atravesando cuatro etapas: introducción, crecimiento, madurez y decaimiento. La estrategia de distribución física difiere para cada etapa (Ballou, 2006).

Relación peso-volumen: La relación del peso con el volumen de un producto es una medida particularmente significativa, ya que los costos de transporte y almacenamiento están directamente relacionados con ellos. Los productos que son densos, es decir, los que tienen una alta relación peso-volumen, muestran una buena utilización del equipo de transporte y de las instalaciones de almacenamiento, con los costos de ambos con tendencia a ser bajos. Sin embargo, para productos con baja densidad, la capacidad de volumen del equipo de transporte estará totalmente saturada antes de que se alcance el límite de peso que pueda transportar. Asimismo, los costos de manejo y de espacio, que se basan en el peso, tienden a ser altos en relación con el precio de venta del producto (Ballou, 2006).

Relación valor-peso: Cuando el valor del producto se expresa como una relación con el peso, emergen algunos costos obvios de equilibrio que son útiles al planear el sistema de logística. Los productos que tienen bajas relaciones de valor-peso también tienen bajos costos de almacenamiento, pero altos costos de movimiento como porcentaje de su precio de venta. Un bajo valor del producto significa un bajo costo de almacenamiento, dado que los costos de manejo de inventario son el factor dominante en el costo de almacenamiento. Los productos con alta relación valor-peso muestran el patrón opuesto, con costos más altos de almacenamiento y más bajos de transporte (Ballou, 2006).

Sustituibilidad: Cuando los clientes encuentran poca o ninguna diferencia entre el producto de una empresa y los de los proveedores de la competencia, se dice que los productos son altamente sustituibles. Es decir, que el cliente está muy dispuesto a tomar una marca de segunda opción cuando la primera no está disponible de inmediato. Muchos productos alimenticios y farmacéuticos tienen una característica altamente sustituible (Ballou, 2006).

Características de riesgo: Las características de riesgo del producto se refieren a aspectos que determinan la calidad del producto, por ejemplo, el saber si son perecederos o no, si son inflamables o no, el valor, la tendencia a explotar y

la facilidad de ser robados. Cuando un producto muestra alto riesgo en uno o más de estos aspectos, simplemente fuerza a ciertas restricciones en el sistema de distribución (Ballou, 2006)

El transporte eficiente y económico contribuye a una mayor competencia en el mercado (Ballou, 2006). El transporte es un elemento vital en la planificación y administración de un diseño integrado de gestión logística, que permite el desplazamiento de materias primas, productos terminados e incluso personas, a través de cadenas de transporte diseñadas para cumplir despachos en tiempo y forma, al menor costo posible, tanto a nivel local, como regional, nacional o internacional (González, 2016).

El termino globalización describe la movilidad de bienes, servicios, trabajo, tecnología y capital a través del mundo. También es entendido como la creciente integración de economías y sociedades alrededor del mundo. Aunque realmente no es un concepto nuevo, el ritmo al que se producen los acontecimientos se ha incrementado con los avances tecnológicos, especialmente en el área de telecomunicaciones.

El transporte juega un papel preponderante en cualquier cadena logística, es la parte encargada de acercar el producto o servicio ofrecido hasta el cliente, o viceversa. Independientemente del objeto principal de la cadena, siempre se tendrá que utilizar algún medio, ya sea físico o informático, para lograr el acercamiento mencionado. Las inversiones de capital y recursos en el transporte físico representan una gran proporción de los costos logísticos de las empresas, por lo que los esfuerzos se concentran en la reducción de estos. El suministro de servicios o productos por medio de la informática ha tenido un gran avance en los últimos años debido a la innovación tecnológica de los servicios informáticos.

La secuencia de las actividades que se desarrollan en el transporte internacional de mercancías son las siguientes: carga y transporte interior en origen, despacho aduanero de exportación, estiba en vehículo internacional, transporte internacional, desestiba en destino, despacho aduanero de importación e impuestos interiores (aranceles, etc.), transporte interior y descarga en destino. Esto implica numerosos agentes implicados y numerosos recursos, por lo que la gestión logística pasa a ser una actividad capital. La importancia de llevar a cabo una buena gestión logística reside principalmente en los costos y el servicio al cliente; la calidad del servicio y los costos han pasado a ser los objetivos fundamentales de los procesos logísticos asociados al transporte. Los costos logísticos incluyen la gestión de inventarios, el procesamiento de pedidos, los fletes de transporte, los seguros, el almacenamiento, el manejo, la carga y descarga, el embalaje y la documentación. Estos costos tienen un peso muy importante en el precio final del producto (Mayorga et al., 2009).

Opciones de servicio y sus características

Un servicio de transporte es un conjunto de características de desempeño que se adquieren a determinado precio. La variedad de servicios de transportación es casi ilimitada. Las cinco modalidades se pueden usar combinadas, pueden utilizarse agencias de transportación, asociaciones de expedidores y corredores para facilitar estos servicios o se puede utilizar de manera exclusiva un solo modo de transportación. Entre estas opciones de servicio, el usuario elige un servicio o combinación de servicios que proporcione el mejor balance entre la calidad del servicio ofrecido y el costo de tal servicio.

Ferrocarril

El ferrocarril es un transporte de larga distancia y baja velocidad para materias primas y productos manufacturados de bajo valor, que prefiere desplazar tamaños de envío de al menos un vagón completo. En el servicio de ferrocarril existen dos formas legales: 1. El transportista común y 2. La propiedad privada.

Avión

El transporte aéreo ha sido considerado por un mayor número de consignatarios para servicio regular. El atractivo del transporte aéreo es su rapidez origen - destino, en especial a través de largas distancias. La magnitud promedio de un transporte de carga es de 1,611 km. Los aviones comerciales tienen velocidades de crucero entre 880 y 940 km por hora, aunque la velocidad promedio de aeropuerto a aeropuerto sea algo menor que la velocidad de crucero debido al tiempo de taxeo (mover la aeronave hacia la pista) y de espera de cada aeropuerto y al tiempo necesario de ascenso y descenso desde la altitud de crucero (Ballou, 2006).

Barco

El servicio de transportación marítima está limitado en su alcance por muchas razones. El servicio de aguas nacionales se confina al sistema de caminos acuíferos en tierra, el cual requiere que los consignatarios estén ubicados sobre los caminos acuíferos o utilicen otro modo de transporte en combinación con este. Además, el servicio marítimo es en promedio más lento que el ferrocarril. La disponibilidad y confiabilidad del servicio acuífero es influida de manera importante por el clima. La capacidad y manejo se están incrementando a medida que se desarrollan nuevos barcos, como buques cargueros, y por mejoras como la navegación mediante satélite con radar, refinados buscadores de profundidad y servicio de piloto automático a toda hora (Ballou, 2006).

Todo usuario que utiliza el transporte marítimo debe utilizar el tipo de servicio más correcto en base a las mercancías que se van a transportar, hay 2 grupos que se encuentran establecidos, estos servicios son los denominados régimen de fletamento y de línea regular, estos tipos de servicios son elegidos en base a cantidad, volumen o tipo de mercancía a importar o exportar.

Régimen de fletamento: Se refiere al transporte de mercancías a granel o de altos volúmenes estos en base al uso total del buque o de cierta parte.

El transporte fluvial se refiere al transporte de puerto a puerto por los ríos en cada país que dan la posibilidad de transportar por ellos internamente por zonas remotas, este es un transporte económico utilizado ampliamente en Europa y destinado a mercancías de volumen alto y gránulos, se considera al transporte fluvial como una vía de desahogo para el transporte carretero y proteger al medio ambiente, este tipo de transporte en las vías internas de Europa, represento en 2007 alrededor de 500 millones de toneladas de mercancías, dando como resultado una eficiencia de traslado de mercancías (Baena, 2002; Bora, 2004).

Características del costo del transporte

El precio que deberá pagar por los servicios de transportación va aunado a las características de costos de cada tipo de servicio. Debido a que cada servicio tiene distintas características de costos, bajo un conjunto dado de circunstancias existirán ventajas potenciales de tarifas de un modo que no podrán ser efectivamente igualadas por otros servicios.

Características por Transportación por carretera

Los costos fijos de los transportistas son los menores de cualquier transportista porque ellos no son dueños de las vías sobre las que operan, el tractor-remolque representa una pequeña unidad económica, y las operaciones de terminal no requieren de un equipo costoso. Por otro lado, los costos variables tienden a ser altos debido a que la construcción y mantenimiento de las autopistas se cobran a los usuarios en forma de impuesto de combustible, peaje e impuestos por la relación peso-kilometraje (Flores y García, 2013).

Los costos del transporte por camiones principalmente se descomponen en los gastos de terminal y los gastos de transporte de línea. Los gastos de terminal, los cuales incluyen la recolección y el envío, el manejo de plataforma, y la facturación y cobranza, representan 15 a 25% de los gastos totales de este tipo de transportación. Estos gastos, sobre una base de dólares por tonelada, son altamente sensibles a los tamaños de envío por debajo de los 900 a 1,350 kg. Los gastos de terminal para los envíos mayores de 1,350 kg continúan descendiendo a medida que los costos de recolección, entrega y manejo se distribuyen sobre mayores tamaños de envío.

Los tres tipos de documentos básicos en la transportación nacional de carga son: conocimiento de embarque, factura de transporte y reclamación de carga. La transportación internacional cuenta con estos y muchos otros.

Conocimiento de embarque

El conocimiento de embarque es el documento clave sobre el que se desplaza la carga. Es un contrato legal entre el consignatario y el transportista para el desplazamiento de una carga designada con razonable rapidez hacia un destino específico, para que arribe sin daños. De acuerdo con Taff (1984), el conocimiento de embarque tiene los tres propósitos siguientes:

1. Funciona como recibo para los bienes, sujeto a las clasificaciones y tarifas que se encontraban en vigor a la fecha en que se emitió el conocimiento. Certifica que la propiedad descrita en el conocimiento de embarque está en orden excepto si se indica lo contrario. Tanto el consignatario como un agente por parte del transportista deben

firmar el conocimiento de embarque, y un transportista no puede evadir su responsabilidad porque no haya emitido un recibo o conocimiento de embarque.

2. Funciona como contrato de flete. Identifica las partes contratantes y establece los términos y condiciones del acuerdo.

3. Funciona como evidencia documental de propiedad. Sin embargo, es necesario precisar esta aseveración. Aunque esto es cierto de un conocimiento de embarque negociable, en el caso de un conocimiento de embarque directo, la persona que tenga posesión del conocimiento de embarque directo puede tener propiedad de los bienes. Sin embargo, esto dependerá de los hechos en el caso particular. Cuestiones como los términos de la venta influyen para establecer la propiedad de los bienes cubierta por el conocimiento de embarque directo (Ballou, 2006).

Factura de transporte

El conocimiento de embarque por lo general no contiene información sobre los cargos de transporte, aunque algunas formas modificadas sí incluyen estos cargos. Con mayor frecuencia, los cargos aparecen en un documento diferente, denominado por lo común como factura de transporte, la cual (una factura con los cargos del transportista) contiene, además de los cargos

Los cargos de transporte pueden pagarse por anticipado por parte del consignatario o cobrados al mismo. Los términos del crédito varían, dependiendo del transportista involucrado. Los transportistas de camiones deben presentar a los consignatarios las facturas de transporte en siete días y los consignatarios tienen hasta siete días para pagar una vez recibida la factura. Las agencias de transporte pueden extender crédito hasta por siete días (Flores y García, 2013).

Reclamaciones de carga

En general se realizan dos tipos de reclamaciones contra los transportistas. El primero surge de las responsabilidades legales como transportista general y el segundo debido a sobrecargos.

Reclamaciones por pérdida, daños y retraso: Un transportista general tiene la responsabilidad de desplazar la carga con "razonable rapidez" y sin pérdida o daño. El conocimiento de embarque específicamente define los límites de la responsabilidad del transportista. Las pérdidas debidas a retrasos "no razonables" o el incumplimiento de las fechas garantizadas son recuperables hasta el grado de reducción del valor directamente resultante del retraso.

Sobrecargas: Una reclamación contra un transportista por sobrecargo se genera a partir de alguna forma de facturación incorrecta algunos ejemplos son: la aplicación de una clasificación incorrecta, no utilizar las tarifas correctas, el uso de distancias incorrectas, errores aritméticos simples, cobros duplicados de los cargos de transporte, errores al determinar los pesos de los artículos, y diferencias en la interpretación de las reglas y tarifas (Ballou, 2006).

Documentación de Transporte Internacional

Una característica que distingue a la transportación internacional del movimiento nacional es la cantidad de documentos requerida para las importaciones y exportaciones. A continuación, se presenta una lista de los documentos más populares y sus propósitos.

Exportación

Conocimiento de embarque. Recibo por el cargamento y contrato para la transportación entre el consignatario y el transportista.

Recibo de plataforma. Utilizado para transferir la responsabilidad por el cargamento entre transportistas nacionales e internacionales.

Instrucciones de entrega. Proporciona instrucciones específicas para el transportista interior con respecto de la entrega de los bienes.

Declaración de exportación. Exigida por el Departamento de Comercio de Estados Unidos como un documento fuente para estadísticas de exportación.

Carta de crédito. Documento financiero que garantiza el pago al consignatario por el cargamento que se transporta.

Factura consular. Utilizada para controlar e identificar bienes enviados a determinados países.

Factura comercial. Factura de los bienes del vendedor al comprador.

Certificado de origen. Utilizado para asegurar al país que adquiere con precisión el país en el que los bienes se produjeron.

Certificado de seguro. Asegura al consignatario que se proporciona el seguro sobre los bienes mientras estén en tránsito.

Carta de transmisión. Lista de las particularidades del envío y un registro de los documentos que se transmiten, junto con las instrucciones para la disposición de los documentos.

Importación

Aviso de llegada. Informes de la fecha estimada de arribo del envío, junto con algunos detalles del envío.

Ingreso de aduanas. Numero de documentos que describen la mercancía, su origen y aranceles que ayudan a agilizar el despacho de los bienes a través de las aduanas, con los pagos inmediatos de aranceles o sin ellos.

Certificado del transportista y orden de liberación. Certifica ante las aduanas al propietario o consignatario del cargamento.

Orden de entrega. Emitida por el consignatario al transportista marítimo como autoridad para liberar el cargamento al transportista terrestre.

Liberación de carga. Evidencia de que los cargos de transporte para el cargamento ya fueron pagados.

Factura de aduanas especial. Forma oficial solicitada generalmente por las aduanas de Estados Unidos si la tarifa del arancel se basa en el valor, y si el valor del envío excede una cantidad fija en dólares.

METODOLOGÍA

Selección del huerto y preparación del suelo

Elegir terreno adecuado: buen drenaje, suelo con nutrientes, libre de enfermedades persistentes.

Realizar análisis de suelo para detectar deficiencias o contaminantes químicos/metales pesados.

Establecer zonas libres de plagas de cuarentena que pueden impedir la exportación.

Manejo agronómico

Uso de variedades aceptadas y de calidad, con buen rendimiento, resistencia a enfermedades, adecuado sabor/aroma/textura.

Prácticas de buena agricultura (Good Agricultural Practices. Gap): poda, riego, fertilización, control de malezas.

Manejo integrado de plagas (MIP): monitoreo, trampas, uso racional de plaguicidas permitidos, aplicación en momentos apropiados, cumplimiento con los límites máximos de residuos (MRLs) que exige la UE.

Control sanitario

Vigilancia de plagas específicas que la UE considera peligrosas (por ejemplo, moscas de la fruta como *Bactrocera dorsalis*, *B. zonata*, etc). Se deben cumplir reglas de la UE para frutas exóticas como guayaba.

Certificación fitosanitaria: el huerto debe estar bajo inspección de autoridades de sanidad vegetal nacionales, que certifiquen que está libre de las plagas reguladas, conforme al Reglamento (UE) 2019/2072.

Cosecha

Momento óptimo: madurez adecuada para resistir transporte, pero lo suficientemente firme para no dañarse.

Recolección cuidadosa para evitar golpes, daño mecánico, heridas que faciliten pudrición o ingreso de patógenos.

Clasificación inmediata en campo: descartar frutos con plagas; enfermedades, deformaciones, daños físicos.

Postcosecha: limpieza, tratamiento, empaque

Lavado/desinsectación si lo requiere, previo al empaque, usando agentes permitidos.

Secado/sanitización de superficies del fruto.

Clasificación según calibre, color, firmeza, calidad estética.

Empacado en cajas o envases que protejan el fruto, mantengan ventilación; eviten daño físico, minimicen contaminación.

Etiquetado: variedad, origen, fecha de cosecha, lote, etc.

Control de inocuidad alimentaria

Aplicar buenas prácticas de manufactura (BPM/GMP), higiene del personal y de las instalaciones.

Control de residuos de pesticidas: verificar que los plaguicidas usados estén registrados y permitidos tanto en el país de origen como conforme a la legislación de la UE. Cumplir con los MRLs.

Verificación de contaminantes: metales pesados, micotoxinas, residuos químicos no permitidos, etc. EU tiene límites específicos.

Trazabilidad

Registrar cada lote: dónde y cuándo se sembró, tipo de variedad, insumos usados, tratamientos fitosanitarios, fecha de cosecha, condiciones de transporte, embalaje, etc.

Mantener registrados disponibles para auditorías, para consumidor europeo o autoridad fitosanitaria.

Certificaciones y cumplimiento legal

Certificación fitosanitaria oficial mediante la autoridad nacional competente.

Se requiere certificado fitosanitario para exportar a la UE.

Certificaciones voluntarias o exigidas por compradores privados o retailers, como GlobalGAP, BRC, IFS, SQF. Estas ayudan a demostrar cumplimiento de buenas prácticas agrícolas, inocuidad, responsabilidad social.

Verificar que el país de origen esté reconocido o cumpla con los requisitos de equivalencia en materia fitosanitaria si estos aplican.

Inspección final antes del embarque

Verificación de calidad: apariencia, tamaño, color, firmeza, ausencia de defectos visibles.

Inspección para plagas/registros fitosanitarios: posibles tratamientos postcosecha si se requiere (fumigación, tratamientos de frío).

Embalaje final, asegurando que las cajas estén limpias, secas, con materiales adecuados.

Documentación y exportación.

Obtener certificado fitosanitario emitidos por la autoridad nacional corresponde. Debe acompañar el envío.

Otros documentos: certificado de origen, certificado de análisis de residuos si se exige, factura comercial, lista de empaque, licencias de exportación si las hubiera.

Cumplir con normativas de empaque y etiquetado de UE: posiblemente idioma, información nutricional si es procesado, etc.

Transporte y logística

Transporte desde huerto hasta planta de empaque y luego al puerto/aeropuerto en condiciones adecuadas: temperatura controlada, humedad adecuada, evitar golpes.

Transporte internacional: escoger rutas con tiempos cortos si es posible, evitar demoras que deterioren la fruta.

Proteger contra daños mecánicos, temperatura excesiva, exposición al sol.

Inspección en destino/aduana en Europa

A la llegada a la Unión Europea se realizan controles fitosanitarios por las autoridades aduaneras competentes.

Certificados y lotes pueden ser inspeccionados para asegurarse que cumplen requisitos.

Si hay incumplimientos, posibles devoluciones, destrucción, sanciones, o rechazo del lote.

RESULTADOS

Económico

Reducción significativa de mermas postcosecha. (entre 20-35%) aplicando las mejoras en los centros de acopio, cadena de frío optimizada y rutas inteligentes.

Incremento del valor comercial. De las frutas debido a estándares de calidad más estables y certificaciones sostenibles.

Ahorro en costos de transporte, combustible y manejo, al disminuir trayectos innecesarios y unificar envíos de múltiples productores.

Inclusión de pequeños productores, que ahora acceden a mercados internacionales gracias al modelo colaborativo del proyecto.

Atracción de nuevas inversiones en infraestructura verde y tecnologías agroindustriales.

Ambiental.

Disminución de emisiones de CO₂, debido a: Rutas logísticas optimizadas.

Flota parcial de transporte híbrido o eléctrico

Menor uso de refrigeración tradicional por sistemas más eficientes.

Reducción del uso de plásticos mediante empaques biodegradables o reutilizables.
Menor presión sobre el uso de suelo, al minimizar pérdidas y evitar que los productores deban expandir huertos para compensarlas.
Ahorro de agua con riego tecnificado en zonas proveedoras de fruta.
Reforestación compensatoria en áreas de impacto.

Social

Mayor estabilidad económica para las familias productoras al reducir pérdidas y aumentar acceso a mercados.
Capacitación tecnológica para productores, transportistas y empaques.
Mejora en condiciones laborales, particularmente en centros de acopio más organizados y tecnificados.
Fortalecimiento de la organización comunitaria con la aplicación de modelos colaborativos y cooperativos para compartir infraestructura.

Innovaciones en la logística

Sistemas de trazabilidad digital en tiempo real.
Plataformas de gestión logística basadas en datos.
Centros de acopio inteligentes con sensores, automatización y energías renovables.
Aplicación de inteligencia artificial para optimizar rutas.

CONCLUSIONES

El proyecto propuesto para optimizar la distribución de frutas de Michoacán, mientras se reduce el impacto ambiental y se preservan los conocimientos ancestrales de las comunidades, tiene un gran potencial para transformar tanto la economía local como el sector agrícola de la región. Al integrar un modelo de logística colaborativa, el uso de vehículos sostenibles y la preservación de las prácticas agrícolas tradicionales, se crea una solución innovadora que no solo beneficia a los productores, sino que también tiene un impacto positivo en el medio ambiente y en la comunidad.

Este enfoque sostenible no solo resalta el valor de la sabiduría ancestral, sino que también promueve una agricultura responsable que puede ser un ejemplo para seguir para otras regiones del país. La creación de un mercado justo, la optimización de rutas logísticas y el uso de tecnología para conectar a los productores con los consumidores son pasos fundamentales para lograr una cadena de valor más eficiente y justa.

Además, al poner en valor los saberes locales y su vínculo con el territorio, el proyecto permite que las futuras generaciones continúen cuidando y promoviendo sus tradiciones agrícolas, mientras se integran con las demandas de un mercado global que cada vez más valora la sostenibilidad. La implementación de este modelo no solo beneficiaría a las comunidades de Michoacán, sino que podría convertirse en un modelo replicable en otras regiones agrícolas del país, demostrando que la tradición y la innovación pueden coexistir para un futuro más sostenible y próspero.

En resumen, el negocio propuesto tiene el potencial de ser un catalizador para el desarrollo económico y social de las comunidades rurales, el rescate de su patrimonio cultural y la transformación positiva del sector agrícola, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores y al planeta.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al **Instituto Politécnico Nacional** y a la **Secretaría de Investigación y Posgrado** el apoyo brindado para la realización del proyecto de investigación con número de registro SIP:20260393, al Sistema de Becas por Exclusividad (SIBE) de la COFAA y del Programa de Estímulos al Desempeño Docente (PEDD) del Instituto Politécnico Nacional del cual se deriva el presente artículo.

BIBLIOGRAFÍA

Aung, M.m., y Chang, Y.S (2014). Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control*, 39, 172-184.

Bayuelo, J. J. (2005). Los recursos genéticos frutícolas de Michoacán (pp. 137–140). En L. E. Villaseñor G. (Ed.), *La biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado*. CONABIO–SUMA–UMSNH.

Bourlakis, M., y Weigtman, P. (2004). *Food Supply Chain Management*. Blackwell Publishing.

CONABIO. (2007). Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. <http://www.conabio.org.mx>

Cortez P., C. (1996). El transporte en el abasto de las grandes ciudades: El caso de México. En L. Chías & M. Pavón (Comps.), *Transporte y abasto alimentario en las ciudades latinoamericanas*. Instituto de Geografía, UNAM.

FAO. (2025). <https://www.fao.org/4/y3557s/y3557s11.htm>

Hernández- Aguilar, C., Domínguez- Pacheco, A., y Munguía- López, E. (2019). Postharvest technologies and export competitiveness in tropical fruits. *Journal of Food Quality*, 2019, 1-12.

Improvement in the food losses in fruits and vegetable supply chain – a perspective of cold third-party logistics approach. (2019). *Operations Research Perspectives*, 6, 100117. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2019.100117>

Optimizing the postharvest supply chain of imported fresh produce with physics-based digital twins. (2022). *Journal of Food Engineering*, 329, 111077. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111077>

Pandey, G., Rub, A., & Paul, M. (2022). Cold chain optimization for tropical supply chain in tropical fruit production. *Journal of Computational Analysis and Applications (JoCAAA)*, 30(2), 786–795.

Post-harvest cold chain efficiency in pome fruit operations: analyzing time and process bottlenecks. (2024). *MDPI Logistics*, 9(4), 146.

SAGARPA. (2007). Centro de estadística agropecuaria. Año agrícola 2007. Morelia, Michoacán.

Trienekens, J. (2011). Agrifood supply chain management and performance: cross-country perspectives. *Supply Chain Management*, 16(4), 231-244.

Unraveling smallholder food loss and value for sustainable cold chain investments: a case of horticultural value chains in Kiambu County, Kenya. (2024). *Frontiers in Horticulture*. <https://doi.org/10.3389/fhort.2024.1474056>.

CASO DE USO: CREACIÓN DE UN ASISTENTE DE CONOCIMIENTO EMPRESARIAL

José Juan Cabeza Ortega¹, Nicolás Jasso García², Luis Enrique Valadez Hernández³

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Piedad

¹jose.co@piedad.tecnm.mx, ²nicolas.jg@piedad.tecnm.mx, ³luis.vh@piedad.tecnm.mx

INTRODUCCIÓN

Existen muchos proveedores de tecnologías que administran servicios y recursos para diferentes tareas, aplicaciones o bien usos enfocados a agilizar dichas tareas que, en la práctica de forma manual, dicho proceso se realiza con menos rapidez, sin considerar la eficacia y eficiencia en el resultado obtenido. Dichos proveedores ofrecen plataformas empresariales avanzadas para crear, desplegar y gestionar asistentes conversacionales y agentes autónomos de inteligencia artificial orientados a la automatización de procesos de negocio.

Así como no siempre es factible utilizar servicios y recursos de nube en la práctica de negocio, de igual forma no a toda necesidad de negocio, se debe utilizar servicios de inteligencia artificial (IA), pareciera que está de moda utilizar la IA en todo. Sin embargo, antes de emprender una solución que involucre servicios de nube y de IA, se deben considerar algunos factores como son el problema a solucionar siendo éste el más importante elemento a tener en cuenta. De aquí parten otros elementos como son los datos que se van a tratar y que en lo sucesivo se convertirán en información, también es relevante la entidad de un experto en el tema o problemática, la disponibilidad del personal que toma las decisiones es de gran importancia porque son los que aportaran los datos que se requieren para llegar a una solución que cumpla con las expectativas.

Lo que se plantea en este caso, es una solución a una necesidad en la cual se requieren de servicios y recursos de nube, con elementos de inteligencia artificial como son los asistentes y agentes mediante la selección de un modelo fundacional.

TEORÍA

En la solución de problemas se debe considerar una plataforma integral, segura y flexible para crear aplicaciones y agentes de IA generativa, conectando con los modelos funcionales (FM) apropiados, servicios para desplegar y gestionar agentes y herramientas para refinar, proteger y optimizar los modelos. También tener en cuenta bases de conocimiento para conectar las aplicaciones a sus datos más recientes, de modo que tenga todo lo que se necesita para pasar rápidamente de la experimentación al despliegue en el mundo real. Para lograrlo, se requiere de un portafolio de soluciones de IA que incluye los modelos rápidos y rentables para necesidades multimodales y de texto, así como de servicios para crear agentes que automatizan flujos de trabajo de interfaz de usuario basados en navegador.

METODOLOGÍA

Como bien se menciona en la sección introductoria, se presenta un caso de uso empleando servicios y recursos de nube con elementos de inteligencia artificial.

Se considera una situación en el cual, un departamento de ventas carece de un acceso rápido a datos históricos y actuales de las ventas realizadas, lo que deriva en respuestas inconsistentes ante consultas similares. Los representantes de ventas necesitan una forma fiable de obtener rápidamente información precisa sobre las tendencias de rendimiento de los productos. Esto les permitiría ofrecer a la alta dirección recomendaciones oportunas y basadas en datos sobre qué productos priorizar. Para llegar a una solución satisfactoria, se propone utilizar una base de conocimientos que permita trabajar modelos fundacionales para admitir consultas en lenguaje natural sobre documentos de ventas almacenados en un servicio de nube, con sus incrustaciones vectoriales indexadas en clusters para una recuperación rápida y precisa.

La secuencia de los pasos que a continuación se describen varían dependiendo del tipo de problema planteado, del tamaño de la empresa y de la cantidad de datos aportados.

1. Se utiliza una plataforma que permita crear un asistente digital de conocimiento empresarial. El sistema emplea tecnología avanzada de generación aumentada por recuperación RAG (por sus siglas en inglés, Retrieval Augmented Generation), para ofrecer respuestas instantáneas y precisas a consultas relacionadas con las ventas. Esto permite que

los representantes de ventas interactúen o bien realicen consultas con el modelo fundacional (FM) para responder preguntas complejas relacionadas con el desempeño de las ventas.

2. Se define una base de datos para almacenar incrustaciones vectoriales, que son representaciones numéricas de la información contenida en los documentos de origen. Esto a su vez permite crear una base de conocimientos.

3. Mediante el uso de la RAG se mejora la respuesta de un modelo fundacional (FM) al permitirle acceder a información almacenada en dicha base de conocimientos y recuperar la información.

4. Al crear la base de conocimientos, es necesario definir una fuente de datos. Para ello se necesita de un servicio de almacenamiento de objetos escalable que actuará como repositorio de todos los informes de ventas.

5. Para completar la base de conocimientos, se inicia una sincronización de la base de datos fuente descrita en el paso 2, con el fin de poblar el almacén de vectores (las incrustaciones vectoriales).

6. Durante el proceso de sincronización, se emplea un modelo FM de incrustaciones para convertir el texto almacenado en la base de datos, en su representación vectorial.

7. Para probar la aplicación, un representante de ventas puede enviar preguntas a través de una herramienta de pruebas integrada que conectara con el modelo fundacional.

Nota: Todos los datos a los cuales se hace referencia durante el proceso, están en formato CSV para su tratamiento. Sin embargo, Se pueden incorporar datos financieros de ventas adicionales en formato PDF (por ejemplo, para visualizar el desempeño de la empresa) a través de una segunda fuente de datos para la base de conocimientos.

A continuación, se presenta el diagrama 1, como resultado de la solución planteada.

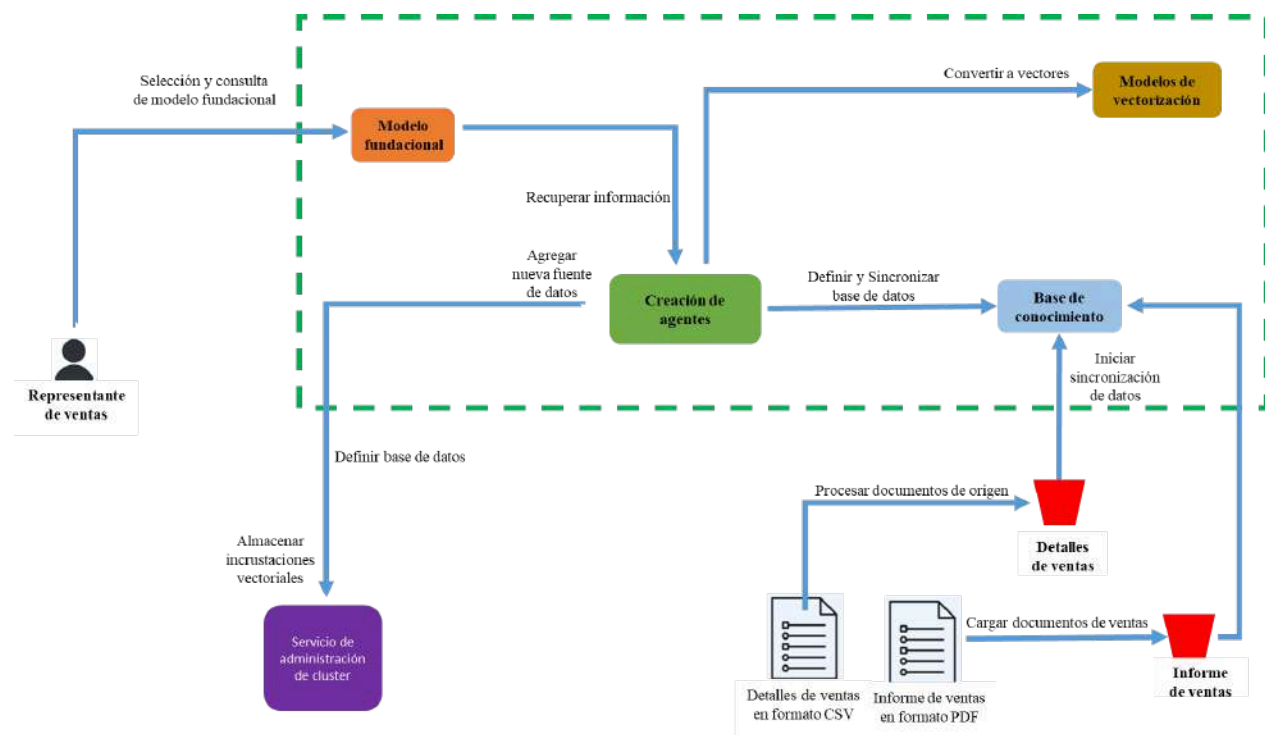


Diagrama 1 solución planteada.

CONCLUSIONES

Toda solución le precede un problema. A partir de ahí, se procede a realizar la formulación del problema. Esto implica, en parte, articular un problema empresarial y convertirlo en un problema que implique utilizar recursos y servicios de infraestructura de nube y de inteligencia artificial. Siempre existe una preparación de datos, aplicándole para dicho tratamiento, análisis de datos y elementos que tienen que ver con la ciencia de datos.

La coherencia de los datos es muy importante, y para ello se debe de contar con la total cooperación del personal de la empresa. Sobre todo, las personas que poseen los datos y quienes son lo que trabajan diariamente con ellos. En secciones anteriores se menciona que es importante la presencia y aportación de las personas expertas. Más allá de lo que se pueda realizar con las tecnologías de nube y de inteligencia artificial, es de suma importancia la interacción con el personal para alcanzar el resultado esperado.

BIBLIOGRAFÍA

(S/f). Amazon.com. Recuperado el 13 de agosto de 2026, de <https://aws.amazon.com/es/>

(S/f-b). Amazon.com. Recuperado el 13 de agosto de 2026, de https://aws.amazon.com/es/rds/aurora/?nc2=h_prod_db_aa

Soluciones de inteligencia artificial. (s/f). Ibm.com. Recuperado el 30 de julio de 2026, de <https://www.ibm.com/mx-es/solutions/artificial-intelligence>

Cloud SQL. (s/f). Google Cloud. Recuperado el 30 de julio de 2026, de https://cloud.google.com/sql?_gl=1*_rheel4*_up*MQ.*_gs*MQ..&gclid=CjwKCAjw1vXTBhB-EiwAEKr_k2eM-Sn-4e_6suWVwvQY550UmUz-T9Q7es-a14hzXu4O5mJeB6foLBoCbVwQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds

MICROINNOVACIÓN EN LAS PYMES: PROPUESTA DE SISTEMAS DIGITALES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES EN EL VALLE DE MÉXICO, SECTOR METALMECÁNICO

Nicole Fernanda Trinidad Picazo, Jesús Antonio Álvarez Cedillo, Teodoro Álvarez Sánchez
Instituto Politécnico Nacional. Sección de Estudios de Posgrado e Investigación

jesusantonioa@gmail.com, jaalvarez@ipn.mx, jesusantonioa@gmail.com

RESUMEN

El presente protocolo de investigación propone desarrollar una estrategia de micro-innovación para fortalecer la competitividad de las medianas empresas industriales del sector metalmecánico del Valle de México mediante sistemas digitales y tecnologías de automatización de bajo costo. El estudio parte de la problemática asociada con el rezago tecnológico, los paros de producción, los costos de actualización y las barreras económicas y culturales que dificultan la incorporación de tecnologías de Industria 4.0 en las PYMES. Se plantea un enfoque mixto y un estudio de caso, con observación directa, entrevistas, recolección de datos operativos y análisis de indicadores de eficiencia. La propuesta contempla diagnosticar los procesos, diseñar una solución tecnológica a la medida y comparar su comportamiento mediante simulación. Se esperan alternativas de automatización costeables, control preventivo, reducción de fallas y una mayor capacidad para la toma de decisiones basada en datos.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Censo Económico 2024 del INEGI las pymes industriales se dividen de forma distinta a las de comercio o servicio. Aunque en el sector industrial también se encuentran pequeñas empresas, se acostumbra a ver este sector en medianas ya que los procesos son pesados y necesitan mayor esfuerzo para poder realizar las actividades. Las medianas empresas industriales son más robustas, pero conservan rasgos que limitan su competitividad plena. (INEGI, 2024)

Las pequeñas empresas industriales necesitan de 11 a 50 empleados, mientras que en la mediana encontraremos de 51 a 250 empleados. Más del 80% de estas empresas son familiares lo que marca una miopía en la visión del dueño generando una resistencia a personal profesional externo por temor a perder el control. (Bendixen & Rivera, 2011)

Para estas empresas existe un desorden operativo ya que no se rige con una planificación estratégica, sino que muchas de ellas se basan a través del inmediatismo, donde hacen primero y planean después. Sufren paros constantes lo que también deteriora la instrumentación del proceso y por ende incrementa los tiempos y costos de producción. Sumado a ello podemos mencionar que existe una dependencia a la tecnología obsoleta por miedo a la innovación y un riesgo financiero; esto hace aún más tardado la recuperación de un error ya que hablamos de mecanismos con 20 años de antigüedad o hasta más (Maldonado – Gómez et al., 2025), además de tener un “Frankenstein” como proceso operativo ya que es la unión de diferentes partes de instrumentos.

Así como en una microempresa, este tipo de medianas empresas industriales poseen los mismos temores: desinformación a la tecnología o miedo a la micro innovación, que, aunque son sistemas digitales a la medida, frenan la inversión pensando que pierden el centro real de los asuntos del negocio. Esta visión los condena a la realidad donde 9 de cada 10 mipymes no superan los 2 años de vida. (Barrera et al., 2021)

Datos del INEGI (2024) reafirman lo que todo México conoce, las mipymes construyen la economía nacional, es la fuente de ingresos y contrataciones más fuertes dentro de la estructura del país. Teniendo ese contexto podemos decir que las medianas empresas tienen una contratación más alta que las micro o pequeñas empresas ya que se necesitan muchas manos para realizar un proceso. En la presente investigación se busca reafirmar lo importante que es incluir estas medianas empresas a la industria 4.0 y cómo podríamos cambiar el entorno de esta mediana empresa para bien, incorporando en ellas tecnología y técnica inteligente.

Bendixen y Rivera (2011) comentan un punto muy importante para nosotros, tener presente que no se necesita sustituir toda la maquinaria ya que financieramente es inalcanzable y de hecho algo muy lejano lo que buscamos aquí es encontrar un proceso de microinnovación que sea a la medida y sobre todo alcanzable para cada mediana empresa industrial.

Para que esta microinnovación pueda funcionar dentro de la escala que buscamos en la automatización es necesario obtener un big data a través de sensores económicos y sistemas digitales para así poder llevar una inteligencia operativa y empezar a crear datos donde no hay. Una de las principales barreras para que las empresas medianas puedan pertenecer a la industria 4.0 en México no es solamente la técnica sino la economía y un punto muy importante es la psicología (Maldonado – Gómez et al. 2025) dónde podemos hablar del miedo al cambio la idea de que innovar requiere presupuestos millonarios, el temor a procesos difíciles de operar y mantener y el más presen de en todas estas pymes el miedo a que la tecnología desplaze la experiencia humana. Son temores válidos poco fundamentados y que en la presente investigación se pretende entender a fondo y reducir esos miedos.

La pertenencia dentro del estudio con respecto a este protocolo de investigación es muy amplia ya que buscamos abordar la problemática de la inteligencia 4.0, el temor que tienen las pequeñas y medianas empresas a la innovación, además de encontrar las formas correctas para una microinnovación dentro de estos sectores buscando economía para ellas y una autonomía o control en esos procesos industriales.

Se busca la optimización de procesos dentro de cada mediana empresa teniendo en cuenta una tecnología costeable y para aquellas industrias donde no se pueden costear grandes cambios dentro del sistema operativo se buscan soluciones accesibles haciendo énfasis que muchas veces la respuesta está en la inteligencia que introducimos a los procesos ya existentes.

El presente protocolo de investigación pretende desarrollar una estrategia óptima para implementar una micro innovación específicamente en las medianas empresas industriales dentro del sector metalmecánico localizadas en el valle de México, utilizando sistemas digitales para una automatización más costeable.

Se pretende utilizar un muestreo mixto para poder obtener una comparativa dentro del estudio de empresas grandes con medianas empresas e identificar puntos clave para poder aplicarlos dentro de las pymes, cabe aclarar que no es para copiar en trabajo, sino, para tomarlo como material de apoyo para ver estrategias que no se hayan tomado en cuenta en las medianas empresas.

El resultado de embrague inculcado a cómo encontremos las medianas empresas ya que necesitamos de datos para poder llevar un control adecuado y con esto poder crear una simulación del proceso industrial que se esté realizando en la industria o en esta mediana empresa. Gracias a la recopilación de datos podremos crear prevenciones a través del control y así poder evitar fallas o paros de emergencia. Una de las ideas principales es poder darle más adelante al jefe o dueño un control desde la palma de su mano y poder ver paso a paso el funcionamiento del proceso industrial.

Pregunta de investigación

¿Cómo implementar la microinnovación a través de sistemas digitales de bajo costo para la optimización de procesos industriales en las medianas empresas metalmecánicas del Valle de México y encaminarlas a una automatización?

Objetivo

Fortalecer la competitividad de las medianas empresas industriales metalmecánicas en el Valle de México mediante una estrategia de microinnovación llevada a cabo con tecnologías de bajo costo, como sistemas digitales, para optimizar sus procesos operativos.

La propuesta constituye una alternativa para lograr automatización dentro de la industria mediante la integración de sistemas digitales de bajo costo en las PYMES, con potencial para reducir gastos de inversión, mejorar la respuesta productiva y avanzar hacia una automatización industrial.

ALCANCE DEL ESTUDIO

El presente protocolo de investigación pretende desarrollar una estrategia óptima para implementar una microinnovación específicamente en las medianas empresas industriales dentro del sector metalmecánico localizadas en el Valle de México, utilizando sistemas digitales para una automatización más costeable.

Se pretende utilizar un muestreo mixto para obtener una comparativa entre empresas grandes y medianas e identificar puntos clave que puedan servir como material de apoyo para las PYMES, sin pretender copiar los modelos de trabajo.

El estudio requiere datos para mantener un control adecuado y crear una simulación del proceso industrial de la empresa seleccionada. La recopilación de datos permitirá plantear acciones preventivas mediante el control y contribuir a evitar fallas o paros de emergencia. Una de las ideas principales es proporcionar posteriormente al responsable de la empresa un mecanismo de supervisión del funcionamiento del proceso industrial.

MARCO TEÓRICO

Es una alternativa para poder lograr una automatización dentro de una industria donde integramos los sistemas digitales de bajo costo dentro de las pymes y nos permite la reducción significativa en gastos de inversión, además de aumentar una respuesta productiva y obteniendo una automatización industrial.

Alcance del estudio

El presente protocolo de investigación pretende desarrollar una estrategia óptima para implementar una micro innovación específicamente en las medianas empresas industriales dentro del sector metalmecánico localizadas en el valle de México, utilizando sistemas digitales para una automatización más costeable.

Se pretende utilizar un muestreo mixto para poder obtener una comparativa dentro del estudio de empresas grandes con medianas empresas e identificar puntos clave para poder aplicarlos dentro de las pymes, cabe aclarar que no es para copiar en trabajo, sino, para tomarlo como material de apoyo para ver estrategias que no se hayan tomado en cuenta en las medianas empresas.

El resultado de embrague inculcado a cómo encontremos las medianas empresas ya que necesitamos de datos para poder llevar un control adecuado y con esto poder crear una simulación del proceso industrial que se esté realizando en la industria o en esta mediana empresa. Gracias a la recopilación de datos podremos crear prevenciones a través del control y así poder evitar fallas o paros de emergencia. Una de las ideas principales es poder darle más adelante al jefe o dueño un control desde la palma de su mano y poder ver paso a paso el funcionamiento del proceso industrial.

Automatización de bajo costo (LCA, low-cost automation)

La automatización de bajo costo no es barata porque sea de mala calidad, sino porque cuenta con una inteligencia diferente y más astuta. Se define como una alternativa tecnológica mucho más accesible al momento de integrar inteligencia 4.0 dentro de procesos de producción. Se traduce como una modernización dentro de operaciones productivas sin tener que llevar inversiones elevadas comercialmente tradicionales (Acosta A, et al 2015). El fundamento principal recae en hardware y software de código abierto. Siendo mucho más accesible a un acceso a pequeños productores, familias y pymes, para que así accedan a herramientas de monitoreo y control. (Caiza, G. et. al 2020).

La automatización tradicional, utiliza Controladores Lógicos Programables (PLC), lo que nos da como resultado una automatización más costosa y necesitada de una inversión más alta. Basándonos en esa idea y en querer implementar un modelo sostenible y accesible para las PYMES, podemos mencionar esta automatización de bajo costo, con otros sistemas igual de óptimos: plataformas como Arduino, Raspberry Pi y BeagleBone Black, son solo algunas opciones de sistemas de códigos abierta (Acosta A, et al 20015).

Este tipo de sistemas son más utilizados y vistos en invernaderos y huertos caseros, al ser una automatización de bajo costo, les ayuda a todos estos negocios a ser sostenibles y contar con sistemas de riego y mediciones de temperatura más eficaces y contables, así podemos llevar un histórico, además de reducir costos en agua, mejorando la calidad de la cosecha, etc.

Caiza G. et al. (2020) nos hablan de estándares de protocolos de comunicación más ligeras, eficientes y llevan una carga de datos más baja, como MQTT, AMQP y OPC UA, donde podemos llevar la integración de los sistemas distribuidos de una forma más fácil y eficiente, además del internet de las cosas (IoT).

Además de todo lo ya mencionado, nos hace falta una parte muy importante y es el software para crear interfaces de usuarios, Acosta A, et al (2015) habla de herramientas como 4DIAC, Node – RED y lenguajes como PHP o HTML, donde se pueden gestionar los datos de una forma remota. Es importante destacar que aquellas estructuras, solo se implementaran en lugares que cuenten con un sistema de computo

Economía y tecnologías

Para una automatización a nivel industrial en grandes empresas, el uso de PLC es elemental, además de variar según la capacidad, marcas y proveedores. Para fines de la investigación se realizó una investigación a través de internet (2026) , donde se recabó un aproximado, según diferentes proveedores, desde Amazon a mercado libre, además de realizar una investigación en proveedores externos e internos.

Existen diferentes marcas como Siemens, Rockwell Automation (Allen-Bradley), Scheinder Electri, ABB, etc. Donde encontramos instrumentación más costosa, mencionando que también existen versiones genéricas o compatibles siendo aún más accesibles. Teniendo una mayor capacidad de entradas y salidas (I/O), el costo sería mayor.

En promedio hablando de micro PLC hablamos de un costo de \$1000 -\$5000, para PLC de gama media o mejor conocidos como industriales se encuentran en un promedio de \$5000 - \$20000, hablando de marcas de renombre. Cuando se habla de PLC modulares ya hablamos de costos arriba de los \$20000.

Es necesario hablar de los costos reales de una automatización industrial en un nivel de gama media e incluso siendo básica, ya que la comparativa es muy grande.

El costo promedio en México de una placa de Arduino genérica ronda de \$145 - \$200 (Stereon, 2026) además existen versiones italianas como Arduino original en un costo de aproximado de \$600 MXN. Como podemos observar, la diferencia en costo es muy alta, siendo una opción mucho más factible para pymes mexicanas con poco presupuesto.

Tabla 1. Comparación de características y precios de microcontroladores. Acosta et al. (2015)

<i>Dispositivo / tecnología</i>	<i>Características principales</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Limitaciones</i>	<i>Precio aproximado*</i>
PLC	Controlador lógico programable; permite reprogramación, operaciones aritméticas y mayor capacidad de almacenamiento.	Alta confiabilidad, robustez industrial y capacidad de integración con procesos automatizados.	Mayor costo de adquisición y configuración; requiere mayor inversión inicial.	\$1,000–\$4,000
Arduino	Hardware libre y microcontrolador reprogramable; compatible con software libre y sensores de bajo costo.	Bajo costo, facilidad de programación, amplia disponibilidad de sensores y facilidad de conexión.	Menor robustez industrial frente a un PLC convencional y requiere una adecuada adaptación al entorno industrial.	\$50–\$90

PIC 16F628	Microcontrolador con conjunto reducido de instrucciones de longitud fija; tiempo de instrucción definido.	Bajo costo y adecuado para aplicaciones específicas de control.	Menor flexibilidad y capacidad de expansión frente a plataformas más completas.	\$6–\$10
Dispositivo temporizador	Activa y desactiva una acción después de un periodo determinado; no es programable y utiliza una plataforma cerrada.	Simplicidad de operación y bajo costo para tareas básicas de temporización.	No permite programación avanzada ni procesamiento de información.	\$24–\$90

Fuente: Elaboración propia con base en Acosta, Aguilar y Pinzón Trejos (2015) y en la información integrada en el protocolo de investigación.

La idea principal para implementar la automatización dentro de las PYMES es incorporarlas a la tecnología 4.0 y así mejorar su posición en el mercado. Observe la figura 1.

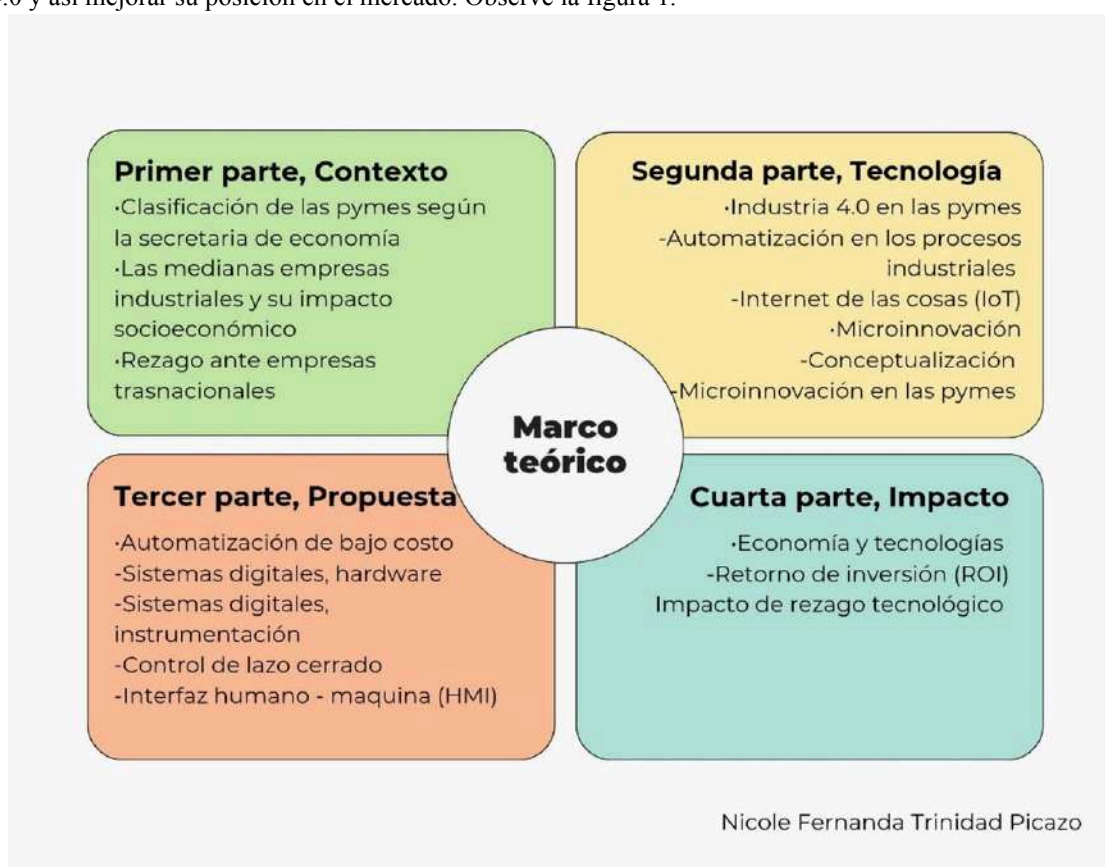


Fig. 1. Cuadro organizacional del marco teórico propuesto.

METODOLOGÍA

El presente protocolo de investigación tendrá un enfoque mixto cuanti y cualitativo (Blaxter et al., 2016; Sautu et al., 2005). Para la investigación que se está estudiando se requiere tener la parte cuantitativa por

los datos numéricos de la existencia en los históricos que se requieren dentro del big data. Para la parte cualitativa tendremos que comprender las grandes empresas y sus dinámicas organizacionales (Hellriegel & Slocum, 2009; Newstrom, 2011) además de poder obtener comparativas gracias a este muestreo.

El diseño del presente protocolo de investigación será un estudio de caso (Creswell, 1998; Montoya Flores & Barba Álvarez, 2011) donde podremos analizar con profundidad los procesos y obtener soluciones escalables.

El protocolo de investigación se llevará a cabo en el sector metalmecánico que en el valle de México. Además, la parte cualitativa la obtendremos de grandes empresas de la misma localidad (valle de México), para enriquecer una comparativa o punto de apoyo en la dinámica organizacional y operativa (Montoya Flores & Barba Álvarez, 2011).

Para poder lograr toda la información que se busca tenemos muchas áreas por entrevistar por ejemplo para la visión estratégica entrevistar a los directivos y que nos ayuden con una visión más amplia de cómo se va el mando o cómo se pueden ir manejando o desarrollando dentro de la empresa (Chiavenato, 2017). Para la parte operativa que es la más importante o la que más peso tiene podemos ver a los jefes de área ya que ellos son responsables de la siguiente área donde veremos a todos los operadores de maquinaria como los técnicos así podremos capturar la realidad de la eficiencia en los procesos y comportamiento humano (Newstrom, 2011).

Hablando de pequeñas y medianas empresas a veces no se tiene esta jerarquía así que es indispensable tener un punto de partida donde podremos observar cuál es el plano que realmente deberían tener. Uno de los departamentos que más nos interesa son los del proceso ya que en ellos guardamos toda la información que necesitamos para poder construir nuestro protocolo de investigación.

Para la selección de la mediana empresa industrial que utilizaremos, necesitamos un muestreo no probabilístico por conveniencia (Sautu et al., 2005) ya que necesitamos empresas con ciertas características cómo contar con procesos manuales o semi automatizados donde también podemos identificar mejoras dentro de la empresa. Otro punto importante que debemos tener en consideración para la elección de este tipo empresa es la disposición a los datos del proceso operativo.

La investigación necesita y requiere una revisión de los deportes de producción además de costos para identificar la línea de base de la empresa. Se requiere de una observación directa donde podremos ver la línea de producción de primera mano y los cuellos de botella existentes (Sautu et al., 2005). Adicional a ello, son necesarias diferentes entrevistas con los trabajadores ya que en muchas pymes no llevan un control digital de los datos o del producto que entra y sale; es necesario acercarnos al personal clave para de igual forma entender las limitaciones que ellos perciben (Newstrom, 2011).

Una de las ideas principales por las cuales se piensa realizar una revisión de datos en diferentes medianas empresas industriales del área metalmecánica en el valle de México es para captar cuáles son los indicadores principales y poder generar un protocolo más amplio y a la medida de varias de estas medianas empresas (Filion et al., 2011).

Fases en la investigación

Para esta fase, la fase inicial de nuestro procedimiento requerimos tener una recolección de datos para poder mapear el estado actual de la empresa en donde podremos observar qué tipo de infraestructura tiene y cuál es el proceso que lleva, si tienen históricos o si no los tienen (Sautu et al., 2005); Para poder tener una primera fase o una base sólida necesitamos observar todos los contextos, tanto las empresas que sí cuentan con sensores o con una pequeña entrada a esta automatización o el otro lado de la moneda donde nos damos cuenta que no cuentan con ninguno de estos instrumentos (Sayem et al., 2022).

En esta fase del protocolo nos permitiremos analizar las limitaciones y oportunidades desde la raíz.

Diseño y análisis a la medida

Teniendo siempre en mente que la micro-innovación es la adaptación de innovaciones tecnológicas a una escala local con impacto profundo a la rentabilidad y de una forma más específica, buscamos poner en práctica este concepto para poder diseñar los modelos de micro-innovación y la arquitectura de los sistemas digitales de bajo costo que necesitarán las empresas (Pintor-Corona et al., 2019).

La fase número dos de nuestra investigación tendrá como fin procesar los datos ya recabados para poder diseñar nuestra primera propuesta en la micro-innovación.

RESULTADOS

Una vez concluida la segunda fase de la investigación, se desarrollará la etapa de simulación del proceso, cuyo propósito será comparar el comportamiento de la infraestructura actual con el modelo de control propuesto. Esta comparación permitirá establecer diferencias en variables relacionadas con la eficiencia, disponibilidad de los equipos, frecuencia de fallas, tiempos de paro, mantenimiento y costos de operación. A partir de estos indicadores será posible realizar una evaluación del desempeño del modelo propuesto y determinar su viabilidad antes de considerar una implementación física.

La comparación entre ambas condiciones permitirá establecer una línea base correspondiente a la infraestructura actual y contrastarla con los resultados obtenidos mediante el modelo simulado. Entre los principales aspectos de análisis se consideran el número de paros de emergencia, tiempo de respuesta ante fallas, disponibilidad de los equipos, eficiencia del proceso, costos de mantenimiento y productividad. La Tabla 2 presenta la comparación general entre la infraestructura actual y el modelo propuesto, mientras que la Tabla 3 establece los principales indicadores que serán utilizados para cuantificar las diferencias entre ambos escenarios.

Tabla 2. Comparación entre infraestructura actual y modelo propuesto.

<i>Variable de comparación</i>	<i>Infraestructura actual</i>	<i>Modelo propuesto mediante simulación</i>	<i>Resultado esperado</i>
<i>Tipo de mantenimiento</i>	Principalmente correctivo	Preventivo y predictivo	Disminución de fallas inesperadas
<i>Paros de emergencia</i>	Frecuentes o no controlados	Reducción mediante monitoreo y prevención	Mayor continuidad operativa
<i>Tiempo de respuesta</i>	Elevado ante una falla	Menor mediante detección anticipada	Reducción del tiempo improductivo
<i>Control del proceso</i>	Dependiente de intervención humana	Lazos de control automatizados	Mayor estabilidad
<i>Monitoreo</i>	Limitado	Monitoreo de variables del proceso	Mayor disponibilidad de información
<i>Uso de datos</i>	Registro parcial	Datos cuantificables para análisis	Mejor toma de decisiones
<i>Costos de mantenimiento</i>	Incrementados por fallas inesperadas	Planeados y controlados	Reducción del costo operativo
<i>Eficiencia</i>	Variable	Optimizada mediante simulación	Mayor eficiencia del proceso
<i>Toma de decisiones</i>	Reactiva	Preventiva basada en indicadores	Mayor capacidad de respuesta

<i>Competitividad</i>	Limitada por pérdidas y paros	Fortalecida mediante automatización	Mayor competitividad empresarial
-----------------------	-------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------

Tabla 3. Comparación de indicadores de desempeño

<i>Indicador</i>	<i>Situación actual</i>	<i>Modelo propuesto</i>	<i>Unidad de medición</i>	<i>Tendencia esperada</i>
<i>Tiempo promedio de paro</i>	Por determinar	Por determinar	Horas/mes	↓
<i>Número de paros de emergencia</i>	Por determinar	Por determinar	Paros/mes	↓
<i>Tiempo de respuesta ante fallas</i>	Por determinar	Por determinar	Minutos	↓
<i>Tiempo de operación continua</i>	Por determinar	Por determinar	Horas	↑
<i>Disponibilidad del equipo</i>	Por determinar	Por determinar	%	↑
<i>Eficiencia del proceso</i>	Por determinar	Por determinar	%	↑
<i>Costo de mantenimiento</i>	Por determinar	Por determinar	\$/mes	↓
<i>Costo por paro</i>	Por determinar	Por determinar	\$/evento	↓
<i>Tiempo de mantenimiento</i>	Por determinar	Por determinar	Horas	↓
<i>Productividad</i>	Por determinar	Por determinar	Unidades/hora	↑

El objetivo de esta etapa será orientar a la mediana empresa hacia un proceso productivo más estructurado, con una menor incidencia de fallas y una reducción de los paros de emergencia. La incorporación de estrategias de monitoreo y control preventivo permitirá analizar anticipadamente el comportamiento de las variables del proceso y establecer acciones orientadas a disminuir los tiempos improductivos. En este sentido, la evaluación de la eficiencia no se limitará al comportamiento técnico del sistema, sino que también considerará sus efectos sobre la productividad, los costos y la continuidad de las operaciones, elementos relacionados con la competitividad organizacional (Chiavenato, 2024).

Análisis costo-beneficio

Además de la evaluación técnica, la simulación permitirá realizar un análisis de costo-beneficio entre la infraestructura actual y el modelo propuesto. Para ello, se considerarán variables como los costos de mantenimiento correctivo, costos asociados a los paros de emergencia, inversión requerida para la incorporación de sensores y sistemas de automatización, así como los posibles ahorros derivados de la disminución de fallas y tiempos muertos.

La Tabla 4 presenta los elementos que serán considerados para este análisis. El propósito será determinar si los beneficios derivados de la implementación del modelo pueden compensar la inversión inicial requerida. De esta manera, la decisión de implementar el sistema no dependerá únicamente de una mejora técnica, sino también de la relación entre inversión, ahorro operativo y recuperación de la inversión.

Tabla 4. Análisis costo-beneficio

<i>Concepto</i>	<i>Infraestructura actual</i>	<i>Modelo propuesto</i>	<i>Beneficio esperado</i>
<i>Inversión inicial</i>	Baja	Media/Alta	Inversión orientada a modernización
<i>Costo de mantenimiento correctivo</i>	Alto	Bajo/Medio	Reducción de gastos imprevistos

<i>Costo de paros de emergencia</i>	Alto	Bajo	Menores pérdidas de producción
<i>Costo de monitoreo</i>	Bajo	Medio	Mayor disponibilidad de información
<i>Costo de implementación de sensores</i>	—	Por determinar	Obtención de datos en tiempo real
<i>Costo de automatización</i>	—	Por determinar	Mayor control del proceso
<i>Ahorro por reducción de fallas</i>	Bajo	Alto	Recuperación progresiva de inversión
<i>Ahorro por reducción de tiempos muertos</i>	Bajo	Alto	Incremento de productividad
<i>Retorno de inversión</i>	No determinado	Por calcular	Evaluación de viabilidad
<i>Beneficio global</i>	Limitado	Esperado positivo	Mayor competitividad

Muestreo mixto y detección de barreras tecnológicas

La investigación utilizará un enfoque de muestreo mixto con la finalidad de integrar información cuantitativa y cualitativa y obtener una visión más completa del problema. La información cualitativa será obtenida mediante entrevistas dirigidas a personal relacionado con la operación, mantenimiento y gestión del proceso. Su análisis permitirá identificar patrones recurrentes relacionados con las barreras tecnológicas, organizacionales, económicas y humanas que pueden limitar la incorporación de tecnologías asociadas con la Industria 4.0.

El análisis de las entrevistas permitirá identificar aspectos que difícilmente podrían determinarse únicamente mediante indicadores cuantitativos, tales como resistencia al cambio, disponibilidad de capacitación, capacidad de inversión, nivel de digitalización y percepción del personal respecto a la automatización. Estos elementos serán utilizados como complemento de los indicadores técnicos y económicos, permitiendo establecer una interpretación más amplia de las condiciones que enfrenta la mediana empresa industrial en México (Creswell, 1998; Maldonado-Gómez et al., 2025).

La Tabla 5 integra las principales categorías de análisis cualitativo y cuantitativo que serán consideradas para identificar las barreras tecnológicas. De esta manera, los resultados obtenidos mediante las entrevistas podrán relacionarse con los datos derivados de los registros operativos y de la simulación.

Tabla 5. Indicadores para validar la simulación

<i>Dimensión</i>	<i>Indicador</i>	<i>Método de obtención</i>	<i>Comparación</i>
<i>Productividad</i>	Producción por unidad de tiempo	Registros del proceso	Actual vs. simulado
<i>Disponibilidad</i>	Tiempo disponible del equipo	Registros operativos	Actual vs. simulado
<i>Mantenimiento</i>	Número de intervenciones	Historial de mantenimiento	Actual vs. simulado
<i>Fallas</i>	Número de eventos	Registros de fallas	Actual vs. simulado
<i>Paros</i>	Tiempo acumulado de paro	Registro de producción	Actual vs. simulado

<i>Eficiencia</i>	Relación producción/recursos	Cálculo de eficiencia	Actual vs. simulado
<i>Costos</i>	Costo mensual de operación	Registros contables	Actual vs. simulado
<i>Respuesta</i>	Tiempo para detectar y atender una falla	Registro de eventos	Actual vs. simulado
<i>Control</i>	Variación de las variables del proceso	Sensores/simulación	Actual vs. simulado

Indicadores de eficiencia y desempeño

Para evitar que la evaluación de la propuesta se base únicamente en supuestos, se establecerán indicadores cuantificables que permitan medir el comportamiento del proceso. Entre ellos se consideran el tiempo promedio de paro, número de paros de emergencia, tiempo de respuesta ante fallas, disponibilidad de los equipos, eficiencia del proceso, costo de mantenimiento, costo asociado a los paros, tiempo de mantenimiento y productividad.

Estos indicadores permitirán establecer una comparación objetiva entre la situación actual y el comportamiento esperado del modelo propuesto. La Tabla 3 presenta los principales indicadores de desempeño, mientras que la Tabla 5 establece el método mediante el cual cada indicador podrá ser obtenido y comparado. Los valores correspondientes a la infraestructura actual serán determinados a partir de registros históricos, observación directa y levantamiento de información en campo; posteriormente, los valores del modelo propuesto serán obtenidos mediante la simulación.

En consecuencia, la evaluación permitirá determinar si el modelo propuesto presenta mejoras respecto a la línea base. Los indicadores relacionados con paros, tiempos de respuesta y costos deberán mostrar una tendencia de reducción, mientras que aquellos asociados con disponibilidad, productividad y eficiencia deberán presentar una tendencia de incremento. Esta estructura permitirá evaluar cuantitativamente el impacto de la propuesta.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

Es necesario que para la investigación presente llevemos un riguroso principio de confidencialidad hablando en todos los sentidos, tanto para la parte de las entrevistas individuales como la protección de los datos industriales. Antes de poder trabajar dentro de las pequeñas o medianas empresas es necesario el consentimiento de ellas, garantizando que la información será utilizada únicamente con fines académicos y de titulación, asegurando la integridad de los participantes, tal como aparece en los manuales de metodología aplicada (Sautu et al., 2005), además de seguir el marco normativo del Instituto Politécnico Nacional.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Instituto Politécnico Nacional (IPN), a la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) con el proyecto SIP 20260439. A la Unidad Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas, y Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital. Asimismo, al Programa de Estímulo al Desempeño de los Investigadores (EDI) y a la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del Instituto Politécnico Nacional (COFAA).

REFERENCIAS

- Acosta, A., Aguilar, A., & Pinzón Trejo, C. (2015). Automatización de bajo costo utilizada en la producción agrícola en invernaderos y huertos caseros. 13th LACCEI Annual International Conference.
- Barrera, A., Méndez, S., & Pérez, M. (2021). La competitividad de las MiPyMEs en México: Retos y perspectivas. Ciudad de México, México: UNAM.
- Bendixen, L. J., & Rivera, L. F. (2011). Administración de Pymes: Emprender, dirigir y desarrollar empresas. Estado de México, México: Pearson Educación.
- Blaxter, L., Hughes, C., & Tight, M. (2016). How to Research. Open University Press.
- Caiza, G., Llamuca, J. D., Guilcapi, J. R., Garcia, C. A., & Garcia, M. V. (2020). Automatización de bajo costo para integración de sistemas distribuidos basado en OPC UA e ISA-95. RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação, págs. 69-82.
- Chiavenato, I. (2024). Planeación estratégica: Fundamentos y aplicaciones. McGraw-Hill.
- Creswell, J. W. (1998). Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Traditions. Sage Publications.
- De la Rosa Albuquerque, A., & Lozano Carrillo, O. (2015). La Mipyme a debate: actualización y nuevos temas de estudio. México, D.F.: Competitive Press / UAM.
- Filion, L. J., Cisneros, L. F., & Mejía-Morelos, J. H. (2011). Administración de PYMES: Emprender, dirigir y desarrollar empresas. México, D.F.: Pearson Educación.
- García Ruíz, A. F., Acosta-Gonzaga, E., & Perez, R. (2020). Beneficios para las PyMEs a través de la inteligencia de negocios: estudio de caso de una PyME de servicios para eventos sociales. Revista de Investigación en Tecnologías de la Información (RITI), págs. 66-74.
- Gomez Montoya, D., Méndez Giraldo, G., Méndez Morales, E., Ortiz Chavarro, G., & Turrieago Hoyos, Á. (2008). Metodología basada en proceso de jerarquía analítica (AHP) para seleccionar cadenas productivas que buscan soluciones de automatización a bajo costo. Ciencia, Academia e Investigación, págs. 15-24.
- Hellriegel, D., & Slocum, J. W. (2009). Comportamiento Organizacional. Cengage Learning. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). Censos Económicos 2024. Resultados definitivos. Aguascalientes, México: INEGI. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2024/>
- Maldonado-Gómez, G., Tomás-Miquel, J. V., & Capó-Vicedo, J. (2025). Adopción de la Industria 4.0 en el contexto latinoamericano: análisis de barreras en México. CIENCIA ergo-sum, 32(1). Obtenido de <https://doi.org/10.30878/ces.v32n0a34>
- Montoya Flores, M. T., & Barbara Álvarez, A. (2011). Estudio de caso y organizaciones: Método, investigación y praxis. En L. M. debate. Competitive Press / IPN.
- Newstrom, J. W. (2011). Comportamiento humano en el trabajo. McGraw-Hill.
- Rivera-González, G., & González-Rogel, E. (2023). Adopción de la Industria 4.0 en el contexto latinoamericano: análisis de barreras en México. Eticanet. Revista científica electrónica de Educación y Comunicación en la Sociedad del Conocimiento, págs. 362-380.
- Sabino, C. (1992). El proceso de investigación. Panamericana / Lumen-Humanitas.

Sautu, R., Boniolo, P., Dalle, P., & Elbert, R. (2005). Manual de metodología: Construcción del marco teórico, formulación de los objetivos y elección de la metodología. CLACSO.

Stock, T., & Seliger, G. (2021). Low-cost automation for sustainable manufacturing. En *Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems* (págs. 385-392). Springer, Cham.

INTEGRACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA PREVENCIÓN DE FRAUDES EN TRANSACCIONES CON TARJETAS DE CRÉDITO DIGITALES.

Villegas Hernandez Sayra Joseline¹ Sandoval Gómez Raúl Junior² Rojas Torres Jesús César Alberto³

¹ Instituto Politécnico Nacional ²Instituto Politécnico Nacional ³Instituto Politécnico Nacional

¹villegasjoseline@gmail.com ²rsandova@ipn.mx ³jroast1000@alumno.ipn.mx

RESUMEN

El principal objetivo del presente artículo es analizar el impacto positivo que puede generar la correcta implementación del machine learning en el proceso de prevención de fraudes digitales, analizando diversos artículos y casos de éxito. Los resultados muestran que los modelos basados en machine learning tienen la capacidad de detectar anomalías, rápida adaptación al cambio, análisis de un alto volumen de datos en un periodo corto de tiempo y detección de nuevos patrones de fraude, sin embargo, el cuidado de la calidad de los datos para el entrenamiento del machine learning es un punto fundamental para su correcto funcionamiento, brindar un buen mantenimiento y añadir las actualizaciones correspondientes incrementará el porcentaje de asertividad.

Palabras clave: inteligencia artificial; Machine Learning; fraude financiero; tarjetas de crédito digitales; detección de anomalías; ciberseguridad.

ABSTRACT

The main objective of this article is to analyze the positive impact that the proper implementation of Machine Learning can have on the prevention of digital fraud by reviewing scientific literature and successful industry case studies. The findings indicate that Machine Learning-based models are capable of detecting anomalies, adapting rapidly to emerging fraud patterns, processing large volumes of data within a short period, and identifying new fraudulent behaviors. However, the quality of the data used for model training is a critical factor influencing their performance. Continuous maintenance, regular model updates, and the incorporation of high-quality training data can significantly improve detection accuracy and the overall effectiveness of fraud prevention systems.

Keywords: artificial intelligence; machine learning; financial fraud; digital credit cards; anomaly detection; cybersecurity.

INTRODUCCIÓN

El sector financiero se ha revolucionado con la transformación digital y a su vez los usuarios se han adaptado a estos cambios realizando sus operaciones sin necesidad de acudir a una sucursal o establecimiento físico como hace algunos años. El incremento de los comercios digitales, uso de dispositivos móviles y plataformas como medios de pago han facilitado el acceso a los servicios financieros, facilitando la vida del usuario, sin embargo, los riesgos respecto a la seguridad de la información y actividad fraudulenta ha incrementado y se diseñan métodos más sofisticados conforme avanza la tecnología que actúa para prevenir estos sucesos.

De acuerdo con los datos proporcionados por INEGI en la encuesta nacional de inclusión financiera 2024 (ENIF) se puede observar un incremento de 8.7 puntos porcentuales en 2024. Haciendo referencia a la población nacional con tarjeta de crédito en 2015 se contaba con un 68.4% de la población mientras que para el año 2024 se contaba con 76.5%.



Nota: Corresponde a la población de 18 a 70 años.

^{1/} Población con al menos un producto financiero formal: una cuenta o tarjeta de ahorro, un crédito, un seguro o una cuenta de ahorro para el retiro o afore.

Fuente: INEGI. Encuesta Nacional de Inclusión Financiera (ENIF), 2015 a 2024.

Sin embargo, realizando un enfoque solo a tarjeta de crédito bancaria pasamos de 10.5% a 15.7%, para el año 2024 se incorporó el concepto de pago en plataformas digitales que representa un 69.1% (INEGI, 2024).



Nota: Corresponde a la población de 18 a 70 años con cuenta de ahorro formal.

^{1/} Incluye comercios, llamada telefónica y otros medios de consulta.

Fuente: INEGI. Encuesta Nacional de Inclusión Financiera (ENIF), 2021 y 2024.

Este crecimiento muestra la flexibilidad del usuario para la adopción de nuevos medios de pago digitales y la necesidad de mejorar los procesos de prevención y seguridad de la información.

Porcentaje de población, por medio de pago frecuente según monto de compra
2021 y 2024^{1/}

	Compras de \$500 o menos		Compras de \$501 o más	
	2021	2024	2021	2024
Pago en efectivo	90.1	85.2	78.7	73.5
Uso físico de tarjeta de débito o crédito	7.4	10.4	15.6	19.0
Transferencia electrónica o aplicación de celular	1.6	4.4	2.8	7.6

Nota: Corresponde a la población de 18 a 70 años.
^{1/} Los datos de 2021 no suman 100 porque se excluyen otras formas de pago.
Fuente: INEGI. Encuesta Nacional de Inclusión Financiera (ENIF), 2021 y 2024.

Por otro lado, los defraudadores se ven obligados a mejorar las estrategias que utilizan en para vulnerar la seguridad de los medios de pago digitales. Actualmente dentro de las amenazas más comunes se encuentra: el phishing, robo de identidad, ATO (toma de control de cuentas), cuentas mula y requieren de sofisticados procesos para la oportuna detección a través del rápido análisis de diversos parámetros que se pueden observar durante la transacción, sin embargo, una transacción tarda aproximadamente entre 2 y 15 segundos en aprobarse por lo que humanamente sería imposible analizar cientos de transacciones al mismo tiempo.

Basándonos en el reporte del Buró de Entidades Financieras en el periodo de enero-septiembre 2024 registró 3.6 millones de reclamaciones por concepto de posible fraude, 27 mil por posible robo de identidad y 112 mil por productos relacionados a la Banca y servicios electrónicos con un total de 4.9 millones de reclamaciones ante las Instituciones Financieras y en CONDUSEF, lo que sustenta que los métodos tradicionales requieren modificarse para que puedan cumplir con su objetivo, prevenir el mayor número de transacciones fraudulentas (Maceda, 2025).

La inteligencia artificial cuenta con un campo de suma importancia que es conocido como Machine Learning y se caracteriza por su velocidad de análisis para un volumen alto de datos y la rapidez con la que puede brindar resultados que ayuden con la toma de decisiones, por otro lado, permite desarrollar modelos que ayudan a identificar patrones y realizar proyecciones o predicciones a partir de la información con la que se va alimentando su entrenamiento para resolver problemas complejos (Pandey et al., 2026).

JUSTIFICACIÓN

El incremento en el volumen de las transacciones digitales ha causado un impacto significativo en beneficio de los tarjetahabientes y las instituciones financieras, pero al mismo tiempo han incrementado los fraudes electrónicos. Con el avance de la tecnología se han mejorado las estrategias y procesos para realizar un fraude e incluso han aparecido nuevas formas de llevarlo a cabo, lo que dificulta poder detectar en tiempo estas amenazas.

Los sistemas de prevención de fraude convencionales se basan en reglas diseñadas por los especialistas, las cuales permiten identificar algunos patrones o comportamientos de riesgo, sin embargo, en el momento en que es diseñada una nueva estrategia de fraude y los analistas tienen la capacidad de descifrar como identificar este nuevo patrón pueden ocurrir infinidad de transacciones fraudulentas, es por ello la importancia y necesidad de incorporar el ML a estos sistemas de detección y prevención, su capacidad de análisis de un alto volumen de datos y la rapidez con la que lo realizan ayuda a una toma de decisiones rápida y asertiva.

La inteligencia artificial brinda la oportunidad de mejorar los procesos y fortalecer las áreas de seguridad de la información mediante técnicas del Machine Learning con su capacidad de adoptar, analizar y encontrar patrones de riesgo en un periodo corto de tiempo como el análisis de cientos de datos, esto le permite aprender y diseñar procesos o acciones para prevenir el fraude basándose también en comportamientos atípicos en tiempo real (Islam et al., 2025).

Adicional del beneficio operativo, el uso de la inteligencia artificial ayuda a mejorar la experiencia del cliente al añadir seguridad a las transacciones y evitar bloqueos o rechazo de transacciones innecesarias, en paralelo favorece a la parte de ciberseguridad ayudando a cumplir con las regulaciones y transformación digital de las diferentes instituciones financieras (Hardy, 2025).

Este artículo busca resaltar la importancia y el beneficio de la integración de la inteligencia artificial en diversos procesos para la prevención de fraudes con tarjetas de crédito digitales en medios electrónicos.

TEORÍA

Contexto y evolución del fraude en tarjetas de crédito digitales

Crecimiento de las transacciones digitales

Las transacciones fraudulentas son todas aquellas que se realizan con la intención de obtener recursos de forma ilícita realizando un mal uso de la información personal de los tarjetahabientes. Para contrarrestar esto existe el proceso de prevención de fraudes que engloba todas las acciones y estrategias que se implementan para evitar que la información sea vulnerada (Cano, 2011).

En la actualidad la tecnología avanza muy rápido por lo que el defraudador se ve obligado a implementar nuevos métodos para lograr su objetivo, las transacciones digitales van en aumento por lo que se vuelve un foco atractivo para la ciberdelincuencia.

El incremento del e-commerce, contratación de tarjetas de crédito y uso de dispositivos móviles ha facilitado la vida de los usuarios y al mismo tiempo incrementa la vulnerabilidad y exposición al riesgo de transacciones engañosas.

Tipos de fraude más comunes

El phishing es una de las principales técnicas para obtener los recursos monetarios debido a que existen diversos métodos para engañar al usuario, como las páginas falsas de tiendas verídicas, redes sociales con anuncios de productos por precios espectaculares, correos electrónicos con publicidad engañosa, los usuarios ingresan por estos medios su información personal y bancaria, lo cual resulta una forma sencilla para el defraudador para la obtención de información.

Las transacciones con tarjeta no presente aumentan la probabilidad de un robo de identidad, usurpación de cuentas, etc. y esto ocurre porque no requieren validación física del usuario. Los sistemas de prevención de fraudes cada día están expuestos a más desafíos por la escala, rapidez y toma de decisiones en tiempo real (Owusu-Mensah et al. (2026).

Fundamentos de la inteligencia artificial aplicados a la prevención del fraude

¿Qué es la inteligencia artificial?

La inteligencia artificial es un campo de la tecnología orientado al desarrollo de sistemas con capacidades similares a las capacidades humanas como el aprendizaje, toma de decisiones, análisis y comparativa.

En especial en el entorno financiero tiene la capacidad del análisis de un alto volumen de datos en periodo corto de tiempo lo que beneficia en la detección oportuna de alguna anomalía en las transacciones por algún posible fraude.

Machine Learning aplicado a la detección del fraude

El Machine Learning es un subcampo de la IA con la capacidad de aprender a partir de datos históricos, construir modelos a partir de patrones y con capacidad de analizar un alto volumen de datos en un periodo corto de tiempo lo que facilita la toma de decisiones y clasificando las posibles transacciones fraudulentas de las verídicas (Pandey et al., 2026).

Dentro del ML se encuentran subcampos importantes: aprendizaje supervisado (clasificación de información mediante un análisis previo), no supervisado (detecta anomalías sin clasificar los datos lo que permite identificar nuevos patrones).

Técnicas de IA para la prevención del fraude

Aprendizaje automático (Machine Learning)

Durante mucho tiempo las instituciones financieras han basado sus modelos de detección de fraude en reglas diseñadas por los especialistas en prevención de fraude centrando su atención en parámetros como: importes de las transacciones, ubicación, periodicidad en el comercio, tiempo entre cada transacción, etc.

Sin embargo, con el avance de la tecnología estas reglas no cuentan con la capacidad de adaptarse, se debe de esperar a que suceda un ataque para comenzar a estudiar que parámetros debe de evaluar y como debe de hacerlo para que esta nueva regla se pueda integrar al sistema de detección.

(Papasavva, 2025) indica que normalmente estos modelos necesitan ser reentrenados varias veces con diferentes datos antes de que estén en funcionamiento para un correcto y oportuno ajuste, se realiza mediante una validación cruzada en la cual se clasifican los datos para comprobar la capacidad predictiva y reducir el riesgo. Para el monitoreo transaccional estos modelos podrían considerar algunos parámetros importantes como: importe de la transacción (saber si está en el rango habitual de las operaciones del cliente), ubicación del usuario y geolocalización de la transacción, si existe algún cambio de dispositivo, frecuencia de las transacciones (son en ráfaga o en diferentes horarios), intentos de compra en el mismo comercio, límite de crédito disponible, horario de las transacciones, contacto previo con el comercio, doble factor de autenticación, etc.

Redes neuronales y Deep Learning

El deep learning (aprendizaje profundo) cuenta con una capacidad de análisis de datos más amplia que el aprendizaje automático y esto se debe a que el deep learning cuenta con características particulares como: representación de datos en varias capas de abstracción, reconocimiento y detección de objetos, reconocimiento de voz y un aprendizaje profundo. Alghofaili et al. (2020).

Por otro lado, las redes neuronales forman parte importante dentro de la detección de fraudes en línea. De acuerdo con Rasoul Kiani (2020) las redes neuronales se pueden mejorar a través de algoritmos genéricos para la correcta detección de anomalías en un periodo corto de tiempo y reduce el error de prueba, por lo que se vuelve un método confiable para este sector. Kiani et al. (2020).

Análisis predictivo y detección de anomalías

La detección oportuna de las operaciones fraudulentas es un gran desafío debido al desequilibrio en los datos (Darwish et al., 2025), es decir, a la gran diversidad de tipos de fraudes actualmente activos y esto complica poder etiquetar los datos de una forma correcta, la identificación correcta de los atributos se dificulta debido a que no todos los tipos de fraudes tienen un patrón en común y realizar una selección o clasificación incorrecta podría alterar las reglas de detección y a su vez esto se convierte en un riesgo.

El aprendizaje no supervisado toma un valor importante en este proceso debido a su capacidad de análisis, puede alertar en tiempo real algo atípico que esté ocurriendo ya sea con un solo cliente, algún segmento en específico o algún comercio.

Implementación práctica en sistemas de tarjetas de crédito

Los métodos de pago digitales han tomado gran valor e importancia en la sociedad desde que comenzaron a facilitar el acceso a diversas transacciones desde un equipo móvil.

Integración con sistemas bancarios y procesadores de pagos

Un procesador de pago tiene como función principal facilitar la liquidación de diversas transacciones entre personas, empresas e instituciones financieras. Por otro lado, los sistemas bancarios tienen un alto nivel de responsabilidad en este sentido para salvaguardar la información de los usuarios, garantizar transacciones seguras y detectar de manera oportuna alguna anomalía, considerando el lado ético y el corto periodo de tiempo que tarda una transacción en ser aprobada que son aproximadamente 15 segundos. Bugár y Somogyvári (2025)



Maldonado Gudiño et al. (2024), indica que para poder cumplir una transacción segura es primordial la implementación de la autenticación multifactorial (MFA), que se refiere a que el usuario debe de contar con 2 o más métodos de autenticación para validar su identidad y estos elementos deben de tener algo que el usuario sabe (como una contraseña), algo que posee (como un teléfono móvil o un token de seguridad), o algo que es (como una huella dactilar o reconocimiento facial).

Monitoreo en tiempo real y toma de decisiones automatizadas

Falai menciona en su investigación un modelo antifraude basado en cuantificación dinámica para la detección de anomalías en tiempo real el cual se comprobó una reducción de 30 puntos porcentuales en un periodo de seis meses, lo cual hace referencia a que el modelo de aprendizaje automático doble tiene una alta efectividad Li y Chen (2025).

El uso de la IA ha beneficiado al mercado financiero y a la sociedad en general, sin embargo, como lo menciona Diego Vallarino (2025) la IA no tiene propiamente el poder de la identificación de ciertos parámetros como lo es la diferencia entre correlación y causalidad lo que podría ser un riesgo en el ámbito de normativos, este punto se puede solucionar con la correcta implementación dentro del entrenamiento, en específico el autor sugiere la aplicación de redes neuronales para solucionar este riesgo.

Casos de éxito y ejemplos destacados

El uso de la IA ha dado resultados que son medibles y perceptibles en las empresas que se ha implementado y se dedican a la detección de fraudes.

Instituciones financieras y empresas que utilizan IA contra el fraude

La implementación del uso de la IA ha dado resultados favorables para empresas que se dedican a la detección de fraudes en tiempo real, por ejemplo, la plataforma Feedzai se dedica a combatir el fraude desde diferentes perspectivas, de acuerdo con los casos de éxito reportados, permitió a CoreCard reducir el rechazo de transacciones por fraude en un 46% e incremento un 64% la detección de intentos de transacciones fraudulentas mediante el uso de IA adaptativa y generativa (Feedzai, 2025).

Otra plataforma es SEON con el caso de éxito en Lottoland siendo su giro los juegos digitales, logro obtener 32 veces de retorno de inversión al proteger las campañas de marketing del abuso de bonificaciones, aumento del 90% en detección de cuentas duplicadas y un incremento del 10% en la prevención de registros fraudulentos adicional a una reducción aproximada de 50 horas semanales de trabajo en detección de fraudes (SEON, 2025).

Resultados y beneficios cuantificables

ScamFerret tiene la capacidad de detectar diferentes tipos de sitios fraudulentos (compras en línea falsas, estafas de soporte técnico, estafas de criptomonedas y estafas de inversión) en diferentes idiomas sin la necesidad de emplear códigos de programación complejos y de acuerdo con las estadísticas de pruebas tiene una capacidad de precisión de clasificación media de 0.972 (Nakano, 2025).

Por otro lado, Chang (2024) realizó un estudio evaluando diferentes herramientas de IA como GPT-4o, Copilot, Perplexity, Gemini y Claude-3.5 donde los resultados muestran una mayor asertividad de Claude en la detección y clasificación de sitios fraudulentos.

Asimismo, Almousa (2022) realizó un análisis comparando técnicas del aprendizaje automático y profundo para la detección de sitios fraudulentos tomando la URL como parámetro principal seguido del análisis del contenido del sitio web. Las pruebas realizadas dieron como resultado un 96% de efectividad.

Retos y limitaciones actuales

Protección de la privacidad y ética en IA

Aunque la inteligencia artificial puede ayudar a facilitar muchos procesos se debe de cuidar la parte regulatoria y la ética. La seguridad de la información es un factor que se debe de tomar en cuenta dentro del ámbito financiero y cualquier otro que trate con información sensible de los usuarios y es importante que realice el trabajo en conjunto con la seguridad digital que se enfoca principalmente en la protección de las redes informáticas para que no sean vulneradas previniendo el acceso no autorizado (Radanliev, 2024).

Finalmente la implementación y uso de la inteligencia artificial no resta o elimina la intervención humana, debido a que algunas investigaciones proporcionan datos acerca de los fraudes a través de aspectos psicológicos, emocionales y conductuales influyen en la vulnerabilidad de los usuarios, por otro lado, la falta de educación financiera, desinformación de los riesgos digitales y la vulneración de datos personales son riesgos de la vida cotidiana que no se solucionan solo con la IA, sin embargo, para mitigar el riesgo en un mayor porcentaje se puede realizar con la combinación entre herramientas tecnológicas y supervisión humana.

METODOLOGÍA

La presente investigación se realizó con un enfoque cualitativo con el propósito de analizar el impacto de la inteligencia artificial en la prevención de fraudes en transacciones con tarjetas de crédito digitales con un enfoque en las técnicas del machine learning.

La recopilación de información se realizó consultando diversos artículos de la base de datos académica Springer en un rango de tiempo de 2022 - 2026, se realizó la búsqueda de información reciente por el tema central y su continua evolución que conlleva la inteligencia artificial, adicional a la búsqueda de técnica de empresas especializadas en el tema de prevención de fraudes como Feedzai y SEON. Por otro lado, se integró información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Comisión Nacional para la Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (CONDUSEF), con el fin de contextualizar la problemática en México.

Finalmente, se realizó una comparativa entre la literatura y los casos de éxito de las empresas que ya cuentan con la integración de la IA en sus procesos para la demostración de la efectividad del uso de la tecnología en este campo.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El análisis de los diferentes artículos muestra un crecimiento en el uso de los medios de pago digitales y a su vez surgió el incremento en fraudes en transacciones digitales y a su vez estos factores influyeron para que las instituciones financieras comenzaran con el diseño y desarrollo de nuevos modelos de prevención con la inclusión de las nuevas tecnologías como la IA. Se percibe un impacto positivo en diversas empresas que han añadido las técnicas del machine learning en sus procesos porque han mostrado cambios de valor.

Tal como lo mencionan los casos de Feedzai, SEON, Almousa y ScamFerret a partir de la implementación de la inteligencia artificial obtuvieron mejores resultados al optimizar sus procesos, en conjunto estos estudios demuestran que la correcta aplicación del machine learning puede dar un giro a los resultados y ayuda a alcanzar los objetivos en un menor tiempo, sin embargo, esto también depende de la calidad de los datos de entrenamiento, el mantenimiento, actualización e integración de las regulaciones correspondientes.

CONCLUSIÓN

De este artículo se puede concluir que la Inteligencia artificial y sus subramas realizan una aportación muy valiosa en el sector financiero en el tema de prevención de fraudes para un alertamiento oportuno de cualquier anomalía, el humano no podría realizar esta detección en tiempo real por la rapidez de la aprobación de cada transacción y el volumen de estas. Sin embargo, se requiere supervisión humana para asegurar un entrenamiento correcto de la IA, realizar pruebas antes de colocarlas en marcha y actualizarlas de forma oportuna. La IA ha innovado los procesos y los resultados han sido favorables para las empresas y los usuarios, aunque el riesgo no se puede mitigar en un 100%, se ha mejorado en seguridad y prevención.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Politécnico Nacional y a la Secretaría de Investigación y Posgrado el apoyo brindado para la realización del proyecto de investigación con número de registro SIP:20260393, al Sistema de Becas por Exclusividad (SIBE) de la COFAA y del Programa de Estímulos al Desempeño Docente (PEDD) del Instituto Politécnico Nacional del cual se deriva el presente artículo.

REFERENCIAS

- Almousa, M. (2022). *Machine learning and deep learning for phishing website detection: A survey. Security and Privacy*, 5(5), e256. <https://doi.org/10.1002/spy2.256>
- Cano, D. (2011). *Contra el fraude: Prevención e investigación en América Latina*. Ediciones Granica.
- Darwish, S., Salama, A. I., & Elzoghbi, A. A. (2025). An intelligent memetic approach to detect online fraud for distributed fintech environments. *Electronic Commerce Research*. <https://doi.org/10.1007/s10660-025-10050-y>
- Feedzai. (2025). *CoreCard: Reducción del fraude mediante inteligencia artificial*. <https://www.feedzai.com/es/>
- Gamal, N., Younis, E. M. G., & Makram, W. M. (2026). Enhancing credit card fraud detection with a hybrid approach using machine and deep learning. *Scientific Reports*, 16, Article 10944. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-42891-4>
- Hardy, J. (2025). Aligning AI with digital transformation principles. En *Intelligent automation in digital transformation strategy* (pp. 119–133). Springer. https://doi.org/10.1007/979-8-8688-1425-9_8
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). *Encuesta Nacional de Inclusión Financiera (ENIF) 2024: Principales resultados*. INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enif/2024/doc/enif_2024_resultados.pdf
- Islam, S., Gagan, Gupta, R., Chakraborty, A., Singh, S., Soni, A., & Patle, C. (2025). Detecting fraudulent transactions for different patterns in financial networks using layer weighted GCN. *Human-Centric Intelligent Systems*, 5(2), 181–195. <https://doi.org/10.1007/S44230-025-00097-3>
- Maceda, G. (2025). *Tecnología sin ley: Desafíos jurídico-sociales de la banca digital en México*. Universidad Iberoamericana Puebla. <https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/6294>
- Nakano, H. (2025). ScamFerret: Detecting fraudulent websites using artificial intelligence. En *Lecture Notes in Computer Science*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-97620-9_1
- Pandey, A., Gupta, P., & Sehgal, N. K. (2026). Machine learning algorithms. En A. Pandey, P. Gupta, & N. K. Sehgal (Eds.), *Artificial intelligence in medical software* (pp. 73–129). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-10808-1_3
- Papasavva, A. (2025). Machine learning techniques for financial fraud detection. *Journal of Big Data*. <https://doi.org/10.1186/s40163-025-00248-8>
- Radanliev, P. (2024). Cybersecurity and artificial intelligence in financial systems. *Journal of Information Technology*. <https://doi.org/10.1057/s41284-024-00435-3>
- SEON. (2025). *Lottoland case study*. <https://seon.io/resources/case-study/lottoland/>
- Waschka, L. (2026). Psychological incubation and susceptibility to financial fraud. *Journal of Consumer Policy*. <https://doi.org/10.1007/s10603-026-09619-3>
- Yuan-Cheng, C. (2024). Comparative analysis of generative artificial intelligence models for phishing website detection. En *Lecture Notes in Computer Science*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-96-0573-6_17
- Owusu-Mensah, K., Ansong, E. D., Adu-Manu, K. S., & Yaokumah, W. (2026). *Systematic review of the internet of things ecosystem for real-time detection of card-not-present (CNP) fraud*. *Discover Internet of Things*, 6, Article 110. <https://doi.org/10.1007/s43926-026-00358-y>
- Alghofaili, Y., Albattah, A., & Rassam, M. A. (2020). A financial fraud detection model based on LSTM deep learning technique. *Journal of Applied Security Research*, 15(4), 498–516. <https://doi.org/10.1080/19361610.2020.1815491>
- Kiani, R., Keshavarzi, A., & Bohlouli, M. (2020). Detection of thin boundaries between different types of anomalies in outlier detection using enhanced neural networks. *Applied Artificial Intelligence*, 34(5), 345–377. <https://doi.org/10.1080/08839514.2020.1722933>
- Bugár, G., & Somogyvári, M. (2025). Fundamental principles to design an ethical payment system. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, Article 299. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04603-7>

Maldonado Gudiño, C. W., Sánchez Puga, A. F., Ramírez Flores, D. P., & Hallo Silva, K. D. (2024). El delito de fraude financiero en el Ecuador: Un análisis de las transacciones digitales. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 12(Edición especial), Artículo 87. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v12i.4491>

Li, F., & Chen, Z. (2025). Dynamic quantification anti-fraud machine learning model for real-time transaction fraud detection in banking. *Discover Computing*, 28, Article 59. <https://doi.org/10.1007/s10791-025-09549-7>

Vallarino, D. (2025). Causal-GNN for ethical AI in financial services: Ensuring fairness, compliance, and transparency in automated decision-making. *Artificial Intelligence and Law*. <https://doi.org/10.1007/s10506-025-09485-3>

ESTUDIO DE TIEMPOS Y BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN EN UNA FÁBRICA TEXTIL

Lauro Montes García¹, Roberto Higuera Cantú², Sergio Ayala Barrientos²

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO (TecNM). Instituto Tecnológico de La Piedad.

¹lauro.mg@piedad.tecnm.mx, ² roberto.hc@piedad.tecnm.mx, ² sergio.ab@piedad.tecnm.mx

RESUMEN

El presente trabajo tiene como resultado la realización de un estudio de tiempos y la realización del balanceo de las líneas de producción para las operaciones dentro del departamento de producción en una fábrica textil.

El balanceo de las líneas de producción se realizan partiendo de la base del tiempo estándar determinado previamente así como las cargas de trabajo se calcularon para todas las operaciones de cuatro líneas de ensamble que forman el departamento de producción de una fábrica de pantalón de mezclilla, la metodología aplicada fue la siguiente:

1. Determinación de las operaciones de cada línea de producción.
2. Cronometraje de las operaciones por el método continuo de toma de tiempos.
3. Obtención del tiempo promedio (TP)
4. Cálculo del tiempo normal (TN), determinando y aplicando la tolerancia 1, según la complejidad de la operación.
5. Cálculo del tiempo estándar (TE), determinando y aplicando la tolerancia 2, de acuerdo al porcentaje establecido para imprevistos en la línea de producción.
6. Determinación de la equivalencia del tiempo total diario de producción.
7. Cálculo de la carga de trabajo considerando el tiempo total de trabajo y el tiempo estándar por cada una de las operaciones.
8. Cálculo del sistema a destajo para cada una de las operaciones de las 4 líneas de producción
9. Balanceo de las líneas de producción referente a los trabajadores a emplear en cada una de las operaciones.
10. Presentación de resultados

La estructura del documento se presenta a manera de introducción, teoría, metodología, resultados, conclusiones y bibliografía.

INTRODUCCIÓN

El balanceo de líneas de producción es una técnica muy utilizada dentro de la industria, para optimizar y distribuir de manera equitativa las tareas o cargas de trabajo en las diferentes operaciones o puestos de trabajo dentro de las líneas de producción. Esta actividad (balanceo de líneas de producción) busca optimizar la utilización de los recursos, minimizar tiempos muertos y mejorar la eficiencia de los procesos, contribuyendo a la reducción de costos y a la mejora de la calidad del producto final. Para ello, es necesario tener en cuenta diferentes aspectos, como el cálculo del tiempo estándar, para que sirva como base para la obtención de las cargas de trabajo, con ello llegar al cálculo de los precios a destajo de cada una de las operaciones de producción y después realizar el balanceo de las líneas de producción.

En este artículo, se presenta información relacionada con los conceptos como la determinación del tiempo estándar, el establecimiento de sus tolerancias, el cómo estos elementos son de vital importancia, ya que sirven como base para el cálculo de las cargas de trabajo diarias, y el balance de las líneas de producción, elementos de mucha trascendencia dentro de la planeación y control de la producción en una fábrica de pantalones de mezclilla.

TEORÍA

Balanceo de líneas de producción.

Consiste en asignar y distribuir las actividades de fabricación de forma tal que se minimicen las variaciones en las cargas de trabajo de cada operación u estación. Esto con el objetivo de tener una línea de producción que opera de manera fluida y coordinada, evitando cuellos de botella y maximizando la productividad.

Sistema a destajo.

Los sistemas a destajo son un método de pago en el que la remuneración de los empleados no tiene un sueldo establecido (sueldo fijo), sino que la base de su salario es de acuerdo a la cantidad de unidades que hace o fabrica al día, o por semana (período de tiempo determinado).

Este método también se le conoce como pago por pieza. Este sistema funciona porque tiene las siguientes características:

1. Establecimiento de precios o tarifas o: Se establece un precio por cada unidad producida o tarea realizada.
2. Pago por la producción realizada: El empleado obtiene un pago de acuerdo a la cantidad proporcional de piezas obtenidas o producidas al día o a la semana.
3. Incentivo a la productividad: Cuanto más produce o más rápido trabaja el empleado, mayor es su remuneración.

En la vida laboral algunos ejemplos que se aplican son:

*Agricultura:

Los empleados que recolectan frutas o verduras y es pagado por cada caja o kilo recolectado.

*Industria:

Un operario de fábrica que es compensado por la cantidad de productos ensamblados o fabricados.

*Industria de la construcción:

Un empleado de la construcción puede ser pagado según los metros cuadrados elaborados.

Algunos beneficios del sistema a destajo:

- Para el trabajador: Mayor potencial de ingresos si es más productivo.
- Para la empresa: Optimización de costos laborales y fomento de la productividad y eficiencia.

Consideraciones:

Calidad:

Es importante que se garantice un estándar mínimo de calidad en el trabajo realizado, a pesar de la presión por producir más.

Adaptabilidad:

No es aplicable a todos los sectores, y su implementación debe ser justa, protegiendo los derechos y el bienestar del trabajador

Cargas de trabajo:

Cálculo del tiempo estándar: El tiempo estándar es el tiempo requerido para completar una tarea o una operación en condiciones normales. En el caso de la producción de jeans, el cálculo del tiempo estándar implica analizar cada una de las etapas del proceso de confección, desde el corte de la tela hasta el acabado final. Esto permite determinar cuánto tiempo se necesita para producir una prenda, lo que a su vez facilita la planificación de la producción y la asignación de recursos.

Tipos de tolerancias en un tiempo estándar

En el cálculo del tiempo estándar de producción, es común considerar diferentes tipos de tolerancias. Estas tolerancias se utilizan para tener en cuenta las variaciones que pueden ocurrir durante el proceso de producción y permiten establecer un margen de error aceptable. A continuación, se presentan algunos tipos de tolerancias que se pueden utilizar en el tiempo estándar de producción:

Tolerancia de proceso: Esta tolerancia tiene en cuenta las variaciones que pueden ocurrir durante el proceso de producción, como fluctuaciones en la maquinaria, el suministro de materiales o la calidad de la mano de obra. Por ejemplo, si se establece un tiempo estándar de 10 minutos para una operación, se puede permitir una tolerancia de +/- 1 minuto para tener en cuenta posibles variaciones.

Tolerancia de rendimiento: Esta tolerancia se refiere a las variaciones en el rendimiento de los trabajadores. Por ejemplo, si se establece que un trabajador debe producir 100 unidades por hora, se puede permitir una tolerancia de +/- 10 unidades para tener en cuenta posibles diferencias en la productividad individual.

Tolerancia de calidad: Esta tolerancia tiene en cuenta las variaciones en la calidad de los productos. Por ejemplo, si se establece un tiempo estándar para la inspección de calidad de una prenda, se puede permitir una tolerancia para tener en cuenta posibles demoras o retrabajos necesarios debido a problemas de calidad.

Tolerancia de tiempos de espera: Esta tolerancia se utiliza para tener en cuenta los tiempos de espera que pueden ocurrir durante el proceso de producción, como esperas por materiales, maquinaria ocupada o falta de personal. Se puede establecer una tolerancia para tener en cuenta estos tiempos de espera y ajustar el tiempo estándar en consecuencia.

Es importante tener en cuenta que el establecimiento de tolerancias en el tiempo estándar de producción debe ser realista y basado en datos históricos y observaciones reales. Además, es fundamental revisar y ajustar estas tolerancias periódicamente para asegurar que sigan siendo adecuadas y reflejen las condiciones actuales de producción.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada fue la siguiente:

1. Determinación de las operaciones de cada línea de producción.
2. Cronometraje de las operaciones por el método continuo de toma de tiempos.
3. Obtención del tiempo promedio (TP)
4. Cálculo del tiempo normal (TN), determinando y aplicando la tolerancia 1, según la complejidad de la operación.
5. Cálculo del tiempo estándar (TE), determinando y aplicando la tolerancia 2, de acuerdo al porcentaje establecido para imprevistos en la línea de producción.
6. Determinación de la equivalencia del tiempo total diario de producción.

7. Cálculo de la carga de trabajo considerando el tiempo total de trabajo y el tiempo estándar por cada una de las operaciones.
8. Determinación de los precios a destajo de cada una de las operaciones de las líneas de producción.
9. Cálculo de los trabajadores dentro de cada operación (Balanceo de la línea de producción)
10. Presentación de resultados

RESULTADOS

El departamento de producción se encuentra integrado por cuatro líneas de producción:

- Línea de producción 1: “Preparación”.
- Línea de producción 2: “Delantero”
- Línea de producción 3: “Trasero”
- Línea de producción 4: “Ensamble”

Cada línea de producción se encuentra integrada por sus operaciones de la forma siguiente:

LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 (PREPARACIÓN)	
N o	OPERACIÓN
1	Planchar bolsa trasera
2	Dibujo bolsa trasera
3	Pegar cierre
4	Doblar bolsa trasera
5	Doblar bolsa secreta
6	Hacer presilla
7	Cortar presilla
8	Pegar etiqueta a pretina

LÍNEA DE PRODUCCIÓN 2 (DELANTERO)	
N o	OPERACIÓN
9	Pegar vista a bolsa de manta
10	Pegar bolsa secreta a vista derecha
11	Pegar falso del derecho
12	Unir ojalera
13	Pespuntar ojalera
14	Pespunte a delantero "J"
15	Cerrar bolsa de manta
16	Unir delanteros
17	Remachar delantero (2 remaches)
18	Pespuntar delantero
19	Unir bolsa de manta delantero
20	Pespuntar bolsa de manta
21	Inspección

LÍNEA DE PRODUCCIÓN 3 (TRASERA)	
No.	OPERACIÓN
22	Pegar pieza de altura
23	Pegar bolsa trasera
24	Remachar bolsa trasera
25	Encuarter engargolar trasero
26	Inspección

LÍNEA DE PRODUCCIÓN 4 (ENSAMBLE)	
27	Cerrar costados
28	Pespunte a costados
29	Encuarter entrepierna engargolar
30	Bastilla
31	Pegar pretina
32	Hacer cuadro
33	Hacer ojal
34	Pegar presillas
35	Pegar etiquetas externa
36	Pegar botón
37	Pegar remaches 6
38	Deshebrar
39	Inspección final

1.- Se aplico el “Método Continuo” de toma de tiempos, cronometrando diez operaciones anotando al final el tiempo total de las diez operaciones en unidades de tiempo en segundos, resultando de la forma siguiente:

2.- Se establecieron las tolerancias en el departamento de Ingeniería de métodos, conjuntamente con el departamento de Calidad y el de Producción, resultando de las tolerancias por operación de acuerdo a la tabla siguiente:

3.- Se calcularon los tiempos promedios en segundos por operación, resultado de dividir el tiempo total cronometrado de las diez piezas sobre 10, para obtener el tiempo promedio por operación (TP)..

4.- Para obtener el “Tiempo Normal” se le agrega al Tiempo Promedio la tolerancia del tiempo de acuerdo a la “Dificultad” de la operación (T1), obteniendo los resultados siguientes:

5.- Para obtener el “Tiempo Estándar” de producción se le agrega al Tiempo Normal la tolerancia por imprevistos. La empresa tiene establecido el 15 % para imprevistos en la línea de producción. Una vez aplicado el 15% al Tiempo Normal se obtienen los resultados de Tiempo Estándar por operación siguientes:

OPERACIÓN		TIEMPO (seg) PARA 10 PZAS (1)	(T1)	(TP)	Tiempo Normal (TN)	Tiempo Estándar (TE) (Segundos)
N o	LINEA DE PREPARACION					
1	Planchar bolsa trasera	420	20%	42	50.4	57.96
2	Dibujo bolsa trasera	230	5%	23	24.2	27.77
3	Pegar cierre	154	10%	15.4	16.9	19.48
4	Doblar bolsa trasera	105	0%	10.5	10.5	12.08
5	Doblar bolsa secreta	77	0%	7.7	7.7	8.86
6	Hacer presilla	30	0%	3	3	3.45
7	Cortar presilla	46	0%	4.6	4.6	5.29
8	Pegar etiqueta a pretina	461	10%	46.1	50.7	58.32
LINEA DELANTERO						
9	Pegar vista a bolsa de manta	350	10%	35	38.5	44.28
10	Pegar bolsa secreta a vista derecha	384	10%	38.4	42.2	48.58
11	Pegar falso del derecho	420	20%	42	50.4	57.96
12	Unir ojalera	234	5%	23.4	24.6	28.26
13	Pespuntar ojalera	290	5%	29	30.5	35.02
14	Pespunte a delantero "J"	318	10%	31.8	35	40.23
15	Cerrar bolsa de manta	295	5%	29.5	31	35.62
16	Unir delanteros	420	10%	42	46.2	53.13
17	Remachar delantero (2 remaches)	210	0%	21	21	24.15
18	Pespuntar delantero	320	0%	32	32	36.80
19	Unir bolsa de manta delantero	270	15%	27	31.1	35.71
20	Pespuntar bolsa de manta	450	0%	45	45	51.75
21	Inspección	177	0%	17.7	17.7	20.36
LINEA TRASERA						
22	Pegar pieza de altura	156	10%	15.6	17.2	19.73
23	Pegar bolsa trasera	512	20%	51.2	61.4	70.66
24	Remachar bolsa trasera	384	5%	38.4	40.3	46.37
25	Encuartar engargolar trasero	460	20%	46	55.2	63.48
26	Inspección	180	10%	18	19.8	22.77
LINEA ENSAMBLE						
27	Cerrar costados	658	10%	65.8	72.4	83.24
28	Pespunte a costados	354	5%	35.4	37.2	42.75
29	Encuartar entrepierna engargolar	480	20%	48	57.6	66.24
30	Bastilla	768	20%	76.8	92.2	105.98
31	Pegar pretina	384	20%	38.4	46.1	52.99
32	Hacer cuadro	576	15%	57.6	66.2	76.18
33	Hacer ojal	156	10%	15.6	17.2	19.73
34	Pegar presillas	390	10%	39	42.9	49.34
35	Pegar etiquetas externa	480	10%	48	52.8	60.72
36	Pegar botón	115	5%	11.5	12.1	13.89
37	Pegar remaches 6	288	10%	28.8	31.7	36.43

38	Deshebrar	576	10%	57.6	63.4	72.86
39	Inspección final	380	10%	38	41.8	48.07

Cargas de trabajo

Para calcular las cargas de trabajo diarias por operación, se debe obtener primeramente el tiempo diario de producción, este cálculo debe entregarse en segundos totales en el día de trabajo, porque los tiempos estándar se han calculado también en segundos, esto se realiza de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$a) \text{ Tiempo diario} = (\text{horas de trabajo al día})(60 \text{ min/hora})(60 \text{ seg/min}) = 28800 \text{ seg. por día}$$

Sustituyendo los valores en la fórmula se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{Tiempo diario} = 8\text{hr} \times 60 \times 60 = 28800 \text{ seg por día}$$

$$\text{Carga de trabajo} = \text{tiempo diario} / \text{tiempo estándar de la operación.}$$

$$1. \text{Planchar bolsa trasera} = (28800 \text{ seg/día}) / (57.96 \text{ seg/pieza}) \text{ (se eliminan seg)}$$

$$1.- = 496,89 \text{ piezas/día} \quad \text{(quitar la fracción)}$$

OPERACIÓN		Tiempo Estándar (TE) (Segundos)	Carga de trabajo diaria por operación (Pzas/día)
N o	LINEA DE PREPARACION		
1	Planchar bolsa trasera	57.96	496
2	Dibujo bolsa trasera	27.77	1037
3	Pegar cierre	19.48	1478
4	Doblar bolsa trasera	12.08	2385
5	Doblar bolsa secreta	8.86	3252
6	Hacer presilla	3.45	8347
7	Cortar presilla	5.29	5444
8	Pegar etiqueta a pretina	58.32	493
LINEA DELANTERO			
9	Pegar vista a bolsa de manta	44.28	650
10	Pegar bolsa secreta a vista derecha	48.58	592
11	Pegar falso del derecho	57.96	496
12	Unir ojalera	28.26	1019
13	Pespuntar ojalera	35.02	822
14	Pespunte a delantero "J"	40.23	715
15	Cerrar bolsa de manta	35.62	808
16	Unir delanteros	53.13	542
17	Remachar delantero (2 remaches)	24.15	1192
18	Pespuntar delantero	36.80	783
19	Unir bolsa de manta delantero	35.71	806

20	Pespuntar bolsa de manta	51.75	556
21	Inspección	20.36	1414
LINEA TRASERA			
22	Pegar pieza de altura	19.73	1459
23	Pegar bolsa trasera	70.66	407
24	Remachar bolsa trasera	46.37	621
25	Encuartar engargolar trasero	63.48	453
26	Inspección	22.77	1264
LINEA ENSAMBLE			
27	Cerrar costados	83.24	346
28	Pespunte a costados	42.75	673
29	Encuartar entrepierna engargolar	66.24	434
30	Bastilla	105.98	271
31	Pegar pretina	52.99	543
32	Hacer cuadro	76.18	378
33	Hacer ojal	19.73	1459
34	Pegar presillas	49.34	583
35	Pegar etiquetas externa	60.72	474
36	Pegar botón	13.89	2074
37	Pegar remaches 6	36.43	790
38	Deshebrar	72.86	395
39	Inspección final	48.07	599

Precio a destajo

Para determinar al precio a destajo se deben clasificar las operaciones de acuerdo a su dificultad y después estimar un salario promedio semanal deseado de los operadores de cada una de las operaciones. Resultando la tabla de dificultad y salario semanal siguiente:

SUELDO PROMEDIO SEMANAL (40 horas por semana, 5 días a la semana) DE ACUERDO AL TIPO DE OPERACIÓN

Clasificación de la operación	Sueldo/semana
D	\$3000
C	\$2500
B	\$2000
A	\$1500

Partiendo de la base del sueldo semanal de cada operación, se debe obtener el salario diario.

Por ejemplo:

Clasificación A = 1500 \$ / semana = (1500\$/semana) / 5 días/ semana)

Sueldo diario 1500/5 = 300 \$/día. NOTA: Varía para cada dificultad de operaciones

Para obtener el precio a destajo se debe aplicar la fórmula siguiente:

Precio a destajo = sueldo diario / carga de trabajo diaria

EJEMPLO:

Operación 1. Planchar bolsa trasera (clasificación A) (1500\$/5) = 300\$/día

$$= 300\$/\text{día} / 496 \text{ piezas}/\text{día} \text{ (se eliminan la variable "día")} = 0.60 \text{ \$/pieza}.$$

Esta formula se aplica para cada una de las 39 operaciones de las 4 líneas de producción, obteniéndose los siguientes resultados:

Balanceo de las líneas de producción.

Se debe realizar el balanceo de las líneas de producción, calculando el número de trabajadores necesarios en cada una de las operaciones, considerando que la empresa tiene como objetivo de producción la cantidad de 2000 piezas por día.

Formula:

El Balanceo de la línea (No. de trabajadores) = objetivo de producción / carga de trabajo diaria de cada operación

EJEMPLO:

Operación 1. Planchar bolsa trasera.

Balanceo de la línea (No. de trabajadores) (Operación 1) = 2000 pzas/día. / 496 piezas/día/trabajador
(se eliminan la variable "pzas/día")

Resultando:

$$= 4.03 \text{ Trabajadores.}$$

NOTA: Cualquier fracción significa que NO se alcanza la meta de producción con ese numero de trabajadores, por lo que debe subirse al entero siguiente.

En este caso (operación 1), debe se asignarse a 5 trabajadores.

Esta formula se aplica para cada una de las 39 operaciones de las 4 líneas de producción, obteniéndose los siguientes resultados:

OPERACIÓN		Carga de trabajo diaria por operación (Pzas/día)	Clasificación de la operación (Según dificultad)	Sueldo diario (\$/día)	Precio por operación (destajo) (\$/pza)	Balanceo de la línea de producción (No. de Trabajadores necesarios por operación)	Balanceo de la línea de producción (No. de Trabajadores necesarios por operación)
No	LINEA DE PREPARACION						
1	Planchar bolsa trasera	496	A	300	0.60	4.03	5
2	Dibujo bolsa trasera	1037	A	300	0.29	1.92	2
3	Pegar cierre	1478	A	300	0.20	1.35	2
4	Doblar bolsa trasera	2385	A	300	0.13	0.83	1
5	Doblar bolsa secreta	3252	A	300	0.09	0.61	1

6	Hacer presilla	8347	A	300	0.04	0.24	1
7	Cortar presilla	5444	A	300	0.06	0.36	1
8	Pegar etiqueta a pretina	493	A	300	0.61	4.05	5
LINEA DELANTERO							
9	Pegar vista a bolsa de manta	650	A	300	0.46	3.07	4
10	Pegar bolsa secreta a vista derecha	592	C	500	0.84	3.37	4
11	Pegar falso del derecho	496	D	600	1.21	4.03	5
12	Unir ojalera	1019	A	300	0.29	1.96	2
13	Pespuntar ojalera	822	A	300	0.36	2.43	3
14	Pespunte a delantero "J"	715	C	500	0.70	2.79	3
15	Cerrar bolsa de manta	808	B	400	0.49	2.47	3
16	Unir delanteros	542	C	500	0.92	3.69	4
17	Remachar delantero (2 remaches)	1192	A	300	0.25	1.67	2
18	Pespuntar delantero	783	B	400	0.51	2.55	3
19	Unir bolsa de manta delantero	806	B	400	0.50	2.48	3
20	Pespuntar bolsa de manta	556	C	500	0.90	3.59	4
21	Inspección	1414	B	400	0.28	1.41	2
LINEA TRASERA							
22	Pegar pieza de altura	1459	A	300	0.21	1.37	2
23	Pegar bolsa trasera	407	D	600	1.47	4.91	5
24	Remachar bolsa trasera	621	B	400	0.64	3.22	4
25	Encuartar engargolar trasero	453	D	600	1.32	4.41	5
26	Inspección	1264	B	400	0.32	1.58	2
LINEA ENSAMBLE							
27	Cerrar costados	346	D	600	1.73	5.78	6
28	Pespunte a costados	673	B	400	0.59	2.97	3
29	Encuartar entrepierna engargolar	434	D	600	1.38	4.60	5
30	Bastilla	271	D	600	2.21	7.38	8
31	Pegar pretina	543	D	600	1.10	3.68	4
32	Hacer cuadro	378	D	600	1.59	5.29	6
33	Hacer ojal	1459	A	300	0.21	1.37	2
34	Pegar presillas	583	C	500	0.86	3.43	4
35	Pegar etiquetas externas	474	C	500	1.05	4.21	5
36	Pegar botón	2074	A	300	0.14	0.96	1
37	Pegar remaches 6	790	B	400	0.51	2.53	3
38	Deshebrar	395	C	500	1.27	5.06	6
39	Inspección final	599	C	500	0.83	3.33	4
						TOTAL	135

CONCLUSIONES

Al finalizar el presente trabajo se puede concluir que al balancear las líneas de producción se puede producir los productos intermedios a una velocidad constante de manera que su proceso siguiente pueda fluir a una velocidad constante y predecible. Al asignar y distribuir la asignación de recursos humanos (Trabajadores) las variaciones de la producción se minimizan en cada estación de trabajo, esto se traduce en una producción fluida y coordinada, evitando cuellos de botella y maximizando la productividad.

El balanceo de las líneas de producción, es muy importante y es un elemento clave en la planeación y control de la producción, ya que permite la optimización de los costos laborales y fomentar la mejora de la productividad y eficiencia de los trabajadores debido a que estos saben que deben hacer y no es necesario estar con una constante supervisión. Llegar hasta el balanceo de las líneas de producción sirve como base para determinar los costos de producción y junto con los costos administrativos, se plantea la base para la determinación de los precios de venta y por lo tanto los porcentajes de utilidad de los productos, en este caso los “Jeans”.

Todos los puntos anteriores (tiempo estándar, cargas de trabajo, sistema a destajo y balanceo de las líneas) en una línea de producción permite optimizar los procesos de producción, garantizar la eficiencia y la rentabilidad, y mejorar las condiciones laborales de los trabajadores. Al determinar, calcular e implementar la estrategia de producción del tiempo estándar, cargas de trabajo, sistema a destajo y determinación de las líneas de producción en una fábrica textil, se puede ir mejorando su competitividad en el mercado y a su vez permite ofrecer productos o prendas de vestir de alta calidad a sus clientes.

BIBLIOGRAFÍA

Hopeman Richard J. (2014). Administración de Producción y Operaciones. Editorial CECSA.

Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2014). Métodos, estándares y diseño del trabajo.

Gutierrez Púlido Humberto (2017). Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma.

Groover, M. P. (2015). Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. John Wiley & Sons.

Montgomery, D. C. (2017). Introduction to statistical quality control. John Wiley & Sons.

Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2015). Operations management: processes and supply chains. Pearson.

Buffa, E. S., & Sarin, R. K. (2015). Modern production/operations management. John Wiley & Sons.

ANÁLISIS Y DISEÑO DEL MODELO RELACIONAL DE UN SISTEMA DE INVENTARIOS

María Estela Romero Fuentes¹, Héctor Ocegüera Soto², Guillermo Valadez Hernández²

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de La Piedad

¹maria.rf@piedad.tecnm.mx, ²hector.os@piedad.tecnm.mx, ²guillermo.vh@piedad.tecnm.mx

RESUMEN

El uso de bases de datos permite a contar con información íntegra y coherente, que puede ser almacenada, organizada y concentrada para ser gestionada desde un Sistema Manejador de Bases de Datos; la cual puede estar disponible cuando sea necesario para la toma de decisiones oportuna en una empresa.

Para que la base de datos sea confiable y segura debe partir de un diseño correcto que capture todas las necesidades y requisitos necesarios que aporten la veracidad y apoyo oportuno de los datos para la toma de decisiones. Existen modelos de bases de datos que son usados para organizar y estructurar la información de forma eficiente y confiable. Cada modelo tiene características muy propias a considerar, por lo tanto deben tomarse en cuenta de acuerdo al contexto en el que se aplique el modelo.

En el entorno de las organizaciones modernas, el modelo relacional se ha consolidado como una tecnología predominante para la gestión de datos desde los años ochenta de acuerdo con el autor Henry Korth. Se utiliza ampliamente para dar soporte a sistemas de misión crítica en diversos sectores empresariales; por ejemplo, en la banca para administrar cuentas y transacciones bancarias, en las aerolíneas para gestionar reservas de vuelos distribuidas de forma geográfica, en las universidades para registrar matrículas y estudiantes, y en las corporaciones comerciales para el seguimiento de sus ventas, producción, inventarios y recursos humanos. Su estructura robusta permite que múltiples aplicaciones y usuarios compartan, accedan y manipulen la información empresarial de manera ágil, eficiente, consistente y segura.

INTRODUCCIÓN

El artículo presente describe el análisis y diseño del modelo Relacional de un sistema de inventarios, el cual es desarrollado a partir del resultado del modelo entidad relación.

Es muy usado por su facilidad para poder representar problemas reales y permitir la administración de los datos de forma dinámica. Los datos son organizados en “relaciones” (conocidas comúnmente como tablas). Las tablas se conforman de registros (tuplas ó renglones). Cada registro tiene campos (columnas) que representan alguna característica del objeto representado en cada registro.

Es un modelo que permite obtener los datos de forma sencilla y eficiente a través de consultas, que se realizan a través del lenguaje SQL (Structured Query Language por sus siglas en inglés), el cual es un estándar que se utiliza en casi cualquier motor de base de datos (DBMS).

El objetivo principal de un sistema de inventarios es administrar el control de existencias, entradas, salidas de productos dentro de una organización. Para ello, es necesario contar con una base de datos bien diseñada, que garantice la integridad de la información, facilite las consultas y reportes.

Una de las principales ventajas del modelo relacional en áreas corporativas es su capacidad de ofrecer una visión abstracta de los datos, ocultando por completo los complejos detalles de la implementación física y de bajo nivel a los programadores y usuarios. Esto significa que las tareas complejas de almacenamiento en disco, optimización de búsquedas físicas y gestión de la persistencia se ejecutan de forma automatizada por el propio sistema de gestión de bases de datos (SGBD). Al liberar a los desarrolladores de la necesidad de codificar de forma procedimental y

manual cada consulta, estos pueden concentrarse estrictamente en el nivel lógico de las aplicaciones, agilizando significativamente la creación de herramientas de software y el análisis de la información.

Primero se presentan los objetivos principales del diseño de base de datos, los modelos de base de datos, específicamente el modelo relacional, luego el fundamento de un sistema de inventarios. Posteriormente la metodología para el diseño del modelo relacional en un sistema de inventarios y finalmente los resultados del modelo relacional de un sistema de inventarios.

TEORÍA

Objetivos del diseño de la base de datos

El diseño de bases de datos es una de las etapas básicas en la implementación de bases de datos, ya que del diseño pertinente de acuerdo a las necesidades y reglas del negocio de las organizaciones depende un acceso correcto a la información, el cual también garantiza la consistencia, la seguridad y el rendimiento del sistema.

El objetivo general del diseño de bases de datos relacionales es generar un conjunto de esquemas lógicos que permitan almacenar la información de manera eficiente y segura.

Entre los objetivos principales de un diseño correcto se encuentra en primer lugar, evitar la redundancia (repetición de información), para no desaprovechar espacio en disco y que se pueda disminuir el costo y la complejidad de las actualizaciones. En segundo lugar, evitar la dificultad de representar información, es decir, prevenir escenarios en los que no se pueda registrar un dato legítimo debido a la ausencia temporal de otro (lo que obligaría a recurrir a valores nulos, que son complejos de gestionar y dificultan las consultas). En tercer lugar se encuentra el poder garantizar uniones entre tablas sin pérdida de datos para asegurar que cuando un esquema se divida en tablas más pequeñas, la relación original se pueda reconstruir de manera exacta, sin que se generen registros falsos o erróneos en el proceso. En cuarto lugar se tiene el conservar las dependencias funcionales para estructurar las tablas de modo que el sistema pueda verificar eficientemente las restricciones y reglas de consistencia de los datos analizando las relaciones individualmente en cada actualización, sin necesidad de calcular costosas operaciones de uniones de tablas.

Modelos de Bases de Datos

El modelo de base de datos es un contenedor de datos (donde se guarda la información), así como los métodos para guardar y recuperar dichos datos del contenedor. Son usados para organizar y estructurar la información de forma eficiente y confiable. Algunos de los modelos más comunes son los que se presentan a continuación, es importante considerar las características de cada modelo al momento de su elección para cubrir las necesidades de un proyecto.

- *Bases de datos jerárquicas*: Almacenan la información de forma jerárquica. Datos guardados de forma similar a un árbol. “Nodo” padre puede tener varios “hijos”.
- *Modelo de red*: La principal diferencia con el modelo anterior es la modificación del concepto “nodo”: un mismo “nodo” puede tener varios padres. Cuenta con una mejora, respecto al jerárquico ya que elimina redundancia de datos.
- *Modelo Entidad-Relación (E-R)*: Es un modelo de datos de alto nivel. Está basado en una percepción del mundo real que consiste en una colección de objetos básicos, llamados entidades y de relaciones entre estos objetos. Los diseñadores formulan generalmente el diseño del esquema de la base de datos modelando primero los datos en alto nivel, usando el modelo E-R, y después traduciéndolo al modelo relacional.
- *Modelo relacional*: Es el modelo más común. Concentra los datos en tablas que se conocen como “relaciones”. Las tablas constan de de filas (registros) y columnas (campos). Se pueden establecer relaciones entre las tablas, mejorando la funcionalidad de la gestión de los datos. Este es el modelo actual que mejor permite modelar problemas reales que surjan y administra datos de forma dinámica.

- *Modelo de base de datos orientada a objetos*: Este es un modelo diferente a los anteriores. Define una base de datos como una colección de objetos o partes de software reutilizables con características y métodos asociados. Existe la base de datos multimedia y la base de datos de hipertexto.

Modelo de Base de Datos Relacional

El modelo relacional es muy usado por su facilidad para poder representar problemas reales y permitir la administración de los datos de forma dinámica. Los datos son organizados en “relaciones” (conocidas comúnmente como tablas). Las tablas se conforman de registros (tuplas ó renglones). Cada registro tiene campos (columnas) que representan alguna característica del objeto representado en cada registro.

Es un modelo que permite obtener los datos de forma sencilla y eficiente a través de consultas, que se realizan a través del lenguaje SQL (Structured Query Language por sus siglas en ingles), el cual es un estándar que se utiliza en casi cualquier motor de base de datos (SGBD).

El modelo relacional estructura la base de datos mediante un conjunto de tablas con un nombre exclusivo, representando de forma lógica tanto los datos como las relaciones entre ellos, a la vez que oculta los detalles físicos de implementación de bajo nivel.

Sus elementos principales y conceptos fundamentales son los siguientes:

Tablas o Relaciones: Son las estructuras lógicas básicas del modelo. Una tabla esta conformada por un conjunto de registros (renglones).

Filas o Tuplas: Cada renglón en una tabla es conocido como una tupla, donde cada uno representa un objeto del mundo real, conocido como entidad en el modelo E-R.

Columnas o Atributos: Son los nombres de las columnas que corresponden a las propiedades del registro (renglón).

Dominios: Es el conjunto de valores permitidos para cada atributo. Se exige que los dominios sean atómicos, lo que significa que sus elementos se consideran unidades indivisibles.

Claves: Conceptos fundamentales para asegurar la consistencia y las conexiones lógicas entre las tablas que conforman la base de datos:

- *Superclave*: Conjunto de uno o más atributos que permiten identificar de forma única una tupla en una relación, garantizando que no haya tuplas duplicadas.
- *Clave primaria*: Es una clave candidata (superclave mínima) elegida por el diseñador como elemento principal para identificar de manera única a las tuplas dentro de una relación.
- *Clave externa (o foránea)*: Es un atributo de una relación (tabla destino) que hace referencia a la clave primaria de otra relación (tabla origen), permitiendo conectar lógicamente ambas relaciones (tablas).

Esquemas y Ejemplares:

- El *esquema* de la relación representa su diseño lógico o definición de tipo (por ejemplo, el nombre de la relación y su lista de atributos con sus dominios).
- El *ejemplar* de la relación representa los datos contenidos en la relación en un momento determinado (una instantánea o valor de variable).

Un esquema de bases de datos, junto con las dependencias de clave primaria y externa, se puede mostrar gráficamente mediante diagramas de esquema. La Figura 1 muestra el diagrama de esquema de un sistema bancario. Cada relación aparece como un cuadro con los atributos listados dentro de él y el nombre de la relación sobre él. Si hay atributos clave primaria, una línea horizontal cruza el cuadro con los atributos clave primaria listados sobre ella. Las dependencias de clave externa aparecen como flechas desde los atributos clave externa de la relación referenciante a la clave primaria de la relación referenciada.

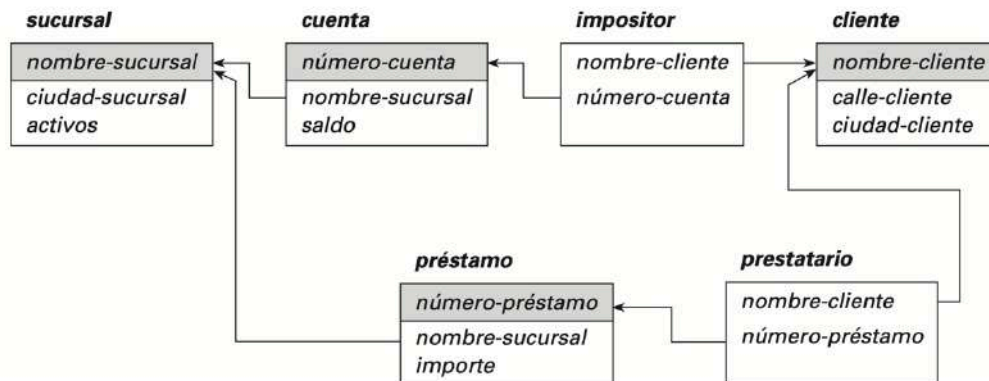


Figura 1. Ejemplo de Diagrama de Esquema para un Sistema Bancario

Sistema de Inventarios

Un inventario incluye la existencia de bienes almacenados con el fin de realizar una operación que puede ser una compra, renta, venta, uso o transformación. Contablemente es representado como un activo circulante.

Los inventarios de una compañía están constituidos por sus materias primas, sus productos en proceso, los suministros que utiliza en sus operaciones y los productos terminados, según Muller. Un inventario puede ser algo tan elemental como una botella de limpiador de vidrios empleada como parte del programa de mantenimiento de un edificio, o algo más complejo, como una combinación de materias primas y subensamblajes que forman parte de un proceso de manufactura.

El autor Perdomo aborda el concepto de inventarios como un conjunto de bienes tangibles y en existencia, propios y de disponibilidad inmediata para su consumo (materia prima), transformación (productos en procesos) y venta (mercancías y productos terminados).

Clasificación de inventarios según su forma:

- *Inventario de Materias Primas*: Conformado por todos los materiales con los que se elaboran los productos.
- *Inventario de Productos en Proceso de Fabricación*: Integrado por todos aquellos bienes adquiridos por las empresas manufactureras o industriales, los cuales se encuentran en proceso de manufactura.
- *Inventario de Productos Terminados*: Bienes adquiridos por las empresas manufactureras o industriales, los cuales son transformados para ser vendidos como productos elaborados.

Entre las razones más importantes para constituir y mantener un sistema de inventarios eficiente dentro de una organización se encuentran las siguientes:

- *Capacidad de predicción*: El inventario debe mantener el equilibrio entre lo que se necesita y lo que se procesa.
- *Fluctuaciones en la demanda*: Se debe analizar a conciencia cómo actúan los clientes en la cadena de suministro, las sorpresas en las fluctuaciones de la demanda se mantienen al mínimo.
- *Inestabilidad del suministro*: El inventario protege de la falta de confiabilidad de los proveedores o cuando escasea un artículo y es difícil asegurar una provisión constante.
- *Protección de precios*: La compra acertada de inventario en los momentos adecuados ayuda a evitar el impacto de la inflación de costos.
- *Descuentos por cantidad*: Con frecuencia se ofrecen descuentos cuando se compra en cantidades grandes en lugar de pequeñas.

- *Menores costos de pedido:* Con el objetivo de controlar los costos de pedido y asegurar precios favorables, muchas organizaciones expiden órdenes de compra globales acopladas con fechas periódicas de salida y recepción de las unidades de existencias pedidas.

METODOLOGÍA

Una base de datos eficiente para la gestión de inventarios debe centrarse fundamentalmente en ajustar el stock de los productos a partir de sus entradas (compras) y salidas (ventas). Para lograrlo, es indispensable incorporar las reglas de negocio durante el modelado, garantizando que la estructura refleje fielmente la operativa real del sistema.

El diseño del modelo relacional comienza tomando como base el resultado del modelo E-R de un sistema de inventarios, conformado por las entidades y sus diferentes tipos de relaciones. Los pasos para el diseño del modelo relacional del sistema de inventarios son los siguientes.

Convertir entidades en tablas: Para cada entidad del modelo E-R, se crea una tabla en el modelo relacional. Por ejemplo, para la entidad cliente, se debe crear una tabla con columnas (atributos) para el nombre, la dirección y la edad.

- *Proveedores*, encargados de suministrar los productos de entrada al almacén.
- *Categoría*, que representa la clasificación de los productos
- *Productos*, son los artículos dentro del almacén
- *Ventas*, representan las salidas de productos del almacén
- *Compras*, permiten controlar las entradas de productos al almacén
- *Clientes*, entidades que consumen los productos del almacén

Identificar las relaciones que se convierten en tablas: Identifica las relaciones entre las entidades en el modelo E-R, que son necesarias para su conversión a tablas. Una relación (o asociación) del modelo Entidad-Relación (E-R) se convierte obligatoriamente en una tabla independiente en el modelo relacional en los siguientes escenarios:

- **Relaciones Muchos a Muchos (N:M)** Es la regla principal. El modelo relacional no soporta relaciones directas de varios a varios entre dos tablas. Para resolverla, la relación se transforma en una tabla intermedia (o tabla de unión). Por ejemplo: Un Producto puede estar en muchas Ventas, y una Venta contiene muchos Productos. Se crea la tabla *Detalle_Venta*.
- **Relaciones que tienen atributos propios** Si la relación posee atributos descriptivos propios de la interacción (que no pertenecen a ninguna de las dos entidades por separado), debe convertirse en una tabla para guardar esos campos. Por ejemplo: En la relación entre Proveedor y Producto, el atributo *Fecha_Suministro* pertenece al acto de suministrar (surtir), por lo que exige su propia tabla.
- **Relaciones Grado Superior a 2 (Ternarias)** Cuando la relación involucra a tres o más entidades simultáneamente, siempre se convierte en una tabla relacional que concatena las claves primarias de todas las entidades participantes. Por ejemplo cuando un Médico prescribe un Medicamento a un Paciente.

Establecer las claves primarias y foráneas: Identifica las claves primarias de cada tabla y las claves foráneas necesarias para hacer referencia a las llaves primarias de otras tablas. Por ejemplo, en la tabla de compra, la clave foránea hace alusión a la llave primaria de la tabla de cliente.

RESULTADOS

El uso del modelo relacional en el diseño de soluciones con bases de datos permite recuperar la información de forma eficiente y sencilla gracias al Lenguaje Estructurado de Consultas (SQL, por sus siglas en inglés).

Dentro del proceso del diseño del modelo E-R se detallan los resultados obtenidos:

Conversión de entidades a tablas: Al convertir las entidades a tablas se establecen las columnas (atributos, en el modelo E-R) para mantener la información necesaria en el manejo y gestión de inventarios, siendo las columnas por tabla como se muestran a continuación:

- *Productos:* IDProducto, Nombre, Precio y Existencia.
- *Proveedores:* IDProveedor, Nombre, Dirección, Correo y Teléfono
- *Compras:* IDCompra, Descuento, Fecha, Total
- *Ventas:* IDVenta, Descuento, Fecha, Total
- *Categorías:* IDCategoria, Descripción
- *Clientes:* IDCliente, Nombre, Dirección y Teléfono

Identificar las relaciones que se convierten en tablas: En este paso se identifican las relaciones entre las diferentes entidades que deben convertirse a tablas, teniendo como resultado las siguientes:

- *Compras - Contiene:* Relación Uno a Muchos. Porque una Compra puede tener muchos detalles por los diferentes productos que incluye.
- *Ventas - Contiene:* Relación Uno a Muchos. Debido a que una Venta puede tener muchos detalles de los diferentes productos que se incluyen en dicha Venta.

Establecer las claves primarias y foráneas: Se especifican cada una de las llaves primarias de las tablas que representan la integridad de entidad, para permitir identificar de forma única cada una de las entidades (renglones). Asimismo, se indican las llaves foráneas que representan la integridad referencial para vincular las diferentes tablas en el modelo. Teniendo como resultado lo siguiente:

Tabla	Llave Primaria (PK)	Llave foránea (FK)
Productos	IdProducto	IdCategoria
Proveedores	IdProveedor	
Compras	IdCompra	IdProveedor
Ventas	IdVenta	IdCliente
Categorías	IdCategoria	
Clientes	IdCliente	
DetallesCompra	IdDetalleCompra	IdCompra, IdProducto
DetallesVenta	IdDetalleVenta	IdVenta, Id Producto

Diagrama Relacional: Por último, es importante aterrizar los resultados parciales de cada uno de los pasos de la conversión del modelo Entidad-Relación del sistema de inventarios al modelo relacional. Ver figura 2.

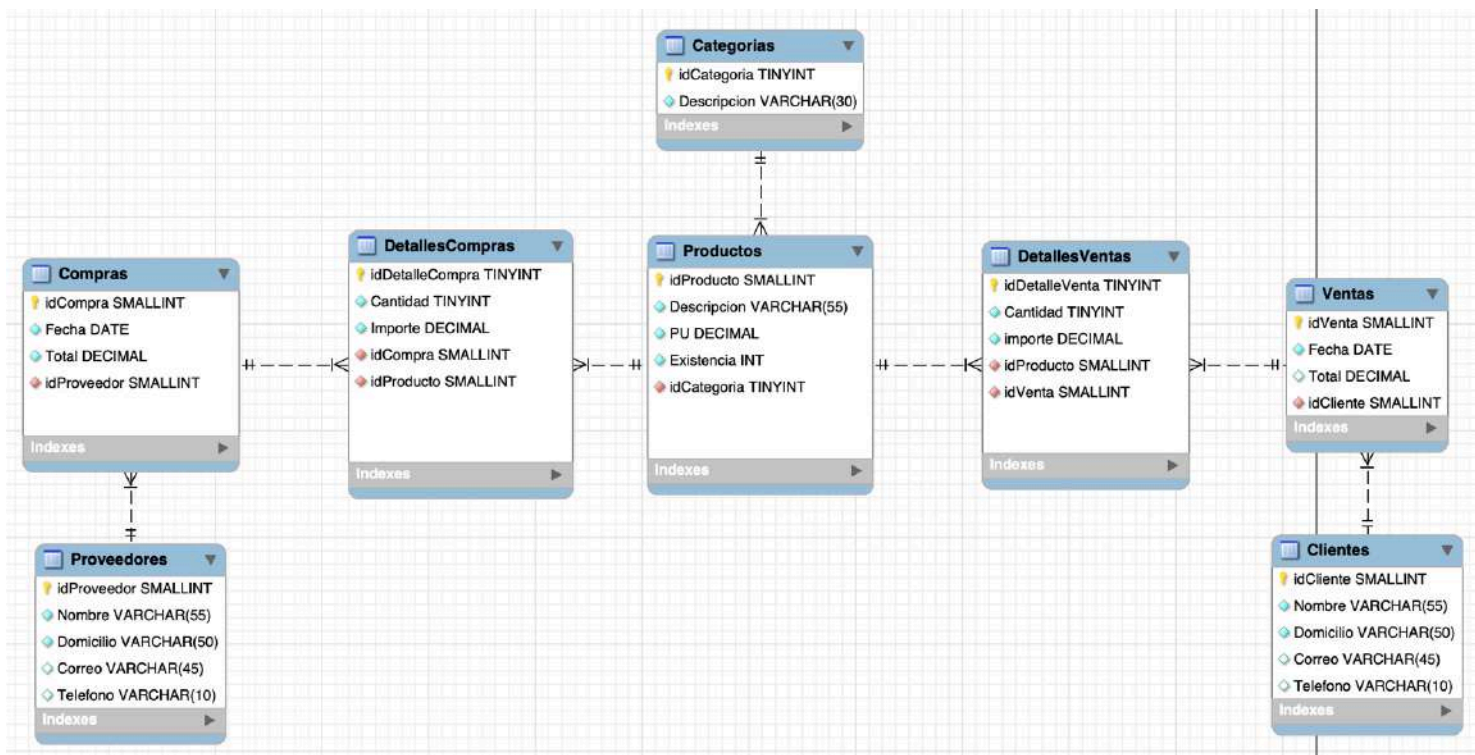


Figura 2. Modelo Relacional del Sistema de Inventarios

CONCLUSIONES

El diseño relacional del sistema de inventarios no solo garantiza el almacenamiento organizado de los datos, sino que impacta directamente en la operatividad y eficiencia del negocio. Ya que incluye aspectos esenciales del sistema de inventarios, asegurando un registro eficiente en las entradas y salidas de los diferentes productos del almacén, así como las operaciones necesarias de las compras y ventas que afectan directamente la existencia por producto.

En el modelo relacional presentado se mantiene la integridad de las existencias ya que no se permite modificar directamente el stock de los productos, por ser un dato calculado o actualizado por los movimientos de compras y ventas, previniendo inconsistencias entre las existencias registradas y las cantidades físicas de cada producto.

El resultado del modelo se apega a las reglas del negocio, por respetar los lineamientos operativos de las operaciones diarias de las compras y ventas que impactan en la existencia de los productos, lo cual garantiza que las restricciones de integridad referencial, integridad de entidad e integridad de dominio impidan que se presenten datos inválidos en las existencias, por ejemplo un stock negativo.

La conversión adecuada del modelo entidad relación al modelo relacional en un sistema de inventarios, asegura la eficiencia y confiabilidad del sistema. Dicho modelo, permite representar las estructuras de datos, con una representación clara de los objetos del mundo real a través de las tablas que incluyen los registros (objetos) y las relaciones entre dichas tablas. Lo que convierte el modelo del sistema de inventarios en una base sólida para la creación e implementación de la base de datos en un Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD) como puede ser, Mysql, PostgreSQL, Oracle, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

Dolores Cuadra Fernández, Elena Castro Galan. (2013). Desarrollo de Bases de Datos: Casos prácticos desde el análisis hasta la implementación RAMA Editorial.

Date, C. (2012). Introduction to Data Base Systems (7a Ed.) Ed. Addison – Wesley Iberoamericana.

Korth, H. y Silbertchatz, A. (2002). Fundamentos de Bases de datos. (5a ed.). Ed. McGraw Hill.

Rob, P. y Coronel, C. (2003). Sistemas de Base de Datos (Diseño, Implementación y Administración). (5a ed.).Ed. Thomson.

De Miguel, S. y Piattini Mario. (1993). Concepción y Diseño de Base de datos del modelo E-R al modelo relacional. Ed. Addison Wesley Iberoamericana, Rama.

De Miguel, A. y Piattini, (1999). M. Fundamentos y modelos de bases de datos. (2a ed.), Ed. AlfaOmega Ramma.

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA EN PUERTAS AUTOMOTRICES: IMPLEMENTACIÓN DEL ENFOQUE AIAG-VDA DFMEA

Sergio Ayala Barrientos¹, Lauro Montes García², Roberto Higuera Cantu²
TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO(TecNM), Instituto Tecnológico de La Piedad
Av. Tecnológico No 2000, Col. Meseta de los Laureles. La Piedad Mich. México C:P: 593870

RESUMEN

La industria automotriz exige elevados estándares de calidad, seguridad y confiabilidad, por lo que el diseño de componentes críticos como las puertas laterales requiere metodologías preventivas para la identificación y gestión de riesgos desde las primeras etapas de desarrollo. Las puertas automotrices cumplen funciones estructurales, de seguridad, confort, ergonomía y protección de los ocupantes, lo que hace indispensable analizar las posibles fallas antes de la fabricación. En este contexto, el Análisis de Modos y Efectos de Falla de Diseño (DFMEA) se ha consolidado como una de las principales herramientas para la prevención de riesgos en el desarrollo de productos automotrices.

La metodología AIAG-VDA DFMEA proporciona un enfoque estructurado basado en el análisis de estructura, funciones, modos de falla, causas y controles, permitiendo una mejor trazabilidad y priorización de riesgos mediante el Análisis de Prioridad de Acción (AP). Su aplicación resulta especialmente relevante en sistemas complejos como las puertas automotrices, donde interactúan componentes mecánicos, estructurales, eléctricos y electromecánicos.

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar los modos de falla potenciales en el diseño de puertas automotrices mediante la implementación de la metodología AIAG-VDA DFMEA, identificando componentes críticos como bisagras, cerraduras, sistemas de elevación de cristales y elementos de sellado. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo-descriptivo, integrando conceptos de APQP para garantizar la alineación entre los requerimientos del cliente, los objetivos de diseño y la confiabilidad del producto.

La aplicación del DFMEA permitió establecer una relación sistemática entre funciones, fallas potenciales, efectos, causas y controles de diseño, facilitando la evaluación de riesgos mediante criterios de severidad, ocurrencia y detección. Asimismo, se identificaron acciones preventivas orientadas a incrementar la robustez del diseño, reducir costos asociados a fallas tardías y mejorar la calidad del producto. Los resultados obtenidos demuestran que el DFMEA constituye una herramienta efectiva para fortalecer el diseño de puertas automotrices, mejorar la toma de decisiones de ingeniería y contribuir al desarrollo de productos más seguros, confiables y competitivos en la industria automotriz.

Palabras clave: DFMEA, efectos, fallas

INTRODUCCIÓN

La industria automotriz actual se caracteriza por altos estándares de calidad, seguridad y confiabilidad, el diseño de componentes críticos como las puertas laterales del vehículo requiere la implementación de metodologías estructuradas de análisis de riesgos desde las primeras etapas del desarrollo. Las puertas automotrices no solo cumplen funciones estructurales y estéticas, sino que también desempeñan un papel fundamental en la seguridad del usuario, el confort acústico, la ergonomía, la integridad del habitáculo y la protección en caso de impacto lateral. Por ello, la identificación temprana de posibles modos de falla en su diseño constituye un elemento clave para garantizar el desempeño del producto a lo largo de su ciclo de vida.

El **Análisis de Modos y Efectos de Falla de Diseño (DFMEA, por sus siglas en inglés)** se ha consolidado como una herramienta esencial dentro del marco de desarrollo de productos en la industria automotriz, particularmente bajo los lineamientos establecidos por organismos como AIAG (Automotive Industry Action

Group) y VDA (Verband der Automobilindustrie). La metodología AIAG–VDA DFMEA ha evolucionado los enfoques tradicionales para el diseño automotriz, e incluye análisis de concepto estructurado basado en función, riesgo y trazabilidad enfocándose en fallas, causas y controles.

La implementación del enfoque AIAG–VDA permite la mejor identificación de riesgos potenciales en sistemas complejos, como los módulos de puerta que integran componentes mecánicos, eléctricos y electromecánicos, sino también una priorización más robusta mediante el uso de herramientas como el **Análisis de Prioridad de Acción (AP)**. Facilitando la toma de decisiones orientadas a la mitigación de fallas que pueden madurar y materializarse a futuro ocasionando costos asociados a retrabajos, garantías y campañas de calidad.

En la industria automotriz, el desarrollo de productos se encuentra altamente orientado hacia la **prevención de fallas desde las etapas tempranas de diseño**, impulsado por la creciente complejidad de los sistemas vehiculares, la integración de componentes electrónicos y los estrictos requerimientos normativos en materia de seguridad y calidad. En este contexto, el **Análisis de Modos y Efectos de Falla de Diseño (DFMEA)** se ha consolidado como una herramienta fundamental dentro del marco de la ingeniería de confiabilidad y del Desarrollo Avanzado de Calidad del Producto (APQP).

Diversos estudios han demostrado que la aplicación sistemática del DFMEA permite identificar de manera anticipada las posibles fallas funcionales en sistemas automotrices complejos, reduciendo significativamente los costos asociados a modificaciones tardías en diseño y fallas en campo. Tradicionalmente, el enfoque del AMEF se basaba en el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (RPN); sin embargo, investigaciones recientes han evidenciado limitaciones en esta metodología, principalmente relacionadas con la falta de consistencia en la priorización de riesgos y la interpretación subjetiva de los resultados.

Implementación del DFMEA en la industria automotriz

Como respuesta a estas limitaciones, el manual conjunto **AIAG–VDA (2019)** introdujo un enfoque estandarizado que redefine la estructura del DFMEA mediante un modelo basado en **análisis de estructura, funciones y fallas**, así como la incorporación del **Análisis de Prioridad de Acción (AP)**. Este enfoque ha sido ampliamente adoptado en la industria automotriz global, ya que permite una evaluación más robusta y sistemática del riesgo, dando mayor peso a la severidad de los efectos y facilitando la toma de decisiones en la implementación de acciones correctivas.

TEORIA

DFMEA en sistema de puertas automotrices

En el ámbito específico del diseño de puertas automotrices, la literatura técnica destaca la creciente complejidad de este sistema, el cual integra componentes estructurales, mecánicos, eléctricos y de sellado. Investigaciones recientes han abordado la aplicación del DFMEA en subsistemas críticos como mecanismos de cierre (latch), bisagras, sistemas de elevación de cristales y elementos de sellado (weatherstrips), identificando fallas relacionadas con problemas de alineación, infiltración de agua, ruido y vibraciones (NVH), así como deficiencias en la ergonomía y seguridad del usuario.

Desde una perspectiva ingenieril, el uso del DFMEA en el diseño de puertas automotrices ha evolucionado hacia un enfoque más integral que considera no solo la funcionalidad básica del sistema, sino también aspectos de desempeño en condiciones dinámicas, interacción entre subsistemas y requisitos del cliente final. En este sentido, la integración del DFMEA con herramientas complementarias como el Análisis de Elementos

Finitos (FEA), simulaciones de impacto lateral y pruebas de durabilidad ha permitido mejorar la precisión en la identificación de causas raíz y en la validación de soluciones de diseño.

Trabajos multidisciplinarios en la aplicación del DFMEA

Adicionalmente, estudios recientes destacan la importancia del trabajo multidisciplinario en la elaboración del DFMEA, involucrando áreas de diseño, manufactura, calidad y validación, lo que contribuye a una visión más completa del riesgo. Asimismo, la digitalización de los procesos de ingeniería ha facilitado la implementación de plataformas colaborativas que integran el DFMEA con sistemas de gestión del ciclo de vida del producto (PLM), mejorando la trazabilidad y la actualización continua de los análisis.

En el contexto de la electrificación y el desarrollo de vehículos inteligentes, el diseño de puertas automotrices ha incorporado nuevas funcionalidades, como sistemas de apertura eléctrica, sensores de seguridad y módulos electrónicos avanzados, lo que incrementa la necesidad de aplicar metodologías estructuradas como el DFMEA para gestionar los riesgos asociados a sistemas mecatrónicos. Esto ha llevado a una evolución del enfoque tradicional hacia un **DFMEA orientado a sistemas complejos**, donde la interacción entre hardware y software juega un papel crítico.

A pesar de los avances, la literatura también identifica retos en la implementación efectiva del DFMEA, tales como la dependencia del conocimiento del equipo de trabajo, la calidad de los datos de entrada y la correcta interpretación de los resultados. En este sentido, se ha enfatizado la necesidad de capacitación continua y estandarización de criterios para asegurar la consistencia del análisis.

Objetivos General

Analizar los modos de falla en el diseño de puertas automotrices mediante la implementación de la metodología **AIAG-VDA DFMEA**, con el fin de identificar riesgos potenciales que pueden generar problemas tanto de manufactura como de uso del producto, proponiendo acciones de mitigación que contribuyan al desarrollo de un modelo robusto y confiable.

Objetivos específicos:

1. **Identificar la funciones principales y secundarias** del sistema de puertas automotrices, considerando la interacción con otros elementos estructurales, mecánicos y electrónicos.
2. **Distinguir los componentes críticos del sistema.**
3. **Determinar los modos de falla potenciales** referentes a los componentes críticos del sistema de puertas tales como: bisagras, cerraduras, sistema de elevación, sistema de sellado.
4. **Analizar la causa raíz de las fallas potenciales** evaluando su impacto en la manufactura y desempeño del vehículo la seguridad del usuario, la percepción de la calidad del producto y la viabilidad de la manufactura en cuanto a costo y proceso.
5. **Evaluar el nivel de riesgo** considerando la frecuencia y severidad de la falla.
6. **Aplicar la metodología AIAG-VDA DFMEA**, estableciendo una estructura que permita analizar: fallas, causas, controles y riesgos.
7. **Precisar e implementar acciones de mejora y control** orientadas a eliminar o mitigar las causas de falla en etapas tempranas del diseño de puertas automotrices.
8. **Validar la efectividad del DFMEA** como herramienta preventiva de las fallas de un sistema de puertas automotrices en su manufactura y uso.

METODOLOGIA

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo–descriptivo con aplicación ingenieril, orientado al análisis sistemático de fallas potenciales en el diseño de puertas automotrices mediante la implementación

de la metodología DFMEA conforme al estándar AIAG–VDA (2019). La investigación se basa en la identificación, evaluación y mitigación de riesgos asociados a funciones críticas del sistema, considerando criterios de severidad, ocurrencia y detección.

Para mejorar el diseño de un automóvil se establecen objetivos claros y precisos que definen el rumbo que tomara cada uno de los sistemas y componentes que lo conforman, a su vez los sistemas tienen en consideración elementos esenciales para su formación, por lo que es necesario establecer puntos de referencia que eviten mediante el diseño del sistema la generación de fallas ya sea en la manufactura, en el uso o en la interacción con otros sistemas.

La implementación del **Planeamiento Avanzado de la Calidad del Producto (APQP, por sus siglas en inglés)** en el diseño y desarrollo de puertas laterales automotrices constituye un enfoque estructurado y sistemático que permite asegurar el cumplimiento de los requisitos del cliente desde las etapas tempranas del ciclo de vida del producto. Desde una perspectiva de investigación, el APQP integra fases definidas —planeación, diseño y desarrollo del producto, diseño del proceso, validación y retroalimentación— que facilitan la coordinación multidisciplinaria entre ingeniería de diseño, manufactura y calidad. En el caso específico de puertas automotrices, esta metodología permite traducir necesidades funcionales como seguridad en impacto lateral, hermeticidad, desempeño NVH y ergonomía, en características técnicas medibles, apoyándose en herramientas como DFMEA, planos de control y validaciones CAE. Asimismo, el APQP promueve la identificación temprana de riesgos, la estandarización de procesos y la trazabilidad del desarrollo, contribuyendo a la reducción de fallas en campo y al cumplimiento de estándares como IATF 16949. De este modo, su aplicación no solo mejora la robustez del diseño, sino que también optimiza tiempos de desarrollo y costos asociados, consolidándose como un elemento clave en la ingeniería de producto en la industria automotriz.

Como parte de la planeación, en la primera fase del APQP es esencial tener la voz del cliente como el **punto de partida para todo el desarrollo del producto**, garantizando que el diseño de las puertas automotrices no solo cumpla con especificaciones técnicas internas, sino que también satisfaga las expectativas del usuario final en términos de seguridad, desempeño y experiencia de uso.

La **fase 1 de la metodología APQP (Planificación y definición del programa)** en el diseño de puertas laterales automotrices se emplea como base estratégica para alinear los requerimientos del producto con las necesidades del mercado y del cliente. En esta etapa, el **plan de negocio y la estrategia de mercado** definen el posicionamiento del vehículo y, por ende, el nivel de desempeño esperado de la puerta en términos de calidad percibida, seguridad y costo. Posteriormente, los **datos de comparación competitiva (benchmarking)** permiten identificar estándares de la industria en aspectos como NVH, esfuerzos de cierre, hermeticidad y diseño estructural, estableciendo referencias técnicas claras. A partir de esta información se formulan los **supuestos del producto**, los cuales consideran restricciones de diseño, arquitectura del vehículo, materiales y sistemas integrados. Con base en ello, se definen las **metas de diseño**, que incluyen especificaciones cuantificables como rigidez estructural, desempeño en impacto lateral, durabilidad de mecanismos y ergonomía del usuario. Finalmente, se establecen los **objetivos de confiabilidad**, orientados a garantizar que el sistema de puerta cumpla su función a lo largo del ciclo de vida del vehículo bajo condiciones de uso reales, integrando criterios de seguridad, desempeño funcional y cumplimiento normativo. Esta fase resulta crítica, ya que establece las directrices que guiarán las etapas posteriores del desarrollo del producto, asegurando coherencia técnica y enfoque en la satisfacción del cliente.

Para la etapa dos del APQP se considera en esta investigación solo el AMEF de diseño ya que es el objetivo fundamental de este documento

En la **fase 2 del APQP, correspondiente al diseño y desarrollo del producto**, el **Análisis de Modos y Efectos de Falla de Diseño (DFMEA)** se implementa como una herramienta fundamental para la gestión preventiva de riesgos en el diseño de puertas automotrices. Desde un enfoque ingenieril, el DFMEA permite traducir las metas de diseño y los requerimientos derivados de la Voz del Cliente en un análisis estructurado orientado a identificar posibles fallas funcionales antes de la validación física del producto. En el caso de las puertas laterales, este análisis se enfoca en sistemas críticos como el mecanismo de cierre (latch y striker), las bisagras, los sistemas de elevación del cristal, los elementos de sellado y la estructura del panel, evaluando su desempeño frente a condiciones de operación reales y escenarios de uso extremo. A través de la metodología AIAG-VDA, el DFMEA establece una trazabilidad clara entre funciones, modos de falla, efectos y causas, permitiendo priorizar riesgos mediante el análisis de prioridad de acción (AP) y definir acciones de diseño orientadas a mejorar la robustez del sistema. Así, su aplicación en esta fase no solo contribuye a optimizar el desempeño funcional y la seguridad del componente, sino que también reduce iteraciones de diseño, tiempos de desarrollo y costos asociados a fallas en etapas posteriores del ciclo de vida del producto.

En la aplicación del DFMEA se utiliza un formato básico que permite desglosar las posibles fallas, causas e impacto en el usuario final, así mismo es importante mencionar que nos permite establecer puntos de control para evitar estas fallas, considerando aspectos de diseño.

	MEJORA CONTINUA	ANÁLISIS DE ESTRUCTURA (PASO 2)			ANÁLISIS FUNCIONAL (PASO 3)		
Ítem	Historial/Autorización del cambio (según corresponda) (Columna opcional)	1. Sistema	2. Subsistema	3. Componente	1. Función del Sistema	2. Función del Subsistema	3. Función del Componente

Los pasos 1, 2 y 3 del DFMEA tienen como propósito descomponer el sistema en subsistemas y posteriormente en componentes y definir de que manera funciona cada elemento dentro de subsistema con la finalidad de entender cómo podría fallar.

ANÁLISIS DE FALLA (PASO 4)						ANÁLISIS DE RIESGO (PASO 5)							
Anti función	1. Efectos de Falla (FE) en el elemento del siguiente nivel superior y/o usuario final	Severidad en Tabla	Severidad (S) de FE	2. Modo de Falla (FM) del paso del proceso	3. Causa de Falla (FC) del Elemento de Trabajo	Control de Prevención Actual (PC) de FC	Coherencia (O) de FC	Controles actuales de Detección (DC) de FC o FM	Detección (D) de FC/FM	NPR	AMEFP AP	Características Específicas	Código de filtro (opcional)

En los pasos 4 y 5 se analiza los modos de falla y riesgo por presentar estas fallas, es importante que al definir esto se considere la interacción de cada componentes con los demás elementos, así como los objetivos definidos por la voz del cliente, objetivos del diseño, además de la confiabilidad y calidad del producto.

OPTIMIZACION (PASO 6)												
Acción de Prevención	Acción de Detección	Persona Responsable	Fecha Objetivo	Status	Acción Tomada con indicio de evidencia	Fecha de término	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	Caract EspProd	AMEFP AP	Notas

Finalmente el paso 6 del DFMEA se enfoca en la optimización donde se establecen las acciones necesarias para mitigar a través del diseño las posibles fallas que presenten los componentes del sistema, acciones para prevenir que se enfocan en evitar las fallas desde la percepción de que podemos evitar que nos producen inconvenientes al uso del producto, las acciones de detección son necesarias para identificar si se presenta una

falla, es necesario que se establezcan las herramientas utilizadas que efectivamente nos permitan detectar es posibilidades antes de que ocurran.

Una vez detectada la falla es importante tomar acciones de corrección para mitigar los efectos.

RESULTADOS

La aplicación de la metodología AIAG-VDA DFMEA al sistema de puertas automotrices permitió identificar y documentar los modos de falla potenciales asociados a los componentes críticos, tales como bisagras, cerraduras, sistemas de elevación de cristal, elementos de sellado y estructura de la puerta. Mediante el análisis de funciones, efectos, causas y controles de diseño, se estableció una evaluación sistemática de los riesgos considerando los criterios de severidad, ocurrencia y detección. Como resultado, fue posible priorizar las áreas de mayor impacto sobre la seguridad, funcionalidad, hermeticidad, confort acústico y calidad percibida del vehículo, definiendo acciones preventivas orientadas a incrementar la robustez del diseño desde etapas tempranas de desarrollo. La elaboración del DFMEA generó además una base documental estructurada para futuras actividades de validación, optimización del producto y gestión de riesgos dentro del proceso APQP, fortaleciendo la confiabilidad y el desempeño del sistema de puertas automotrices.

MEMORIA CONTINUA		ANÁLISIS DE ESTRUCTURA (PASO 2)			ANÁLISIS FUNCIONAL (PASO 3)			ANÁLISIS DE FALLA (PASO 4)			ANÁLISIS DE RIESGO (PASO 5)						
Item	Historial/Autorización del cambio (significativa/insignificante) (Columna reservada)	1. Sistema	2. Subsistema	3. Componente	1. Función del Sistema	2. Función del Subsistema	3. Función del Componente	4. Efecto de la falla (FT) en el momento del siguiente nivel superior (p.ej. usuario final)	5. Severidad de la falla	6. Frecuencia de la falla (FM) en el momento del paso del proceso	7. Detección de la falla (FC) en el momento del paso del proceso	8. Modo de la falla (FM) del elemento de trabajo	9. Causa de la falla (FC) del elemento de trabajo	10. Control de Prevención actual (PC) de FC	11. Q de la falla (FC) de FC	12. Control actual de Prevención (CA) de FC o FM	13. RPN
1		Sistema de cierre de puertas	LATCH (cerradura)	Ganar la apertura y cierre seguro de la puerta en operación normal y en evento de impacto	Retener la puerta en posición cerrada y asegurar el cierre seguro de la puerta en operación normal y en evento de impacto	Almacenar y liberar el mecanismo de cierre conforme a la orden de usuario o sistema centralizado	No retiene la puerta cerrada, libera de forma no intencional	Apertura inesperada de la puerta, riesgo para el ocupante, incompleteness de seguridad	10			Desenganche del latch durante marcha o cierre incompleto	Tolerancias acumuladas incorrectas, diseño insuficiente del gancho, rigidez insuficiente	Análisis de shock, revisión CAD, simulación dinámica, especificación de tolerancias ASME	3		30
					Proveer interfaz robusta de acoplamiento entre puerta y carrocería	Acoplar y asegurar el enclavamiento del latch	No permite acoplamiento correcto con latch	Dificultad de cierre, rebote de puerta, ruido, desgaste prematuro	8			Desalineación latch-tracker	Definición inadecuada de coordenadas, tolerancias de montaje insuficientes, variación geométrica BIV	Securis fundacional, análisis de tolerancias, revisión de interfaces con carrocería	4		32
2		Sistema de articulación	Bisagra superior	Permitir apertura/cierre controlado y alineación geométrica de la puerta con la carrocería	Soportar peso de la puerta y definir trayectoria de giro	Mantener rigidez y geometría durante ciclo de apertura/cierre	Fluidez ligera a posición relativa	Puerta desalineada, incremento de esfuerzos de cierre, ruido y desgaste de sellos	7			Desplazamiento o deformación de la bisagra	Sección insuficiente, extensión incorrecta de material, diseño débil de refuerzo de fijación	Cálculo estructural, FEA, especificación de torques y zona de refuerzo	4		28
3					Transmitir carga al marco de la puerta sin deformación excesiva	Transmitir carga al marco de la puerta sin deformación excesiva	Presenta luego excesivo o deformación	Desalineación, vibración, pérdida de ajuste, posible interferencia con guías/rotores	7			Holgura excesiva en eje o soporte de bisagra	Diseño insuficiente de eje, desgaste prematuro, pivote no considerado, carga crítica, lubricación	Análisis de durabilidad, verificación de ejes, diseño robusto de eje/pivote	5		35
4		Sistema de sellado	Asegurar hermeticidad y confort de habitáculo	Evitar ingreso de agua, polvo y ruido entre puerta y carrocería	Mantener contacto continuo y compresión adecuada contra el marco	No sella adecuadamente	Filtración de agua o aire, incremento de NVH, olores, calores, pérdida de aislamiento	8				Fugas por sellado perimetral	Perfil geométrico inadecuado, compresión insuficiente, selección errónea de dureza/material	Simulación de contacto, revisión de sección del sello, corrección CAD con BIV	5		40
5		Puentes laterales	Regulador de ventana	Permitir movimiento controlado de cristal lateral	Guiar y posicionar el cristal durante elevación y descenso	Transmitir movimiento del motor al cristal sin vibración o oscilaciones	No mueve el cristal o lo mueve incorrectamente	Ventana inoperante, atrapamiento, molestia al usuario, posible ingreso de agua	6			Atrozo o resaca de regulador del cristal	Trajectory inadecuada, rigidez insuficiente de guías, diseño deficiente de rolos y carretes	Análisis cinemático, revisión de detalles, pruebas CAE de esfuerzos y trayectoria	4		74
6					Alimentar energía y señales a los componentes eléctricos de la puerta	Conducir corriente eléctrica durante apertura/cierre repetitivo	Conducir señales y potencias sin interferencia repetitiva	Falla de enclavamiento, espejo, cierre centralizado o humedades, pérdida DTC	8	Ruptura del anillo en zona de flexión	Fallo de curvatura insuficiente, ruido en interfaz, protección mecánica deficiente	Revisión de routing, protección contra corrosión, pruebas CAE de esfuerzos y flexión	4		32		
7		Sistema eléctrico de puerta	Conector principal	Asegurar conexión eléctrica confiable entre puerta y carrocería	Permitir acoplamiento eléctrico robusto y sellado del punto de interconexión	Transferir potencia y señales con resistencia de contacto estable	Intermite o genera ruido eléctrico	Fallo de enclavamiento, espejo, cierre centralizado o humedades, pérdida DTC	7			Fallos de contacto o sellado en conector	Diseño insuficiente del interconexión, selección inadecuada de terminal, cables deficientes	Diagramación de conexiones automotrices, pruebas de inserción y extracción, revisión de cables	3		21
8																	

CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología de Análisis de Modos y Efectos de Falla de Diseño (AMEF de Diseño) en el desarrollo de puertas automotrices permitió identificar de manera sistemática los modos de falla potenciales asociados a los componentes y funciones críticas del sistema, antes de la etapa de fabricación y validación física. Este enfoque contribuyó a fortalecer el proceso de diseño mediante la evaluación anticipada de los riesgos que podrían afectar la seguridad, funcionalidad, ergonomía, durabilidad y calidad percibida por el usuario final.

A través de la elaboración del AMEF se logró establecer una relación estructurada entre las funciones de la puerta, los posibles modos de falla, sus efectos, causas potenciales y los controles de diseño existentes, facilitando la priorización de riesgos mediante la evaluación de los índices de severidad, ocurrencia y detección. Esto permitió identificar aquellos elementos que requieren una atención especial durante las etapas posteriores de desarrollo y validación del producto.

Los resultados obtenidos evidencian que el uso del AMEF desde las primeras fases del diseño constituye una herramienta efectiva para apoyar la toma de decisiones de ingeniería, reducir la probabilidad de fallas en servicio y optimizar los recursos destinados a pruebas y modificaciones de diseño. Asimismo, fomenta el trabajo multidisciplinario entre las áreas de diseño, manufactura, calidad y validación, promoviendo una visión integral del producto.

La metodología aplicada demostró ser adecuada para la gestión preventiva de riesgos en sistemas automotrices complejos como las puertas vehiculares, ya que proporciona una base documental sólida para el desarrollo posterior de actividades de validación, pruebas funcionales y mejora continua del diseño.

Finalmente, aunque la investigación se limitó a la elaboración del AMEF de Diseño, los resultados obtenidos constituyen un punto de partida para futuras etapas del proceso APQP, incluyendo la implementación de acciones de mejora, la actualización de los niveles de riesgo tras la mitigación propuesta y la correlación de los resultados del AMEF con pruebas de validación física y análisis de desempeño en condiciones reales de operación. De esta manera, el trabajo desarrollado contribuye al fortalecimiento de la confiabilidad y robustez del diseño de puertas automotrices, alineándose con las mejores prácticas de la industria automotriz y los requisitos de gestión de calidad orientados a la prevención de fallas.

BIBLIOGRAFÍA

Automotive Industry Action Group (AIAG), & Verband der Automobilindustrie (VDA). (2019). *AIAG & VDA failure mode and effects analysis (FMEA) handbook: Design FMEA, process FMEA, supplemental FMEA for monitoring and system response* (1st ed.). AIAG.

International Automotive Task Force (IATF). (2016). *IATF 16949:2016. Quality management system requirements for automotive production and relevant service parts organizations*. IATF.

Society of Automotive Engineers. (2021). *SAE J1739: Potential failure mode and effects analysis (FMEA) including design FMEA, supplemental FMEA-MSR, and process FMEA*. SAE International.

Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution* (2nd ed.). ASQ Quality Press.

Juran, J. M., & De Feo, J. A. (2017). *Juran's quality handbook: The complete guide to performance excellence* (7th ed.). McGraw-Hill Education.

Asociación Española para la Calidad (AEC). (2020). *Análisis modal de fallos y efectos (AMFE): Guía práctica para la prevención de fallos*. AEC.

International Automotive Task Force (IATF). (2016). *IATF 16949:2016. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos particulares para la aplicación de ISO 9001 en la fabricación de serie y piezas de servicio de la industria automotriz*. IATF.

Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2018). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (4.^a ed.). McGraw-Hill Education.

Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance* (2nd ed.). Industrial Press.

Ebeling, C. E. (2019). *An introduction to reliability and maintainability engineering* (2nd ed.). Waveland Press.

Fowlkes, W. Y., & Creveling, C. M. (1995). *Engineering methods for robust product design: Using Taguchi methods in technology and product development*. Addison-Wesley.

Gilles, T. (2020). *Automotive chassis: Engineering principles* (2nd ed.). Cengage Learning.

Heisler, H. (2002). *Advanced vehicle technology* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Bosch. (2018). *Bosch automotive handbook* (10th ed.). Wiley.

OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS COMERCIALES EN UNA EMPRESA FABRICANTE DE PERFILES DE ALUMINIO

Estela Noelia Ortiz Orozco¹, Norma Angélica Ortiz Orozco²

¹Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de La Piedad, ²Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de La Piedad

¹estela.oo@piedad.tecnm.mx, ²norma.oo@piedad.tecnm.mx

RESUMEN

En este artículo se presentará el marco teórico con los temas más relevantes, presentando los conceptos básicos, se hará énfasis en temáticas como el diseño y aplicación de estrategias de optimización en los procesos comerciales, para fortalecer la eficiencia operativa y la toma de decisiones. Esta propuesta se desarrolla la elaboración de un indicador de desempeño para evaluar el comportamiento, así como el diseño de fichas técnicas de productos y la estandarización del área apoyándose en la elaboración de un diagrama de flujo. Se presentarán algunos otros mecanismos para mejorar la comunicación y los tiempos de respuesta a los clientes. Todo orientado a buscar incrementar la competitividad de la empresa y la satisfacción de los clientes.

INTRODUCCIÓN

La finalidad es proporcionar a la empresa estrategias de optimización de procesos comerciales, para mejorar la eficiencia en la gestión de ventas, ya que esta área es medular en el fortalecimiento y desarrollo continuo de la empresa y lograr tener mayor atracción de clientes y con los ya existentes obtener su fidelidad, así como aumentar su competitividad en un mercado que cada vez más tiene altos niveles de exigencia. El desafío de la empresa es agilizar los tiempos de respuesta por parte del asesor de ventas hacia los clientes y fortalecer ampliamente la comunicación con los mismos. Todo encaminado a contribuir en el desarrollo de una gestión comercial más estructurada, eficiente y estar sometido al proceso de mejora continua.

El punto de partida de la propuesta, inicia a partir de una revisión detallada de las etapas del proceso de ventas en busca de áreas de oportunidad, tales como, diferencias críticas, tiempos de respuesta prologados, cuellos de botella, que afectan la eficiencia del área comercial.

TEORÍA

Planificación y estrategias comerciales.

La planificación comercial es parte de la planificación estratégica de la empresa, la cual, consiste en analizar objetivamente las oportunidades y amenazas que presenta el entorno de la empresa, así como las ventajas competitivas y puntos débiles. La planificación comercial está enfocada al análisis de la situación general tanto externa como interna a la empresa, que la posiciona en un contexto real donde influyen distintas fuerzas directas e indirectas.

La estrategia comercial busca desarrollar ventajas competitivas sostenibles en productos, mercados, recursos o capacidades que sean percibidas como tales por los clientes potenciales y permitan alcanzar los objetivos previstos. La implantación de la estrategia comercial consiste en asignar las acciones comerciales a los distintos elementos que participan dentro de la organización de manera planificada, ordenada y enfocada a alcanzar objetivos comerciales.

La planificación comercial establece las líneas generales necesarias para determinar el futuro que se desea y las etapas que se requieren para conseguir los objetivos comerciales. Es un proceso de elaboración de las decisiones estratégicas y de los medios para ponerlas en marcha en el mercado objetivo. (Caballero, 2016)

Plan estratégico de ventas: objetivos comerciales y objetivos de ventas.

El Plan Estratégico de Ventas se configura como un documento donde se recogen los objetivos y acciones que va a desarrollar la empresa durante un periodo determinado para conseguir el máximo consumo con la menor inversión y tiempo posible. En este sentido, el plan de ventas recoge el plan operativo, es decir, las acciones concretas que se van a llevar a cabo para conseguir las metas marcadas. El diseño del plan de estrategias de ventas, se trata de un proceso minucioso, basado en un análisis de los factores internos y externos de la organización, y en el que se marcan las metas generales y medidas concretas para potenciar el consumo. Las estrategias de ventas deben elaborarse a partir de las siguientes etapas: análisis de la situación, definición de objetivos, elaboración de líneas estratégicas, establecimiento de canales de venta, concreción de acciones de ventas. (Arenal, 2018)

Técnicas de comunicación aplicadas a la venta.

La importancia de la comunicación está fuera de toda duda. No es posible la evolución personal, social, ni la empresarial sin comunicación. En el ámbito empresarial existe la necesidad constante de comunicación entre las

personas que la constituyen. Por tanto, conocer y dominar las diferentes técnicas de comunicación será un factor decisivo para tener éxito en la empresa. No cabe duda de que un gran problema que afecta a las empresas actuales es la falta de comunicación o el uso inadecuado de sus técnicas, lo que ha motivado un aumento del interés por los procesos de comunicación. Esta comunicación se basa en la continua circulación de información, necesaria para que una empresa funcione. (Sánchez & Izquierdo Carrasco, 2025)

¿Qué es un dashboard?

Un dashboard de negocio o cuadro de mandos es una brújula. Una herramienta de visualización de datos con la que las empresas monitorizan su información. En un solo vistazo, se tienen los datos más relevantes a su alcance, para tomar decisiones de forma ágil y eficiente. Un dashboard ofrece visión de 360 acerca del rendimiento general de una compañía, siendo un gran aliado para la definición estratégica y seguimiento de los objetivos.

Para empezar y crear un dashboard desde cero debemos considerar algunos elementos esenciales que aseguren su efectividad y utilidad:

- **KPIS Relevantes:** seleccionar aquellos que se consideren que están alineados con los objetivos estratégicos del negocio.
- **Gráficos y elementos visuales:** la visualización es clave para disponer de la información de forma clara y atractiva. Utilizar una variedad de gráficos y elementos visuales como líneas pastel, barras o mapas para presentar los datos de forma atractiva.
- **Información en tiempo real:** Asegurarse que el dashboard tenga la capacidad de mostrar datos en tiempo real o near real-time. Disponer de información actualizada permite anticiparse a posibles problemas, reaccionar rápidamente y aprovechar oportunidades, según Zeus Smart Visual Data

Pasos para crear un dashboard.

1. **Definición de objetivos:** antes de empezar a diseñar un dashboard, se debe preparar y pensar que se desea conseguir con él. Establecer que información es crítica para el negocio y cual no.
2. **Selección del software de business intelligence:** Una vez que se tenga claro que información se quiere visualizar, es hora de elegir que herramienta de Business Intelligence es más adecuada para el dashboard. Algunas a tener en cuenta son Tableau, Google Data Studio o Zeus. Se deben evaluar sus funcionalidades y elegir la que tenga mayor facilidad de uso y cumpla con las necesidades específicas.
3. **Selección de KPIs:** No es válido poner la mayor cantidad de KPI que se ocurran. El hecho de tener más información en el dashboard no implica que se tenga mayor control. Se deben elegir las métricas que sean medibles y relevantes, es decir, las que mejor reflejen el rendimiento empresarial y que permitan alcanzar los objetivos definidos.
4. **Diseño y storytelling con Data:** Diseñar el dashboard de manera que la información se presente de forma clara y coherente. Se pueden utilizar tácticas de storytelling para crear narrativas visuales que den contexto a los datos y comuniquen los insights de la manera más efectiva posible.

Tipos de dashboard.

Existen 3 tipos comunes de dashboard, cada uno con un propósito específico: operacional, estratégico/ejecutivo y analítico.

Dashboard Operativos: enfatizan el monitoreo más que el análisis y la administración. Este tipo de dashboard muestra datos que facilitan la parte operativa de un negocio.

Dashboard Estratégicos: típicamente proveen los KPIs (Indicadores de Desempeño Clave – Key Performance Indicators) que un equipo ejecutivo de la organización realiza en forma periódica (diaria, semanal o mensual). El objetivo de un dashboard estratégico es alinear la organización en torno a los objetivos estratégicos y hacer que todos los grupos avancen en la misma dirección.

Dashboard Tácticos: rastrean procesos y proyectos departamentales que son de interés para un segmento de la organización o un grupo de personas. Sirven para comparar el desempeño de sus áreas o proyectos, los planes de presupuesto, los pronósticos o resultados del periodo pasado. (Martínez, 2017)

Fichas técnicas.

Una ficha técnica es un documento que presenta información importante sobre un producto, esta información puede incluir: nombre del producto, finalidad, materiales, como se utiliza, precauciones con su uso, así como la información de contacto del fabricante.

La correcta redacción de la ficha técnica es muy importante para garantizar la satisfacción del consumidor, especialmente en los casos donde la incorrecta utilización de un producto puede resultar en daños personales o materiales o responsabilidades civiles o penales.

¿Qué debe contener una ficha de producto?

Se pueden identificar una serie de elementos que no deben faltar en una ficha de producto, que son obligatorios y totalmente imprescindibles.

- Nombre del producto: claro, completo y descriptivo.
- Código de referencia del producto.
- Precio.
- Variaciones del producto (si hubiera): otros colores, tallas, etc.
- Stock: información sobre disponibilidad online o en tiendas específicas.
- Imágenes y vídeos: material gráfico que muestre el producto y sus características al detalle.
- Descripción general: breve y clara.
- Descripción técnica: atributos técnicos, composición, mantenimiento e información relevante.
- Beneficios del producto: descripción más extendida sobre las ventajas del producto y su propuesta de valor.
- Información de envío: plazos de entrega, gastos de envío, opciones de entrega, etc.
- Contacto de servicio de atención al cliente.

Elementos esenciales de una ficha

La información que debe contener una ficha técnica puede variar según el tipo de producto, pero hay ciertos elementos esenciales que no deben faltar:

- Nombre del producto: debe ser descriptivo y claro.
- Imágenes de calidad: indispensables para mostrar el producto de manera atractiva.
- Precio: visible y ser preciso.
- Descripción detallada: resalta sus características y beneficios.
- Información sobre disponibilidad de stock: necesaria para la gestión de expectativas.
- Detalles de garantía y soporte: genera confianza en la compra.
- Código UPC: usado para la identificación única del producto.

Además, se deben incluir aspectos como las valoraciones de otros compradores o certificaciones ya que es posible ofrecer un valor añadido que diferencie el producto de la competencia. (Amara Ingeniería de marketing, 2026)

Pasos para crear una ficha técnica efectiva

Crear una ficha técnica efectiva requiere de un proceso muy detallado que garantice que el cliente tenga toda la información requerida para tomar una decisión sobre una compra, por lo tanto, se debe tener presente lo siguiente:

- Investigar y recopilar toda la información relevante sobre el producto.
- Definir el formato y diseño que mejor se adapte a la naturaleza del producto y a la plataforma en la que se publicará.
- Organizar la información de manera lógica, casi siempre se inicia por lo más importante.
- Redacta descripciones claras y concisas, usando un lenguaje que el público objetivo pueda entender.
- Incluir imágenes de alta calidad que complementen la descripción.
- Detallar las especificaciones técnicas y características de una manera ordenada.
- Revisar y editar la ficha técnica para asegurarte de que no haya errores (Amara Ingeniería de marketing, 2026)

¿Qué es un manual de procedimiento?

Es el documento que contiene la descripción de actividades que deben seguirse en la ejecución de las funciones de una unidad administrativa, o de dos o más. El manual incluye los puestos o unidades administrativas que intervienen precisando la responsabilidad y participación. Contienen información y ejemplos de formularios, autorizaciones o documentos necesarios, máquinas o equipo de oficina a utilizar y cualquier otro dato que pueda auxiliar en el correcto desarrollo de las actividades dentro de la empresa.

Utilidad del manual de procedimientos

Es muy útil ya que permite conocer el funcionamiento interno, en lo que respecta a descripción de tareas, la ubicación, requerimientos y los puestos responsables de su ejecución. Auxilian en la inducción de puesto y al adiestramiento y capacitación del personal, ya que describen en forma detallada las actividades de cada puesto. Sirve para el análisis o revisión de los procedimientos de un sistema. Interviene en la consulta de todo el personal. Para establecer un sistema de información o bien modificar el ya existente. Para uniformar y controlar el cumplimiento de las rutinas de trabajo y evitar su alteración. Aumenta la eficiencia de los empleados, ya que se les indica lo que deben hacer y cómo deben hacerlo. Ayuda a la coordinación de actividades y evitar duplicidades. Construye la base para el análisis posterior del trabajo y el mejoramiento de los sistemas, procedimientos y métodos, según Palma, 2009

Conformación del manual

1. Identificación: se debe incluir información tales como: nombre y logo de la organización, denominación y extensión, fecha de elaboración, unidades responsables de su elaboración, revisión y autorización,
2. Índice o contenido
3. Introducción: su contenido, objeto, áreas de aplicación, importancia de su revisión y actualización.

4. Objetivos de los procedimientos: propósito que se busca cumplir con los procedimientos, los principales objetivos suelen ser uniformar y controlar el cumplimiento de las rutinas de trabajo y evitar su alteración arbitraria; simplificar la responsabilidad por fallas o errores; facilitar las labores de auditoria; que tanto los empleados como sus jefes conozcan si el trabajo se está realizando adecuadamente; reducir los costos al aumentar la eficiencia general, además de otras ventajas adicionales.
5. Áreas de aplicación y/o alcance de los procedimientos: ámbito de acción que cubre los procedimientos.
6. Responsables: unidad administrativa y/o puesto que intervienen en los procedimientos en cualquiera de sus fases.
7. Políticas o normas de operación: se incluyen los criterios o lineamientos generales de acción que facilitan la definición de responsabilidades de cada instancia que participa en los procedimientos. Además, se deben considerar todas las normas de operación que precisan las situaciones alterativas que pueden presentarse en la operación de los procedimientos.
8. Concepto (s): palabras o términos de carácter técnico que se emplean en el procedimiento, ya que por su significado o grado técnico requiere una mayor explicación de su significado.
9. Procedimiento: es la presentación por escrito, en forma narrativa y secuencial, de cada una de las operaciones que se realizan en un procedimiento, explicando a detalle en qué consisten, cuando, como, donde, con qué, y cuánto tiempo hacen, señalando los responsables de llevarlas a cabo.
10. Formulario de impresos: formatos impresos que se emplean en un procedimiento, las cuales se intercalan dentro del mismo o se adjuntan como apéndices. También se pueden agregar instructivos para su llenado.
11. Diagramas de flujo: es la representación gráfica de la secuencia en que se realizan las operaciones de un procedimiento y/o el recorrido de formas o materiales, en donde se muestran las unidades administrativas (procedimiento general), o los puestos que intervienen (procedimiento detallado), en cada operación descrita.
12. Glosario de términos: es la lista de conceptos de carácter técnico relacionados con el contenido y las técnicas de elaboración de manuales de procedimientos, que sirven de apoyo para su uso o consulta, según Palma, 2009.

METODOLOGÍA

Las actividades ejecutadas para lograr desarrollar una propuesta sólida referente a la optimización de los procesos comerciales de esta empresa, comenzó por una revisión de las etapas del proceso de ventas con la finalidad de encontrar diferencias de respuesta prologados, cuellos de botella y áreas de oportunidad que afectan la eficiencia del área comercial. Además, se realizó una investigación detallada acerca de instaladores y distribuidores de paneles, con la finalidad de presentarles los productos de la empresa y fortalecer el crecimiento de la cartera de clientes. Para fortalecer el área de ventas se realizaron fichas técnicas comerciales para estandarizar la información de los productos, así como el manual de procedimiento comerciales para aplicar en el área de ventas. Se realizó un diagrama de flujo del proceso de ventas con la finalidad de estandarizar este proceso y evitar posibles cuellos de botella. También se desarrolló una herramienta visual para monitorear el comportamiento de los indicadores del área de ventas y facilitar toma de decisiones, basada con los datos de esta herramienta. Se analizaron los mecanismos de comunicación interna en el área de comercial, aplicando una encuesta para identificar áreas de mejora y proponer ajustes que fortalezcan la coordinación interdepartamental y optimizar la atención al cliente. Para fortalecer las propuestas indicadas anteriormente se llevó a cabo capacitación en herramientas de gestión comercial y lograr el correcto uso de las herramientas.

RESULTADOS

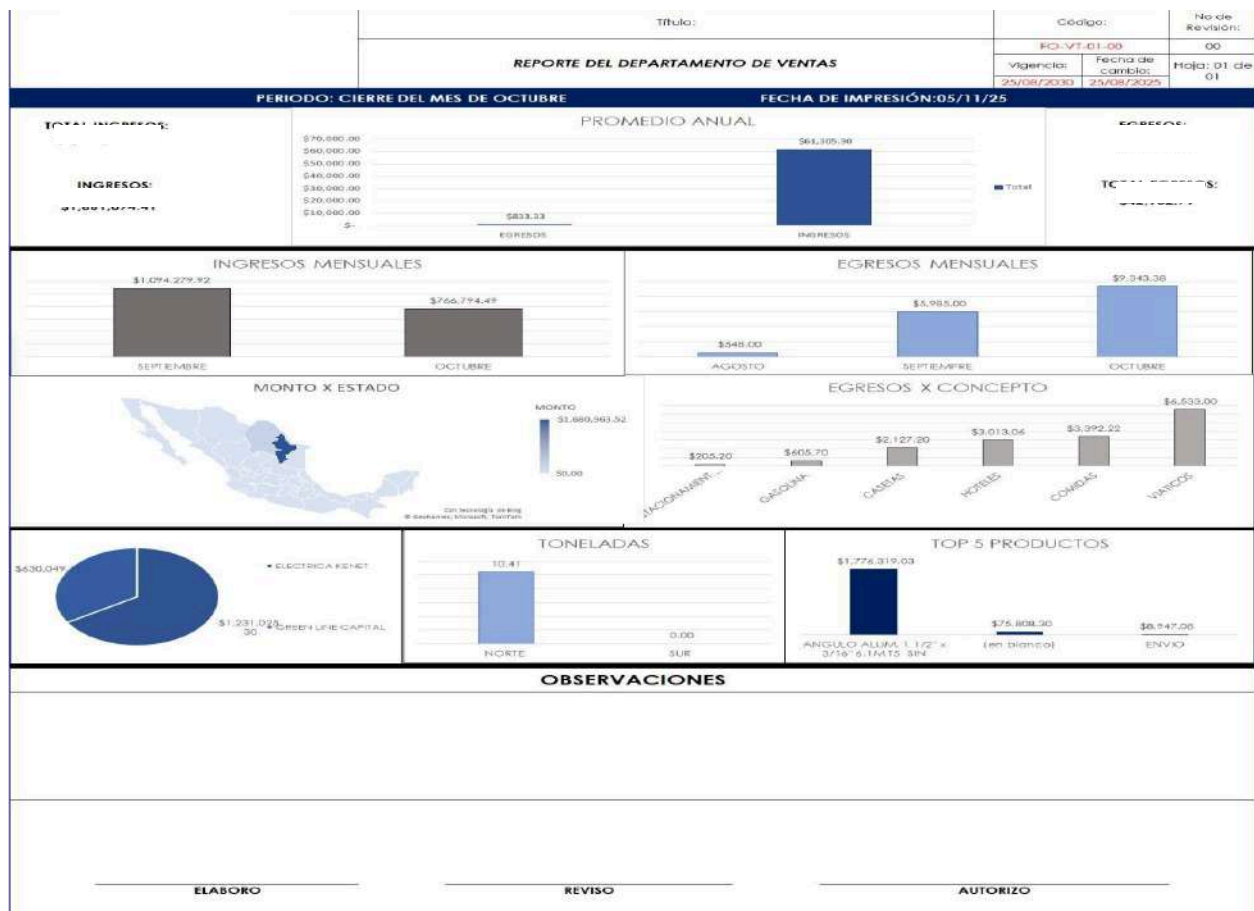
Base de datos comerciales.

Como parte de la búsqueda de nuevos y potenciales clientes se elaboró una base de datos comercial en la que se integra información detallada de instaladores y distribuidores de paneles solares a nivel nacional, este registro permite concentrar la información de contactos, facilitar el seguimiento de clientes potenciales y que pueden contribuir al crecimiento de la cartera comercial de la empresa. A continuación, se presenta una parte de esta base de datos, en donde se puede visualizar que datos se obtuvieron de cada uno de esos posibles clientes.

NOMBRE	TELEFONOS	WHATSAPP	CORREO	PAGINA WEB	DOMICILIO	CIUDAD	ESTADO	UBICACIÓN DEL ESTADO
ALMERD, S.A. DE C.V.	(33) 3639-7447 (33) 3659-5332 (33) 3657-7347 (33) 1611-5386	(33) 1319-9685	gerantedventas@almerd.mx	www.almerd.com	Rio Juárez No. 486 Col. Rancho Blanco 44890 Guadalupe, Jal.	Guadalupe	Jalisco	SUR
ALUMINIO Y METALES ORIÓ, S.A.P.I. DE C.V.	(81) 1232-6887 (81) 1521-0665	81-1763-5075	ventas@amorian.com.mx luis.elcalza@amorian.com.mx info@amorian.com.mx	www.emorian.com.mx	Av. E. Martínez Lara No. 120 Parque Industrial Millmex 66637 Apodaca, NL.	Apodaca	NL	NORTE
COMERCIALIZADORA GASU, S.A. DE C.V.	(55) 5305-9435 (55) 5370-7609	X	contacto@gasualuminio.com	www.gasualuminio.com	Faisán No. 16-3 Col. Mayorazgos del Bosque 52957 Apatzán de Zaragoza, Edo. Mex.	Apatzán de Zaragoza	Edo Mex	SUR
METALES DIAZ, S.A. DE C.V.	(55) 5083-0260	5549911820	matriz@metalesdiaz.com.mx	www.metalesdiaz.com.mx	Marina Nacional No. 195 Col. Anáhuac 11320 Miguel Hidalgo, CDMX	Miguel Hidalgo	CDMX	SUR
METALES DEL PUERTO CHAC	(999) 965-1341 (999) 383-6270	999 4881 237	villahermosa@metalesdelpuerto.com	www.metalesdelpuerto.com	Periférico Sur S/N 187 Diagonal, Fracc. Santa Cruz Palomeque 97315 Mérida, Yuc.	Mérida	Yucatán	SUR
METALES MAR CHINA, S.A. DE C.V.	(33) 3618-0051	3346956610	ventas@metmar.com.mx	www.metmar.com.mx	Av. Revolución No. 350 Col. Anáhuac 44450 Guadalupe, Jal.	Guadalupe	Jalisco	SUR
SLP INDUSTRIAL SYSTEMS, S.A. DE C.V.	(444) 246-8923 (444) 246-8924	444-317-8708	ventas@is-slp.com	www.is-slp.com	Eje 128 No. 180 Interior 13 Col. Zona Industrial 78395 San Luis Potosí, SLP	San Luis Potosí	SLP	NORTE
SURMINISTRO DE METALES TULITLÁN, S.A. DE C.V.	(55) 5888-0640	(56) 3467-6007	clientes@smtultrlan.com info@smtultrlan.com	www.smtultrlan.com	Félix Zuloaga No. 2 Col. Barrio San Juan 54900 Tulitlán, Edo. Mex.	Tulitlán	Edo Mex	SUR
PRODUCTOS INDUSTRIALES TAGA, S.A. DE C.V.	(55) 5236-3551 (55) 5236-4408 (55) 5236-3556	X	ventas@taga-mexico.com	www.taga-mexico.com	Matías Romero No. 86 Col. San Sebastián 02050 Acatzingo, CDMX	Acatzingo	CDMX	SUR
LA BODEGA SOLAR	Sucursal Tijuana: 663-202-16-72 Sucursal Hermosillo: 662-297-98-01 Sucursal Culiacán: 33-2713-7881	664 476 1069	X	www.labodegasolar.com	Sucursal Tijuana: Canon Primer Ayuntamiento 1891, Roma anexa, 22614 Tijuana, B.C. Sucursal Hermosillo: Revolución 9, Las Amapolas, 83020 Hermosillo, Son. Sucursal Culiacán: Calz. Aeropuerto, Bachigualato, 80140 Culiacán Rosales, Sin.	Tijuana Hermosillo Culiacán Rosales	Baja California Sonora Sinaloa	NORTE NORTE NORTE
D-SOL ENERGÍA	(55) 5217-80-35		info@distribuidorsolar.mx	www.distribuidorsolar.mx	Felipe Ángeles No. 4206 Col. Guadalupe Victoria, Guadalupe N.L. 67180	Guadalupe Victoria	Durango	NORTE
KRANNICH SOLAR MÉXICO	(55) 6819-0589	X	info@mx.krannich-solar.com	www.krannich-solar.com	Avenida de los Insurgentes Sur 615 Colonia Nópoles CP 03810 Ciudad de México, CDMX México	CDMX	CDMX	SUR

Desarrollo de un dashboard de control

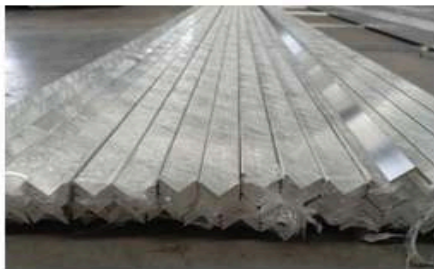
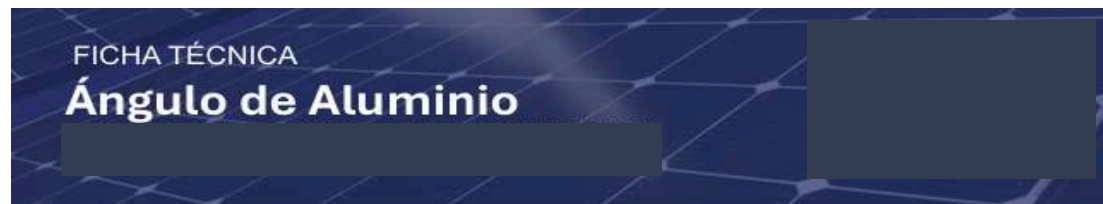
Con el propósito de monitorear el comportamiento de los principales indicadores del área de ventas se desarrolló esta herramienta, la cual permite visualizar de forma clara los resultados obtenidos en materia de desempeño comercial, apoyando la toma de decisiones estratégicas basada en datos actualizados. Enseguida se muestra el cómo se visualiza el dashboard, los datos cambian dependiendo del mes que se busca visualizar.



BIBLIOGRAFÍA

Diseño de fichas técnicas comerciales

Se hizo el diseño de fichas técnicas comerciales que estandarizan la información de todos los productos fabricados por la empresa en cuestión. Mencionadas fichas mejoran la presentación para todos los clientes y garantizan la uniformidad en la información compartida por el equipo de ventas. Aquí se muestran algunas fichas técnicas elaboradas.



El Ángulo de Aluminio es un componente estructural fundamental en la instalación de paneles solares. Fabricado en aluminio 6063 T5, destaca su ligereza y resistencia. Su diseño en forma de ángulo ofrece gran estabilidad y soporte, permitiendo unir y reforzar las estructuras que sostienen los paneles solares.

	IMAGEN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	DIMENSIONES	LONGITUD	ALEACIÓN	TEMPLE
ANGULOS		ANG 15 18-610-SA	ANGULO 1, 1/2" X 1/8"	1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	6.10 m	6063	T5
		ANG 15 38-610-SA	ANGULO 1, 1/2" X 5/32" (3.8mm)	1 1/2" x 1 1/2" x 5/32"	6.10 m	6063	T5
		ANG 15 316-610-SA	ANGULO 1, 1/2" X 3/16"	1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"	6.10 m	6063	T5
		ANG 15 14-610-SA	ANGULO 1, 1/2" X 1/4"	1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"	6.10 m	6063	T5
		ANG 20 316-610-SA	ANGULO 2" X 3/16"	2" x 2" x 3/16"	6.10 m	6063	T5

MONTAJE / APLICACIÓN



FICHA TÉCNICA Mid Clamp



El Mid Clamps es un herraje diseñado para **fijar los módulos solares por sus bordes intermedios**, asegurando alineación y **separación uniforme** entre paneles.

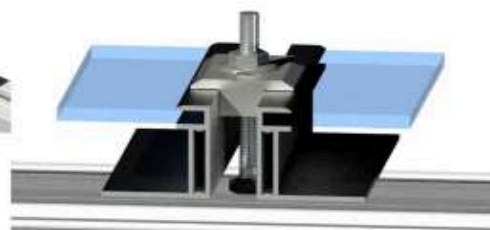
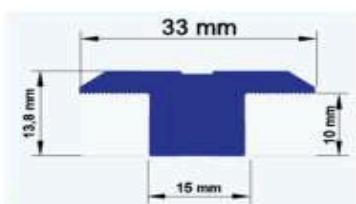
Fabricado en aleación de **aluminio 6063** y con **tornillería de acero inoxidable**, garantiza una instalación segura, rápida y resistente a la corrosión.

Compatible con el Riel Ligeró, Riel Albe, Riel AL-R1 y Riel AL-R2

IMAGEN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	DIMENSIONES	LONGITUD	ALEACIÓN	TEMPLE
	HRJ-MDCCT-40	MID CLAMP CON TORNILLERÍA INOX 1/4" x	33 mm x 14 mm	40 mm	6063	T5
	HRJ-MDCST-40	MID CLAMP SIN TORNILLE	33 mm x 14 mm	40 mm	6063	T5

MONTAJE / APLICACIÓN

FONTAL



Nota: De acuerdo con el tipo de riel que vaya a ser colocado el Mid Clamp, cambia su tornillo de fijación.

La Piedad Michoacán



552 525 10 04

Manuales de procedimiento

Se elaboraron manuales de procedimiento del área de ventas, en los cuales se describen de forma estructurada las actividades, responsabilidades y procesos internos, con el fin de estandarizar las operaciones y facilitar la capacitación del personal. Se desarrollaron seis manuales en total, los cuales se mencionan a continuación: Presentación de la empresa y sus productos, Cotización, Negociación y cierre, Recepción y procesamiento de

pedidos, Seguimiento postventa, Gestión de garantía. Enseguida se presenta como ejemplo uno de los manuales diseñados.



Manual de procedimiento: Cotización.

Versión MN-VT-02-00

2025



	Título: Manual de procedimiento: Cotización	Código:		No de Revisión:
		Vigencia: 18/08/2030	Fecha de cambio: 18/08/2025	00 Hoja 2 de 4

Objetivo.

Estandarizar el proceso de cotización de los productos de
Garantizando la claridad, rapidez y profesionalismo en la atención a los clientes.

Alcance.

Este procedimiento aplica al área Ventas de desde la recepción del
requerimiento hasta el seguimiento de las cotizaciones enviadas.

Responsables.

- Encargado de Ventas: Responsable de autorizar cambios en políticas de precios o condiciones y responsable de revisar cotizaciones especiales o con condiciones particulares.
- Ejecutivo de Ventas: Responsable de recibir la información, elaborar y dar seguimiento a la cotización.

Procedimiento.

1.- Recepción de requerimientos.

- Acción: Atender al cliente y recopilar información necesaria para la cotización.
- Pasos:
 1. Escuchar y registrar necesidades del cliente (tipo de perfil, medidas, cantidades, acabados).
 2. Confirmar datos de contacto y de la empresa solicitante.
 3. Verificar que la información proporcionada sea completada para evitar retrasos.
- Resultado esperado: Requerimientos claros y bien documentados para elaborar la cotización.

	Título: Manual de procedimiento: Cotización	Código:		No de Revisión: 00	
		Vigencia: 18/08/2030	Fecha de cambio: 18/08/2025	Hoja 3 de 4	

2.- Elaboración y envío de cotización.

- Acción: Preparar la propuesta comercial con base en la información recibida.
- Pasos:
 1. Revisar lista de precios vigente y políticas de venta.
 2. Elaborar cotización en el sistema de Alpha.
 3. Incluir precios, condiciones y forma de pago, tiempos de entrega y vigencia de alguna oferta o descuento.
 4. Enviar la cotización por correo electrónico o medio acordado con el cliente.
- Resultado esperado: Cliente recibe una propuesta formal, clara y en el tiempo comprometido.

3.- Seguimiento a cotizaciones enviadas.

- Acción: Monitorear el estado de la cotización y mantener contacto con el cliente.
- Pasos:
 1. Confirmación de la recepción de cotización.
 2. Establecer plazo para la respuesta.
 3. Contactar al cliente dentro de los 2-3 días posteriores al envío.
 4. Resolver dudas y realizar ajustes si el cliente lo solicita.
 5. Dar continuidad para concretar reunión, negociación o cierre de venta.
- Resultado esperado: Incrementar la tasa de conversión de cotizaciones en ventas efectivas.

	Título: Manual de procedimiento: Cotización	Código:		No de Revisión: 00	
		Vigencia: 18/08/2030	Fecha de cambio: 18/08/2025	Hoja 4 de 4	

Observaciones.

- El tiempo máximo de respuesta para enviar una cotización no debe exceder de 2 horas hábiles después de recibir los requerimientos completos de productos de línea y en proyectos nuevos no exceder a más de 3 días.
- Es obligatorio registrar cada cotización enviada y su seguimiento en el sistema Alpha.

ELABORÓ:

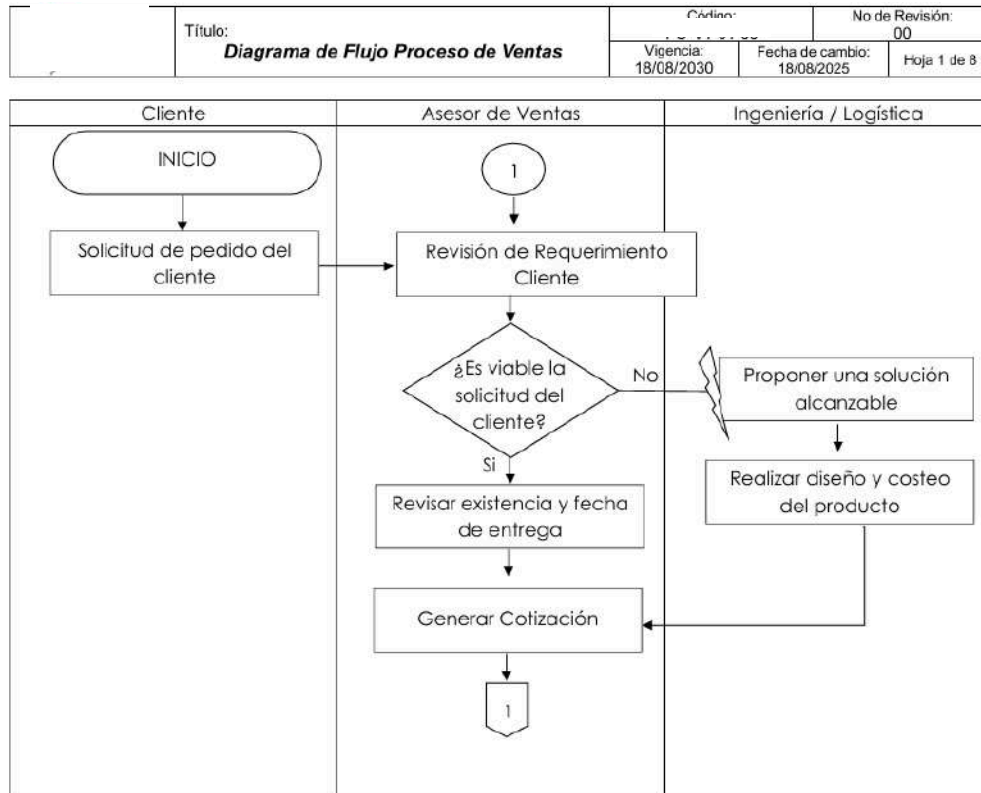
REVISÓ:
Encargado de Ventas e
Ingeniería

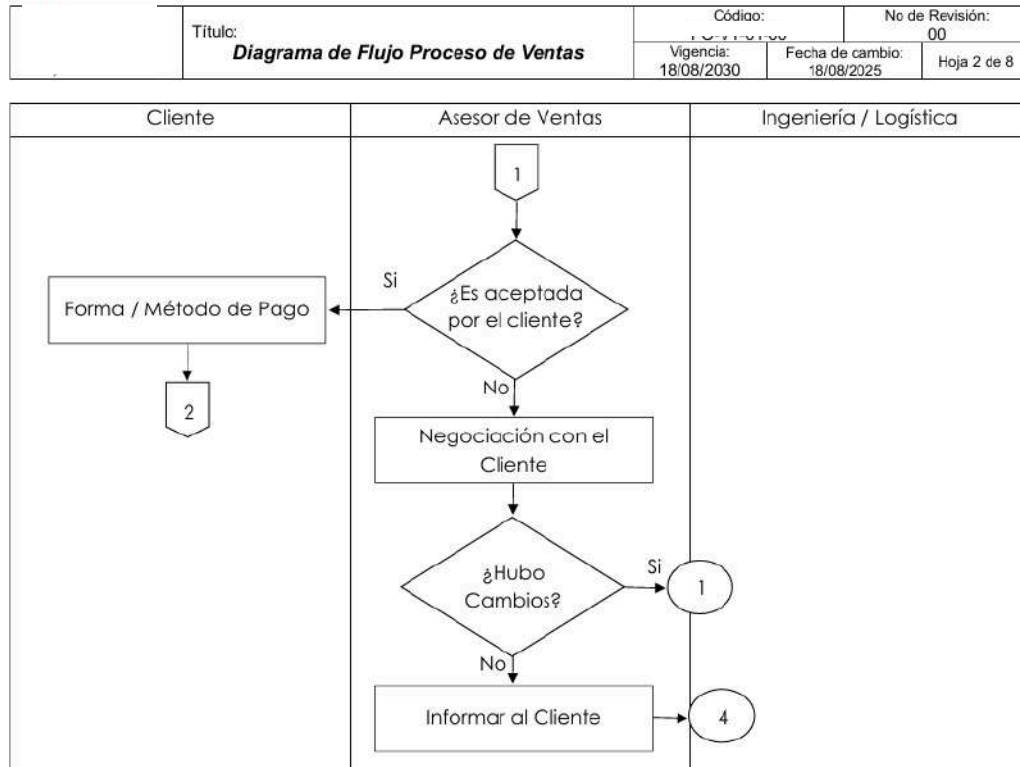
AUTORIZÓ:
Gerente General

Diagrama de flujo del proceso de ventas

También se diseñó el diagrama de flujo del proceso de ventas, en el cual se representan visualmente las etapas de este proceso comercial desde la prospección hasta el cierre de la venta, el cual es vital para la empresa. Este material facilita la comprensión del proceso, además aclara y permite identificar posibles áreas de mejora y también ayuda como una guía para la ejecución de las actividades de esta área.

A continuación, se incluye una parte de este diagrama de flujo:





CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto permite identificar aspectos clave del área de ventas que requieran organización, documentación y mejora, lo que contribuye a una visión más clara del funcionamiento general del proceso de ventas estructura y orden en las actividades comerciales, lo que significa una operación más eficiente y con mejores fundamentos para la toma de decisiones. La estandarización de la información y los procedimientos fortalecen la uniformidad en la manera en que se ejecutan las tareas y se presentan y promocionan los productos, lo que genera mayor claridad tanto para el personal interno de esta área y para el beneficio de los clientes. La optimización de los procesos involucra la implementación de diversas herramientas que ayudan a la mejora continua de cualquier proceso dentro de una empresa u organización, generando con ello grandes beneficios y ventajas competitivas, en un contexto cada vez más saturado de competidores, lo cual motiva a que las organizaciones trabajen continuamente por la calidad y la competitividad.

BIBLIOGRAFÍA

- Amara Ingeniería de marketing. (28 de agosto de 2026). Obtenido de <https://amara-marketing.com/servicios/ficha-tecnica-producto/>
- Arenal, C. (2018). *Dirección y estrategia de ventas e intermediación comercial*. Tutor formación.
- Caballero, P. (2016). *Estrategia y organización comercial. Manual teórico*. CEP, S.L.
- Martínez, D. (2017). *Metodología para el diseño de dashboard orientado hacia el registro de evidencias en el proceso de evaluaciones institucionales*. Obtenido de UNIR: <https://reunir.unir.net/items/919c39a2-3615-421a-acb2-c43d60e72d39>
- Palma, J. (2009). *Manual de procedimiento*. Santa Fe, Argentina: El Cid editor.
- Sánchez, M., & Izquiero Carrasco, F. A. (2025). *Técnicas de ventas COMV0108*. IC Editorial.
- Zeus Smart Visual Data. (s.f.). *Que es un dashboard. Aprende a crear uno desde cero*. Obtenido de Zeus Samrt Visual Data: <https://zeus.vision/wp-content/uploads/2024/06/que-es-un-dashboard-zeus-vision.pdf>

PROPUESTA DE UN MODELO DE MACHINE LEARNING PARA LA GESTIÓN DE INVENTARIOS DE LUBRICANTES INDUSTRIALES PERECEDEROS DE IMPORTACIÓN

Sandoval Gómez Raúl Junior ¹, Rojas Torres Jesús César Alberto ², Villegas Hernández Sayra Joseline ³

¹ Instituto Politécnico Nacional, ² Instituto Politécnico Nacional, ³ Instituto Politécnico Nacional

¹rsandova@ipn.mx ²jroast1000@alumno.ipn.mx ³villegasjoseline@gmail.com

RESUMEN

La industria metalmecánica mexicana requiere un flujo continuo de aceites y lubricantes especializados de importación

para garantizar la continuidad operativa de sus procesos productivos. Sin embargo, las empresas distribuidoras enfrentan serios desafíos operativos debido a la demanda intermitente, la limitada vida útil de los componentes químicos perecederos y la alta variabilidad en los tiempos de tránsito y despacho aduanal. La ineficacia de los modelos tradicionales de control de inventarios basados en máximos y mínimos provoca elevados costos por desabastos o por obsolescencia de insumos. A este escenario se suman los cambios regulatorios sobre límites de materia prima que interrumpen la cadena de suministro en aduanas, desencadenando compras de emergencia desproporcionadas. Para solucionar esta problemática, el presente artículo formula el marco teórico y metodológico para el diseño de un método integrado de pronóstico e inventarios fundamentado en técnicas de Machine Learning (ML). La investigación adopta un diseño documental y analítico que sistematiza la literatura especializada publicada entre 2016 y 2026. A partir de una tipología de tres enfoques de ML (estimación-optimización separadas, optimización estática integrada y optimización dinámica mediante Aprendizaje por Refuerzo), se propone transformar del paradigma tradicional *predict-then-optimize* hacia el paradigma integrado *predict-and-optimize*. Esta aproximación permite predecir directamente las decisiones óptimas de pedido incorporando simultáneamente restricciones de caducidad química, costos logísticos, puntos de reorden y variabilidad transfronteriza. Los resultados confirman la presencia de un vacío metodológico en la literatura científica global respecto a la integración simultánea de la degradación temporal del producto y las perturbaciones aduanales. Se concluye que el modelo propuesto tiene la capacidad de optimizar los costos de almacenamiento y garantizar la disponibilidad continua de lubricantes críticos en la industria metalmecánica.

Palabras clave: Machine Learning, Predict-and-Optimize, Materiales perecederos, Cadena de suministro transfronteriza.

ABSTRACT

The Mexican metalworking industry requires a continuous flow of specialized imported oils and lubricants to ensure operational continuity in its production processes. However, distribution companies face severe operational challenges due to intermittent demand, the limited shelf life of perishable chemical components, and high variability in transit and customs clearance times. The inefficiency of traditional inventory control models based on min-max levels leads to high costs resulting from stockouts or input obsolescence. Compounding this scenario, regulatory changes regarding raw material limits disrupt the supply chain at customs, triggering disproportionate emergency purchases. To address this problem, this article formulates the theoretical and methodological framework for designing an integrated forecasting and inventory method based on Machine Learning (ML) techniques. The research adopts a documentary and analytical design that systematizes specialized literature published between 2016 and 2026. Based on a typology of three ML approaches (separate estimation-optimization, integrated static optimization, and dynamic optimization via Reinforcement Learning), it proposes a transition from the traditional *predict-then-optimize* paradigm to the integrated *predict-and-optimize* paradigm. This approach allows for directly predicting optimal order decisions while simultaneously incorporating chemical shelf-life constraints, logistical costs, reorder points, and cross-border variability. The results confirm the existence of a methodological gap in global scientific literature regarding the simultaneous integration of product temporal degradation and customs disruptions. It is concluded that the proposed model has the capacity to optimize holding costs and guarantee the continuous availability of critical lubricants in the metalworking industry.

Keywords: Machine Learning, Predict-and-Optimize, Perishable materials, Cross-Border Supply Chain.

INTRODUCCIÓN

La industria metalmecánica en México constituye uno de los pilares del sector manufacturero nacional. Su operación regular depende críticamente del abastecimiento ininterrumpido de aceites y lubricantes industriales altamente especializados, en su gran mayoría importados desde mercados internacionales. Estos insumos garantizan la reducción de fricción y protección contra el desgaste de maquinaria de alta precisión. No obstante, las empresas comercializadoras y distribuidoras de estos productos enfrentan un entorno operativo caracterizado por una elevada incertidumbre.

El problema central radica en la confluencia de tres factores críticos: la intermitencia en los patrones de demanda de los clientes, la vida útil química de los lubricantes (los cuales pierden sus propiedades químicas tras un determinado periodo), y los prolongados e impredecibles tiempos de entrega derivados del transporte transfronterizo y las revisiones aduanales. Los modelos tradicionales de gestión de inventarios, basados en esquemas estáticos de máximos y mínimos o en el cálculo del Tamaño Económico de Pedido (EOQ), asumen tasas de demanda constantes y tiempos de reabastecimiento deterministas. Ante las condiciones reales del mercado, dichos esquemas resultan severamente insuficientes, generando un sesgo sistemático en los pronósticos que culmina en desabastos críticos o en pérdidas por obsolescencia de producto.

La severidad de este escenario se hizo evidente en 2024 (Secretaría de Economía, 2024), cuando la implementación de un nuevo cambio regulatorio sobre los límites permitidos de ciertos componentes químicos e insumos importados provocó la retención masiva de embarques en las aduanas mexicanas. Esta interrupción abrupta obligó a las empresas a recurrir a compras de emergencia a costos logísticos sustancialmente elevados para evitar el paro total de las líneas de producción.

Ante este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué método de pronóstico e inventarios resulta más adecuado para gestionar materiales críticos en una comercializadora de aceites y lubricantes industriales bajo condiciones de cambio regulatorio e incertidumbre logística?

Para dar respuesta, el objetivo general de esta investigación consiste en diseñar un método de pronóstico e inventarios de aceites y lubricantes perecederos que optimice de manera simultánea los costos de gestión y asegure la disponibilidad del material para la satisfacción del cliente en la industria metalmecánica. Los objetivos específicos comprenden: (1) sistematizar el conocimiento científico reciente respecto al uso de Machine Learning en control de inventarios; (2) diseñar la estructura algorítmica del modelo bajo un enfoque predictivo-optimizador; (3) incorporar variables operativas de caducidad y retrasos aduanales; y (4) validar el impacto económico del modelo propuesto sobre el nivel de servicio y los costos de inventario.

JUSTIFICACIÓN

Desde una perspectiva práctica, el estudio resuelve un problema logístico bidimensional y de alto costo financiero: la gestión de productos que son simultáneamente perecederos y de importación. Las herramientas administrativas tradicionales fallan al intentar coordinar los tiempos de tránsito internacional con la fecha de caducidad de los componentes químicos de los lubricantes, especialmente bajo patrones de demanda intermitentes (*lumpy*). Al respecto, la literatura reciente advierte que, para lograr la optimización de los inventarios en entornos de constante cambio, un pronóstico simple es insuficiente; las decisiones de abastecimiento y la definición de inventarios de seguridad (*safety stock*) son procesos fundamentalmente impulsados por el riesgo y la dispersión de los datos. Por ende, diseñar una propuesta basada en “*Machine Learning*” probabilístico permite a las empresas de un mecanismo capaz de asimilar esta incertidumbre logística y mitigar de forma simultánea la obsolescencia por caducidad en almacén y los costos por desabasto (Mittal & Kumar, 2026).

Finalmente, la investigación posee un destacado valor teórico y metodológico, ya que expande la literatura científica sobre la integración de la Inteligencia Artificial en la administración de operaciones. La literatura contemporánea demuestra que los métodos de gestión tradicionales basados puramente en la experiencia subjetiva generan altos sesgos ante las fluctuaciones del mercado. Ante esto, el uso de técnicas de análisis de datos y algoritmos computacionales de “*Machine Learning*” permite modelar con precisión la dinámica temporal y la variabilidad de la demanda (Henao-Baena et al., 2024). Al proponer este enfoque integrado, este estudio se alinea con los marcos de decisión modernos que demuestran que traducir la incertidumbre predictiva en parámetros de inventario tangibles mediante modelos avanzados genera disminuciones en los costos logísticos totales manteniendo los niveles de servicio (Mittal & Kumar, 2026).

Aunado a ello, la adopción de arquitecturas inteligentes permite transitar del enfoque secuencial tradicional o "*predict-then-optimize*" hacia un modelo integrado de "*predict-and-optimize*", el cual utiliza funciones de pérdida personalizadas para pronosticar directamente la decisión óptima de pedido en lugar de la demanda bruta (Van der Haar et al., 2025). Como sugieren Van der Haar et al. (2025), este paradigma integrado elimina la necesidad de realizar suposiciones teóricas sobre la distribución de los errores del pronóstico, logrando reducciones drásticas de costos y penalizaciones por caducidad o almacenamiento. De manera contundente, las revisiones sistemáticas del estado del arte reafirman la existencia de una división de esfuerzos metodológicos en la disciplina, señalando que la integración de técnicas de *Machine Learning* representa la vía idónea para resolver escenarios operativos intratables mediante modelos matemáticos rígidos (Bergsma et al., 2025).

Esta necesidad responde a un fundamento teórico esencial de las ciencias de la computación: por naturaleza, los sistemas e infraestructuras mecánicas son rígidos y carecen de la inteligencia intrínseca para analizar entornos cambiantes o asimilar experiencias previas almacenadas en memoria (Mohammed et al., 2016). Bajo esta premisa, la implementación de metodologías de aprendizaje automatizado se convierte en el puente indispensable para que un sistema adquiriera facultades predictivas avanzadas y ejecute decisiones con un nivel de exactitud equiparable al juicio humano experto (Henao-Baena et al., 2024) (Mohammed et al., 2016).

En el ámbito de la ingeniería de manufactura, las tecnologías de *Machine Learning* y el análisis de macrodatos se consolidan hoy como la solución técnica para el procesamiento masivo de información donde los métodos estadísticos clásicos se ven sus capacidades rebasadas (Chatterjee et al., 2023). Metodológicamente, esta transición es indispensable si se considera la definición formal de un algoritmo como una secuencia de instrucciones ejecutadas para transformar entradas en salidas válidas, cuya eficiencia e idoneidad práctica se miden estrictamente bajo los parámetros de tiempo y uso de espacio en memoria (Mohammed et al., 2016). Mientras que los enfoques analíticos convencionales saturan los recursos de cómputo o incrementan el margen de error ante el comportamiento caótico de los suministros extranjeros, la Inteligencia Artificial permite que los ordenadores se programen a sí mismos a partir de la experiencia de los datos, garantizando una optimización algorítmica altamente eficiente en términos de tiempo de ejecución y almacenamiento logístico (Mohammed et al., 2016).

Al abordar las restricciones de la administración de lubricantes industriales con restricciones de caducidad y abastecimiento transfronterizo, esta investigación atiende áreas reconocidas como subexploradas por la comunidad científica internacional, tales como la modelación de esquemas de deterioro de inventario y la variabilidad logística de suministros transfronterizos (Bergsma et al., 2025). Con ello, se genera un antecedente metodológico robusto de cómputo inteligente aplicado a problemas reales de ingeniería industrial (Chatterjee et al., 2023).

TEORÍA

El desarrollo de un modelo moderno de control de inventarios requiere la convergencia de la teoría de operaciones de inventario perecedero y las técnicas avanzadas de aprendizaje automático.

Gestión de inventarios con demanda intermitente y caducidad

Los lubricantes industriales perecederos sufren degradación con el tiempo. Formalmente, si la vida útil máxima de un producto es M periodos, la cantidad disponible en el tiempo t con antigüedad τ se denota como $I_{t,\tau}$. La demanda en el periodo t , representada por D_t , suele presentar una estructura intermitente o errática (lumpy demand), donde existen múltiples periodos con demanda cero intercalados con picos de demanda elevada.

En los enfoques clásicos de máximos y mínimos, el punto de reorden (ROP) y el stock de seguridad (SS) se calculan mediante:

$$ROP = \hat{x}_L + SS \quad (1)$$

$$SS = k\sigma_L \quad (2)$$

Donde $\hat{x}_L$ es la demanda total pronosticada, k es el factor de seguridad y σ_L es la desviación estándar de los errores de pronóstico durante el tiempo de entrega de reabastecimiento (Silver et al., 2016).

Estos modelos asumen que la demanda y el tiempo se distribuyen normalmente, suposición que se quiebra en presencia de demoras aduanales y el tiempo de vida de los lubricantes industriales, conduciendo a inventarios desbalanceados.

De "Predict-Then-Optimize" a "Predict-And-Optimize"

Tradicionalmente, la gestión de inventarios utiliza un esquema secuencial de dos etapas denominado predict-then-optimize. En la primera etapa, se entrena un modelo estadístico o de ML (e.g., ARIMA, XGBoost) para minimizar el error cuadrático medio (MSE) del pronóstico de demanda:

$$\text{Minimizar } MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (D_t - \hat{D}_t)^2 \quad (3)$$

En la segunda etapa, el valor pronosticado $\hat{D}_t$ se introduce como un valor determinista en un problema de optimización de costos. Como señalan Van der Haar et al. (2025), este enfoque desconecta la función de pérdida del modelo predictivo del objetivo de negocio final. Minimizar el error de pronóstico no garantiza minimizar el costo total de inventario, especialmente cuando los costos de desabasto y los de obsolescencia son asimétricos. Por el contrario, el paradigma integrado predict-and-optimize entrena el modelo ajustando sus parámetros θ para minimizar directamente la función de costo esperada del inventario $C(q; D)$, donde q representa la cantidad de pedido a determinar:

$$\text{Minimizar}_{\theta} E[C(f_{\theta}(X_t); D_t)] \quad (4)$$

Donde X_t son los atributos exógenos del entorno (tiempos aduanales, restricciones regulatorias, estacionalidad) y $q_t = f_{\theta}(X_t)$ es la decisión directa de inventario.

Metodología

El estudio adoptó un diseño metodológico mixto de carácter documental y analítico, estructurado en el análisis sistemático de la literatura científica publicada entre 2016 y 2026 sobre Machine Learning aplicado a la gestión de inventarios y cadenas de suministro.

Tipología de Enfoques de ML

Seguendo la revisión sistemática de 122 artículos científicos realizada por Bergsma et al. (2025), los métodos de ML aplicados a inventarios se clasifican en tres enfoques fundamentales:

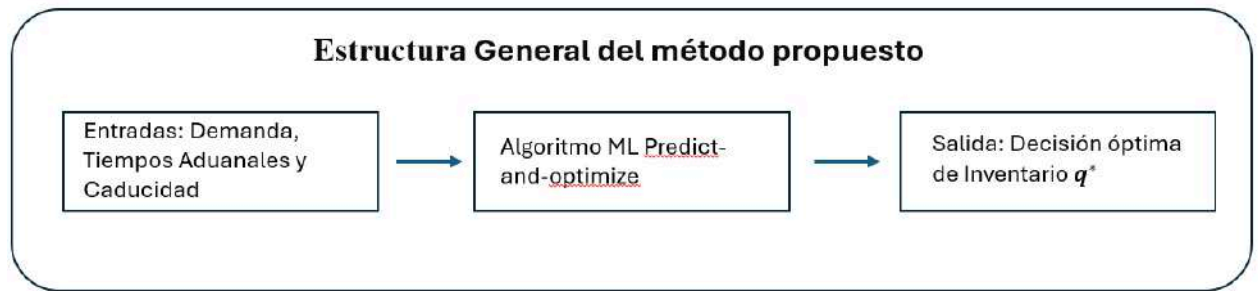
- Estimación y Optimización Separadas (Predict-then-Optimize): Modelos secuenciales donde ML predice parámetros de demanda exógenos y un solucionador matemático posterior determina el inventario.
- Optimización Estática Integrada (Predict-and-Optimize): Modelos supervisados orientados a la decisión donde la función de costo del inventario se integra explícitamente dentro del proceso de entrenamiento de la red o algoritmo de aprendizaje.
- Optimización Dinámica mediante Aprendizaje por Refuerzo (RL): Agentes interactivos que aprenden políticas de reabastecimiento mediante prueba y error en entornos estocásticos complejas.

Ilie & Semenescu (2026) Marco de Decisión Bayesiano	Propone un marco de decisión bayesiano que incorpora la incertidumbre predictiva de la demanda en el cálculo de reposición.	Demuestra que la estimación puntual de la demanda es insuficiente; permite modelar la variabilidad completa de la distribución en decisiones de abasto.
Van der Haar et al. (2024) Aprendizaje Supervisado	Demanda guiada por características (feature-driven demand)	Modeló eficientemente por qué se vendió y no solo qué se vendió, siendo altamente efectivo con muestras de datos reducidas
Bergsma et al. (2025) Revisión Sistemática	Sistematización de 122 artículos y definición de la tipología de tres enfoques de ML para inventarios	Identifica que la gran mayoría de la literatura omite restricciones simultáneas de caducidad y transporte transfronterizo
Van der Haar et al. (2025) ML Integrado (Predict-and-Optimize)	Pronóstico directo de cantidades óptimas de pedido	Reduce costos significativamente en demanda suavizada, pero tiende a incrementarlos si no se adapta a demandas erráticas o intermitentes
Henao-Baena et al. (2024) SVM, ARX y Procesos Gaussianos	Pronóstico de demanda semanal para 14 artículos considerando ubicación, temporalidad y presupuesto	Logra capturar dinámicas temporales pero no integra la caducidad del producto en el tiempo de almacenamiento

Designación de Variables

El modelo propuesto integra cinco variables críticas operacionales de la comercializadora:

- Tiempo de importación y despacho aduanal (L_{ad}): Variable aleatoria con alta variabilidad impulsada por cambios normativos.
- Vida útil del producto (U): Límite de tiempo antes del cual el lubricante sufre degradación.
- Costo logístico y de almacenamiento (C_h, C_o): Incluye fletes marítimos/terrestres y costo de mantenimiento en anaquel.
- Costo de caducidad/obsolescencia(C_w): Pérdida financiera directa por mermas de producto vencido.
- Demanda intermitente(D_t): Serie de tiempo caracterizada por picos aleatorios de consumo.



Fases de desarrollo del proyecto

El proyecto de investigación se estructura en tres fases consecutivas de desarrollo:

- Fase Actual-Fundamentación: Revisión de literatura especializada (2016-2026), definición del problema, sistematización de datos, formulación de la pregunta de investigación y establecimiento de objetivos.
- Fase Siguiente del Modelo- Selección y adaptación del algoritmo de ML bajo el paradigma predict-and-optimize; formulación del grafo computacional y operacionalización explícita de variables aduanales y de caducidad.

- Fase Final-Validación: Evaluación empírica utilizando el histórico de datos operacionales de una comercializadora de lubricantes en México, comparando los costos totales y el nivel de servicio contra el modelo tradicional.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El análisis comparativo de la literatura especializada sistematizado a partir de cinco estudios representativos del estado del arte y fundamentado en la revisión sistemática de 122 artículos realizada por Bergsma et al. (2025) revela varios hallazgos críticos sobre la aplicabilidad del Machine Learning en la cadena de suministro.

En primer lugar, los hallazgos de Ilie & Semenescu (2026) evidencia una transición clara en la literatura de gestión de demanda: mientras los enfoques estadísticos clásicos (ARIMA) ofrecen interpretabilidad, pero carecen de flexibilidad ante volatilidades, y los modelos de aprendizaje profundo (LSTM) maximizan la precisión no lineal de forma determinista, la aproximación bayesiana se posiciona como el estándar para la cuantificación explícita de la incertidumbre. No obstante, persiste una brecha crítica en la integración operativa: la desconexión entre la precisión estadística del pronóstico y la toma de decisiones de reabastecimiento. Lo que confirma que un pronóstico enfocado solamente en el volumen a pedir resultaría ineficiente para optimizar las decisiones de un inventario cuando el abastecimiento enfrenta incertidumbre predictiva en los tiempos de tránsito.

En segundo lugar, la investigación de Van der Haar et al. (2024) sobre el enfoque feature-driven demand aporta una solución clave al problema de la escasez de datos operacionales. Al modelar por qué se vendió el producto (integrando variables exógenas como promociones, días festivos, indicadores macroeconómicos o alertas regulatorias) en lugar de limitarse a predecir qué se vendió basándose solo en los datos históricos, el algoritmo demuestra una elevada eficiencia analítica aun con muestras de datos reducidas.

Sin embargo, una discusión profunda sobre la contribución de Van der Haar et al. (2025) pone de manifiesto una advertencia crucial: si bien la optimización integrada (predict-and-optimize) reduce sustancialmente los costos en escenarios con patrones de demanda suave o regular, puede llegar a incrementar los costos logísticos si se aplica sin modificaciones a productos con demanda intermitente. Esto se debe a que la función de costo penaliza severamente los errores de estimación en los picos de demanda. Para el caso específico de los lubricantes industriales perecederos, este riesgo se acentúa si la vida útil expirada obliga al descarte de lotes completos.

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo permite formular dos conclusiones principales sobre el estado del arte y la dirección futura del proyecto:

- La revisión de la literatura confirma que los modelos deterministas tradicionales (máximos y mínimos, ROP clásico) son incapaces de responder eficazmente a los factores de demanda intermitente, perecedero y fluctuaciones regulatorias aduanales que caracterizan a la industria metalmecánica mexicana.
- La integración del paradigma predict-and-optimize con restricciones explícitas de caducidad y tiempos de importación representa una innovación metodológica clave. Este enfoque permitirá predecir directamente las cantidades óptimas de pedido, minimizando de forma simultánea los costos de obsolescencia y los riesgos de desabasto en las comercializadoras de lubricantes industriales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Politécnico Nacional y a la Secretaría de Investigación y Posgrado el apoyo brindado para la realización del proyecto de investigación con número de registro SIP:20260393, al Sistema de Becas por Exclusividad (SIBE) de la COFAA y del Programa de Estímulos al Desempeño Docente (PEDD) del Instituto Politécnico Nacional del cual se deriva el presente artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bergsma, R., De Ruijt, C., & Bhulai, S. (2025). A systematic review of machine learning approaches in inventory control optimization. *Operations Research Perspectives*, 100367. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2025.100367>
- Chatterjee, P., Yazdani, M., Fernández-Navarro, F., & Pérez-Rodríguez, J. (Eds.). (2023). *Machine learning algorithms and applications in engineering*. CRC Press.
- Elmachtoub, A. N., & Grigas, P. (2021). Smart “predict, then optimize”. *Management Science*, 68(1), 9–26. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2020.3922>
- Henao-Baena, C. A., Zuluaga-Zuluaga, B., Galeano-Castro, J., Marín-García, E. J., & Calvo-Salcedo, A. F. (2024). Methodology for Inventory Management in Neighborhood Stores Using Machine Learning and Integer Linear Programming. *Ingeniería*, 29(1). <https://doi.org/10.14483/23448393.19423>
- Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2021) *Predicción: principios y práctica*, edición tercera, OTexts: Melbourne, Australia. OTexts.com/fpp3. Consultado el 30 de agosto de 2026.
- Ilie, M., & Semenescu, A. (2026). Bayesian stochastic modeling of supply chain. *Annals of the Academy of Romanian Scientists Series on Engineering Sciences*, 17(2), 62-93. <https://doi.org/10.56082/annalsarscieng.2026.1.86>
- Mohammed, M., Khan, M. B., & Bashier, E. B. M. (2016). *Machine learning: algorithms and applications*. Crc Press.
- Mittal, V. K., & Kumar, V. (2026). *Inventory optimization using machine learning: Advanced forecasting for multi-channel supply chains*. Wiley. <https://doi.org/10.22541/au.176159267.75684835/v2>
- Secretaría de Economía. (2024, 18 de septiembre). *Acuerdo que modifica el diverso que establece las mercancías cuya importación y exportación está sujeta a regulación por parte de la Secretaría de Energía Diario Oficial de la Federación*. <https://sidof.segob.gob.mx/notas/5739205>
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2016). *Inventory and production management in supply chains*. CRC press.
- Van der Haar, J. F., Sagaert, Y. R., & Boute, R. N. (2025). Integrating Forecasting and Inventory Decisions Using Machine Learning. *Foresight: The International Journal of Applied Forecasting*, (78), 14.
- Van der Haar, J. F., Wellens, A. P., Boute, R. N., & Basten, R. J. (2024). Supervised learning for integrated forecasting and inventory control. *European Journal of Operational Research*, 319(2), 573-586. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.07.004>

LA IMPORTANCIA DE LA ESTANDARIZACIÓN DE PROCESOS EN LA INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES

¹Norma Angélica Ortiz Orozco, ²Estela Noelia Ortiz Orozco
¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Piedad,
²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Piedad.
¹norma.oo@piedad.tecnm.mx, ²estela.oo@piedad.tecnm.mx

RESUMEN

La empresa en donde se realizó la investigación está dedicada a la instalación de paneles solares, además dedicados también a la gestión de media tensión. Se compone de un equipo de profesionales en el sector eléctrico dedicados proveer soluciones eléctricas innovadoras y eficientes a su medida, su enfoque principal está dirigido hacia la industria y el comercio, con el objetivo de mejorar su competitividad.

El proyecto presentado consiste en implementar un manual de procedimientos operativos estandarizados para la instalación de paneles solares con la finalidad de optimizar y asegurar la eficiencia, calidad y seguridad en el proceso de instalación, entre los principales objetivos se encuentra: la estandarización del trabajo mejora la eficiencia, aplica la seguridad, asegura la calidad y aplica la capacitación y la formación de los trabajadores.

INTRODUCCIÓN

La instalación de paneles solares es un proceso que requiere precisión, conocimientos técnicos y el cumplimiento de normativas específicas. En una empresa dedicada a este sector, contar con un manual de procedimientos operativos estandarizados es esencial para asegurar la calidad y eficiencia de las instalaciones. Este manual servirá como una guía detallada para que los empleados sigan los pasos adecuados en cada fase del proceso, garantizando un trabajo uniforme, seguro y de alta calidad.

Además, permitirá optimizar los recursos, mejorar la seguridad en el entorno laboral y facilitar la capacitación del personal. La estandarización de los procedimientos no solo ayuda a minimizar errores y tiempos de ejecución, sino que también refuerza la confianza del cliente al garantizar resultados consistentes. En un mercado en constante crecimiento como el de la energía solar, la implementación de procesos claros y eficientes es clave para adaptarse a las demandas cambiantes, cumplir con las exigencias regulatorias y mantenerse competitivo frente a la innovación tecnológica.

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar dicho manual, consolidando así las mejores prácticas dentro de la empresa para asegurar su competitividad y sostenibilidad a largo plazo. Al proporcionar una estructura organizada y accesible, el manual también servirá como una herramienta para fomentar la mejora continua, permitiendo la identificación de áreas de oportunidad y el ajuste constante a las mejores prácticas del sector. De esta forma, la empresa podrá posicionarse como un referente en la instalación de sistemas fotovoltaicos, promoviendo la transición hacia un futuro más limpio y sostenible.

La necesidad de un manual de procedimientos operativos estandarizados para la instalación de paneles solares surge de la creciente importancia de la energía renovable como una solución sostenible a la demanda energética global. En la empresa en cuestión, el crecimiento constante del sector ha puesto de manifiesto la falta de una documentación clara y precisa que guíe los procesos de instalación. Actualmente, la ausencia de procedimientos bien definidos puede dar lugar a inconsistencias en la calidad del servicio, riesgos de seguridad y un uso ineficiente de los recursos. Este proyecto tiene como objetivo contribuir a la profesionalización y mejora continua de las operaciones dentro del área de instalación de paneles solares, consolidando mejores prácticas para satisfacer las necesidades del mercado y cumplir con las normativas vigentes.

Los problemas que se lograron identificar llevaron a planear la realización del manual de procedimientos operativos estandarizados para la instalación de paneles solares, con la finalidad de estandarizar el procedimiento y elevar la eficiencia de instalación.

Los principales problemas identificados a resolver son los siguientes:

- Problemas con la planificación de tiempos de instalación.
- Incumplimiento con la entrega establecida en el contrato con el cliente.
- Deficiencia en la gestión del material.
- Gastos innecesarios (gasolina, viáticos).
- Falta de personal o personal con falta de capacitación.
- Falta de continuidad en proyectos de instalación.

- Carencia de una planeación precisa para asegurar que los materiales, herramientas y equipos necesarios estén disponibles en el sitio de instalación.
- Falta de procedimientos adecuados para capacitar al cliente sobre el uso y mantenimiento de su sistema de paneles solares después la de la instalación.
- Errores en la entrega de documentación al cliente.
- Se requiere un programa de capacitación sobre el conocimiento de las normas que aplican.
- Falta de capacitación sobre el uso del equipo de protección personal para los instaladores, esto para garantizar su seguridad y la prevención de caídas.

TEORÍA

Estandarización de procesos

La industria manufacturera en México es un pilar esencial para el crecimiento del país. En un entorno de la competencia es intensa. Las empresas se esfuerzan por ofrecer servicios de mayor calidad a precios competitivos sin comprometer sus ganancias y sobre todo mantenerse en la competencia. Una de las estrategias para alcanzar este objetivo es reducir los costos de producción mediante la estandarización de procesos. esta práctica no sólo disminuye fallos y desperdicios, sino que también incrementa la productividad.

Este artículo contribuye al análisis de las metodologías más eficaces para implementar la estandarización de procesos en diversos sectores productivos.

Actualmente la competencia en el mundo globalizado impulsada por la necesidad de satisfacer las expectativas de clientes y consumidores lleva a las empresas a competir intensamente para captar más clientes y mantenerse vigentes. Según CIATEQ si no se modernizan 25% de las empresas mexicanas podrían desaparecer. Se estima que el 25% de las empresas actuales en México podrían cerrar en menos de siete años. Si no adoptan la transformación digital este dato evidencia que muchas organizaciones aún no logran adaptarse a las nuevas condiciones del mercado, lo que las obliga a salir de su zona de confort y a innovar sus servicios y procesos para cumplir con las cambiantes demandas de manera eficiente.

El dinamismo empresarial debe permear en toda la organización para garantizar un funcionamiento adecuado. Estos se logran mediante la creación de políticas, reglamentos y sobre todo estándares de procesos que permiten medir el rendimiento mediante indicadores promoviendo la mejora continua.

Implementar procesos estandarizados, es un desafío, ya que implica establecer operaciones sucesivas y uniformes para alcanzar un objetivo de manera consistente independiente de los colaboradores y de la estructura organizacional. Así la estandarización se convierte en un factor clave para el éxito de la industria, ya que no sólo debe asegurar conciencia, sino también la capacidad de identificar y corregir errores adaptándose a las necesidades que surgen durante el proceso.

Lean Manufacturing

Shigco Shingo nació en la ciudad de Saga, Japón, en 1909. Estudió en la Escuela Técnica de Saga. Trabajó inicialmente para la Taipei Railway Company y en 1945 trabajó para la planta de manufactura Amano en Yokohama. Estuvo relacionado durante muchos años con la Asociación Japonesa de Gerentes, y trabajó para mejorar la industria en muchas plantas de manufactura. Qué es Lean Manufacturing, el Lean Manufacturing (manufactura esbelta) es el nombre que recibe el sistema justo a tiempo (Just in time) en occidente. También se denomina manufactura de clase mundial y sistema de producción Toyota. Se puede definir como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio o excesos, entendiendo como exceso toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso, pero si costo y trabajo. Esta eliminación sistemática se lleva a cabo mediante trabajo con equipos de personas bien organizadas y capacitadas. Debemos entender que Lean Manufacturing es una tarea incansable e ininterrumpida para crear empresas más efectivas, innovadoras y eficientes (Bodek). El verdadero poder de Lean Manufacturing radica en descubrir continuamente las oportunidades de mejora que esconde toda empresa, pues siempre existirán desperdicios que podrán ser eliminados. Se trata de crear una forma de vida en la que se reconozca que los desperdicios existen y siempre serán un reto para aquellos que estén dispuestos a encontrarlos y eliminarlos. Hiroshi Okuda, CEO y director de Toyota Motors dijo: «Quiero que todos en Toyota cambien, o al menos no sean un obstáculo para que los demás cambien. También quiero que todos escriban sus planes de cambio para el año». Una empresa lea, esbelta o ágil, que quiere obtener el mayor beneficio, dadas las condiciones cambiantes de un mundo globalizado, debe ser capaz de adaptarse rápidamente a cambios, utilizando las excelentes herramientas de mejora, prevención, solución de problemas y administración disponibles, y contando con hábitos que influyen en la cultura y con una administración congruente con el liderazgo que motive el cambio y el autocrecimiento.

Socconini en su libro *Lean Manufacturing* paso a paso, presenta el just in time como un modelo estratégico, cuando se habla del just in time, se menciona erróneamente que el objeto de estudio de este sistema es principalmente el inventario y su reducción es el objetivo final, llegando incluso a usarse sinónimos como «inventario cero» para simplificar esta idea. Esto no es más que un mito originado por un malentendido, como puede verse en el modelo que la misma Toyota diseñó para el sistema. Es posible que en cualquier actividad empresarial, podemos apreciar que el objetivo que hay que conseguir es el deleite del cliente y la rentabilidad sostenida. Este mensaje de la meta de la compañía denota un claro interés en que los clientes no solamente deben obtener sus requerimientos, sino ir mucho más allá, buscando un verdadero deleite. Además, ese deleite del cliente debe lograrse de manera económica, sin derrochar los recursos que los accionistas de la empresa han depositado en ella. Así pues, la rentabilidad es referida a que todos aquellos relacionados tanto con el producto como con la marca, así como clientes, proveedores, trabajadores y accionistas, buscan que la actividad de la empresa genere siempre beneficios. La efectividad en las operaciones y los procesos de producción deben formar parte de una estrategia. Existen muchos casos de empresas que han implementado desde herramientas muy sencillas hasta sistemas de administración o costosos sistemas de información, sin que esto formará parte de una estrategia de medio a largo plazo. Cuando las herramientas, las mejoras, la capacitación, la compra de maquinaria y las otras implementaciones no forman parte de una estrategia, la historia ha demostrado que esos esfuerzos, en la gran mayoría de los casos, están destinados al fracaso. En el cuadro de la administración podemos observar un enfoque estratégico basado en la filosofía de la compañía, la cual es desplegada a todos los niveles utilizando administración y comunicación de políticas, haciendo llegar a cada persona la parte del plan y estrategia que le corresponde para lograr los objetivos de la compañía. La administración está basada principalmente en el valor generado para los clientes y en los procesos que así lo llevan a cabo; en ello radica la importancia de realizar un análisis de valor. En los mercados actuales, los clientes y consumidores requieren soluciones cada vez más ágiles a sus necesidades. Desde la espera para la entrega de pizzas a domicilio hasta el tiempo que un banco tarda en autorizar un crédito a un cliente, el mercado cada vez esta menos dispuesto a esperar. Junto a esta realidad, y como se verá a lo largo de este libro, *Lean Manufacturing* identifica una fuerte relación entre la velocidad de respuesta y la rentabilidad del negocio. En otras palabras, se entiende que un proceso que tarda mucho tiempo puede estar ocultando una serie de desperdicios costosos, como esperas o errores en la planificación de la producción, descomposturas en las máquinas, producción en lotes grandes, transportes, etc.; la mayoría invisibles para la gerencia. Estos desperdicios ocultos dejan casi siempre una huella que puede ayudar a encontrarlos: el tiempo. Los largos tiempos de respuesta normalmente serán una evidencia clara de la presencia de otro tipo de problemas recurrentes, por esto en manufactura se deben buscar procesos con mínimo tiempo de ciclo, es decir, con menos desperdicios y con un sistema de flujo continuo de producción. Por su parte, la calidad de los productos y los procesos se deberá lograr en las operaciones mismas que los generan, y no solo medirla o evaluarla al final. Si al final del proceso se realiza un muestreo, solo puede descubrir una parte de los defectos, ya que estos fueron generados, pero difícilmente previene los defectos. La calidad en el origen significa que los operadores y su equipo contribuyen en sus procesos a lograr una calidad excelente desde la primera vez que se realiza el trabajo. Para ser capaz de hacer un trabajo de excelente calidad la maquinaria deberá estar en óptimas condiciones, por ello en este sistema de manufactura esbelta es indispensable la máxima eficiencia en la maquinaria para lograr también optimizar su eficacia. Esto se logra haciendo que el operador se ocupe del cuidado de su equipo mediante actividades diarias de limpieza, lubricación, revisiones generales y pequeños ajustes. Esto es parte fundamental de *Lean Manufacturing*, que basa el sistema en la participación del personal y en las mejoras por iniciativa propia. Este enfoque se logra facultando a las personas a participar en las mejoras y permitiéndoles tomar decisiones sobre lo que, para la producción y sus procesos, es relevante en la creación de valor. Finalmente, el control visual es parte importante de *Lean Manufacturing*, ya que permite a cualquier persona detectar anomalías y tomar decisiones sobre estas simplemente con ayudas visuales como avisos, luces, guías y procedimientos. El reto consiste en crear fabricas para «sordomudos», donde no sea necesario gritar, buscar, explicar, etc., sino que sean una organización dedicada a generar valor con el mínimo de desperdicio. (Socconini Pérez Gómez, 2019).

Equipo de protección personal

Enrique Gea-Izquierdo, sin la finalidad de abordar todas las múltiples consideraciones que se pueden hacer al tratar los conceptos de protección personal, es importantes considerarlos a tocar el tema de seguridad e higiene en el trabajo. Esta disciplina se centra en las consecuencias de la interacción entre el trabajo, que puede ser una fuente de riesgos, y la salud, un valor esencial para las personas que el trabajo puede afectar. Así, la visión moderna de seguridad e higiene en el trabajo surge del desarrollo que estos conceptos han tenido a lo largo del tiempo.

A lo largo de la historia, la percepción del trabajo ha cambiado. Ya no se ve solo como en medio de subsistencia, sino también como un componente clave de la valoración social y la expresión creativa, lo que lo convierte en un derecho y una responsabilidad del ser humano. En este tópico, es necesario tener en cuenta que las condiciones laborales,

creadas por las personas mismas, pueden tener un impacto negativo en la salud. Por eso, es fundamental identificar y gestionar los riesgos laborales correctamente.

Es muy importante comprender la naturaleza del trabajo y los diversos factores que lo afectan (técnicos, organizativos, económicos, sociales, etc.) con la finalidad de identificar el equipo de protección personal (EPP). Esta tarea es complicada por la constante evolución del entorno laboral y la presión de la competencia global, que exige una continua adaptación para que las empresas sobrevivan. Sin embargo, esta evolución también puede ofrecer oportunidades para mejorar las condiciones laborales y resolver problemas relacionados con la seguridad y la salud de los empleados, así como fomentar el desarrollo personal y social.

Al mismo tiempo, pueden surgir nuevos peligros que deben ser controlados. Se requiere identificar, evaluar y mitigar todos los riesgos laborales, tanto los que podrían causar accidentes o enfermedades profesionales como aquellos que generan problemas como el estrés mental o la insatisfacción laboral, es decir, cualquier situación que pueda dañar la salud de los trabajadores.

La realización de trabajos en un área industrial sin los equipos de protección individual (EPI) puede generar graves riesgos laborales para la seguridad de las personas.

Algunos riesgos son:

- No usar tapones o caso con protecciones en ambientes ruidosos, con el tiempo conlleva al deterioro auditivo y puede provocar sordera.
- No utilizar caretas o gafas de protección, protectores auditivos y guantes al realizar trabajos de cortes, soldadura puede causar graves daños en los ojos, piel y oídos.
- No utilizar ropa adecuada de trabajo para las condiciones ambientales y riesgos de cada actividad expone su cuerpo a posibles accidentes y a enfermedades.
- No llevar calzado especial para proteger puede generar graves lesiones si le caen objetos pesados encima o pisar cosas puntiagudas o punzantes,
- No utilizar guantes puede provocar accidentes como heridas en las manos.
- Trabajar sin casco deja expuesta la cabeza para golpes y es posible causa de graves traumatismos,

Algunos de las prevenciones son:

- Los elementos de protección deben estar certificados y tienen que estar adecuados para cada tipo de riesgo.
- Establezca los periodos de descanso en áreas a temperaturas normales. Evite la exposición prolongada al sol con temperaturas elevadas.

Un EPI (equipo de protección individual) es un elemento de protección que una persona debe llevar para así proteger y evitar posibles riesgos sobre su salud y su seguridad.

Un procedimiento operativo estándar es un conjunto de directrices que detalla cada uno de los pasos de las actividades importantes de un proceso. Se trata de un procedimiento específico para su funcionamiento que explica las acciones necesarias para completar tarea de acuerdo con las regulaciones del sector o incluso con sus propios estándares para gestionar su negocio.

Para el SOP funciones correctamente, este documento debe describir claramente los pasos redactarse de forma comprensible y contener instrucciones sencillas a seguir.

Los SOP mejoran la comunicación, aseguran consistencia, ahorran tiempo y recursos, crean un entorno de trabajo y, lo más importante, garantizan uniformidad, precisión y calidad en el proceso. Esto asegura que la empresa minimice los riesgos de errores durante la fabricación.

Introducción

Redactar procedimientos operativos estándar (SOP) desempeñan un papel crucial en el ciclo de vida de la gestión de procesos, específicamente en la traducción de procesos teóricos en prácticas viables. Como parte integral de la fase de ejecución, los SOP cierran la brecha entre las estrategias documentadas y su aplicación práctica.

En esencia, un SOP actúa como un manual de instrucciones detallado, que guía a las personas a través de pasos estandarizados para realizar tareas específicas. Piense en ello como un libro de recetas para las tareas dentro de una organización, que proporciona claridad, coherencia y calidad en la ejecución.

Si es nuevo en el tema, visite nuestro artículo para obtener más información sobre Procedimientos operativos estándar, o siga leyendo para descubrir cómo crear uno de forma eficaz.

METODOLOGÍA

Se considera que la metodología de la investigación es un plan de actividades que se desarrollan con la finalidad de encontrar el o los resultados que van a aportar la solución para resolver la problemática diagnosticada.

Las siguientes actividades que fueron desarrolladas permitieron diseñar un Manual de procedimientos operativos estandarizados para la instalación de paneles solares.

a. Revisión de documentación existente.

Esta actividad tiene como objetivo comprender los procedimientos actuales y las mejores prácticas en la instalación de paneles solares.

- Buscar y estudiar manuales y documentos técnicos existentes: esto nos ayudará para comprender un poco más sobre la instalación de los paneles e información básica.
- Identificar normas y estándares relevantes, tanto locales como internacionales.
- Hacer un resumen de los procedimientos documentados y su aplicabilidad: esto nos ayudará para escribir el proceso de instalación y ver que podemos agregar o quitar según sea el caso.

b. Entrevistas y reuniones.

Esta actividad tiene como objetivo obtener conocimientos prácticos y técnicos de expertos en la instalación de paneles y la energía solar.

- Organizar y llevar a cabo entrevistas con ingenieros técnicos y otros expertos.
- Documentar las recomendaciones y experiencias compartidas durante las reuniones.
- Revisar la información obtenida para identificar puntos clave a incluir en el manual.

c. Definición de alcances y objetivos.

Esta actividad tiene como objetivo establecer claramente los objetivos y el alcance del manual.

- Definir el propósito del manual y los procedimientos que se incluirán.
- Establecer un cronograma detallado con plazos para cada fase del proyecto.

d. Estructuración del documento.

Esta actividad tiene como objetivo crear una estructura lógica del documento.

- Diseñar y redactar el principio del documento y entregar primer avance

e. Recopilación de información técnica.

Esta actividad tiene como objetivo documentar los procedimientos técnicos específicos para la instalación de paneles solares.

- Investigar y documentar los pasos para la preparación del sitio, montaje de paneles, conexión eléctrica, que medidas de seguridad aplican los trabajadores, y la seguridad en general.

f. Desarrollo de procedimientos estándar.

Esta actividad tiene como objetivo redactar procedimientos operativos claros y detallados.

- Escribir los procedimientos estandarizados, incluyendo pasos detallados, precauciones y herramientas necesarias

g. Revisión interna.

El objetivo de esta actividad es asegurarse de que el contenido sea preciso y claro.

- Realizar una revisión interna del avance del documento, revisando ideas y aportando información.

h. Pruebas de procedimientos.

El objetivo de esta actividad es validar la efectividad y seguridad de los procedimientos documentados.

- Documentar los resultados de las pruebas.

i. Preparación de capacitaciones.

El objetivo de esta actividad es Capacitar a los usuarios del manual para asegurar su correcta implementación.

- Desarrollar un plan de capacitación basado en el contenido del manual
- Crear presentaciones y materiales de formación para las sesiones de capacitación

j. Desarrollo de manuales digitales.

k. El objetivo de esta actividad es asegurar la accesibilidad del manual en formatos digitales.

- Convertir el manual en formatos digitales como PDF y presentaciones electrónicas
- Asegurar la funcionalidad y accesibilidad de los formatos digitales

l. El objetivo de esta actividad es asegurar que el personal esté preparado para utilizar el manual efectivamente.

- Realizar sesiones de capacitación para los usuarios finales.
- Evaluar la comprensión la capacidad de aplicar los procedimientos del manual.

m. Prueba piloto.

El objetivo de esta actividad es evaluar el manual en una situación real o simulada

- Implementar una prueba piloto utilizando el manual en una instalación real o simulada.
- Evaluar la efectividad del manual y hacer ajustes según sea necesario.

RESULTADOS

Al aplicar el manual de procedimientos operativos estandarizados para la instalación de paneles solares, los resultados obtenidos reflejan una mejora significativa en varios aspectos clave de las operaciones de la empresa. Durante el desarrollo del manual, la revisión exhaustiva de documentación existente permitió identificar brechas en los procedimientos actuales, lo que contribuyó a integrar mejores prácticas y técnicas relevantes en el contenido final. Esto fortaleció la base de conocimientos sobre las actividades específicas de instalación, asegurando que se abordaran tanto las etapas técnicas como las medidas de seguridad necesarias.

Las entrevistas con expertos técnicos y reuniones con personal clave proporcionaron información valiosa que enriqueció el manual con recomendaciones prácticas y experiencias reales del campo. Esta colaboración permitió crear un documento que no solo es teórico, sino también aplicable y efectivo en contextos reales. Por su parte, el desarrollo de una estructura lógica y bien organizada facilitó la comprensión del contenido, optimizando su uso tanto para empleados experimentados como para nuevos integrantes del equipo.

Los procedimientos documentados fueron validados, a través, de pruebas prácticas, lo que aseguró que fueran claros, efectivos y adecuados para las necesidades de la empresa. Este proceso incluyó ajustes basados en los resultados de las pruebas piloto, consolidando un manual funcional y adaptable a diversas situaciones de instalación.

Además, la preparación de capacitaciones y la posterior formación del personal garantizaron que todos los involucrados comprendieran y aplicarían correctamente los procedimientos. Esto no solo mejoró la uniformidad en las prácticas laborales, sino que también redujo errores comunes, incrementó la productividad y mejoró la seguridad en las instalaciones.

También el cliente demostró capacidad para poder operar y monitorear eficientemente el sistema de paneles solares, identificando errores y aplicando las medidas necesarias. Además, realizó tareas básicas de mantenimiento preventivo, programó mantenimientos profesionales mostrando confianza en el uso del sistema y satisfacción con la capacitación.

Finalmente, la digitalización del manual permitió su fácil acceso y consulta en diferentes formatos, haciendo que su implementación fuera más eficiente y universal. La prueba piloto realizada en condiciones controladas, se confirmó la aplicabilidad del manual, dejando una herramienta consolidada que contribuye al logro de instalaciones consistentes y de alta calidad, optimizando los recursos y reforzando la confianza del cliente en los servicios de la empresa.

CONCLUSIONES

El desarrollo del manual de procedimientos operativos estandarizados para la instalación de paneles solares, logró establecer directrices claras y específicas para optimizar el proceso de instalación de sistemas fotovoltaicos en la empresa.

Este manual está alineado con los objetivos planteados al inicio del proyecto, garantizando una metodología uniforme que mejora la eficiencia, reduce errores comunes y asegura la calidad en cada instalación.

A través de la investigación y el análisis del marco de referencia, se identificaron las mejores prácticas en la industria, que fueron adaptadas a las necesidades particulares de la empresa. Este enfoque permitió que los procedimientos fueran no solo eficientes, sino que también seguros, garantizando el cumplimiento de los estándares de seguridad industrial y de calidad en cada proyecto.

Con la implementación de este manual, se espera reducir el tiempo de instalación y aumentar la satisfacción del cliente mediante una instalación más rápida y confiable. De igual manera, se proporcionaron recomendaciones específicas para su revisión periódica y actualización conforme a los cambios tecnológicos y normativos que puedan surgir en el sector.

BIBLIOGRAFÍA

Castro, V. (12 de 12 de 2018). *SCRIBD*. Obtenido de SCRIBD:

<https://es.scribd.com/document/395499199/Marco-Teorico#>

Liker, J. K., & Franz, J. K. (2011). *El Modelo Toyota para la mejora continua*. Barcelona: PROFIT Editorial.

Gea-Izquierdo, E. (2017). Seguridad y salud en el trabajo. En E. Gea-Izquierdo, *Seguridad y salud en el trabajo* (págs. 3-4). Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Hopeman, R. (2010). *Administración de producción y operaciones*. Grupo Editorial Patria.

Journals, A. (Septiembre de 2020). *Repositorio CIATEQ*. Obtenido de Repositorio CIATEQ:

<https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/426/1/Revision%20de%20la%20literatura%20sobre%20la%20estandarizacion.pdf>

- Montaño, A. (2017). *tesis.uson.mx*. Obtenido de tesis.uson.mx:
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20215/capitulo2.pdf>
- Ruiz, D. A. (2019). *Library*. Obtenido de Library:
https://1library.co/document/yj7xgdem-implementaci%C3%B3n-herramientas-estandarizaci%C3%B3n-procesos-fabricaci%C3%B3n-colombia-daniela-alejandra.html#google_vignette
- SA, E. (9 de Mayo de 2022). *Enercity*. Obtenido de Enercity:
<https://enercitysa.com/blog/introduccion-a-la-energia-fotovoltaica/>
- Socconini Pérez Gómez, L. V. (2019). Lean Manufacturing: paso a paso. En L. V. Socconini Pérez Gómez, *Lean Manufacturing: paso a paso* (págs. 20-23). Marge Books.
- Soler García, D. (2017). *Manual de seguridad en el trabajo*. Marge Books.
- Tobajas, M. C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Cano Pina.
- Torres, M. A. (2000). *Manual para elaborar manuales de políticas y procedimientos*. Panorama.

PRIORIZACIÓN DE ENFERMEDADES ANIMALES TRANSFRONTERIZAS EMPLEANDO LA TEORÍA DE EFECTOS OLVIDADOS

ALEJANDRO VILLASEÑOR ALVAREZ, MARIA DOLORES CLAUDIA GUZMÁN LARA, VICTOR MANUEL MOLINA MERCADO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA/UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO.

alejandro.villasenor@umich.mx

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar la priorización de enfermedades animales transfronterizas empleando Teoría de Efectos Olvidados (TEO). Se seleccionaron 11 enfermedades (Causas) con 10 enunciados (Efectos) mediante la ponderación con una escala endecadaria por tres expertos. Los resultados obtenidos de las incidencias obtenidas fueron: la Fiebre Aftosa, Fiebre del Valle del Rift, Peste Porcina Clásica y Fiebre Porcina Clásica están altamente asociadas a la Introducción al país por migración de animales en un territorio libre de estas enfermedades. Se concluye que la Teoría de Efectos Olvidados es importante para detectar las incidencias de causa – efecto no consideradas por los expertos y mejorar las acciones de la vigilancia epidemiológica.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades animales transfronterizas por definición son aquellas que no están presentes en un territorio o en un país, y cuando se presentan y distribuyen en las poblaciones animales altamente susceptibles van a originar grandes pérdidas económicas por el impacto que tienen en la mortalidad o en la morbilidad de los animales afectados. De ahí la importancia de establecer la vigilancia epidemiológica para estas enfermedades “exóticas” y lograr mitigar sus efectos y erradicarlas de manera eficiente por los servicios veterinarios oficiales de cualquier país cuando se detectan. Para los tomadores de decisiones es primordial contar con un modelo matemático que sea fácil de implementar y que constantemente sea actualizado el listado de enfermedades por las condiciones mismas de los agentes etiológicos con estas características y que permitan entrenar y capacitar al personal de campo para detectar las enfermedades animales transfronterizas catalogadas como prioritarias.

México a través de los Servicios Veterinarios Oficiales (Secretaría de Agricultura y Desarrollo rural a través de los Servicios Nacionales de Constatación en Salud Animal (SENASICA) cuenta con un listado de enfermedades a través de un Acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación el 16 de mayo del 2016 y que han sido (categorizadas de la siguiente forma: Grupo 1. Enfermedades y plagas exóticas, que por su rápida diseminación pueden afectar a la población animal y a la salud pública (Enfermedades animales transfronterizas), Grupo 2. Enfermedades y plagas endémicas transmisibles, que por sus efectos significativos pueden afectar a la población animal, al comercio internacional y a la salud pública y Grupo 3. Enfermedades y plagas endémicas que representan un riesgo menor desde el punto de vista epidemiológico, económico, de salud pública y para el comercio nacional e internacional. Sin embargo, no se tiene establecida una priorización del Grupo 1 en el Acuerdo.

Existe una diversidad de metodologías para la priorización de enfermedades en el área de la Salud Pública y en la Sanidad Animal. El método Hanlon se emplea ampliamente en el Sector Salud o en el área de la Salud Pública por su objetividad y flexibilidad de acuerdo a tres principios que son: magnitud, trascendencia o severidad, eficacia de la intervención y la factibilidad del problema (Morales y Cabrera, 2018).

Otro de los modelos que se emplean es el Análisis Conjunto, donde se basa en aspectos cuantitativos de las enfermedades zoonóticas pero es complejo el enfoque por que emplea Modelos Bayesianos Jerárquicos (Victoria and Sargeant, 2012).

En un análisis estructurado sobre la información publicada sobre la priorización de enfermedades, se observó que aquellos que priorizaban las intervenciones de salud animal basándose en uno o más criterios, o aquellos que generaban evidencia para una toma de decisiones más amplia. Los estudios que generaban evidencia utilizaban análisis económicos, evaluación de riesgos (efectos adversos de las enfermedades evaluadas), análisis espacial

(mapeo de riesgos o distribución de enfermedades) o con enfoques de modelización y para todos ellos se requiere información previa por lo que los hace muy complejos estos modelos cuando se dispone de poca información en un país en lo particular (Amenu, *et al.*, 2023).

El concepto de Conjunto Difuso (CD) o también denominado Lógica Difusa, desarrollado por Zadeh (1965), ha sido aceptado como una herramienta eficaz para superar la ambigüedad y la vaguedad, y se ha aplicado con éxito en muchos campos como la economía, la ingeniería y la gestión.

Cuando se realiza modelaje bajo condiciones de incertidumbre existen diversas metodologías empleadas actualmente. Una de ellas es el Conjunto Difuso Pitagórico (CDP) y es una generalización del Conjunto Difuso Intuicionista (CDI) y en los problemas reales bajo condiciones de incertidumbre permite la toma de decisiones en áreas médicas para resolver problemas del mundo real, la toma de decisiones, la previsión y el análisis de datos pueden investigarse utilizando los conjuntos difusos. (Kirişci and Şimşek, 2022).

Sin embargo, no existen estudios empleando el modelo de Teoría de Efectos Olvidados (TEO) (Kaufmann y Gil, 1988) para categorizar las enfermedades animales transfronterizas, la cual es una metodología que emplea una técnica secuencial que permite relacionar causas y efectos, obtenidos a partir de matrices de incidencia, para obtener o recuperar los elementos que no tomaron en consideración por los expertos al tratarse de incidencias ocultas o indirectas. En este sentido, la TEO es útil para determinar relaciones de causa y efecto, directas e indirectas, evidentes y ocultas. En este proceso de incidencias, las relaciones causa-efecto son recurrentes. Por lo que estas se pueden asociar a todas las actividades y acciones que se llevan a cabo en la empresa ya que todos los procesos que existen en las diferentes áreas funcionales de la misma se llevan a cabo de forma secuencial siendo posible omitir de forma voluntaria e involuntaria alguna etapa de los procesos, por lo que, la incidencia se encuentra asociada a la idea de que un conjunto de causas (atributos) inciden propiciando un conjunto de efectos derivados de estos y de otros que puedan ser omitidos u olvidados. Este concepto se asocia a la idea de función y se encuentra presente en todos aquellos procesos en los que las incidencias se transmiten en forma secuencial

TEORÍA

La TEO inicia suponiendo que se tienen dos conjuntos de elementos (factores):

$A = \{a \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ y $B = \{b_j \mid j = 1, 2, \dots, m\}$. Si se supone que existe una incidencia de las a sobre las b_j s, y si el valor de la función característica de pertenencia del par $(a_i; b_j)$ toma valores en $[0; 1]$, entonces el grado de incidencia de cada a_i sobre cada b_j es una función de la forma: $A \times B \rightarrow [0; 1]$ tal que $\mu(a_i; b_j) \in A \times B$; $(a_i; b_j) \in [0; 1]$.

El conjunto de pares de elementos valuados definirá la matriz de incidencias directas a través de la cual se muestran las relaciones de causa-efecto que se producen con diferente graduación entre los elementos de A (causas) y los elementos de B (efectos), los cuales se denotan, de acuerdo con Gil Lafuente et al. (2010) y Gento et al. (1999), como la matriz de incidencia directa denominada de primer orden definida como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Matriz de incidencias de primer orden



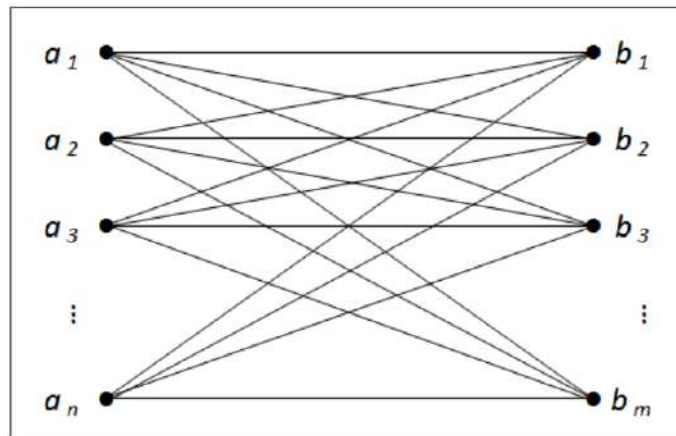
	b_1	b_2	b_3	b_4	...	b_m
a_1	$\mu_{a_1 b_1}$	$\mu_{a_1 b_2}$	$\mu_{a_1 b_3}$	$\mu_{a_1 b_4}$	...	$\mu_{a_1 b_m}$
a_2	$\mu_{a_2 b_1}$	$\mu_{a_2 b_2}$	$\mu_{a_2 b_3}$	$\mu_{a_2 b_4}$	...	$\mu_{a_2 b_m}$
a_3	$\mu_{a_3 b_1}$	$\mu_{a_3 b_2}$	$\mu_{a_3 b_3}$	$\mu_{a_3 b_4}$	...	$\mu_{a_3 b_m}$
a_4	$\mu_{a_4 b_1}$	$\mu_{a_4 b_2}$	$\mu_{a_4 b_3}$	$\mu_{a_4 b_4}$	...	$\mu_{a_4 b_m}$
a_5	$\mu_{a_5 b_1}$	$\mu_{a_5 b_2}$	$\mu_{a_5 b_3}$	$\mu_{a_5 b_4}$	...	$\mu_{a_5 b_m}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
a_n	$\mu_{a_n b_1}$	$\mu_{a_n b_2}$	$\mu_{a_n b_3}$	$\mu_{a_n b_4}$	...	$\mu_{a_n b_m}$

$M =$

Fuente: elaboración a partir de Gil Lafuente et al. (2010).

La representación de la matriz se hace a través de un grafo (red) de incidencia asociado a. Para el caso en que se tiene un par asociado $(a_i; b_j)$ en el que el valor de la función característica de pertenencia es nulo para alguno de los casos particulares, el arco de referencia no existe (queda eliminado). Gráficamente es representada en la Figura 2.

Figura 2. Representación de la matriz de incidencias como un grafo.



Fuente: elaboración a partir de Gil Lafuente et al. (2010).

METODOLOGÍA

Se empleó la Teoría de Efectos Olvidados para determinar las incidencias que presentaron un valor significativo relacionadas a las enfermedades animales transfronterizas mediante el empleo de dos matrices con 11 enfermedades (Causas) y 10 enunciados (Efectos) con la participación de un panel de 3 expertos en el área. Se estableció una escala endecadaria para realizar las ponderaciones matriciales entre causas y efectos. Se procesaron las ponderaciones empleando el software Barcelona Humanist Economy (2026).

RESULTADOS

A continuación se presentan la matriz (Tabla 1) obtenida de la ponderación de las Causas – Efectos por los expertos que realizaron las estimaciones.

Tabla 1. Ponderaciones de Causas y Efectos

Enfermedades	IZ	EZ	IES	IAS A	TT	SA	IPC	IPM A	CPA	IIGP
Fiebre Aftosa	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Fiebre del Valle del Rift	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Pleuropneumonia Contagiosa Bovina	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Influenza Aviar	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Viruela ovina y caprina	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Peste Porcina Clásica	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Fiebre Porcina Clásica	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Encefalitis equinas	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Peste Equina	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Peste de los Pequeños Rumiantes	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Aujeszky	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

IE: Impacto económico. **EZ:** Enfermedad zoonótica. **IES:** Impacto económico en la sociedad. **IASA:** Impacto animal por el sacrificio de animales. **TT:** Tasa de transmisión. **SA:** Sacrificio de animales. **IPC:** Introducción al país por contrabando. **IPMA:** Introducción al país por migración de animales. **CPA:** Contrabando por productos agropecuarios. **IIGP:** Impacto en los inventarios ganaderos del país.

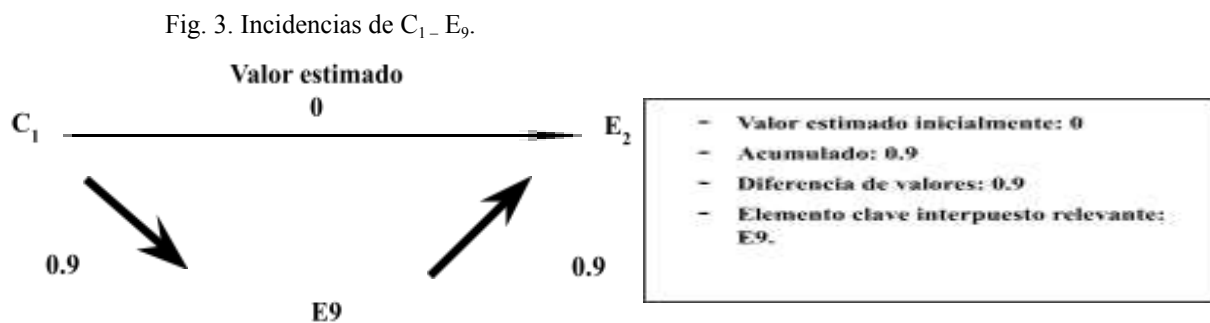
Enfermedades	IZ	EZ	IEZ	IAS A	TT	SA	IPC	IPM A	CPA	IIGP
Fiebre Aftosa	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.1	0.2	0.9	0.1	0.3
Fiebre del Valle del Rift	0.0	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.5	0.8	0.4	0.5
Pleuropneumonia Contagiosa Bovina	0.0	0.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.6	0.2	0.0
Influenza Aviar	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.5	0.4
Viruela ovina y caprina	0.1	0.0	0.2	0.3	0.3	0.1	0.4	0.0	0.4	0.0
Peste Porcina Clásica	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.1	0.8	0.0	0.0
Fiebre Porcina Clásica	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.1	0.8	0.0	0.0
Encefalitis equinas	0.0	0.1	0.3	0.2	0.3	0.0	0.3	0.0	0.7	0.0
Peste Equina	0.0	0.6	0.2	0.1	0.2	0.0	0.3	0.3	0.5	0.4
Peste de los Pequeños Rumiantes	0.3	0.7	0.3	0.2	0.3	0.0	0.4	0.7	0.6	0.3
Aujesky	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3	0.3

Tabla 2. Matriz D de efectos olvidados.

IE: Impacto económico. **EZ:** Enfermedad zoonótica. **IES:** Impacto económico en la sociedad. **IASA:** Impacto animal por el sacrificio de animales. **TT:** Tasa de transmisión. **SA:** Sacrificio de animales. **IPC:** Introducción al país por comercialización. **IPMA:** Introducción al país por migración de animales. **CPA:** Contrabando por productos agropecuarios. **IIGP:** Impacto en los inventarios ganaderos del país.

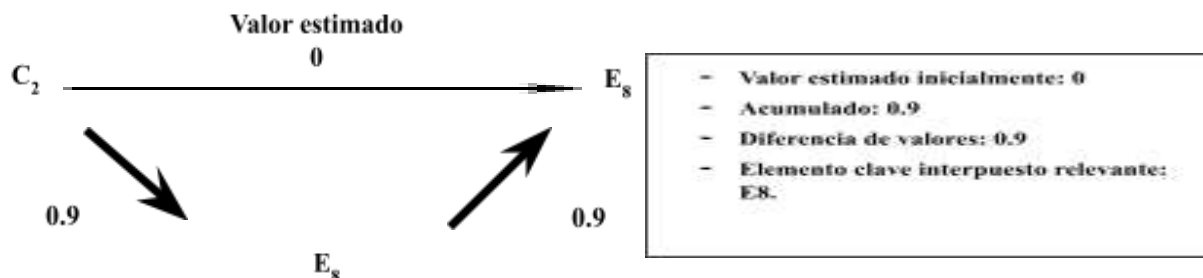
Los resultados de la matriz D (Tabla 2) tienen valores a cero en todas las celdas equivaldría a una matriz nula y significaría que no hubo efectos olvidados o que hayan sido omitidos, lo cual no es así para este caso, pues se evidencian celdas con valores mayores a cero y entre ellas resaltan grados significativos moderados que revelan algún efecto olvidado como se observa en la Tabla 2 resaltados en negritas: ($a_1 \rightarrow b_2$); ($a_1 \rightarrow b_8$); ($a_2 \rightarrow b_8$); ($a_5 \rightarrow b_2$) y ($a_5 \rightarrow b_8$).

En la Fig. 3, se muestra incidencias de Causa – Efecto consideradas por los expertos en su ponderación.



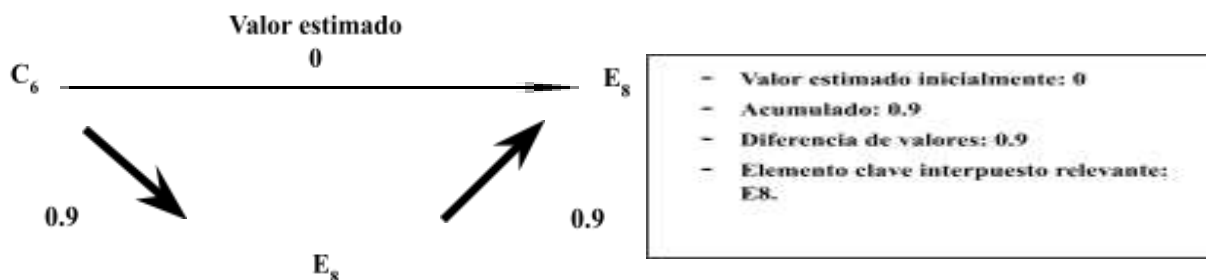
La Fiebre Aftosa (C_1) tuvo una incidencia con respecto de Introducción al país por migración de animales (E_9). Al respecto, la fauna silvestre susceptible al virus que presenta migraciones estacionales puede ser una posible ruta para la entrada de esta enfermedad a un territorio libre.

Fig. 4. Incidencia ($C_2 \rightarrow E_8$).



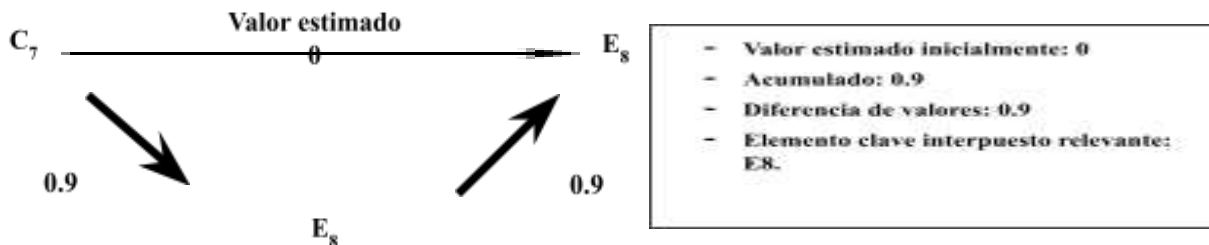
La Fiebre del Valle del Rift es una enfermedad que no necesariamente puede introducirse a un país por la entrada ilegal de ejemplares animales infectados. Es una enfermedad que requiere para su transmisión un vector biológico como los mosquitos para ingresar a un territorio libre de la enfermedad.

Fig. 5. Incidencia ($C_6 \rightarrow E_8$).



La Peste Porcina Clásica es una enfermedad que no sólo ingresa por la importación de animales o sus productos y subproductos, también son reservorios los jabalís salvajes que realizan migraciones periódicas e ingresan a países libres de la enfermedad.

Fig. 6. Incidencia ($C_7 \rightarrow E_8$).



Por lo que respecta a la Fiebre Porcina Clásica, al igual que la Peste Porcina Africana presentan similitudes en términos de la transmisión del agente viral a la población susceptible.

CONCLUSIONES

La Teoría de Efectos Olvidados es una herramienta metodológica que permite detectar incidencias que no fueron consideradas por los expertos al realizar la ponderación en la priorización de las enfermedades animales transfronterizas y que permite efectuar ajustes metodológicos en las acciones de la vigilancia epidemiológica.

BIBLIOGRAFÍA

- Szmidt, E. and Kacprzyk. (2000). Distances between intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, **114**:505-518.
- Morales G., F. y Cabrera J., M. (2018). El método de Hanlon, herramienta metodológica para priorizar necesidades y problemas de salud. Una perspectiva operacional para el diagnóstico de salud. *Vertientes*, **21**(1-2): 42-49
- Kirişci, M. and Şimşek, N. (2022). Decision making method related to Pythagorean Fuzzy Soft Sets with infectious diseases application. *Journal of King Saud University. Computer and Information Sciences*, **34**(8)B: 5968-5978.
- Kauffmann, A. y Gil A., J. (1998) Modelos para la investigación de Efectos Olvidados. Ed. Milladoiro. Vigo, España.
- Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. (2026). *Barcelona Humanist Economy* [Software]. <https://barcelona.humanisteconomy.com/>

SISTEMA DE GENERACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMES PARA TÍTULOS ELECTRÓNICOS MEDIANTE XML

Ricardo García Cruz¹, Alicia Linares Ramírez², Julieta Raquel Hernández Vidales³

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora

rgarcia@accitesz.com¹, alinares@accitesz.com², jhernandez@accitesz.com³

RESUMEN

En el presente artículo se describe el desarrollo e implementación de un sistema de software diseñado para la generación y análisis de informes a partir de archivos XML de títulos electrónicos, con el propósito de optimizar los procesos administrativos en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora (ITESZ). La solución tecnológica permite a los usuarios autorizados realizar consultas dinámicas, aplicar filtros avanzados y generar reportes estadísticos por carrera, generación y período académico, facilitando la auditoría interna y la toma de decisiones institucionales. El sistema se construyó con una arquitectura cliente-servidor, base de datos relacional, módulos de exportación de datos y gestión de roles de usuario. Los resultados obtenidos demuestran una reducción significativa en los tiempos de respuesta administrativa (hasta un 90 % en la generación de reportes) y una disminución de errores de captura por debajo del 1 %, en comparación con los métodos manuales. El proyecto se alinea con la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC) de Computación Aplicada del ITESZ, contribuyendo a la automatización de procesos críticos para la gestión educativa.

Palabras clave: *Títulos electrónicos, XML, sistema de informes, automatización administrativa, gestión educativa, base de datos relacional.*

INTRODUCCIÓN

La transformación digital de los procesos administrativos en las instituciones de educación superior se ha convertido en un factor clave para garantizar la eficiencia, la transparencia y la trazabilidad de la información académica. En México, la Secretaría de Educación Pública (SEP) ha establecido lineamientos específicos para la emisión de títulos electrónicos mediante el formato XML, con el objetivo de estandarizar los datos y facilitar su validación, consulta e intercambio entre dependencias gubernamentales y educativas.

No obstante, el procesamiento y análisis de estos archivos XML para la generación de informes institucionales presenta desafíos importantes. Las áreas de servicios escolares y titulación requieren herramientas que les permitan consultar, filtrar y generar reportes estadísticos de manera ágil a partir de la información contenida en los títulos electrónicos. La ausencia de sistemas especializados obliga a realizar procesos manuales, propensos a errores humanos, con tiempos de respuesta elevados y dificultades para obtener indicadores oportunos. Esta situación afecta la capacidad de las autoridades para auditar los procesos de titulación, planificar recursos y tomar decisiones estratégicas basadas en datos precisos.

Ante esta problemática, el presente trabajo aborda el diseño y desarrollo de un sistema de generación y análisis de informes para títulos electrónicos basados en XML. La solución tecnológica creada permite a los usuarios autorizados realizar búsquedas en tiempo real, aplicar filtros por programa educativo, período académico, generación y nombre del egresado, así como generar reportes consolidados en formatos PDF y Excel. Además, incorpora un módulo de gestión de roles que asegura la confidencialidad de la información.

El objetivo principal de esta investigación fue desarrollar una herramienta tecnológica que optimice la gestión y control del proceso de titulación en el ITESZ, proporcionando a las autoridades institucionales información oportuna y confiable para la toma de decisiones. Como objetivos específicos se plantearon: analizar la estructura y normativa del XML de títulos electrónicos establecidos por la SEP; diseñar informes estadísticos por carrera, generación y

período; implementar consultas y filtros dinámicos para la obtención de información relevante; y evaluar el impacto del sistema en la gestión y control del proceso de titulación.

TEORÍA

Fundamentos de los títulos electrónicos en México

La emisión de títulos electrónicos en México se rige por los lineamientos de la SEP y la Dirección General de Profesiones (DGP). Estos documentos contienen información estructurada en formato XML que incluye datos personales del egresado, del programa educativo, de la institución emisora, número de cédula profesional, fecha de expedición y promedio obtenido, entre otros elementos. El uso de XML permite el intercambio automatizado de información entre sistemas, facilitando la validación y consulta por parte de diversas entidades.

La adopción de este estándar ha impulsado la necesidad de desarrollar herramientas que puedan interpretar, almacenar y explotar estos datos de manera eficiente. Sin embargo, muchos centros educativos aún carecen de sistemas especializados para el análisis agregado de la información contenida en los títulos, lo que limita la capacidad de generar estadísticas confiables sobre la producción de egresados y las tendencias de titulación.

Bases de datos relacionales y consultas SQL

Para gestionar grandes volúmenes de información de manera estructurada, se utilizan bases de datos relacionales. Estas almacenan los datos en tablas con filas y columnas, y establecen relaciones entre ellas mediante claves primarias y foráneas. El lenguaje SQL (Structured Query Language) permite realizar consultas complejas, filtros, agregaciones y uniones de tablas, lo que resulta fundamental para la generación de informes personalizados (Silberschatz, Korth, & Sudarshan, 2023). En el sistema desarrollado, se diseñó un modelo entidad-relación que contempla las tablas de egresados, programas educativos, títulos, períodos académicos y generaciones, garantizando la integridad referencial y la normalización de los datos.

Tecnologías web para el desarrollo del sistema

El sistema se construyó utilizando tecnologías modernas de desarrollo web. Para el frontend se emplearon HTML, CSS y JavaScript, con el framework Angular para la construcción de la interfaz de usuario. Angular, desarrollado y mantenido por Google, permite crear aplicaciones de una sola página (SPA) con componentes reutilizables y una arquitectura robusta (Boada & Gómez, 2018). El backend se implementó con Node.js y Express, proporcionando una API RESTful que maneja las peticiones del cliente y se comunica con la base de datos.

Para la base de datos se eligió MySQL, un sistema de gestión de bases de datos relacional ampliamente utilizado, que ofrece un buen rendimiento y facilidad de administración. Las consultas optimizadas y el uso de índices permiten respuestas rápidas incluso con volúmenes de datos considerables. Adicionalmente, se utilizó Firebase para la autenticación y gestión de sesiones de usuarios, asegurando un control de acceso basado en roles.

Antecedentes de sistemas de informes en instituciones educativas

Investigaciones previas han documentado los beneficios de la digitalización de procesos administrativos en el ámbito educativo. Estudios recientes señalan que la implementación de sistemas de información para la gestión de títulos reduce los tiempos de procesamiento hasta en un 80 % y disminuye los errores de captura a menos del 2 % (García & Martínez, 2024). En el contexto mexicano, algunas instituciones han desarrollado soluciones a medida para la generación de reportes de titulación, pero la mayoría aún depende de hojas de cálculo o procesos manuales, lo que limita su capacidad de análisis y auditoría.

El presente proyecto se diferencia por su enfoque integral: no solo extrae y almacena la información de los XML, sino que ofrece una plataforma amigable para consultas dinámicas, filtros avanzados y exportación de informes, todo

ello con una gestión de roles que asegura la privacidad de los datos.

METODOLOGÍA

El desarrollo del sistema se abordó como una investigación aplicada, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. El enfoque cuantitativo permitió medir la reducción de tiempos y errores mediante pruebas controladas, mientras que el cualitativo se utilizó para evaluar la experiencia y satisfacción de los usuarios finales a través de encuestas y entrevistas.

Etapas del desarrollo de software

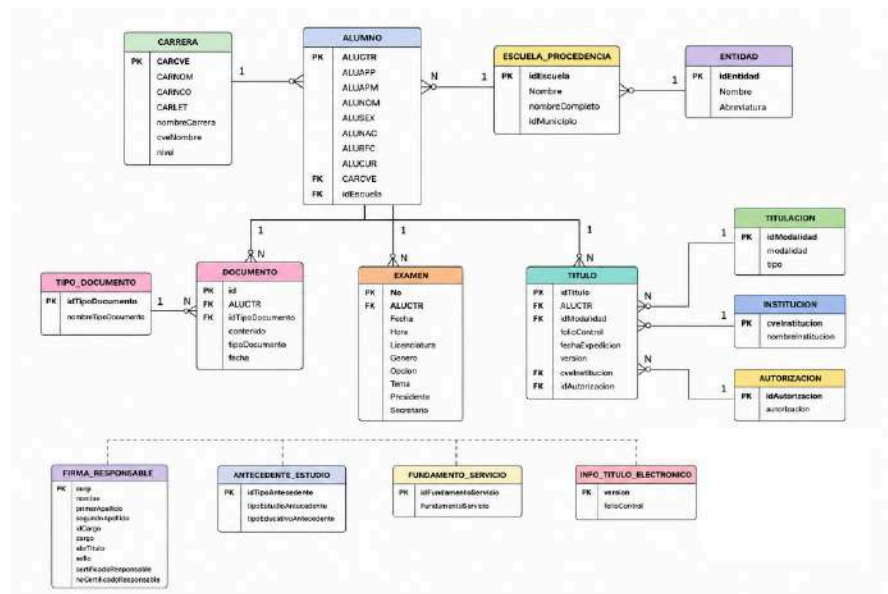
Se siguió una metodología ágil basada en iteraciones cortas, que permitió la retroalimentación continua del personal del departamento de servicios escolares y titulación del ITESZ. Las fases del proyecto se describen a continuación.

Análisis de requerimientos

Se realizó un análisis detallado de la normativa de la SEP para títulos electrónicos, identificando los elementos obligatorios y opcionales del XML, así como las relaciones entre los distintos componentes. Mediante entrevistas con el personal encargado de la titulación, se levantó un listado de funcionalidades necesarias: consultas por carrera, generación y período; generación de al menos cinco tipos de informes; filtros avanzados; exportación a PDF y Excel; y gestión de usuarios con diferentes niveles de acceso. También se recopilaron los procesos manuales vigentes para identificar áreas de mejora.

Diseño de la base de datos

Con base en el análisis de la estructura del XML y los requerimientos funcionales, se diseñó un modelo entidad-relación que normaliza la información en tablas interrelacionadas. El modelo incluye las tablas egresados, programas_educativos, titulos, periodos_academicos y generaciones, entre otras. Se documentó mediante diagramas entidad-relación y un diccionario de datos, validando su conformidad con el estándar XML de la SEP.



[Imagen 1: Modelo entidad-relación de la base de datos]

Diseño de la interfaz de usuario

Formulario de Título Electrónico

1. Información del título electrónico

Revista:

Autores:

2. Información del nodo Firmante Responsable

Org:

UOrg:

Org:

UOrg:

Revista:

URevista:

Revista:

URevista:

Revista:

URevista:

Revista:

URevista:

[Imagen 2: Diseño de la interfaz principal del sistema]

[illegible]

[Imagen 3: Diseño del módulo de filtros por carrera y consultas]

Desarrollo del sistema

En esta fase se codificó la plataforma web completa. El backend se construyó con Node.js y Express, implementando los endpoints para la carga y procesamiento de archivos XML, la ejecución de consultas a la base de datos, y la generación de reportes en PDF y Excel. El frontend se desarrolló con Angular, utilizando componentes reutilizables para los filtros, tablas y gráficos. Se implementaron funciones de validación robustas y normalización en el módulo de carga de archivos para asegurar la consistencia de los datos ingresados.

```
exports.obtenerTituloPorAlumno = async (req, res) => {
  try {
    const { aluctr } = req.params;
    const titulo = await Titulo.findOne({
      where: { ALUCTR: aluctr },
      include: [{ model: Alumno }]
    });

    if (!titulo) {
      return res.status(404).json({ mensaje: 'No se encontró registro' });
    }

    res.json(titulo);
  } catch (error) {
    res.status(500).json({ error: 'Error al obtener el título del alumno' });
  }
};

const express = require('express');
const router = express.Router();
const tituloController = require('../controllers/titulo.controller');

router.get('/', tituloController.obtenerTitulos);
router.get('/alumno/:aluctr', tituloController.obtenerTituloPorAlumno);
router.post('/', tituloController.crearTitulo);

module.exports = router;
```

[Imagen 4: código del controlador de consultas en Node.js y rutas]

Pruebas piloto

Se realizaron pruebas funcionales y de usabilidad con un grupo de usuarios del departamento de servicios escolares y con algunos docentes del ITESZ. Se simularon escenarios reales de carga de archivos XML, consultas con diversos filtros y generación de informes. Los participantes registraron sus observaciones y se aplicó un cuestionario de satisfacción. Los resultados de estas pruebas permitieron ajustar la interfaz y optimizar el rendimiento de las consultas.

Implementación y capacitación

Finalmente, el sistema se instaló en el entorno de pruebas del ITESZ y se capacitó al personal encargado mediante un taller práctico. Se entregaron manuales de usuario y manual técnico que documentan la instalación, configuración y operación del sistema. Con esta capacitación, el personal quedó en condiciones de utilizar la herramienta de manera autónoma.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de la implementación del sistema de generación y análisis de informes confirman el cumplimiento de los objetivos planteados y evidencian mejoras sustanciales en eficiencia, precisión y satisfacción de los usuarios.

Cumplimiento de objetivos

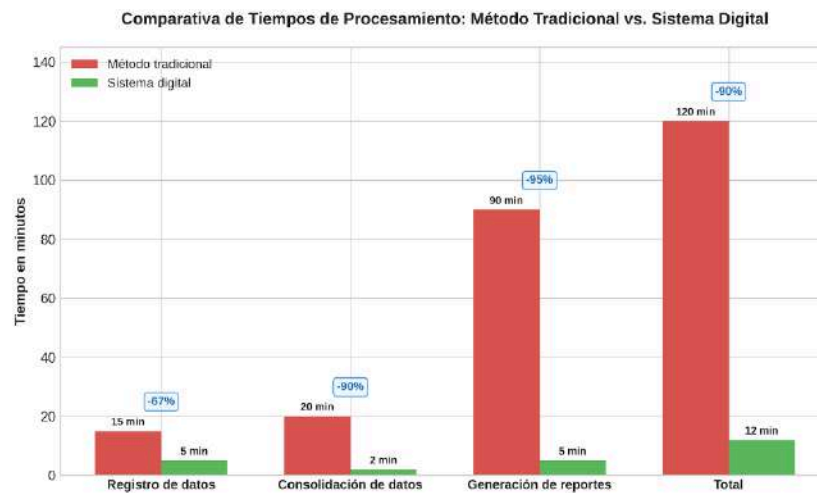
Los cuatro objetivos iniciales se alcanzaron al 100 %:

- **Análisis de la estructura y normativa del XML de la SEP:** Se generó un modelo de base de datos relacional documentado y validado conforme al estándar XML, con todas las tablas y relaciones necesarias.
- **Diseño de informes estadísticos:** Se desarrollaron cinco tipos de informes institucionales (por período académico, por programa educativo, por generación, consolidado de titulación y de gestión de roles), con opciones de exportación a PDF y Excel.
- **Implementación de consultas y filtros dinámicos:** Se puso en funcionamiento un módulo de filtros avanzados que permite búsquedas en tiempo real sobre la base de datos, con resultados inmediatos.
- **Evaluación del impacto:** Las pruebas de usabilidad y carga demostraron una optimización significativa de los tiempos de respuesta y una reducción de errores en el manejo de datos.

Mejora en tiempos de procesamiento

Se compararon los tiempos promedio necesarios para realizar las tareas típicas de generación de informes con el método tradicional (manual en hojas de cálculo) y con el sistema digital. Los resultados se resumen en la gráfica 1.

Gráfica 1 tiempos de procesamiento



Fuente: Elaboración propia con datos de las pruebas piloto.

La reducción total del tiempo invertido en estas actividades fue del 90 %, lo que representa un ahorro considerable de horas-hombre que ahora pueden destinarse a tareas de mayor valor analítico.

Reducción de errores en los datos

El sistema digital minimizó los errores asociados al registro y transcripción manual. Mientras que en el método tradicional se reportó un promedio del 12 % de errores en la captura y consolidación de datos, con el sistema digital los errores se redujeron a menos del 1 %, gracias a la automatización de los cálculos y a las validaciones de integridad.

Incremento en la productividad y calidad del análisis

Con el uso del sistema, el personal de servicios escolares pudo generar informes de manera instantánea, lo que permitió dedicar más tiempo al análisis de tendencias y a la planificación. Los docentes y autoridades ahora disponen de información actualizada para tomar decisiones sobre recursos, oferta educativa y seguimiento de egresados.

Resultados cualitativos

Opinión de los usuarios del departamento de servicios escolares: Se aplicó una encuesta de satisfacción a los cuatro usuarios que participaron en las pruebas piloto. Los principales resultados fueron:

- 95 % consideró que el sistema facilita enormemente la obtención de estadísticas de titulación.
- 90 % destacó la rapidez en la generación de reportes.
- 85 % valoró positivamente la claridad de la interfaz y la facilidad de uso de los filtros.
- 100 % manifestó que el sistema reduce el estrés y la carga administrativa.

Opinión de las autoridades institucionales: Los directivos del ITESZ señalaron que la herramienta proporciona una visión más clara y oportuna del comportamiento de la titulación por programa educativo, lo que facilita la rendición de cuentas y la planeación estratégica. Además, destacaron que el sistema puede servir como base para futuros módulos de analítica predictiva.

Impacto general del proyecto

El impacto del sistema se resume en los siguientes puntos:

- **Eficiencia operativa:** Reducción drástica del tiempo y esfuerzo necesarios para generar informes.
- **Calidad de datos:** Disminución de errores a niveles insignificantes.
- **Toma de decisiones:** Información confiable y oportuna para autoridades y docentes.
- **Sostenibilidad:** Uso de herramientas digitales reduce el consumo de papel y recursos físicos.
- **Replicabilidad:** La arquitectura del sistema puede adaptarse para otras áreas administrativas del ITESZ o para otras instituciones educativas.

CONCLUSIONES

El desarrollo del sistema de generación y análisis de informes para títulos electrónicos mediante XML ha demostrado ser una solución tecnológica efectiva para optimizar los procesos administrativos en el ITESZ. La implementación de esta herramienta ha permitido automatizar y auditar de manera centralizada la información de los títulos electrónicos, proporcionando a las autoridades institucionales reportes estadísticos precisos y en tiempo real sobre los egresados titulados.

La metodología empleada, basada en un análisis exhaustivo de la normativa de la SEP y un diseño cuidadoso de la base de datos relacional, garantiza la consistencia y confiabilidad de los datos almacenados. Los módulos de consultas dinámicas y filtros avanzados facilitan la obtención de información relevante, reduciendo significativamente los tiempos de respuesta en auditorías internas y externas.

El cumplimiento del 100 % de los objetivos planteados al inicio del proyecto, incluyendo la generación de cinco tipos de informes institucionales, la implementación de un sistema de gestión de roles, y la reducción de errores a menos del 1 %, confirma la viabilidad y pertinencia de la solución desarrollada. La aceptación por parte de los usuarios finales, reflejada en altos índices de satisfacción, respalda la usabilidad y el valor práctico del sistema.

Como trabajo futuro, se plantea desplegar el sistema en un entorno de producción real dentro del instituto, integrar un módulo de analítica predictiva utilizando técnicas de minería de datos para proyectar tasas de titulación, y expandir la funcionalidad para la validación automática de cédulas profesionales electrónicas. Asimismo, se explorará la posibilidad de migrar la aplicación a una arquitectura basada en microservicios para mejorar su escalabilidad y mantenimiento.

Finalmente, este proyecto contribuye directamente a la LGAC de Computación Aplicada del ITESZ, al demostrar cómo el diseño e implementación de sistemas de software especializados pueden transformar procesos críticos, optimizar recursos y fortalecer la gestión educativa.

BIBLIOGRAFÍA

Boada, M., & Gómez, J. A. (2018). *El gran libro de Angular*. Madrid: Marcombo.

García, R., & Martínez, L. (2024). Digitalización de procesos de titulación en instituciones de educación superior: caso de estudio. *Revista de Innovación Educativa*, 12(3), 45-58.

Gascón González, U. (2017). *JavaScript, ¡Inspírate!* Madrid: Leanpub.

Gauchat, J. D. (2012). *El gran libro de HTML 5, CSS5 y JavaScript*. Barcelona: Marcombo.

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora. (2026a). *Informe de medio término para horas de investigación*. ITESZ.

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora. (2026b). *Informe final para horas de investigación*. ITESZ.

Secretaría de Educación Pública. (2024). *Lineamientos para la emisión de títulos electrónicos*. Diario Oficial de la Federación.

Silberschatz, A., Korth, H., & Sudarshan, S. (2023). *Fundamentos de bases de datos* (7ª ed.). Madrid: McGraw-Hill.

Tesla, N. (2007). *My inventions: the autobiography of Nikola Tesla*. A Distant Mirror.

IMPACTO DE RESPUESTA RAPIDA DE COTIZACION EN LA RENTABILIDAD DE UNA EMPRESA

José A. Musa-Pader^{1,2}, Emmanuel Contreras-Medina², Alicia Rodríguez-Pulido^{2,3}

¹Diseños Metálicos del Norte, S.A. de C.V., ²Universidad Autónoma de Coahuila, ³Universidad Tecnológica de Torreón.

²alicia.rodriguez@uadec.edu.mx

RESUMEN

La situación económica actual ha forzado a busca mejorar el servicio de soluciones integrales a los clientes y así mejorar la rentabilidad de las empresas donde el proceso de elaboración de cotizaciones juega un papel crucial. El trabajo se centró en mejorar la eficacia del proceso de respuesta de cotizaciones a los diferentes clientes. La investigación adoptó un enfoque de ciencia del diseño. Los principios de diseño a partir de la bibliografía sobre el proceso de oferta. Estos principios de diseño son, en gran medida, criterios abstractos en las que se basa la investigación. Se abordó desde el análisis cualitativo y descriptivo del funcionamiento del proceso de cotización de la empresa. Experimentalmente se implementó un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP), logrando un incremento en el cierre de negociaciones y con este la rentabilidad de la Empresa.

INTRODUCCIÓN

La situación geopolítica y geoeconómica actual ha forzado a busca mejorar el servicio de soluciones integrales a los clientes y así mejorar la rentabilidad de las empresas donde el proceso de elaboración de cotizaciones juega un papel crucial. Actualmente los procesos de cotización son una tarea que toma mucho tiempo, debido a que muchas no se cuentan con una base de datos actualizadas de proveedores, costos, procesos y tiempos. Son pocas empresas, y generalmente empresas grandes y las más conocidas, las que logran cotizar. Estas cotizaciones muchas veces demoran de cuatro a siete días en ser enviadas al solicitante debido a varios factores, los que pueden ser, discontinuidad de un equipo y no conocer el reemplazo, desconocimiento de la tecnología y/o proveedor de esta, valor referencial fuera de la realidad, colusión de las grandes empresas para ganar un proyecto, etc.

El proceso de oferta es un proceso empresarial importante en las empresas de ingeniería bajo pedido. El proceso de cotización es el que se centra en la generación de ofertas. Éstos incluyen un precio o el costo del producto terminado y un plazo de entrega, que deben ser rentables, fiables y competitivos. Los clientes potenciales solicitan las ofertas, las estudian y hacen un pedido a su proveedor preferido (Konijnendijk, 1994). En general, el número de pedidos conseguidos es considerablemente inferior al número de ofertas enviadas (Muntslag, 1994) y la frecuencia de compra de ciertos productos suelen ser baja (Konijnendijk, 1994). Por tanto, el proceso de cotización es complicado y muy importante, mientras que el resultado es incierto.

El proceso de cotización requiere ser más eficiente y minimizar los tiempos de respuesta, siendo el proceso un acontecimiento o conjunto de actividades que transforma una o varias entradas en una salida (Alaskari et al, 2021). El resultado puede añadir valor a los agentes implicados en el proceso (Peña & Garrido, 2016). Así pues, el proceso se considera un modelo o sistema de entrada- proceso-salida (Curry et al., 2006). Al aplicar una perspectiva de proceso, la atención puede centrarse en las actividades que añaden valor dentro de un proceso.

La Empresa en el caso de la implementación de la investigación enfrenta un crecimiento exponencial, así como el experimentar el nearshoring en una región metal mecánica automotriz. En este contexto es necesario ser más ágiles y cumplir con las demandas del mercado, donde la implementación de un Sistema de Planificación de Recursos Empresariales (ERP) se presenta como una posible solución para abordar estos desafíos. Así mismo se debe comprender la situación y dinámica específica de cada empresa y sus procesos internos antes de abordar la implementación de un ERP. Un sistema ERP puede ser la respuesta a los desafíos identificados en el proceso de cotización de partes metalmecánicas de precisión.

La empresa seleccionada para el estudio de caso es "Diseños Metálicos del Norte S.A. de C.V.," una compañía especializada en la fabricación de piezas metalmecánicas de alta precisión. Fundada en el año 2010, la empresa ha consolidado su presencia en el mercado a lo largo de los años, destacándose por su compromiso con la calidad y la innovación en el sector de la fabricación de componentes metálicos. Diseños Metálicos del Norte ha experimentado un crecimiento constante desde su creación. Inicialmente centrada en la producción de componentes estándar, la empresa ha evolucionado para abordar la demanda creciente de piezas de alta precisión utilizadas en sectores como la industria aeroespacial y la automotriz. La empresa enfrenta desafíos específicos en su proceso de cotización, como

la necesidad de agilizar la recopilación de datos, mejorar la precisión en la estimación de costos y garantizar una respuesta más rápida a las solicitudes de cotización por parte de los clientes. El objetivo de la intervención fue el de incrementar la rentabilidad de la empresa incrementando el número de cierres de negociación mediante implementación de un ERP y el seguimiento personalizado al cliente.

TEORÍA

Las empresas de fabricación por encargo adoptan distintas estrategias de entrega: fabricación contra stock (MTS), ensamblaje bajo pedido, fabricación bajo pedido, y configuración por pedido (CTO). Estas estrategias condicionan la estructura del proceso de cotización, los tiempos de respuesta y los márgenes aplicables (Zhang et al., 2010; Salvador & Forza, 2004). Las empresas metalmecánicas que fabrican por encargo afrontan un proceso de cotización complejo, en el cual confluyen la ingeniería de producto, la planificación de la producción, la gestión de compras y la política comercial.

Las empresas de fabricación pueden diferenciarse por su estrategia de entrega de productos entre las que se pueden observar, una primera, la fabricación contra stock (MTS), estrategia donde los clientes pueden pedir un producto bajo pedido, así mismo los clientes pueden pedir un producto que se diseñará y fabricará según sus necesidades, por lo que el plazo de entrega es un poco largo; una segunda es la de ensamblaje bajo pedido: En este tipo, los productos se ensamblan de acuerdo con las especificaciones del cliente, por lo que son menos exclusivos, ya que el cliente influye en la ingeniería del producto; y una tercera siendo la fabricación bajo pedido, en el cual los productos se fabrican bajo pedido del cliente. En esta, se configuran de acuerdo con la Orden (configure-to-order, CTO) donde pueden configurarse una variedad de productos puede diseñarse y producirse a partir de módulos predefinidos (Zhang et al., 2010). Estos productos se denominan productos configurables (Salvador & Forza, 2004).

En el mundo de la producción industrial, la planificación de la demanda es clave para la eficiencia operativa y la rentabilidad. Los dos enfoques que predominan en este aspecto son la modalidad de fabricar contra stock (Make to Stock, MTS) y; fabricar contra pedido (Make to Order, MTO). Mientras que el MTS se basa en producir y almacenar productos anticipándose a la demanda, el MTO solo inicia la producción tras recibir un pedido. Cada método tiene ventajas y desafíos que dependen del tipo de industria, la variabilidad de la demanda y la capacidad de respuesta requerida.

El hecho es que tanto para producir contra stock o contra pedido se tienen ventajas y desafíos. La elección de la mejor estrategia dependerá de las características del mercado, la capacidad de producción y la naturaleza del producto. En algunos casos, una estrategia híbrida, combinando ambos enfoques, puede ser la solución ideal para maximizar la eficiencia y la satisfacción del cliente. El proceso de oferta es un paso importante en el proceso de venta de las empresas. Un proceso de venta es el proceso de realizar una venta (Jobber & Lancaster, 2012). Por tanto, la gestión de ventas se centra en los aspectos estratégicos de las ventas; la planificación y la organización (Jobber & Lancaster, 2012). Las empresas que aspiran a obtener grandes beneficios necesitan un buen proceso de venta, así como una gestión de ventas adecuada.

Estudios recientes muestran que la automatización de flujos de cotización y la integración con datos maestros (precios, plazos de proveedores, stock real) reducen la variabilidad en estimaciones y mejoran la tasa de conversión de ofertas a pedidos (Gessa, Jiménez & Sancha, 2023). La literatura clásica (Konijnendijk, 1994; Muntslag, 1994) describe etapas sucesivas —prospección, cualificación, cotización, negociación y cierre— que hoy deben complementarse con actividades de gestión del conocimiento y ventas relacionales (Moncrief & Marshall, 2005).

La determinación del plazo de entrega es probablemente el factor más importante es el hecho de determinar el plazo de entrega. Esto debe hacerse sin conocimiento del tiempo y la capacidad de fabricación en ese momento debido a las cotizaciones flotantes. (Hicks et al., 2000; Konijnendijk, 1994). Más concretamente, no está claro si los clientes realizarán un pedido y creando así ambigüedad sobre si los recursos (por ejemplo, el tiempo de producción) pueden utilizarse o no. Además, la fecha de entrega se ve afectada por la velocidad del proceso de producción y el tiempo que material adquirido esté disponible para la producción, lo que depende del plazo de entrega de los proveedores (Buzby et al., 2002). Por lo tanto, en el proceso de cotización, es necesario recabar la información y actualización de los proveedores de la empresa sobre precios y plazos de entrega de los materiales requeridos (Hicks et al., 2000).

Según Persona et al. (2004), el plazo de entrega puede ser fijado por un representante de ventas y el cliente, sin relación alguna con el precio de ventas y el cliente sin relación alguna con el tiempo de ingeniería y producción, o bien en colaboración con el departamento de producción. Asimismo, Konijnendijk (1994) y Salvador & Forza (2004) afirman que el plazo de entrega debe determinarse junto con el departamento de producción. Veeramani & Joshi (1997) afirman que el departamento de fabricación es el único que determina el plazo de entrega. Otras posibilidades son la determinación del plazo de entrega por el departamento de ingeniería (Muntslag, 1994) o por especialistas (Kingsman et al., 1996; Reinhart et al., 2009). Por lo tanto, no hay consenso en la literatura sobre qué departamento es responsable de la determinación del plazo de entrega. Lo más probable es que dependa de la empresa.

Kingsman et al. (1996) afirman que, aunque las empresas afirman que es importante, no suelen examinar la viabilidad del plazo de entrega, o lo hacen de forma muy superficial. El plazo de entrega debe ser fiable para seguir siendo competitivo (Persona et al., 2004). Esto puede explicarse por el hecho de que los clientes están menos satisfechos con los proveedores que no pueden cumplir sus compromisos en comparación con los que mantienen sus promesas. Esta reputación puede llevar a tener que reducir el precio de venta o que los clientes elijan otros proveedores (Kingsman et al., 1996). El tiempo de flotación del pedido, es el tiempo que transcurre desde el envío de la oferta hasta la realización del pedido, el cual puede ser largo (Konijnendijk, 1994).

Por lo general, se desconoce si un cliente potencial realizará un pedido después de recibir una cotización y cuándo realizará el pedido después de recibir una cotización (Bertrand & Muntslag, 1993; Muntslag, 1994). Sin embargo, aun habiendo llevado todo el proceso de cotización en acuerdo con proveedores, y los departamentos involucrados, el estatus de tiempo de entrega puede cambiar al final. Bertrand & Muntslag (1993) afirman que la disponibilidad de recursos podría haberse reducido debido a nuevos pedidos o a que los pedidos previamente negociados, y ya aceptados por lo que el tiempo previsto requiera más tiempo del estimado. Por lo tanto, el plazo de entrega debe de reconsiderarse y confirmarse al cliente en la fase final del proceso (Bertrand & Muntslag, 1993; Hicks et al., 2000; Konijnendijk, 1994).

Además del plazo de entrega, hay que determinar el precio. El precio cubre los costos de producción del material, así como los costes de fabricación (Reinhart et al., 2009). Buzby et al. (2002) también mencionan los costos indirectos realizados en el proceso de cotización. Los costos pueden ser calculados por la coordinación o departamento de cotización en estrecha colaboración con otros departamentos (Konijnendijk, 1994; Salvador & Forza, 2004), por diferentes especialistas (García-Crespo et al., 2011; Kingsman et al., 1996; Reinhart et al., 2009), por un departamento de precios (Veeramani & Joshi, 1997), o por el departamento de ingeniería (Muntslag, 1994). Al igual que en la determinación del plazo de entrega, en esta fase existe un alto grado de incertidumbre, ya que no se conocen todos los detalles del proceso ni del producto (Muntslag, 1994). Como ya se ha mencionado, los detalles del producto se obtienen a lo largo de todo el proceso de cotización y, parcialmente, en la fase de realización del pedido.

El siguiente reto es elegir el mejor precio de venta, por un lado, fijar el precio demasiado alto puede hacer que se pierda el pedido en favor de competidores menos caros, y por otro lado, fijar un precio demasiado bajo, puede dar lugar a ganar el pedido, pero también a una posible pérdida financiera (García-Crespo et al., 2011; Veeramani & Joshi, 1997). En consecuencia, el precio debe ser rentable y competitivo (Konijnendijk, 1994). El margen de beneficio depende de varios factores, por ejemplo, de la empresa en relación con el mercado (Muntslag, 1994), la relación con el cliente o la confianza en conseguir el pedido (Kingsman et al., 1996). Además, Kingsman et al. (1996) sostienen que, en caso de un cálculo de costes minimalista, un mayor margen de beneficios podría compensar costes decepcionantes. Mientras que, en caso de un cálculo de costos minucioso, es más seguro ofrecer un precio entusiasta.

Finalmente, el cierre de la negociación empieza cuando se envía la cotización al cliente con el objetivo que los vendedores de la empresa es cerrar el trato. El cliente examina la cotización y puede que no esté completamente satisfecho con la propuesta. En ese caso, la empresa podría ajustar el presupuesto (Veeramani & Joshi, 1997). Esto puede ocurrir varias veces, hasta que el cliente esté satisfecho con la solución del producto. En ese momento, el cliente puede comparar los presupuestos de distintas empresas (Bertrand & Muntslag, 1993; Konijnendijk, 1994). Posteriormente, el cliente puede rechazar o aceptar la cotización de inmediato, o bien prefiere negociar las condiciones (Kingsman et al., 1996). Kingsman et al. (1996) afirman que el cliente puede pedir un precio más bajo o cuestionar el equilibrio entre las características del producto y los costos. El proceso termina con la ruptura de las negociaciones o con la realización de un pedido (Muntslag, 1994). Una venta da lugar a un proyecto, es decir, un pedido puede considerarse un proyecto (Muntslag, 1994).

Una vez iniciado el cierre de negociación, Konijnendijk (1994) afirma que el departamento de cotizaciones debe transferir toda la información relacionada con el pedido al departamento de producción. Dado que el departamento de ingeniería tiene que diseñar el producto, es necesario que también reciba la información. Un elevado número de características del producto puede dar lugar a una cantidad extremadamente gran cantidad de información, que debe traducirse a un formato adecuado (Forza & Salvador, 2002a). Aquí pueden surgir errores debido a la complejidad y la gran variación de la información (Forza & Salvador, 2002a). Bramham et al. (2005) sostienen que la comunicación verbal puede no ser clara por lo que necesario el uso de herramientas de mapeo de procesos y es necesario documentar la información para la toma de decisiones. Estas herramientas ayudarán a mejorar la comunicación con el cliente y las personas involucradas en el proceso dentro de la empresa. Hay que tener en cuenta que después de adquirir un pedido, así como después de la entrega del producto es vital asegurarse de que el cliente está satisfecho (Jobber & Lancaster, 2012). Jobber & Lancaster (2012) afirman que debe hacerse un seguimiento para demostrar que el cliente es importante; además, esto podría aumentar las posibilidades de nuevos pedidos en el futuro.

El tiempo de respuesta corto tras una petición de oferta es un factor crítico para conseguir un pedido de un cliente (Buzby et al., 2002; García-Crespo et al., 2011; Veeramani & Joshi, 1997). Además, Kingsman et al. (1996) afirman que las empresas suelen disponer de un tiempo limitado para responder a una petición de oferta. No obstante, el proceso de oferta suele ser largo (Konijnendijk, 1994; Veeramani & Joshi, 1997). Según Konijnendijk (1994), esto se debe a que el procesamiento de la información requiere mucho tiempo (por ejemplo, comprender las necesidades del cliente).

De la cantidad de información que debe ser procesada para asegurar una estimación de cotización donde no exista el riesgo de pérdida para la empresa por el ofrecimiento de un atractivo costo, así como del tiempo de respuesta a una petición de oferta, es que surge la necesidad de un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP). Los ERP se han convertido en herramientas integrales que pueden transformar radicalmente la gestión de procesos en empresas de fabricación, ofreciendo una solución unificada para la optimización y coordinación eficiente. En el contexto de la industria metalmecánica de alta precisión, la aplicación de sistemas ERP presenta oportunidades significativas para mejorar la eficiencia del proceso de cotización.

Porter (1982, 2008) afirma que las consecuencias de una ventaja competitiva son la obtención de rendimientos superiores. De aquí que uno de los indicadores principales para medir el éxito de la implementación del ERP es precisamente, un rendimiento superior debido a una mejora en el proceso de cotizaciones. Para (Godoi, 2019) menciona que los patrones de competencia se encuentran influenciados por la composición del ambiente competitivo de la empresa, es decir, por los factores estructurales y conductuales de un determinado sector o sistema económico. Donde estos patrones derivan de la interdependencia entre las empresas o sectores competitivos a través de las tecnológicas, restricciones y estímulos al flujo de bienes, además de la disponibilidad de infraestructura, leyes, sistemas de planificación y políticas industriales, entre otros.

La competitividad sería entonces la capacidad de adaptación de las estrategias de las empresas al patrón de competencia vigente en el ramo en que actúan. Por lo que, el análisis de la competitividad debe tener en cuenta la diversidad de factores como los procesos de esfuerzo de ventas, la capacitación productiva, el acceso a fuentes de materias primas, proveedores de piezas y componentes. Así también, de los que deben estar directamente vinculados con la innovación y la difusión de nuevas técnicas, los cuales son capaces de generar ventajas competitivas. De esta forma, se crea un enfoque dinámico del desempeño competitivo al incorporar factores determinantes de naturaleza empresarial, estructural y sistémica, los que se definen en seguida de acuerdo con (Godoi, 2019).

En este sentido, el presente estudio se enfocó en una delimitación micro, respecto del sector económico empresarial en la ciudad de Saltillo, Coahuila, específicamente en la Empresa Diseños Metálicos del Norte, S.A. de C. V. (DIMET) de donde se considerará la población y la muestra seleccionada. Considerando las empresas existentes en el mercado, la competitividad empresarial se deriva de ventajas competitivas que tiene una empresa a través de sus métodos de producción y de organización (reflejados en precio y en calidad del producto final) en relación con los de sus rivales en un mercado específico (Chacón, 2007). Las empresas compiten para ganar tanto la preferencia y fidelidad de los consumidores, proveedores y clientes. En este sentido, para ser competitivo, es necesario tener un desempeño mayor que las demás empresas, que compiten por los mismos clientes. Una organización es competitiva cuando tiene alguna ventaja sobre sus competidores.

METODOLOGÍA

Tipo de Investigación

El tipo de investigación es de tipo exploratoria descriptiva, cualitativa y cuantitativa. Se inició con una investigación de tipo teórica, de revisión de la literatura académica con énfasis en artículos científicos para continuar con la aplicación del instrumento, análisis por expertos, análisis delta, selección de un ERP, implementación, prueba piloto y finalizar con una síntesis sobre resultados. El enfoque cualitativo utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación, así como de la percepción y aceptación de los colaboradores. En éste, en lugar de iniciar con una teoría en particular, el investigar comienza examinando el mundo social y en este proceso desarrolla una teoría consistente, denomina teoría fundamentada. En la mayoría de los estudios cualitativos no se prueban hipótesis, éstas se generan durante el proceso y se van refinándose conforme se recaban más datos.

El enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Los alcances de la investigación cuantitativa se pueden clasificar en cuatro grupos que son: exploratorios, descriptivos, correlacional y explicativos. Para efectos de esta investigación se utilizará el enfoque cuantitativo con un alcance descriptivo, por el hecho, de buscar propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos, o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Se evalúan, o recolectan datos sobre diversos conceptos, aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar.

En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas, para así describir lo que se investiga. (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). El proceso de la implantación del ERP en la organización, se adoptó una metodología de estudio de caso exploratorio. Este enfoque permitió recopilar datos descriptivos de gran riqueza en su entorno natural.

Sujeto de la Investigación

La población y muestra para el caso en particular de la Empresa DIMET se realizaron dos tipos de poblaciones y de muestra. Esto por el hecho de realizar un instrumento y una entrevista donde pudiéramos conocer la percepción de la implementación desde el punto de vista del personal a cargo de realizar las cotizaciones y de algunos de los departamentos que juegan un papel importante con en el proceso de la estimación de la cotización. Una primera población de interés fue a todos aquellos involucrados en la coordinación de cotizaciones. Por lo tanto, la muestra fue el 99% para realmente conocer la percepción de los usuarios. Por lo que se aplicó al 99% el instrumento. El 1% es una excepción de percepción, y fue a la persona quien validaría la cotización usual a la nueva con ERP.

Una segunda, fue aquella población de Factoraje, siendo el conjunto de cotizaciones de nuevos y actuales clientes. Por lo tanto, la muestra debe ser una selección de presupuestos y pedidos. Antes de proceder a la prueba de hipótesis propiamente dicha, hay que preparar los datos para el análisis, ya que suelen estar incompletos, ser incoherentes y contener errores (por ejemplo, incoherencias en los nombres). Esto involucra a todos los empleados involucrados en el proceso de cotización, desde ingenieros y personal de producción hasta el equipo financiero. Se seleccionará una muestra representativa para la recopilación de datos cuantitativos, considerando la diversidad de funciones y responsabilidades.

En esta estratificación de las cotizaciones derivadas de los diferentes clientes, se consideró el cliente de mayor factoraje y aquel de menor para iniciar como prueba piloto. Las bases de datos utilizadas se crearon a partir de inventarios que se tuvieron que realizar en la planta de todos los suministros requeridos para ambos clientes para colocarlos y utilizarlos en el sistema nuevo ERP en este caso habiéndose elegido el Mie Trak.

Cálculo de Muestra de Cotizaciones

En función del tamaño de la población cuyo tamaño es finito, 2500 cotizaciones que llegan en promedio al mes a DIMET, se utilizó la fórmula recomendada por Murray y Larry (Murray & Larry, 2009):

$$n = \frac{N Z^2 p q}{d^2 (N - 1) + Z^2 p q}$$

En donde

n= tamaño de la muestra

N= tamaño de la población

Z= 1.96² (Confiabilidad al 95%) Valor Z crítico, calculado en las tablas del área de la curva normal. Llamado también nivel de confianza.

d= Error estadístico (5%= 0.5)

p = proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia (50%= 0.5).

q = (1- p) proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio. (1- 0.5= 0.5).

Variables

La determinación de las variables se definió en acuerdo con la Alta Dirección de la empresa. Las variables independientes fueron: a) Proyecto, b) Infraestructura Humana, c) Organización; las variables dependientes: a) Cierre de Negociaciones y b) Rentabilidad de la Empresa.

Diseño de Investigación

Esta investigación adoptó un enfoque de diseño basado en la ciencia. Este enfoque vincula el conocimiento práctico con el académico, lo que da lugar a un amplio cuerpo de conocimientos útiles tanto para las organizaciones como para los académicos (Van Burg et al., 2008). Siguiendo el marco, se crean soluciones de diseño y principios de diseño en relación con la mejora de la eficacia del proceso de oferta basados en la práctica y también fundamentados en la literatura científica. Los principios de diseño son proposiciones basadas en teorías derivadas de la literatura que ayudan a crear soluciones integrales (Van Burg et al., 2008). Los principios de diseño surgen de la síntesis de principios basados en la práctica y principios basados en la investigación (Van Burg et al., 2008). Para formular los principios de diseño se utiliza la lógica CIMO. La lógica CIMO especifica el contexto del problema (C), la intervención (I) y el mecanismo necesario (M) para alcanzar el resultado deseado (O) (Denyer et al., 2008).

Diseño de la Implementación

Se procedió de primera instancia el realizar una exhaustiva búsqueda de trabajos en la literatura para la implantación del ERP, visualizando diferentes alternativas y ampliaciones de este hacia otros departamentos de la Empresa. En la bibliografía sobre ERPs se habla de muchas más funciones además de la generación automática de presupuestos, como por ejemplo el soporte para especificar variantes factibles de productos (Kratovich y Carson, 2005; Salvador y Forza, 2004; Verdouw et al., 2010), la planificación automática de la producción (Forza y Salvador, 2002b; Helo, 2006) y la posibilidad de crear bases de materiales (Forza y Salvador, 2002b) así como planes y contratos de servicio y mantenimiento de productos o equipos (Verdouw et al., 2010). La bibliografía hace hincapié en las grandes ventajas, por lo que resulta útil investigar las oportunidades. En segundo lugar, aunque el ERP es la solución con mayor énfasis a abordar el problema en DIMET, las otras dos soluciones tienen potencial para aumentar la entrada de pedidos cuando se desarrollen más.

Por lo tanto, se procedió a realizar un análisis del rendimiento de las ventas en relación con los distintos mercados y tipos de clientes potenciales. A partir de ese análisis, se pudieron determinar grupos específicos de clientes potenciales de baja calidad y/o demanda. Esos clientes potenciales pueden rechazarse para ahorrar tiempo y mejorar los de alta calidad y/o demanda. Además, como la mayoría del personal está de acuerdo en que un seguimiento adecuado puede influir positivamente en la satisfacción del cliente y no todos los clientes potenciales reciben un seguimiento, habría que examinar la importancia de este seguimiento y cómo aumentar su eficacia.

En tercer lugar, la Empresa debería captar y examinar mejor los datos organizativos. Siendo un nuevo reto para DIMET pero que aportaría a una mejor toma de decisiones obteniendo el análisis de datos.

Análisis del Delta

Los objetivos de la implantación son el desarrollo y la adopción del sistema del ERP. El desarrollo involucra la activación de módulos, usuarios, permisos y contenidos. Por lo tanto, sólo hay que adaptarlo en función de las experiencias de los usuarios (por ejemplo, errores o requisitos adicionales). En cambio, el desarrollo de contenidos es de mayor envergadura, así como a quien se le integra en el equipo. La implantación del configurador implica varios cambios en el proceso. El análisis delta juega un gran de impacto en la posible solución debido a que el análisis delta describe los principales cambios entre el sistema actual y el nuevo (Van Aken et al., 2012). En resumen, el ERP asumirá el trabajo manual en lo que respecta al cálculo de los costos de producción y la creación de documentos. El resultado será una mayor uniformidad de cotizaciones y/o presupuestos. No obstante, es esencial que se añadan datos adecuados al sistema. Además, el ERP guía al usuario paso a paso a través del proceso con la generación del documento final. Por tanto, se tiene que comprobar si hay errores y si está completo en cada paso. El personal a cargo acostumbrados a realizar las cotizaciones deberá ahora realizar esta comprobación al final del proceso tendrán que acostumbrarse a este cambio.

Metodología del Plan Implementación

El plan de implantación sigue la metodología del plan de cambio de Van Aken et al. (2012). Según Erffmeyer y Johnson (2001), muchos autores indican que los proyectos de implantación de automatización de cotizaciones fracasan, con tasas del 60-75%. Por lo tanto, se requiere una adaptación y adopción activas junto con un plan sólido son necesarios para que la implantación tenga éxito. En línea con Van Aken et al. (2012), en primer lugar, se presenta un análisis delta, que analiza los principales cambios entre el sistema actual y el nuevo. A continuación, se realizó un análisis de las partes interesadas, en el que se detallan los posibles afectados por la implantación de la solución. Al igual, se analiza de la resistencia esperada. Una vez teniendo el análisis anterior se puede plantear una estrategia. Por último, se presentan un plan de implementación y un plan de comunicación. Los datos necesarios se recogen en la prueba de expertos y se analizan según el método expuesto. Es importante señalar aquí que la empresa empezó a implementar el ERP a priori a la intervención del estudio de investigación. El software ERP es en sí robusto, sin embargo, falta un plan de implantación formal.

Capacitación del Personal

Cabe señalar que la capacitación en el manejo del nuevo Software ERP quedó a consideración del empresario o área directiva, para que se imparta de acuerdo con las expectativas propias, ya sea solo al empresario, directivos o a personal operativo, en sus respectivas áreas en que se relacionen los perfiles de puesto. Así también, el hecho de la interacción y comunicación efectiva con el área de soporte técnico o posventa.

Técnicas de Recopilación de Datos

La muestra son los datos relativos a las cotizaciones de 2023 y los pedidos asociados. La muestra se limitó a los datos de 2023 debido al formato inadecuado de los datos y a la escasez de tiempo.

Prueba por Expertos

Una prueba de expertos es un método de prueba cualitativo en el que los expertos aportan su opinión sobre la solución de diseño desarrollada. Este tipo de prueba es adecuado, ya que los expertos pueden justificar si la solución funcionará en el entorno organizativo actual. Este método valida las hipótesis de las dos soluciones de diseño, a saber, (1) un ERP reduce el tiempo del proceso de oferta y mejora la calidad de la oferta; y (2) un seguimiento tras la oferta aumenta la satisfacción del cliente. La entrevista como el instrumento fue validado por la Técnica de Expertos, integrado por: 1 Miembro de CANACINTRA, 1 Miembro de la Empresa con más de 35 años de experiencia en el área de Metal Mecánica, 1 Experto en implementación de ERPs – Monterrey, 1 Miembro del Consorcio Empresarial, 1 Cliente usuario de ERPs

Prueba Piloto del Método

Además de la prueba de expertos, se aplica una prueba piloto para validar la segunda solución de diseño. La prueba piloto tiene por objeto proporcionar una indicación del funcionamiento y los resultados del ERP. Para la prueba piloto se utiliza el actual Sistema para realizar la comparación eligiendo a dos clientes en específico, por ese el de mayor factoraje y el otro uno del menos factoraje.

Instrumento para la Percepción de los Colaboradores

Para recabar los datos, Hernández Sampieri recomienda, en caso de fenómenos sociales, utilizar el cuestionario (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018) ; como instrumento de colección de datos empíricos, el cual se preparó sistemática y cuidadosamente, sobre los hechos y aspectos que interesan en el estudio de las variables en el aspecto cualitativo de aceptación y percepción del ERP por parte de los colaboradores e implicados.

Análisis de Datos

El análisis de los datos se centró en identificar los factores que influyeron en el proceso de implantación. Para organizar mejor el análisis de los datos, los resultados se estructuraron según las fases de implantación del modelo de ciclo de vida del proceso desarrollado por Markus y Tanis (2000). Este modelo consta de cuatro fases: la carta del proyecto, el proyecto, el shakedown y las fases ascendente y descendente. El procesamiento de información de instrumentos aplicados al personal durante y posterior a la implementación se procesarán por SPSS y prueba t-student.

RESULTADOS

Descripción Proceso Inicial del Proceso de Cotizaciones

El proceso de cotización en Diseños Metálicos del Norte implica la colaboración entre los departamentos de ingeniería y producción. La recopilación de datos, estimación de costos y la generación de propuestas comerciales son aspectos clave de este proceso. Sin embargo, el sistema actual presenta desafíos, como tiempos prolongados de respuesta y posibles discrepancias en la información utilizada para las cotizaciones.

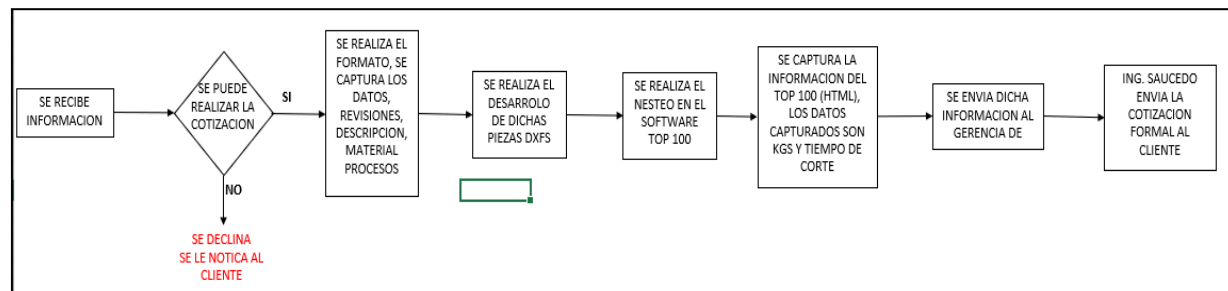


Figura.1 Algoritmo del proceso de estimación de cotización actual

De la eficiencia operativa para la correcta cotización de los diferentes números de parte en esta industria, fue importante destacar la interrelación que existen en los diferentes departamentos, desde la ingeniería, hasta compras y de calidad hasta finanzas, es por esta razón que fue necesario la implementación de un sistema que aglutinara a todos los departamentos (ERP), de tal manera que tuviera el potencial de mejorar las condiciones y funcionara como herramienta de comunicación entre los departamentos, reduciendo así los tiempos de respuesta y minimizando la posibilidad de errores de costos y por ende de cotización.

Entrevistas e Instrumento de la Percepción de los Colaboradores

La principal fuente de datos fueron las entrevistas personales. En total, se realizaron 12 entrevistas de los diferentes departamentos que se involucran o influyen en el proceso de estimación de cotizaciones. La recolección de datos se llevó a cabo durante el periodo comprendido de tres meses antes de empezar como tal la implementación y capacitación. Aparte de dos entrevistas telefónicas con el vendedor de sistema Mie Trak y un consultor que previamente tuvo relación con la Empresa, todas las entrevistas se realizaron cara a cara en la misma empresa, normalmente en salas de reuniones.

El proceso de entrevista siguió las directrices de Turner III & Hagstrom-Schmidt (2022) para la realización de entrevistas cualitativas. Con el fin de recoger diferentes perspectivas sobre la implantación del sistema ERP, las entrevistas se han realizado a múltiples partes interesadas. Los informantes clave se seleccionaron en función de su

capacidad percibida para informar sobre el fenómeno estudiado. Se hizo hincapié en recabar datos de informantes implicados en los proyectos de implantación de ERP, aunque también se incluyó en las entrevistas a usuarios finales. Los encuestados fueron representativos de distintos cargos dentro de cada organización. Además, también se entrevistó a proveedores o consultores implicados en la implantación del ERP. Este enfoque permitió recopilar diversos puntos de vista de diferentes funciones dentro de los proyectos de implantación de ERP. Las entrevistas duraron alrededor de 15 a 20 minutos.

Las entrevistas fueron semiestructuradas, utilizando una guía de entrevista con preguntas abiertas. Se elaboró una guía de entrevista inicial basada en la revisión bibliográfica. La guía de la entrevista y del instrumento abarcaba dos áreas principales. La primera incluía información sobre la organización, las actividades empresariales y el proyecto de implantación del sistema ERP en general (principalmente con los jefes de proyecto y sus asistentes).

La segunda área abarcaba preguntas relativas a diversas cuestiones de la implantación del sistema ERP a lo largo de todo el ciclo de vida del ERP (Esteves y Pastor, 1999), incluidas cuestiones como la motivación para la implantación del ERP, el proceso de selección, las actividades del equipo de implantación, los factores críticos de éxito, la formación de los usuarios, el uso del sistema ERP, los resultados del ERP, el mantenimiento, el desarrollo del sistema, etc. Se pidió a los informantes que expresaran sus opiniones y puntos de vista personales sobre los temas en cuestión. Recordando que el instrumento como la entrevista fueron validadas por expertos en el área, como se denota en el Capítulo III de Metodología.

Resultados del Instrumento

Se procesaron los datos recogidos de la aplicación del instrumento donde se aplicó el software SPSS. Enseguida se muestra el Alfa de Cronbach obtenido por cada dimensión.

Dimensión 1:

Organización (Alfa de Cronbach = 0,976)

Dimensión 2:

Proyecto (Alfa de Cronbach = 0,912)

Dimensión 3:

Personas (Alfa de Cronbach = 0,799)

De estas dimensiones los hallazgos obtenidos en las entrevistas con líderes de compras y tecnología, se identificó como principal problemática la falta de estandarización y coordinación entre regiones, además de procesos dispersos que generan errores, retrasos y pérdida de ventas. Finalmente, esta propuesta no solo consolida la ventaja competitiva de la organización en su sector, sino que también la prepara para competir eficazmente en mercados nacionales e internacionales, al optimizar la gestión del tiempo y los recursos, en línea con los principios de la Teoría de las Restricciones (Mabin & Balderstone, 2003; Goldratt, 1984).

De la Selección de ERP- Mie Trak- Por Expertos

Los datos de la entrevista a los expertos argumentaron que el porcentaje de aciertos de los nuevos clientes con una margen de facturación muy bajo como alto se ha ido incrementando. Sin embargo, se sugiere que se puede ahorrar mucho tiempo rechazando este grupo de clientes potenciales.

a. Los expertos indican que el tiempo ahorrado puede utilizarse para mejorar las ofertas de clientes potenciales con una alta probabilidad de convertirse en un pedido. Se espera que esto se traduzca en más pedidos. Sin embargo, los expertos no pueden estimar la mejora del rendimiento de esta solución con respecto al aumento de pedidos.

b. Los expertos sostienen que el método propuesto en esta solución es rápido y sencillo, pero dudan de que deba rechazarse este grupo en su totalidad. Afirman que un análisis más profundo de las cotizaciones (en relación con el tipo de mercado y de cliente) es pertinente para explicar el bajo porcentaje de aciertos. Los expertos consideran que esa información es un requisito previo para poder aplicar la solución.

c. Los expertos tienen opiniones diferentes con respecto a rechazar clientes. La mayoría de los expertos afirman que no hay problema en rechazar clientes potenciales, algunos lo consideran difícil y arriesgado.

d. Un experto indica que actualmente se cuestiona la capacidad instalada de producción. Este tipo de cuestionamientos o rumores, pueden generar que los competidores afirmen que la empresa tiene dificultades para la carga o capacidad de producción, pudiendo suponerse que dé lugar a presupuestos que podrían estar sobrevalorados. Por ello, la empresa en este caso DIMET debe evitar el boca a boca el rechazar solicitudes de forma adecuada.

e. Los expertos indicaron que esperaban una reducción de la gestión de errores requerida por el ERP. Además, esperan una mayor uniformidad y calidad de los presupuestos generados con el ERP. Los expertos también esperan que el ERP redujera el tiempo de generación de presupuestos.

DIMET en esta transición a evolucionar y a transitar en un mundo más tecnológico para el control de sus procesos y datos. Y ante el consenso de los expertos y de propio cliente mayoritario, se fundamentó la decisión de la correlación existente entre clientes y una interfase coherente a inventarios, embarques, compras con agentes externos, es que se toma la decisión del ERP como Rinaldy, R. A., & Juarna, A. (2022) lo sugieren. Por lo que se adquirió una herramienta virtual llamada Mie Track, es una herramienta de gestión de proyectos que permitió llegar una cotización más cercana a lo validado por los expertos en el área.

De Estrategias para la Implementación

Según estudios anteriores, las PYME suelen tener procesos empresariales menos complejos que las grandes empresas (Wong & Aspinwall, 2004). Por tanto, cabría esperar que el análisis de los procesos empresariales fuera más fácil de realizar en las PYME. Sin embargo, este estudio ha demostrado que los procesos empresariales y la estructura organizativa de las PYME también pueden ser relativamente complejos.

Además, se ha señalado que, en general, las PYME atienden principalmente a mercados locales (Wong & Aspinwall 2004), con pequeñas bases de clientes (Ghobadian & Gallear 1997). En este caso DIMET es un caso eran atípico en este sentido, ya que tiene una base de clientes amplia nacional como internacional. Además, no había pruebas de que los principales clientes o proveedores obligaran a las PYMES a adoptar un sistema compatible con su solución actual. Sin embargo, se identificaron algunos problemas menores que indicaban la influencia de los clientes principales.

Aunque la bibliografía sobre las PYME las caracteriza como empresas con conocimientos limitados sobre sistemas de ERP, los resultados de este estudio ilustran que las PYME también pueden ser bastante competentes en este sentido. Así pues, la PYME de DIMET no parecía estar limitadas de forma significativa por la falta de conocimientos o la escasa experiencia con los sistemas ERP en lo que cabe a la Alta Dirección. Por lo que en parte se esperaba parte del éxito por el conocimiento adquirido previamente por los directivos, por su experiencia en el mercado económico y destrezas en TI. Por lo que, existe una mayor consciencia lo que implica una implementación de esta índole, que hace una década (por ejemplo, Blili y Raymond 1993; Cragg y Zinatelli 1995; Levy y Powell 2000). Sin embargo, esto no implica que el caso que fuera sencillo.

En el sistema tradicional de estimación de cotización, el cierre de una negociación con un cliente depende en gran medida del tiempo de respuesta de una cotización. En general las Empresas tardan de 1 a 2 semanas, en cuanto el caso DIMET por el método tradicional se toma alrededor de 96 horas de respuesta. Ante la gran demanda de servicio y de competencia en la Región, Nacional e Internacional es necesario contar al día con datos actualizados en un mercado variante. El crecimiento de la empresa está en función de los cierres de negociación y estos de la respuesta de una cotización que debió ser validada por un equipo de expertos en la empresa.

Resultados de la Prueba Piloto

Dado que la prueba piloto se realiza sin una amplia experiencia con el ERP, lo que es probable que los resultados sean aún mejores cuando los empleados se hayan familiarizado con él. El proceso en sí no cambia significativamente. Es decir, los pasos generales para definir los componentes del producto y determinar el precio de coste siguen siendo los mismos. Sin embargo, las pequeñas acciones son diferentes, como la selección de componentes individuales de una lista y la generación automática del documento de presupuesto. De acuerdo con los resultados obtenidos, se confirma las expectativas de los expertos afirmando de que el ERP mejorará la calidad de los presupuestos.

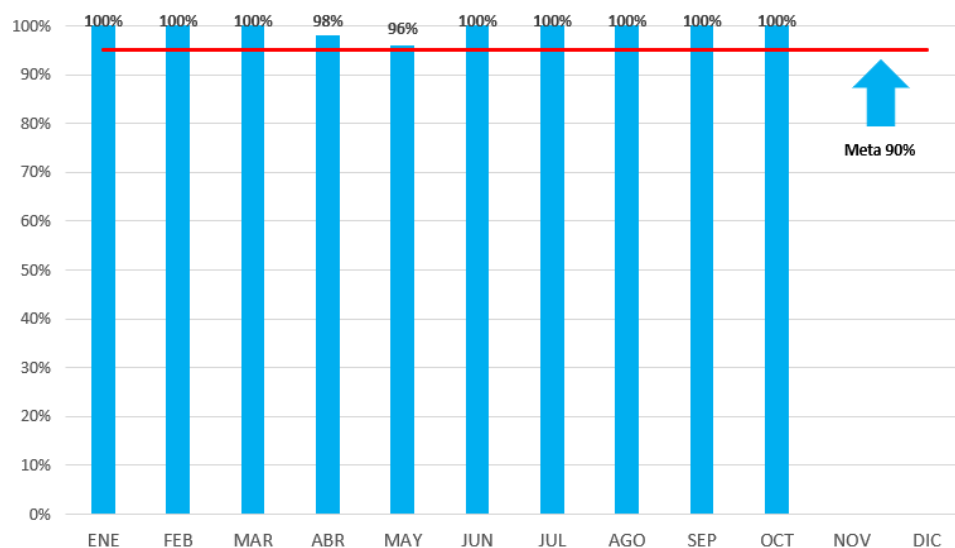


Figura 2. Resultados obtenidos de las estrategias implementadas en atención de estimación de cotizaciones.

Del Tiempo de Elaboración de Cotización

El tiempo previsto requerido con un ERP es de 15 minutos a 2 horas. Por tanto, se espera que la reducción sea de 20 horas en promedio. Sobre la base de una media anual de 7000 presupuestos, esto supondría un ahorro anual de tiempo de 140000 horas anuales. Aunque se trata de una estimación aproximada, esta elevada cifra indica la de la importancia del ahorro de tiempo previsto. La tercera dimensión es la fiabilidad de la información. La cuarta dimensión de la calidad de la información es la accesibilidad. La última dimensión de calidad es la adecuación de la información. Estas mejoras se traducirán en una mayor satisfacción del cliente, ya que el tiempo de respuesta a la petición de oferta disminuirá y la calidad general de la oferta será menor. El tiempo de respuesta a la petición de oferta disminuirá y la calidad general del presupuesto será mayor. En última instancia, una mayor satisfacción del cliente tendrá un efecto positivo en la probabilidad de realización del pedido.



Figura 3. Porcentaje de atención a cotizaciones

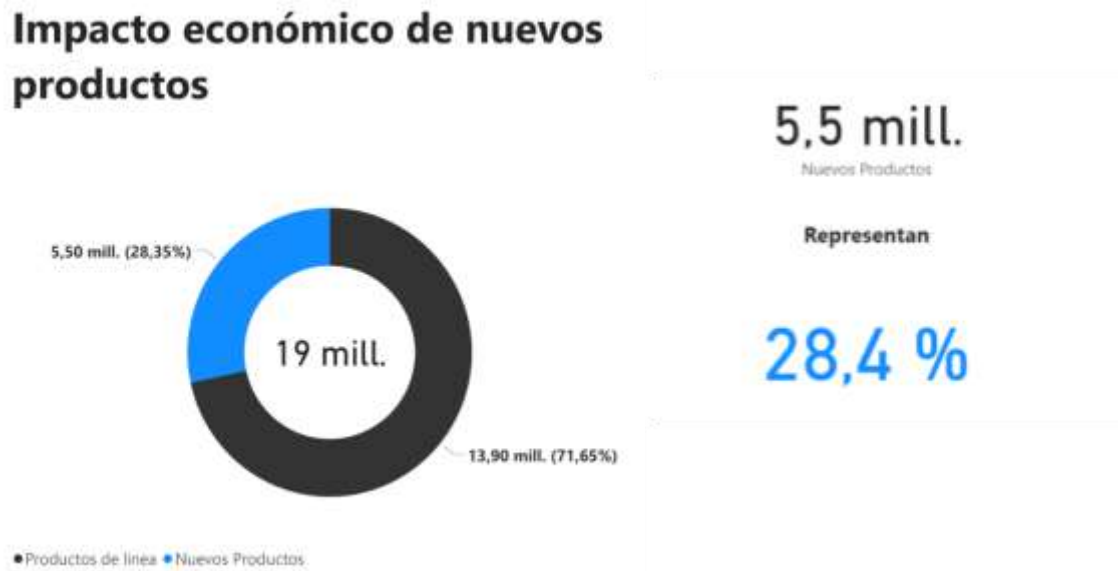


Figura 4. Impacto económico de nuevos productos

CONCLUSIONES

En concordancia con Wu y Chen (2020) facilito y mejoro el rendimiento operativo de la empresa y redujo el tiempo de respuesta de cotización para el incremento de cierres de negociaciones al integrar los criterios de los diversos procesos comerciales y la información de todos los departamentos de una empresa, proporcionando a la gerencia la información operativa y de costos necesaria para tomar decisiones estratégicas relacionadas con su posición competitiva.

En este sentido, es necesario contar con una visión integral de la Empresa u organización, si bien, el sistema ERP contribuyo a la simplificación, estandarización e integración del proceso de estimación de cotizaciones, también represento un dilema el decidir que modulo o módulos empezar a implementar, así como en qué áreas de la empresa. Igualmente represento todo un reto el proceso de adaptación y apropiación del ERP por los colaboradores. Sin embargo, una vez demostrado que sistema facilitaba las tareas diarias del proceso de cotización, y que agilizaba el control de las diferentes etapas en el total del proceso de cotización, la implementación fluyo.

El ERP en una integración vertical y horizontal permite que la Alta Dirección cuente con una mejor visión y control de la empresa, aportando indirectamente la agilización del resto de las diferentes etapas de los procesos. Lo anterior es posible lograrlo una vez que se encuentra un el punto medio entre la rigidez técnica y la falta de optimización previa que pueden limitar la flexibilidad y participación de los colaboradores. El buen desempeño de la implementación y los resultados de esta, no solo de la infraestructura tecnológica, sino también de factores culturales, de gestión de procesos y de las características específicas de cada organización o empresa.

La disminución en el tiempo de respuesta de una cotización incremento el poder de negociación, permitiendo y por consecuencia se incrementó el nivel de negociación con los proveedores debido a consumo de materia prima. Existen menos de 5 grandes competidores en el mundo que pueden abastecer las necesidades de la región según las especificaciones de calidad, esto hace que las relaciones proveedor-empresa sean por varios años y cuando un nuevo proveedor desea ingresar se deban hacer pruebas durante 6 a 12 meses para evitar un impacto negativo con los clientes. Sin embargo, localmente en cada país existen varios proveedores que compiten por lo que algunas veces el poder de negociación de los proveedores es bajo.

Durante la implementación del software se alcanzó de visualizar que el ERP es una herramienta eficaz para la medición de la productividad en cada etapa y de cada colaborador.

El buen desempeño de la implementación y los resultados de esta, no solo de la infraestructura tecnológica, sino también de factores culturales, de gestión de procesos y de las características específicas de cada organización o empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- Alaskari, O., Pinedo-Cuenca, R., & Ahmad, M. M. (2021). Framework for implementation of enterprise resource planning (ERP) systems in small and medium enterprises (SMEs): A case study. In *Procedia Manufacturing* (Vol. 55, pp. 424–430). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.058>
- Buzby, C., Gerstenfeld, A., Voss, L., & Zeng, A. (2002). Using lean principles to streamline the quotation process: a case study. *Industrial Management & Data Systems*, 513-520.
- Chacón, G. (2007). La Contabilidad de Costos, los Sistemas de Control de Gestión y la Rentabilidad Empresarial. *Actualidad Contable Faces*, 10(15).
- Cragg, P. B. & Zinatelli, N. (1995) The evolution of information systems in small firms. *Information & Management*, vol. 29, pp. 1-8.
- Denyer, D., Tranfield, D., & van Aken, J. E. (2008). Developing Desing Propositions through Research Synthesis. *Organization Studies*, 393-413
- Esteves, J. M. (2014). An empirical identification and categorisation of training best practices for ERP implementation projects. *Enterprise Information Systems*, 8(6), 665-683.
- Esteves, J., & Pastor, J. (1999, November). An ERP lifecycle-based research agenda. In 1st international workshop in enterprise management & resource planning. sn.
- García-Crespo, Á., Ruiz-Mezcua, B., López-Cuadrado, J. L., & González-Carrasco, I. (2011). A review of conventional and knowledge based systems for machining price quotation. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(6), 823-841.
- Gessa, A., Jiménez, A., & Sancha, P. (2023). Exploring ERP systems adoption in challenging times. Insights of SMEs stories. *Technological Forecasting and Social Change*, 195, 122795.
- Ghobadian, A. & Gallear, D. (1997) TQM and organization size. *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 17, pp. 121-163
- Godoi, L. (2019). La competitividad y sus factores determinantes: un análisis sistémico para países en desarrollo. *Revista de la CEPAL*.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Hernández, T.; Gonzáles, A.; Estrada, R. y Moreno, H. (2015).
- Cambios e Innovación: Una visión estratégica para el desarrollo. Tlaxcala, México: Universidad Autónoma de Tlaxcala
- Hicks, C., McGovern, T., & Earl, C. (2000). Supply chain management: A strategic issue in engineer to order manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 179-190.
- Jobber, D., & Lancaster, G. (2012). *Selling and Sales Management* (9th ed.). Harlow, UK: Pearson
- Kingsman, B., Hendry, L., Mercer, A., & de Souza, A. (1996). Responding to customer enquiries in make-to-order companies: Problems and solutions. *International Journal of Production Economics*, 219-231.
- Konijnendijk, P. A. (1994). Coordinating marketing and manufacturing in ETO companies. *International Journal of Production Economics*, 19-26.
- Kratochvíl, M., & Carson, C. (2005). Growing modular: Mass customization of complex products, services and software. Berlin-Heidelberg: Springer.
- Kratochvíl, M., & Carson, C. (2005). Growing modular: mass customization of complex products, services and software. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Levy, M. & Powell, P. (2000) Information systems strategy for small and medium sized enterprises: an organisational perspective. *The Journal of Strategic Information Systems*, vol. 9, pp. 63-84.
- Mabert, V. A., Soni, A., & Venkataramanan, M. A. (2000). Une enquête concernant les ERP dans les entreprises industrielles des américaines: Traduction du *Production and Inventory Management Journal* p. 52 à 58-2nd Quartr-
- Markus, M. L., Tanis, C., & Van Fenema, P. C. (2000). Enterprise resource planning: multisite ERP implementations. *Communications of the ACM*, 43(4), 42-46.
- Muntslag, D. R. (1994). Profit and risk evaluation in customer driven engineering and manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 97-107
- Murray, R., y Larry, J. (2009). Estadística. México: Mc Graw Hill.

- Persona, A., Regattieri, A., & Romano, P. (2004). An integrated reference model for production planning and control in SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 626-640.
- Porter, M. (2008). "Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia". En: *Harvard Business Review*. Enero de 2008.
- Reinhart, G., Wiedemann, M., & Rimpau, C. (2009). An approach for the offer specification process for customised products. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 69-82
- Salvador, F., & Forza, C. (2004). Configuring products to address the customization responsiveness squeeze: A survey of management issues. *International Journal of Production Economics*, 273-291
- Turner III, D. W., & Hagstrom-Schmidt, N. (2022). Qualitative interview design. *Howdy or Hello? Technical and professional communication*.
- Van Aken, J., Berends, H., & Van der Bij, H. (2012). *Problem solving in organizations* (Second ed.). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Van Burg, E., Romme, A. L., Gilsing, V. A., & Reymen, I. M. (2008). Creating University Spin-Offs: A Science-Based Design Perspective. *Journal of Product Innovation Management*, 114-128.
- Veeramani, D., & Joshi, P. (1997). Methodologies for rapid and effective response to requests for quotation (RFQs). *IIE Transactions*, 825-838.
- Verdouw, C., Beulens, A., Trienekens, J., & Verwaart, T. (2010). Mastering demand and supply uncertainty with combined product and process configuration. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 515-528
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2008). *Lean thinking. Banish waste and create wealth in your corporation*, ProdPress.com, Wroclaw.
- WONG, K. Y. & ASPINWALL, E. (2004) Characterizing knowledge management in the small business environment. *Journal of Knowledge Management*, vol. 8, pp. 44.
- Wu, J. Y., & Chen, L. T. (2020, January). Odoo ERP with business intelligence tool for a small-medium enterprise: a scenario case study. In *Proceedings of the 2020 11th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management, and E-Learning* (pp. 323-327).
- Zhang, L. L., Lee, C. K., & Xu, Q. (2010). Towards product customization: An integrated order fulfillment system. *Computers in Industry*, 213-222

VIABILIDAD DE CARPOTS EN LA PIEDAD MICHOACÁN

Jorge Luis Salazar Martínez, Francisco Hernández Solís, Ricardo Alejandro Solís
Ramírez Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de La Piedad
jorge.sm@piedad.tecnm.mx, francisco.hs@piedad.tecnm.mx,
ricardo.sr@piedad.tecnm.mx

RESUMEN

La presente investigación expone el análisis de factibilidad técnica, económica y ambiental para la conceptualización e instalación de infraestructuras de estacionamientos solares fotovoltaicos, comúnmente denominados carpots solares, integrados con estaciones de carga para vehículos eléctricos (EV) en centros de trabajo localizados en el municipio de La Piedad, Michoacán en específico en el Instituto Tecnológico de La Piedad.

El paradigma central de este estudio se fundamenta en capitalizar el prolongado periodo de inactividad operativa de los automotores durante la jornada laboral estandarizada de ocho horas consecutivas. A lo largo de este intervalo temporal, los vehículos son dispuestos en cajones de estacionamiento que, simultáneamente, reciben una cobertura física de sombreado mediante cubiertas estructurales que soportan matrices de módulos solares fotovoltaicos. Esta arquitectura de doble propósito no solo mitiga la degradación térmica interna de los habitáculos vehiculares causada por la radiación solar directa, sino que transforma activamente dicha energía radiante en electricidad mediante celdas fotovoltaicas de alta eficiencia, dirigiéndola de manera controlada hacia las baterías de ion-litio de las unidades vehiculares de los empleados a través de cargadores inteligentes de Corriente Alterna. Se tomarán dos autos de la marca BYD, el auto BYD Dolphin y BYD Shark.

Para dotar de un rigor científico y un contexto geográfico preciso a la investigación, se evaluaron minuciosamente las variables climatológicas e historiográficas de irradiación solar global horizontal (GHI) y radiación directa normal (DNI) específicas de la región de La Piedad, Michoacán, la cual se sitúa en una franja privilegiada del territorio mexicano con un promedio anual documentado de 5.62 kWh/m²/día de irradiancia utilizable. Los cálculos de ingeniería electromecánica estructural son un módulo base unitario para un estacionamiento con capacidad de cobertura de dos cajones vehiculares concurrentes, empleando módulos fotovoltaicos monocristalinos de tecnología bifacial y celdas PERC con capacidades nominales de 530W a 550W, soportados sobre estructuras modulares de alta resistencia mecánica ante cargas dinámicas de viento de hasta 180 km/h.

El dimensionamiento técnico determinó que un sistema compuesto por 12 módulos fotovoltaicos de 530W es capaz de consolidar una potencia nominal pico instalada de 6.36 kWp por cada par de cajones de estacionamiento. Bajo las condiciones climatológicas locales e incorporando factores de pérdidas del sistema (eficiencia del inversor, caídas de tensión por cableado de corriente directa y alterna, suciedad acumulada y coeficiente de temperatura), la generación neta de energía eléctrica promedio se situó en 28.93 kWh diarios. Evaluando el espectro de asimilación energética en una ventana temporal de 8 horas continuas (09:00 a 17:00 horas), este volumen de energía inyectada permite recuperar entre 140 y 165 kilómetros de autonomía operativa diaria para vehículos eléctricos comerciales promedio, cubriendo con creces las demandas promedio de traslado pendular urbano e interurbano en la región del Bajío michoacano y guanajuatense.

En la vertiente financiera, la investigación modeló la estructura analítica de costos bajo el panorama arancelario y comercial imperante en el año 2026 en México, considerando el costo de la obra civil de cimentación, la estructura de soporte mecánico, los inversores string, los módulos solares y el cargador inteligente de Nivel 2 (7.4 kW). El costo promedio total por módulo unitario doble se estimó en \$183,150.00 MXN. el proyecto arrojó una viabilidad financiera robusta, con un retorno de inversión situado entre los 6.8 y 7.5 años, y una vida útil operativa garantizada de la infraestructura superior a los 25 años. Finalmente, el componente ecológico del estudio cuantificó el impacto ambiental positivo a través del Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) publicado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) de México. La implementación de este módulo base previene la emisión antropogénica de aproximadamente 3.95 toneladas de Dióxido de Carbono equivalente (TCO_{2e}) anuales.

Palabras Claves: Carpot, panel solar, interconexión, vehículo eléctrico.

INTRODUCCIÓN

A medida que avanzamos en la segunda mitad de la década de 2020, la urgencia de descarbonizar las matrices energéticas globales ha impulsado una transformación sin precedentes en dos sectores tradicionalmente independientes: el sector de la generación de energía eléctrica y el sector del transporte terrestre. El cambio climático, impulsado por las emisiones acumuladas de gases de efecto invernadero (GEI), ha obligado a los gobiernos y corporaciones internacionales a adoptar normativas estrictas para la sustitución progresiva de los motores de combustión interna por trenes de fuerza eléctricos. Esta transición hacia la electromovilidad ha dejado de ser una proyección a futuro para convertirse en una realidad operativa de mercado. Sin embargo, el despliegue masivo de vehículos eléctricos (EV) introduce un desafío técnico vectorizado sobre la red de distribución eléctrica convencional: si la demanda de energía requerida para cargar millones de automóviles proviene de fuentes de combustibles fósiles, el beneficio ambiental neto de la electromovilidad se reduce drásticamente, trasladando las emisiones de los tubos de escape urbanos a las chimeneas de las centrales termoeléctricas periféricas. En la siguiente figura se muestra el auto eléctrico para el estudio.



BYD Dolphin

Es en esta coyuntura crítica donde el concepto de Generación Distribuida (GD) adquiere un papel protagonista. Al descentralizar la producción eléctrica mediante matrices solares fotovoltaicas ubicadas de forma adyacente o integrada a los puntos de consumo, es posible suministrar energía limpia y mitigar la congestión de las redes eléctricas de media y baja tensión. Los sistemas fotovoltaicos integrados en edificaciones (BIPV) y las estructura de estacionamientos solares representan la evolución lógica de este enfoque, aprovechando espacios urbanos ya utilizados para convertirlos en nodos de generación energética limpia de alta densidad de potencia.

TEORÍA

Históricamente, los esfuerzos de despliegue de infraestructura de recarga para vehículos eléctricos se han concentrado de manera bipolar: por un lado, en los hogares (carga residencial nocturna de Nivel 1 o Nivel 2 de baja potencia) y, por otro, en corredores carreteros o estaciones públicas (carga rápida en Corriente Directa, Nivel 3). No obstante, este enfoque ignora una ventana de oportunidad estructural en los hábitos sociolaborales modernos de la población económicamente activa. El automóvil de un empleado promedio permanece inactivo en el estacionamiento de su centro de trabajo durante un intervalo continuo de al menos ocho horas diarias, periodo que coincide casi con exactitud con la curva de máxima irradiancia solar diurna.

Implementar cargadores vinculados a estructuras de carports solares en los centros laborales resuelve de forma simultánea múltiples problemáticas logísticas, económicas y energéticas. En primer lugar, proporciona al vehículo una recarga lenta y controlada en corriente alterna, la cual es térmicamente óptima para preservar la

vida útil del sistema de gestión de baterías (BMS) del vehículo, a diferencia de las tensiones severas impuestas por la carga rápida en corriente directa. En segundo lugar, elimina la denominada "ansiedad de rango" del conductor, asegurando que el traslado pendular esté cubierto con energía generada in situ. En tercer lugar, el carport solar desempeña una función pasiva de alto valor añadido al proveer protección física contra la radiación UV y el estrés térmico sobre la carrocería y los componentes interiores del automóvil. Un vehículo resguardado bajo la sombra de un carport fotovoltaico reduce de forma sustancial su temperatura interna, lo que disminuye a su vez el consumo energético inicial del sistema de aire acondicionado al emprender la marcha, optimizando indirectamente la eficiencia del tren motriz eléctrico y las baterías que se muestran a continuación.



La viabilidad intrínseca de cualquier proyecto fotovoltaico está supeditada directamente a las condiciones geoclimáticas y la disponibilidad del recurso solar en la ubicación geográfica de emplazamiento. El municipio de La Piedad de Cavadas se localiza en la región noroeste del estado de Michoacán, en las coordenadas geográficas de referencia 20°20'00" latitud norte y 102°01'00" longitud oeste, integrándose plenamente en la zona geográfica conocida como el Bajío mexicano.

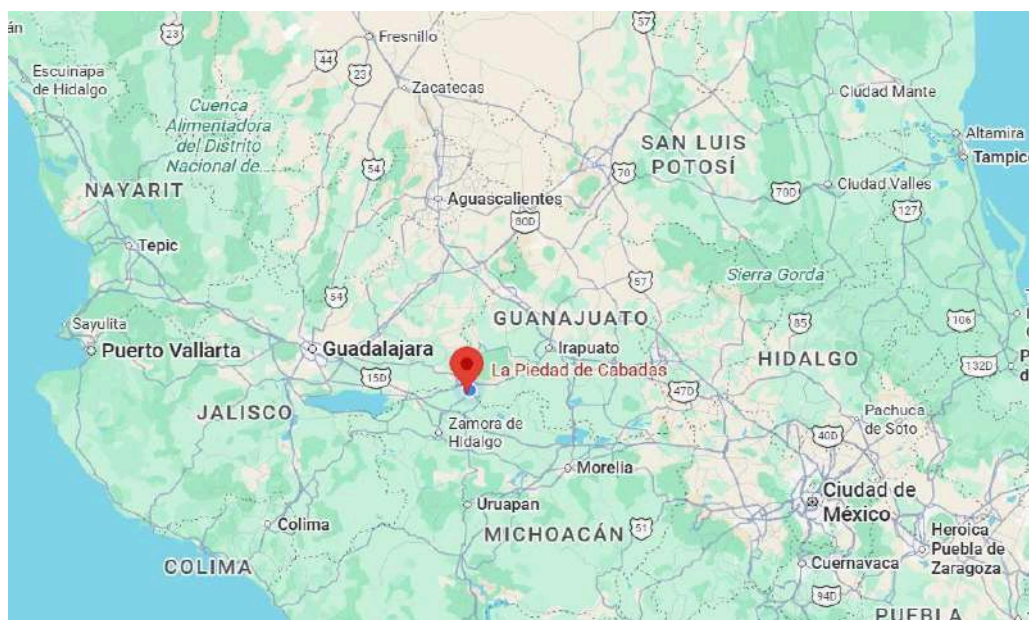


Fig. 1 Localización de La Piedad Michoacán

Esta demarcación se encuentra situada a una altitud promedio de 1,675 metros sobre el nivel del mar, factor altimétrico que influye positivamente en el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos debido a una menor densidad atmosférica y, en consecuencia, una menor atenuación por dispersión de los fotones incidentes. De acuerdo con los registros históricos consolidados recopilados de estaciones meteorológicas automáticas locales y validados por bases de datos geospaciales globales como la base de datos de la NASA (Power Project) y el Global Solar Atlas, el municipio de La Piedad exhibe un perfil de irradiación excepcional. El promedio anual

de Irradiación Global Horizontal (GHI) es de 5.62 kWh/m²/día. La distribución estacional de este recurso se caracteriza por una notable estabilidad, presentando sus valores máximos durante los meses de primavera (marzo, abril y mayo), donde las lecturas de GHI alcanzan picos de entre 6.80 y 7.40 kWh/m²/día, favorecidas por una baja nubosidad y condiciones de atmósfera limpia, por el contrario, los valores mínimos correlacionados se registran durante la temporada invernal (diciembre y enero), oscilando en un rango de 4.10 a 4.50 kWh/m²/día, derivado de la inclinación del eje terrestre y la menor duración del día solar fotovoltaico útil.

Para la correcta planeación de un carport solar, es crucial comprender la diferencia entre la irradiación horizontal y la irradiación inclinada sobre la superficie del colector. Debido a que las cubiertas de los carports solares no suelen poseer inclinaciones elevadas por restricciones arquitectónicas y mecánicas (usualmente limitadas a un rango entre 5° y 15° para favorecer el escurrimiento pluvial sin elevar la resistencia al viento), la captación real se desvía ligeramente del ángulo óptimo de latitud (que para La Piedad sería aproximadamente de 20°). En este análisis se da una inclinación estructural fija de 10° con orientación azimutal hacia el Sur franco (0°). Esta geometría específica maximiza la captación acumulada anual y garantiza un sombreado homogéneo sobre los vehículos situados inmediatamente debajo de la estructura durante las horas de mayor intensidad térmica.

El principio del sombreado activo y dinámica de estacionamiento de ocho horas, redefine la funcionalidad de las superficies arquitectónicas urbanas. Mientras que una techumbre convencional de lámina galvanizada o concreto realiza una disipación pasiva del calor por reflexión y absorción térmica (reirradiando gran parte de esa energía térmica hacia el vehículo en forma de radiación infrarroja de onda larga), el carport fotovoltaico intercepta la radiación electromagnética solar y extrae un porcentaje sustancial de ella en forma de energía eléctrica de corriente directa. Esta conversión termodinámica reduce de forma directa la transferencia neta de calor hacia la parte inferior de la cubierta. Los estudios de confort térmico vehicular indican que un automóvil expuesto de forma directa a la radiación solar en La Piedad durante los meses cálidos puede registrar temperaturas en el interior del habitáculo que superan los 60°C, induciendo un fenómeno de degradación térmica acelerada en los polímeros del tablero, la tapicería y los sistemas electrónicos internos. Bajo la cobertura de un carport fotovoltaico, la temperatura ambiente del habitáculo se mantiene cercana a la temperatura típicamente reduciéndose hasta en 20°C en comparación con un espacio abierto. Desde la perspectiva de la gestión de carga del vehículo eléctrico, el comportamiento temporal del usuario es el factor determinante. La jornada laboral estándar mexicana establece un periodo de permanencia continua en las instalaciones empresariales de 8 horas, comprendido comúnmente entre las 09:00 y las 17:00 horas.

Se muestra en la siguiente figura el periodo de luz solar en un día normal en La Piedad Michoacán.



Fig.2 Salida y puesta de sol en La Piedad Michoacán

Esta ventana temporal guarda una sincronía geométrica casi perfecta con el ciclo diario de producción fotovoltaica. A diferencia del esquema de carga residencial nocturno, el cual requiere que la red eléctrica extraiga energía de centrales base o sistemas de almacenamiento en baterías, la carga en la estación de trabajo

se alimenta de forma síncrona con la generación del panel. No existe desfase temporal entre la oferta energética de la naturaleza y la demanda del dispositivo de carga, eliminando la necesidad obligatoria de instalar costosos bancos de baterías de respaldo estacionarios en el sitio del proyecto y reduciendo las pérdidas por doble conversión electroquímica.

Para asegurar la escalabilidad del proyecto dentro de los estacionamientos corporativos de La Piedad, se optó por diseñar un Módulo Base Unitario proyectado para cubrir de forma exacta un claro correspondiente a dos cajones vehiculares contiguos. Las dimensiones físicas normalizadas de un cajón de estacionamiento para automóviles de pasajeros en el estado de Michoacán son de 2.50 metros de ancho por 5.00 metros de longitud. Por tanto, el módulo base para dos vehículos requiere cubrir un área geométrica mínima de 5.00 metros de frente por 5.00 metros de fondo, equivalente a una superficie en planta de 25.00 metros cuadrados. Tomando en cuenta estas dimensiones espaciales, se seleccionaron módulos solares fotovoltaicos de última generación y de alta densidad de potencia, correspondientes a paneles monocristalinos bifaciales con celdas tipo PERC o TopCon de 530W de capacidad nominal unitaria. Las dimensiones físicas típicas de un panel de este rango de potencia son de 2.28 metros de longitud por 1.13 metros de ancho, con una superficie individual aproximada de 2.58 metros cuadrados. Al configurar una matriz de paneles es posible acomodar un arreglo de 12 paneles solares distribuidos en una configuración de 4 columnas por 3 filas.

El cálculo analítico de la potencia pico total instalada (P_{pico}) para este módulo unitario se expresa matemáticamente a través de la siguiente relación:

$$P_{pico} = N \times P_{nom}$$

Donde N representa el número total de módulos fotovoltaicos instalados y P_{nom} corresponde a la potencia nominal de cada panel en condiciones de prueba estándar (STC). Sustituyendo los valores definidos para nuestro diseño base, obtenemos:

$$P_{pico} = 12 \times 530 \text{ W} = 6,360 \text{ W} = 6.36 \text{ kWp}$$

Para calcular la producción de energía eléctrica real diaria esperada (E_{diaria}), se debe aplicar una metodología integral que considere la irradiancia específica disponible y el Factor de Rendimiento Global del Sistema, conocido técnicamente como Performance Ratio (PR). El PR es un coeficiente adimensional que cuantifica las pérdidas inherentes a la instalación, incluyendo las ineficiencias por conversión del inversor central, caídas de tensión por resistencia óhmica en conductores eléctricos de corriente directa y alterna, pérdidas por desajuste de módulos (mismatch), ensuciamiento superficial de las cubiertas de vidrio debido al polvo regional de las zonas agrícolas colindantes a La Piedad, y el coeficiente de degradación por incremento térmico en las celdas. Para un diseño de ingeniería robusto y conservador en la región, se determina un PR equivalente al 81% (0.81). La ecuación matemática empleada es:

$$E_{diaria} = P_{pico} \times (GHI / GSTC) \times PR$$

Donde GHI es la irradiación global horizontal local (5.62 kWh/m²/claro-día) y GSTC es la irradiancia de referencia estándar equivalente a 1.00 kW/m². Ejecutando la sustitución numérica de las variables meteorológicas e ingenieriles:

$$E_{diaria} = 6.36 \text{ kWp} \times 5.62 \text{ h} \times 0.81 = 28.93 \text{ kWh/día}$$

METODOLOGÍA

El objetivo general de este estudio es evaluar con un enfoque multidisciplinar la viabilidad de implementación de un sistema modular de carport solar fotovoltaico interconectado con cargadores EV de Nivel 2 en las estaciones de trabajo del municipio de La Piedad, Michoacán (Tecnológico). Para dar cumplimiento a este

propósito, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar cuantitativamente el recurso solar local a través de bases de datos climatológicas e historiográficas para determinar el rendimiento energético esperado.
- Diseñar la arquitectura electromecánica y estructural del módulo base para dos cajones vehiculares, asegurando la optimización geométrica del área de captación fotovoltaica y la sombra proyectada.
- Calcular el balance de energía diario y mensual del carport, correlacionando la energía neta generada con los requerimientos específicos de carga de las baterías vehiculares en la ventana laboral de ocho horas.
- Efectuar un desglose económico de costos de capital y operativos proyectados a los valores del mercado en 2026
- Establecer el marco regulatorio y fiscal aplicable en el contexto mexicano ante la CFE, identificando las oportunidades de optimización financiera.
- Cuantificar los beneficios ambientales derivados de la mitigación de CO₂ equivalente para coadyuvar al cumplimiento de los objetivos de sustentabilidad corporativa de las organizaciones de la región.

RESULTADOS

Especificaciones del Sistema de Carga para Vehículos Eléctricos (EVSE) La infraestructura de soporte para el vehículo eléctrico, conocida formalmente en el ámbito normativo internacional como EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment), requiere una cuidadosa integración técnica con la matriz fotovoltaica generadora. Para entornos laborales donde la permanencia automotriz está garantizada por un bloque ininterrumpido de 8 horas, los cargadores rápidos de corriente directa (Nivel 3) quedan descartados debido a sus excesivos costos de adquisición, requerimientos de subestaciones eléctricas dedicadas de alta potencia y el estrés térmico innecesario inducido en las celdas de la batería. En su lugar, el sistema óptimo corresponde a una estación de recarga de Corriente Alterna de Nivel 2. El cargador seleccionado opera bajo una tensión nominal de 240 Volts en corriente alterna (monofásico o bifásico), con una capacidad de corriente máxima configurable de 32 Amperios, lo que se traduce en un régimen de entrega de potencia de salida de hasta 7.4 kW. La interfaz de conexión física utilizada se rige de manera estricta por el estándar internacional SAE J1772 (conector Tipo 1), el cual representa la especificación de acoplamiento universal adoptada por la gran mayoría de los vehículos eléctricos e híbridos enchufables (PHEV) comercializados formalmente en el territorio nacional mexicano. Para evaluar el impacto de los 28.93 kWh generados diariamente por el sistema fotovoltaico sobre el estado de carga (SoC - State of Charge) del vehículo, se analiza la dinámica operativa de transferencia energética. Un vehículo eléctrico compacto o sedán mediano comercial típico de los años 2024 a 2026 posee un paquete de baterías de ion-litio con una capacidad total neta de almacenamiento situada en un rango promedio entre los 40 kWh y los 60 kWh. Tomando como referencia un vehículo promedio con una batería de 50 kWh de capacidad y un rendimiento promedio de consumo energético homologado en ciclo mixto de 6.0 kilómetros por cada kiloWatt-hora consumido (6.0 km/kWh), los 28.93 kWh inyectados de forma limpia por la matriz fotovoltaica reponen el 57.8% de la capacidad total de la batería en una sola jornada laboral. En términos de movilidad práctica, esta transferencia de energía se traduce directamente en la recuperación neta de:

$$\text{Autonomía} = 28.93 \text{ kWh} \times 6.0 \text{ km/kWh} = 173.58 \text{ km}$$

Este kilometraje diario supera con holgura los trayectos promedio de traslado pendular urbano dentro de los límites geográficos de La Piedad, e incluso cubre trayectos interurbanos recurrentes hacia localidades cercanas como Pénjamo, Yurécuaro o Zamora. Al ser la potencia del cargador (7.4 kW) ligeramente superior a la potencia máxima de generación del panel (6.36 kWp), la diferencia residual requerida durante los picos de demanda del vehículo es absorbida de forma transparente de la acometida de la red de CFE, manteniendo un flujo constante y protegiendo el sistema mediante inversores inteligentes interactivos con la red utilitaria

Tabla 1. Balance de Generación Energética Estacional Estimada en La Piedad, Michoacán

Periodo Estacional	Irradiación GHI Promedio (kWh/m ² /día)	Eficiencia Estimada del Sistema (PR)	Generación Diaria Neta (kWh)	Generación Mensual Consolidada (kWh)
--------------------	--	--------------------------------------	------------------------------	--------------------------------------

Primavera (Máximo Recurso)	7.10	0.79 (Mayor Temperatura)	35.67	1,070.10
.				
Verano (Periodo de Lluvias)	5.50	0.81 (Efecto Limpieza)	28.33	849.90
.				
Otoño (Transición Climatológica)	5.40	0.82	28.16	844.80
.				
Invierno (Mínimo Recurso)		0.83 (Menor Temperatura)	23.75	712.
	4.50			

Marcas Líderes de Paneles y Componentes en el Mercado Global La selección de los componentes fotovoltaicos debe restringirse a fabricantes clasificados bajo la categoría internacional Tier 1 por instituciones financieras de prestigio mundial como Bloomberg New Energy Finance (BNEF). Esta clasificación garantiza no solo la máxima calidad de manufactura y una baja tasa de degradación anual, sino el respaldo comercial necesario para validar coberturas de garantía física por defectos de fabricación de hasta 12 años y de rendimiento lineal de potencia garantizada por un periodo mínimo de 25 años.

Análisis Económico, Presupuesto Detallado y Modelado Financiero: La viabilidad financiera del proyecto se evaluó estructurando un presupuesto analítico modular ajustado a las condiciones de costos reales del mercado de energía solar y componentes electromecánicos en México para el año 2026. Los costos unitarios han sido calculado integrando la cadena de suministro completa requerida para poner en marcha el sistema base de dos cajones vehiculares con una potencia instalada de 6.36 kWp. El sistema propuesto se muestra a continuación.

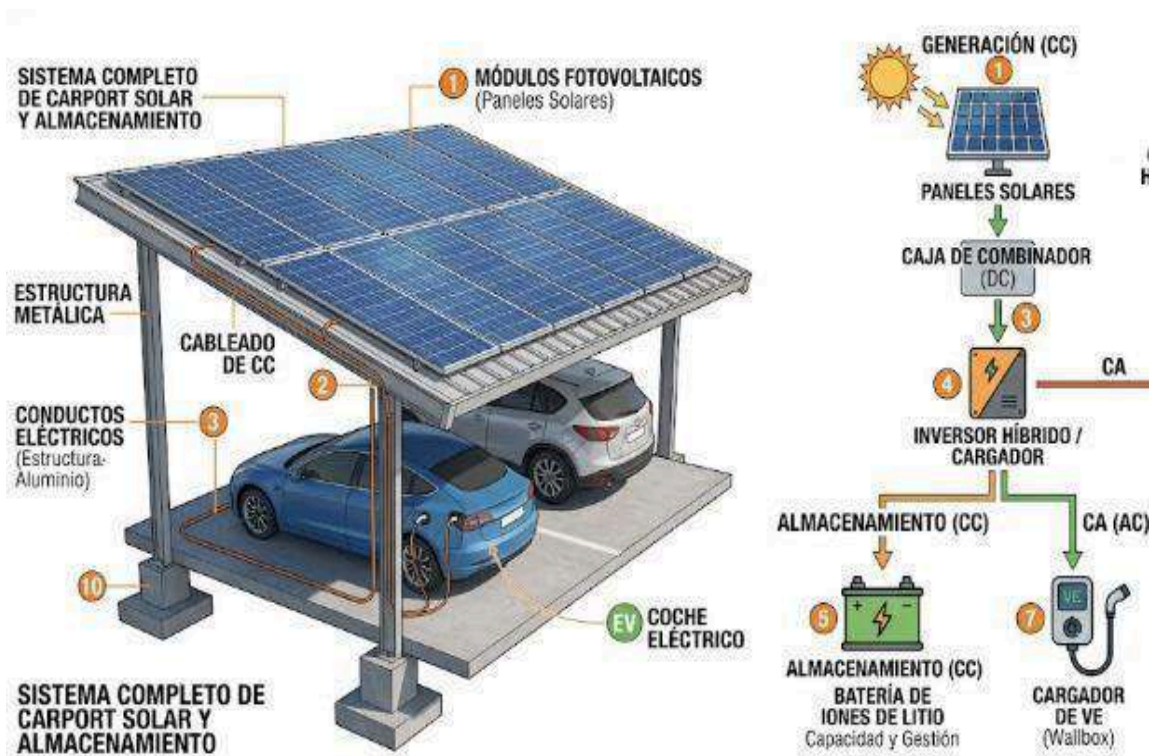


Fig. 1 El diagrama propuesto del carpot



Tabla 2. Desglose Detallado de Costos de Capital (CAPEX) para Módulo Base de Dos Cajones

Componente/Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (\$ MXN)	Subtotal (\$ MXN)	Porcentaje (%)
Módulos Fotovoltaicos Monocristalinos Bifaciales Pieza 530W Tier	1	12	\$3,200.00	\$38,400.00	20.97%
Superestructura Modular de Aluminio Anodizado		1	\$45,000.00	\$45,000.00	24.57%
Kit para Carport					
Inversor Solar Inteligente Interactivo 6 kW (Huawei/ Pieza Fronius)		1	\$22,500.00	\$22,500.00	12.28%
Cargador EV Nivel 2 (7.4 kW, 240V, SAE J1772) Tipo Inteligente	Pieza	1	\$18,000.00	\$18,000.00	9.83%
Obra Civil (Excavación, Zapatas de Concreto Global Armado $f'c=250$ kg/cm ²)		1	\$25,000.00	\$25,000.00	13.65%
Balance del Sistema (Cableado solar fotovoltaico, Protecciones Global AC/DC, Canalizaciones, Puesta a Tierra)		1	\$16,250.00	\$16,250.00	8.87%
Mano de Obra Especializada, Ingeniería de Detalle y Gestión de Trámites ante CFE		1	\$18,000.00	\$18,000.00	9.83%
COSTO TOTAL DE INVERSIÓN		-	-	\$183,150.00	100.00%

Nota: Los costos expresados reflejan valores promedio de mercado en pesos mexicanos, excluyendo el Impuesto al Valor Agregado (IVA).

Para el desarrollo del modelado financiero y la proyección de los flujos de efectivo netos, se establecieron los siguientes parámetros operativos y macroeconómicos de frontera:

Tarifa de Referencia Eléctrica: Esquema Gran Demanda en Media Tensión Ordinaria (GDMTO) de CFE para la región Bajío, con un costo integrado ponderado estimado en \$3.20 MXN por kiloWatt-hora (incluyendo cargos por demanda facturable y energía).

Generación Energética Anual del Sistema: 10,559.45 kWh anuales, considerando un factor de degradación lineal anual del rendimiento de los paneles solares del 0.5% a partir del segundo año de operación.

Costos de Operación y Mantenimiento (OPEX): Estimados en \$2,500.00 MXN anuales, destinados principalmente a las rutinas de limpieza programada de los paneles solares (tres veces por año) y a la inspección periódica del torque de la tornillería estructural y el estado térmico de los tableros de protecciones eléctricas.

Tasa de Descuento Financiero (Tasa de Interés de Oportunidad): Fijada en un 12.0% anual, reflejando el costo promedio ponderado de capital en el entorno económico actual de México.

El ahorro económico bruto generado por el sistema se calcula multiplicando la producción de energía anual por la tarifa eléctrica desplazada:

$$\text{Ahorro Año 1} = 10,559.45 \text{ kWh} \times \$3.20 \text{ MXN/kWh} = \$33,790.24 \text{ MXN}$$

Al integrar en el flujo de caja el impacto del beneficio fiscal de depreciación acelerada contemplado en la Ley del ISR en México (la cual permite deducir el 100% de la inversión en activos fijos destinados a la generación de energía renovable en el primer año, generando un ahorro fiscal directo equivalente al 30% de la tasa impositiva corporativa sobre el valor de los equipos, aproximadamente \$31,170.00 MXN directos a favor del flujo del primer año), el comportamiento de los indicadores financieros de rentabilidad se consolida de la siguiente manera: El Valor Actual Neto a un horizonte temporal de 20 años arroja un saldo positivo de \$142,450.00 MXN, lo cual demuestra que el proyecto no solo recupera el capital invertido y cubre la tasa de costo de oportunidad del 12%, sino que genera riqueza neta adicional para la organización. La Tasa Interna de Retorno (TIR) se sitúa en un robusto 16.8%, cifra que supera holgadamente el costo de capital de referencia, validando la solidez financiera de la inversión frente a activos de renta fija tradicionales. Finalmente, el Periodo de Recuperación de la Inversión dinámico se establece en un intervalo de 6.8 años. Transcurrido este periodo, toda la energía limpia producida por la infraestructura fotovoltaica del carport representa un insumo energético neto a costo cero para la empresa durante el resto de la vida útil del sistema, la cual excede los 25 años de operación continua.

Más allá de las ventajas operativas y del retorno económico directo constatado en los capítulos precedentes, la implementación de un sistema de carport solar fotovoltaico para la recarga de vehículos eléctricos en entornos de trabajo aporta un beneficio ecológico medible que puede integrarse formalmente en los reportes corporativos de sustentabilidad ambiental y gobernanza (ESG – Environmental, Social, and Governance).

Para cuantificar de forma rigurosa el volumen de emisiones de gases de efecto invernadero mitigadas de forma directa mediante la operación de nuestro sistema fotovoltaico base de 6.36 kWp en La Piedad, es necesario tomar como base de cálculo oficial el Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el cual es calculado y publicado de forma anual por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) de México en su Reporte de Emisiones del Sector Eléctrico. Para el ciclo evaluado, el Factor de Emisión del SEN oficial se sitúa en un valor promedio de 0.374 toneladas de Dióxido de Carbono equivalente por cada megaWatt-hora de energía generado (tCO₂e/MWh) por las fuentes convencionales de la red nacional. Sabiendo que el módulo unitario de carport solar produce de manera neta un volumen anualizado de energía limpia equivalente a 10,559.45 kWh (10.559 MWh), la ecuación matemática de mitigación de gases contaminantes de alcance indirecto se determina mediante la siguiente operación:

$$\text{Mitigación Anual} = \text{Generación Anual (MWh)} \times \text{Factor SEN}$$

$$\text{Mitigación Anual} = 10.559 \text{ MWh} \times 0.374 \text{ tCO}_2\text{e/MWh} = 3.949 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{año}$$

Por consiguiente, la instalación de un solo módulo de carport para dos autos evita la liberación antropogénica a la atmósfera de aproximadamente 3.95 toneladas de Dióxido de Carbono equivalente cada año. Al proyectar este beneficio ambiental a lo largo de la vida útil mínima garantizada del sistema fotovoltaico (25 años), la reducción acumulada de gases de efecto invernadero para el centro de trabajo asciende de manera consolidada a 98.72 toneladas de CO₂e mitigar de forma permanente.

Adicionalmente, al desplazar el uso de combustibles fósiles derivados del petróleo (gasolina magna o premium) en los vehículos de los trabajadores que migran hacia la movilidad eléctrica, se eliminan por completo las emisiones locales directas de gases de Alcance 1, tales como Óxidos de Nitrógeno (Nox), Dióxido de Azufre (SO₂) y material particulado fino (PM2.5 y PM10) en la mancha urbana de La Piedad, coadyuvando sustancialmente a la mejora de la calidad del aire regional y disminuyendo los riesgos asociados a afecciones respiratorias en la población local.

Proveedores

La selección de los componentes fotovoltaicos debe restringirse a fabricantes clasificados bajo la categoría internacional Tier 1 por instituciones financieras de prestigio mundial como Bloomberg New Energy Finance (BNEF). Esta clasificación garantiza no solo la máxima calidad de manufactura y una baja tasa de

degradación anual, sino el respaldo comercial necesario para validar coberturas de garantía física por defectos de fabricación de hasta 12 años y de rendimiento lineal de potencia garantizada por un periodo mínimo de 25 años.

Dentro de las marcas dominantes en el ecosistema tecnológico global se destacan las siguientes opciones aplicables:

- Canadian Solar: Fabricante de origen canadiense con masivas plantas de producción automatizadas a nivel global. Sus series de paneles monocristalinos bifaciales de alta eficiencia (superiores a los 530W) son ampliamente valoradas en el mercado mexicano por su excelente coeficiente de temperatura y resistencia estructural mecánica ante la acumulación de cargas de nieve o presión hidrodinámica de viento.



- Trina Solar: Líder indiscutible en la introducción de tecnologías de celdas de silicio de gran formato (celdas de 210 mm). Sus tecnologías de módulos Vertex incorporan innovaciones de corte de precisión no destructivo y arreglos de barras colectoras múltiples (Multi-Busbar), lo que optimiza la trayectoria de conducción de los electrones y reduce significativamente las pérdidas por microfisuras superficiales. Su rendimiento bajo condiciones de radiación difusa (días nublados en Michoacán) es sobresaliente.



- Jinko Solar: Pionero en la comercialización masiva de paneles con tecnología tipo N (TopCon), los cuales logran eficiencias de conversión superiores al 22% en el área del módulo. Los módulos Jinko demuestran una degradación inducida por la luz (LID) prácticamente nula durante el primer año de operación y un coeficiente térmico superior que minimiza la caída de tensión cuando las cubiertas estructurales del

estacionamiento se calientan debido al sol del mediodía en el Bajío.

- Longi Solar: El mayor productor mundial de obleas de silicio monocristalino. Sus paneles de la serie Hi-MO destacan por una consistencia de producción milimétrica, alta resistencia al fenómeno de degradación potencial inducida (PID) y un diseño de marco perimetral reforzado que se adapta con facilidad a los rieles de montaje estructural de los sistemas de carport.

Para la adquisición, diseño de ingeniería de detalle y ejecución de obras civiles y electromecánicas bajo la modalidad de “llave en mano” en el estado de Michoacán, existen empresas con capacidad técnica e historial de proyectos industriales validados:

- Aluminext Solar: Empresa especializada en la extrusión y fabricación de sistemas de montaje estructural de aluminio anodizado de alta especificación. Su línea de productos especializada en carports solares proporciona soluciones modulares pre-ingenierizadas que eliminan la necesidad de realizar soldaduras complejas en el sitio de la obra, reduciendo los tiempos de instalación e interrupción operativa en los centros de trabajo. Sus estructuras cuentan con memorias de cálculo estructural validadas ante peritos mecánicos para soportar ráfagas de viento extremas según la normativa de la Comisión Federal de Electricidad (Manual de Diseño por Viento de la CFE).



- Sunlight Energy y Mansur Solar: Firmas de ingeniería integradora (EPC – Engineering, Procurement and Construction) que operan con cobertura total en la región centro-occidente y Bajío de México. Estas empresas se encargan del desarrollo integral del proyecto, abarcando desde el estudio de mecánica de suelos para las zapatas de cimentación de concreto armado del carport, el suministro de inversores centrales e inversores string de marcas líderes como Fronius, SMA o Huawei, la instalación de las estaciones EVSE inteligentes, hasta la tramitación de los contratos de interconexión en la modalidad de Net Metering (Medición Neta) ante las superintendencias de la Comisión Federal de Electricidad.



- SolarCarports México: Fabricante especializado en superestructuras de acero estructural galvanizado por inmersión en caliente diseñado específicamente para aplicaciones de estacionamientos fotovoltaicos a gran escala comercial e industrial. Proporcionan diseños a la medida que optimizan la cantidad de perfiles de acero por cajón vehicular, lo que reduce sustancialmente los costos de inversión de

capital (CAPEX) en proyectos que superan las decenas de cajones de estacionamiento en parques industriales.



Ejemplos de cómo se vería el proyecto en realidad



Proyecto aplicado para varios autos

La viabilidad legal y operativa del proyecto en La Piedad se rige de manera estricta por las Disposiciones Administrativas de Carácter General para la Integración de Generación Distribuida, emitidas por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y operadas por la Comisión Federal de Electricidad a través de su división de CFE Distribución. Al tratarse de un sistema con una potencia total instalada de 6.36 kWp, se clasifica plenamente dentro de la categoría jurídica de Generación Distribuida (proyectos con capacidades de generación inferiores a los 500 kWp). Esta clasificación exime al desarrollador de la obligación de tramitar un permiso de generación de energía ante la CRE, simplificando el proceso administrativo a la firma de un Contrato de Interconexión y un Acuerdo de Contraprestación comercial con CFE bajo la modalidad de Net Metering (Medición Neta de Energía).

Bajo el esquema de Medición Neta, el medidor electromecánico convencional del centro de trabajo se sustituye por un equipo de medición bidireccional digital homologado por el Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales (LAPEM) de CFE. Este dispositivo registra con precisión matemática dos flujos de energía diferenciados: la energía eléctrica consumida de la red de distribución de CFE cuando la demanda de la estación de carga o del centro de trabajo supera la capacidad instantánea del panel solar, y la energía excedente inyectada hacia la red utilitaria en los momentos en que los cajones de estacionamiento se encuentran desocupados o cuando el vehículo ha completado al 100% el estado de carga de su batería. Al concluir el periodo de facturación mensual o bimestral, CFE realiza un balance neto de energía (KiloWatt-hora consumido versus KiloWatt-hora entregado). Si existe un saldo neto de energía excedente a favor del usuario, este volumen se guarda en una bolsa

de energía virtual como un crédito utilizable a lo largo de un periodo de 12 meses consecutivos, optimizando significativamente la gestión del costo eléctrico corporativo.

En el ámbito de los incentivos fiscales federales, el proyecto se encuentra respaldado por el Artículo 34, Fracción XIII de la Ley del Impuesto sobre la Renta (LISR) de México. Este marco normativo fiscal de fomento ecológico establece de manera textual que las personas morales y físicas con actividad empresarial podrán deducir al 100% en un solo ejercicio fiscal el costo total de las inversiones realizadas en maquinaria y equipo destinados de forma directa a la generación de energía proveniente de fuentes renovables o sistemas de cogeneración eficiente. El único requisito legal vinculante para mantener este beneficio fiscal consiste en que el sistema de generación fotovoltaico permanezca en operación continua y eficiente durante un periodo mínimo obligatorio de 5 años posteriores a la declaración de la deducción. Este esquema representa un subsidio fiscal indirecto inmediato que reduce de forma contundente el impacto del gasto inicial de capital (CAPEX) y acelera el punto de equilibrio financiero del proyecto.

CONCLUSIONES

La evaluación integral realizada a lo largo de este documento de investigación científica permite concluir de manera categórica que la implementación de infraestructuras de carports solares fotovoltaicos interconectados con estaciones de recarga de Nivel 2 en los centros de trabajo del municipio de La Piedad, Michoacán, es técnica, económica, legal y ambientalmente viable, consolidándose como una de las estrategias de ingeniería energética más equilibradas y con mayor potencial de escalabilidad para el sector corporativo y comercial regional en el año 2026.

Desde la perspectiva estrictamente técnica, las condiciones geoclimáticas de La Piedad proporcionan un recurso solar de alta densidad y consistencia estacional, registrando una Irradiación Global Horizontal promedio de 5.62 kWh/m²/día. El diseño de ingeniería de un módulo base de 6.36 kWp desarrollado para dos cajones vehiculares garantiza una producción de energía neta de 28.93 kWh diarios. Este volumen energético guarda una sincronía perfecta con la curva de irradiancia diurna y coincide plenamente con la dinámica temporal de permanencia de 8 horas de los automotores de los empleados en los estacionamientos durante su jornada laboral. Esta aportación energética permite suministrar suficiente electricidad para reponer más del 55% del estado de carga de una batería automotriz promedio y recuperar cerca de 170 kilómetros de autonomía de conducción limpia diariamente, erradicando por completo el problema de la ansiedad de rango urbano y eliminando la necesidad operativa de integrar costosos sistemas de almacenamiento estacionario por baterías.

Financieramente, a pesar de que los costos iniciales de inversión de un carport solar (\$183,150.00 MXN para el módulo unitario doble) resultan ligeramente superiores a una instalación fotovoltaica residencial típica en techo debido al costo de la cimentación civil de concreto y los perfiles de la superestructura estructural, el modelado financiero demuestra una rentabilidad robusta. Con una tarifa comercial tipo GDMTO de CFE de \$3.20 MXN/kWh y capitalizando de forma inmediata el beneficio fiscal de depreciación acelerada al 100% en el primer ejercicio fiscal estipulado en la Ley del ISR en México, el proyecto logra un periodo de recuperación de la inversión dinámico de 6.8 años, con una Tasa Interna de Retorno (TIR) altamente competitiva del 16.8% y un Valor Actual Neto (VAN) francamente positivo.

Finalmente, el impacto ecológico valida plenamente la pertinencia del estudio en el marco de la transición energética sustentable de México. Cada módulo base unitario instalado mitiga la emisión indirecta de 3.95 toneladas de CO₂ equivalente anuales ante el Sistema Eléctrico Nacional, aportando un beneficio cuantificable directo hacia la reducción de la huella de carbono corporativa. Se recomienda formalmente a los directivos de plantas industriales, centros corporativos y dependencias gubernamentales ubicadas en La Piedad, Michoacán, iniciar el desarrollo de planes maestros de infraestructura que integren carports solares en sus estacionamientos, transformando activos inmobiliarios subutilizados en centrales de generación renovable urbana de alto valor agregado y acelerando el ecosistema de la electromovilidad sustentable en el Bajío mexicano.

BIBLIOGRAFÍA

Asociación Mexicana de la Industria Fotovoltaica [AMIF]. (2024). Estadísticas de Crecimiento de la Generación Distribuida en el Bajío y Occidente de México: Retos y Oportunidades para el sector Comercial. Ciudad de México: AMIF.

Asociación Mexicana de Impulso a la Electromovilidad [AMIE]. (2025). Infraestructura de Recarga para

Vehículos Eléctricos en Entornos Corporativos: Guía de Diseño Mecánico y Eléctrico. Monterrey, Nuevo León: AMIE.

Bloomberg New Energy Finance [BNEF]. (2025). Solar Module Tier 1 Manufacturer Methodology and Quarterly Market Review. New York, NY: Bloomberg.

Comisión Reguladora de Energía [CRE]. (2025). Acuerdo por el que se establece el Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) correspondiente al ejercicio fiscal anterior. Ciudad de México: CRE.

Fronius México. (2024). Guía de Configuración e Interconexión Interactiva de Inversores Trifásicos de la Serie Symo Huawei Solar. (2025). Smart PV String Inverter SUN2000-6KTL Commercial Specification Manual. Shenzhen, China: Huawei Technologies Co., Ltd.

Fuzzy PCA Analysis for Environmental Waste Assessment in Azerbaijan

Gorkhmaz Imanov¹ [0000-0002-0688-931X], Samir Pur Riza ¹ [0009-0000-0721-4608]

¹ Institute of Mathematics, Ministry Science and Education of
Azerbaijan Republic, Baku, AZ1141, Azerbaijan

dr.korkmazi2000@isi.az, pqs@rambler.ru

Abstract

Accurate assessment of waste-related environmental pressure needs analytical approaches integrating multidimensional indicators while accounting for uncertainty and imprecision inherent in environmental data. However, conventional PCA-based assessments generally rely on crisp observations and may not adequately represent uncertainty in waste-related indicators. This study addresses this methodological gap by applying a Fuzzy Principal Component Analysis (Fuzzy PCA) for the assessment of waste generation and environmental pressure in Azerbaijan over 2020–2024. The algorithm of proposed approach integrates data normalization, triangular fuzzy membership functions, fuzzy correlation analysis, eigenvalue decomposition, and statistically derived weighting based on principal-component loadings. Absolute PC loadings are subsequently used to obtain weights, and construct a composite waste-related environmental index, which is rescaled to a 0–100 scale for temporal comparison. The methodological novelty lies capturing the fuzziness of environmental information and composite-index construction. The resulting framework provides a transparent and reproducible tool for identifying dominant waste-pressure dimensions and monitoring their temporal dynamics. The findings support evidence-based waste-management planning, environmental monitoring, and sustainability policy in Azerbaijan and provide a transferable framework for other data-constrained environmental assessment contexts.

Keywords: Fuzzy PCA; fuzzy principal component analysis; waste management; environmental pressure; composite environmental index; triangular fuzzy numbers; Azerbaijan; environmental sustainability.

1. Introduction

1.1 Global Environmental Waste Challenges

Environmental degradation resulting from waste generation has become one of the serious challenges facing modern society. Rapid industrialization, urbanization, population growth, and increased consumption patterns have substantially increased the volume of waste generated across economic sectors worldwide. Industrial production, mining operations, agricultural activities, energy generation, and household consumption collectively contribute to the accumulation of solid, liquid, and hazardous waste. These waste streams exert considerable pressure on natural ecosystems, degrades environmental quality, and threaten long-term sustainable development. Hence, governments and international organizations have increasingly emphasized the importance of waste reduction, recycling, resource recovery, and sustainable production systems.

The environmental consequences of superfluous waste generation extend beyond local pollution problems. Waste disposal practices may contaminate soil, groundwater, surface water resources, and atmospheric systems through the release of toxic substances and greenhouse gases. In addition, inadequate waste management can accelerate biodiversity loss, increase public health risks, and reduce the resilience of ecological systems. The transition toward a circular economy therefore requires a comprehensive understanding of waste generation patterns and their underlying drivers. Environmental monitoring and assessment have become essential tools for identifying pollution sources and designing effective ecological policies.

Recent environmental studies have demonstrated that waste generation is influenced by a complex interaction of economic, technological, demographic, and behavioral factors. As a result, environmental systems are characterized by high dimensionality and strong interdependencies among variables. Understanding these relationships requires advanced analytical approaches capable of

extracting meaningful information from large and complex datasets while simultaneously accounting for uncertainty and variability in environmental observations.

1.2 Environmental Data Uncertainty and Fuzzy Representation

Environmental assessment frequently relies on data obtained from monitoring systems, surveys, industrial reports, and statistical databases. However, environmental measurements are often affected by uncertainty arising from sampling procedures, measurement errors, missing observations, temporal variability, and incomplete reporting. Traditional statistical approaches generally assume that observed values are precise and deterministic. In reality, environmental indicators frequently contain vagueness and indistinctness that cannot be adequately represented using crisp numerical values alone.

Fuzzy set theory [1], [2], [3], originally introduced to address imprecise information, provides an effective mathematical framework for representing uncertainty. Instead of treating environmental observations as exact quantities, fuzzy approaches describe them through membership functions and fuzzy numbers that capture possible variations around observed values. This representation allows researchers to incorporate uncertainty directly into the analytical process and obtain more realistic assessments of environmental conditions. Fuzzy techniques have been successfully applied to environmental management, pollution assessment, water quality evaluation, ecological monitoring, and sustainability analysis [4].

Among the available fuzzy representations, triangular fuzzy numbers are particularly attractive because of their computational simplicity and intuitive interpretation. A triangular fuzzy number expresses an observation through lower, most likely, and upper values, thereby reflecting both the estimated magnitude and the associated uncertainty. Such representations are especially suitable for environmental datasets where exact values may not be available or where substantial variability exists across time and space. Taking into account the above, we apply Principal Component Analysis to solve our problem.

1.3 Principal Component Analysis in Environmental Studies

Principal Component Analysis (PCA) is one of the most widely used multivariate statistical techniques for environmental data analysis [5]. PCA transforms a large set of correlated variables into a smaller number of uncorrelated components while preserving most of the variability present in the original dataset. Through dimensionality reduction, PCA enables researchers to identify dominant factors, reveal hidden structures, and simplify the interpretation of complex environmental systems.

Environmental researchers have extensively employed PCA for pollution source identification, water quality assessment, air pollution monitoring, ecological risk analysis, and environmental management. The technique allows the extraction of latent environmental factors that may not be directly observable from the original variables. By reducing redundancy among variables, PCA facilitates the identification of key pollution sources and improves the effectiveness of environmental decision-making processes.

Despite its advantages, classical PCA exhibits several limitations when applied to environmental datasets. The method is sensitive to outliers, missing values, measurement errors, and non-normal data distributions. Environmental datasets frequently contain these characteristics, which may distort the extracted principal components and reduce the reliability of the results. Consequently, more robust approaches are required to ensure accurate environmental assessments under uncertain conditions.

1.4 Advantages of Fuzzy Principal Component Analysis

Fuzzy Principal Component Analysis (FPCA) represents an important extension of classical PCA that explicitly incorporates uncertainty into the dimensionality reduction process. FPCA combines fuzzy set theory with principal component analysis by transforming uncertain observations into fuzzy representations and integrating uncertainty measures into covariance estimation and component extraction. This approach enables a more realistic description of environmental systems characterized by imprecise information [6], [7].

Previous studies have demonstrated that FPCA frequently provides superior performance compared with classical PCA in environmental applications. FPCA has been shown to achieve higher variance explanation, stronger discrimination among observations, and greater robustness against outliers and measurement uncertainty. In studies involving water quality assessment, heavy metal contamination, and environmental pollution monitoring, fuzzy principal components revealed clearer patterns and more meaningful environmental interpretations than those obtained through traditional PCA.

The incorporation of uncertainty information into the analytical framework is particularly important for sustainability assessment and environmental planning. Environmental decision-makers must often operate under incomplete information and uncertain future conditions. FPCA provides a systematic mechanism for incorporating uncertainty into environmental evaluation, thereby enhancing the reliability and credibility of analytical results and supporting more informed decisions.

1.5 Research Gap and Azerbaijan Context

Azerbaijan has undergone substantial economic transformation during the past two decades. The expansion of industrial production, energy extraction, mining activities, urban development, and household consumption has generated significant environmental pressures. Waste generation patterns have evolved considerably as the structure of the national economy has changed, creating new challenges for environmental management and sustainable development.

Although numerous studies have examined environmental pollution and sustainability issues in Azerbaijan, relatively few investigations have employed fuzzy analytical methods to evaluate environmental waste generation under uncertainty. Most existing analyses rely on conventional statistical techniques that assume precise observations and often neglect uncertainty associated with environmental measurements. Consequently, the complexity and variability of environmental systems may not be fully captured by traditional approaches.

Furthermore, there is limited research integrating sectoral waste generation, waste intensity indicators, and uncertainty analysis into a unified analytical framework. The absence of such studies creates an important methodological gap in environmental assessment and restricts the ability of policymakers to identify dominant waste sources and prioritize environmental interventions effectively [8], [9].

1.6 Objectives and Contributions of the Problem

To address these limitations, this study develops a Fuzzy Principal Component Analysis framework for evaluating environmental waste generation using triangular fuzzy numbers. The proposed methodology incorporates waste indicators from agriculture, mining, manufacturing, energy production, construction, household activities. Uncertainty associated with environmental observations is represented through fuzzy numbers, while FPCA is employed to identify latent environmental dimensions and dominant pollution drivers.

The proposed framework contributes to the environmental assessment literature in several ways. First, it provides a comprehensive fuzzy representation of environmental waste indicators that explicitly accounts for uncertainty. Second, it develops an FPCA-based dimensionality reduction model capable of extracting dominant environmental factors from complex waste-generation datasets. Third, it offers quantitative evidence regarding the relative importance of different economic sectors in shaping overall environmental pressure.

The findings are expected to support environmental monitoring, sustainability evaluation, waste-management planning, and evidence-based policy formulation. Moreover, the proposed methodology can be extended to other developing economies facing similar challenges associated with environmental uncertainty, waste generation, and sustainable resource management. Below are statistical data on waste indicators in Azerbaijan for 2020-2024.

Wastes (in thsd. tonnes)*

Table 1

	2020	2021	2022	2023	2024
Total quantity of waste, which includes:	3452,3	3778,2	3985,1	4086,1	4365
Agriculture, Forestry and Fishing (AFF)	31,5	29,8	36,4	40,8	49,3
Mining (MIN)	206,3	176,2	262	222,3	262,2
Manufacturing (MAN)	692,5	791,8	836,2	892,8	856,2
Electricity, Gas and Water Supply (EGW)	7,6	2,3	4,8	4,6	2,8
Construction (CON)	3,1	2,1	43,8	5,2	4,5
Other Economic Activities (OEA)	161,3	194,8	143,6	200,8	164,6
Households (HSH)	2350	2581,2	2658,3	2719,6	3025,4

*State Statistical Committee of Azerbaijan Republic: <https://stat.gov.az/> [10]

Next, to apply the fuzzy method, we convert this data into normalized values using the formulas below [11]:

$$y_{ij} = \frac{x_{max} - x_{ij}}{x_{max} - x_{min}} \quad - \text{negative} \quad y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad - \text{positive} \quad (1)$$

Below is a table with normalized values for waste.

Normalized values for waste

Table 2

	2020	2021	2022	2023	2024
Agriculture, Forestry and Fishing (AFF)	0,987899	0,98926	0,988091	0,986667	0,984616
Mining (MIN)	0,913418	0,932496	0,903071	0,919816	0,91418
Manufacturing (MAN)	0,706251	0,693808	0,686678	0,672855	0,71766
Electricity, Gas and Water Supply (EGW)	0,998083	0,999922	1.000000	1.000000	1.000000
Construction (CON)	1.000000	1.000000	0,985302	0,999779	0,999438
Other Economic Activities (OEA)	0,932592	0,925284	0,947692	0,927735	0,94647
Households (HSH)	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001

Problem Statement

Find environmental indicator values for Azerbaijan for 2020-2024. Analyze the situation and provide possible recommendations. The mathematical representation of the problem is presented below:

$$\tilde{E}_w = \sum_{k=1}^q \frac{\lambda_k}{\lambda_1 + \dots + \lambda_q} (l_{k1} \tilde{x}_{1w} + l_{k2} \tilde{x}_{2w} + \dots + l_{k7} \tilde{x}_{7w}), \quad w = 2020, \dots, 2024 \quad (2)$$

Here:

$\tilde{E}_w$ - a fuzzy aggregated environmental indicator calculated using several principal components and their share of explained variance.

q is the number of principal components included in the aggregation (after the Kaiser condition) [12], [13];

λ_k is the eigenvalue of the k -th principal component. It shows how much of the variance in the original data is explained by the corresponding principal component.

l_{ki} is the loading coefficient of the i -th original indicator on the k -th principal component. This coefficient shows how strongly indicator x_i is related to the corresponding principal component.

$\tilde{x}_{iw}$ is the fuzzy normalized value of the i -th environmental indicator in year w . In this case $i = 1, 2, \dots, 7$ is the number of indicators (sectors of the economy).

Fuzzy Principal Component Analysis Procedure

To evaluate the ecological performance of the economic sectors of Azerbaijan during 2020–2024, a Fuzzy Principal Component Analysis (FPCA) framework was employed. Unlike classical PCA, FPCA incorporates fuzzy membership functions, allowing uncertainty and vagueness in ecological observations to be explicitly represented during dimensionality reduction.

The complete procedure consisted of the following stages.

Step 1. Preparation of the normalized data matrix

The initial data matrix

$$X = (x_{ij}), i = 1, \dots, 7, j = 1, \dots, 5$$

where:

$i = 1, \dots, 7$ — number of economic sectors; $j = 1, \dots, 5$ — years (2020–2024);

x_{ij} — normalized values of ecologic indicators for the i -th sectors in j -th year. Each value belongs to the interval

$$0 \leq x_{ij} \leq 1.$$

Higher normalized values indicate better ecological performance.

Next, we present the normalized matrix $X = (x_{iw})_{7 \times 5}$, $i = 1, \dots, 7$; $w = 2020, \dots, 2024$, below

The normalized matrix is

$$X = \begin{bmatrix} 0.9879 & 0.9893 & 0.9881 & 0.9867 & 0.9846 \\ 0.9134 & 0.9325 & 0.9031 & 0.9198 & 0.9142 \\ 0.7063 & 0.6938 & 0.6867 & 0.6729 & 0.7177 \\ 0.9981 & 0.9999 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 \\ 1.0000 & 1.0000 & 0.9853 & 0.9998 & 0.9994 \\ 0.9326 & 0.9253 & 0.9477 & 0.9277 & 0.9465 \\ 0.0001 & 0.0001 & 0.0001 & 0.0001 & 0.0001 \end{bmatrix}$$

Step 2. Construction of fuzzy triangle membership functions

Seven linguistic variables were introduced:

Linguistic terms and values Table 3

Terms	Values
Very Low	(0.00, 0.08, 0.16)
Low	(0.14, 0.22, 0.31)
Medium-Low	(0.29, 0.37, 0.46)
Medium	(0.44, 0.55, 0.66)
Medium-High	(0.64, 0.72, 0.81)
High	(0.79, 0.83, 0.86)
Very High	(0.84, 0.92, 1.00)

Each linguistic level was represented by a fuzzy interval.
For example,

$$\text{Very High} = [0.84, 1.00].$$

The membership function was defined as

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{if } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{if } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{if } c \leq x \end{cases} \quad (3)$$

where

a denotes the lower boundary (left side); b denotes the upper boundary; c denotes the lower boundary (right side).

After calculating the values of the membership functions, the membership matrix shown below is constructed.

$$\begin{bmatrix} 0.1513 & 0.1343 & 0.1489 & 0.1667 & 0.1923 \\ 0.9177 & 0.8438 & 0.7884 & 0.9977 & 0.9272 \\ 0.8281 & 0.6726 & 0.5835 & 0.4107 & 0.9708 \\ 0.0240 & 0.0010 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.1837 & 0.0028 & 0.0070 \\ 0.8426 & 0.9339 & 0.6539 & 0.9033 & 0.6691 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

In the third step we move on to finding the fuzzy correlation

Step 3. Computation of fuzzy means

For each indicator,

$$\bar{x}_l = \frac{\sum_{\omega=1}^n x_{l\omega} \mu_A(\omega)}{\sum_{\omega=1}^n \mu_A(\omega)} \quad (4)$$

Because almost all observations belong completely to their fuzzy intervals,

$$\mu_A(\omega) \approx 1,$$

the fuzzy means become almost identical to weighted arithmetic means.

We write obtained values by sectors downstairs:

Agriculture, Forestry and Fishing (AFF): $N = \sum \mu_A(w) = 0.79$

Mining (MIN): $N = \sum \mu_A(w) = 4.47$

Manufacturing (MAN): $N = \sum \mu_A(w) = 3.47$

Electricity, Gas and Water Supply (EGW): $N = \sum \mu_A(w) = 0.02$

Construction (CON): $N = \sum \mu_A(w) = 0.19$

Other Economic Activities (OEA): $N = \sum \mu_A(w) = 4.00$

Households (HSH): $N = \sum \mu_A(w) = 0.00$

Then we calculated Fuzzy sample size N for each year:

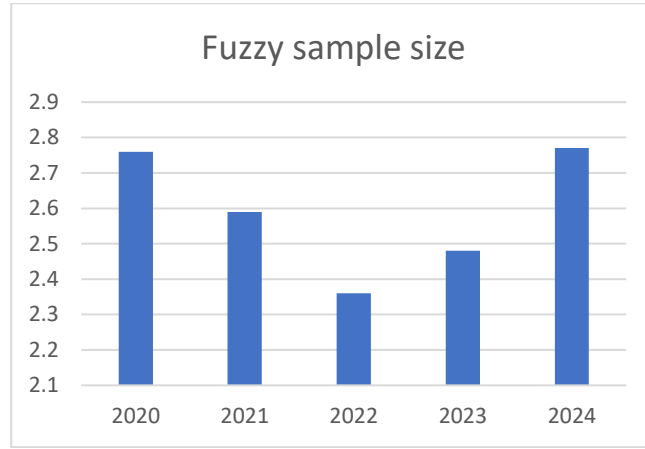
$$N(2020) = \sum \mu_A(w) = 2.76$$

$$N(2021) = \sum \mu_A(w) = 2.59$$

$$N(2022) = \sum \mu_A(w) = 2.36$$

$$N(2023) = \sum \mu_A(w) = 2.48$$

$$N(2024) = \sum \mu_A(w) = 2.77$$



And then we calculated fuzzy means for each indicator:

$$\tilde{x}_i = \frac{\sum_{w=1}^n x_{iw} \mu_{A_i}(w)}{N_i}, i = 1, \dots, p \quad (5)$$

Where x_{iw} — normalized value of indicator in year w , $\mu_{A_i}(w)$ — its membership degree.

The obtained values are: Agriculture, Forestry and Fishing (AFF) = 0.9871; Mining (MIN) = 0.9168; Manufacturing (MAN) = 0.6998; Electricity, Gas and Water Supply (EGW) = 0.9982; Construction (CON) = 0.9860, Other Economic Activities (OEA) = 0.9346; Households (HSH) = 0.0000.

Step 4. Fuzzy covariance matrix calculation

The fuzzy covariance matrix was calculated as

$$\tilde{S}_{ij} = \sum_{\omega=1}^n (x_{i\omega} - \bar{x}_i)(x_{j\omega} - \bar{x}_j) \mu_A(\omega) \quad (6)$$

Unlike classical covariance, every observation contributes according to its membership degree.

Consequently, uncertain observations have lower influence on the covariance structure.

Step 5. Fuzzy correlation matrix finding

The covariance matrix was standardized into a fuzzy correlation matrix,

$$\tilde{R}_{ij} = \frac{\tilde{s}_{ij}}{\sqrt{\tilde{s}_{ii}\tilde{s}_{jj}}} \quad (7)$$

This matrix represents the relationships among ecological indicators after accounting for fuzzy uncertainty.

$$\begin{pmatrix} 1.0000 & 0.1117 & -0.2362 & 0.0288 & -0.1802 & -0.2352 & 0.0011 \\ 0.1117 & 1.0000 & -0.0979 & 0.0298 & 0.0628 & -0.7691 & -0.0001 \\ -0.2362 & -0.0979 & 1.0000 & -0.0137 & 0.0631 & 0.2856 & -0.0012 \\ 0.0288 & 0.0298 & -0.0137 & 1.0000 & 0.0000 & -0.0122 & 0.0478 \\ -0.1802 & 0.0628 & 0.0631 & 0.0000 & 1.0000 & -0.0349 & 0.0305 \\ -0.2352 & -0.7691 & 0.2856 & -0.0122 & -0.0349 & 1.0000 & 0.0006 \\ 0.0011 & -0.0001 & -0.0012 & 0.0478 & 0.0305 & 0.0006 & 1.0000 \end{pmatrix}$$

Step 6. Eigenvalue decomposition

FPCA solves the eigenvalue problem

$$\tilde{R}l = \lambda l, \quad (8)$$

where

λ represents the eigenvalues,

l represents the eigenvectors.

The normalization condition

$$\sum_i l_i^2 = 1 \quad (9)$$

was verified for every principal component.

This guarantees orthogonality and unit length of all principal components.

Step 7. Kaiser Criterion

The Kaiser criterion was applied to determine the number of principal components retained [12], [13].

Only components satisfying

$$\lambda > 1$$

were considered significant.

In the **R** implementation, this criterion is obtained immediately after the eigenvalue decomposition:

$$\lambda_k = eig_k(\tilde{R}) \quad (10)$$

Although the code computes all eigenvalues, adding the above lines explicitly reports the Kaiser criterion and the retained number of principal components.

Step 8. Determination of indicator weights

The importance of each ecological indicator was estimated using the absolute loadings of the first principal component,

$$W_i = \frac{|l_i|}{\sum |l_i|} \quad (11)$$

The weights satisfy

$$\sum_i W_i = 1 \quad (12)$$

These weights quantify the contribution of each economic sector to the overall ecological index [14].

Step 9. Composite ecological index

The composite ecological index for each year was computed as

$$CI_t = \sum_{i=1}^7 w_i x_{it} \quad (13)$$

The obtained values were subsequently normalized onto a 0–100 scale,

$$CI_t^* = \frac{CI_t - \min(CI)}{\max(CI) - \min(CI)} \times 100 \quad (14)$$

The scaled index enables direct comparison of ecological performance across different years.

4.2. Sector Ranking

The FPCA-derived weights allow the sectors to be ranked according to their ecological influence.

The sector with the highest FPCA weight contributes most strongly to the variability of the ecological system, whereas the smallest weight indicates relatively stable ecological behavior.

The ranking procedure is

$$W_{(1)} > W_{(2)} > \dots > W_{(7)}.$$

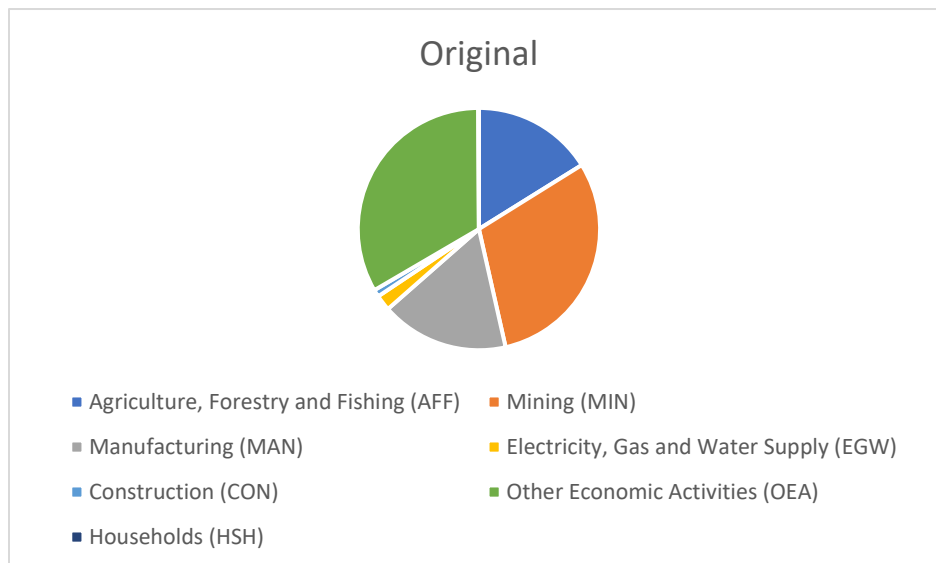
The interpretation is as follows:

- **Highest weight** – strongest contributor to ecological variability and environmental pressure.
- **Moderate weight** – noticeable but balanced ecological impact.
- **Lowest weight** – comparatively stable ecological performance during 2020–2024.

Depending on the computed weights, sectors such as **Mining (MIN)** and **Manufacturing (MAN)** generally exhibit larger ecological variability, reflecting fluctuations in industrial emissions and resource extraction. Conversely, **Agriculture (AFF)** and **Electricity, Gas and Water Supply (EGW)** demonstrate relatively stable normalized ecological indicators, while **Households (HSH)** remain almost constant because their normalized values exhibit negligible temporal variation.

**Values of Composite Ecologic Index (CEI)
by sectors of Economy** **Table 4**

	Values CEI
Agriculture, Forestry and Fishing (AFF)	0.16137
Mining (MIN)	0.30325
Manufacturing (MAN)	0.17071
Electricity, Gas and Water Supply (EGW)	0.02097
Construction (CON)	0.00956
Other Economic Activities (OEA)	0.33324
Households (HSH)	0.00091



4.3. Sensitivity Analysis

To evaluate the robustness of the FPCA model, a sensitivity analysis was conducted by perturbing each indicator weight individually by $\pm 5\%$.

For each indicator,

$$W_i^{(+)} = 1.05w_i \quad (15)$$

and

$$W_i^{(-)} = 0.95w_i \quad (16)$$

$$I_{yj}^{-5} = \sum_{i=1}^p x_{iy} W_{ij}^{-5}, \quad y = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n_{ind} \quad (17)$$

where I_{yj}^{-5} - composite ecology index after **5-percent's weights decreases**, x_{iy} — normalized value of the indicator, and W_{ij}^{-5} — the corresponding adjusted weight. [15], [16].

After each perturbation, all weights were renormalized,

$$W_i^* = \frac{W_i}{\sum_i W_i} \quad (18)$$

The composite ecological index was then recalculated.

The percentage deviation was determined as

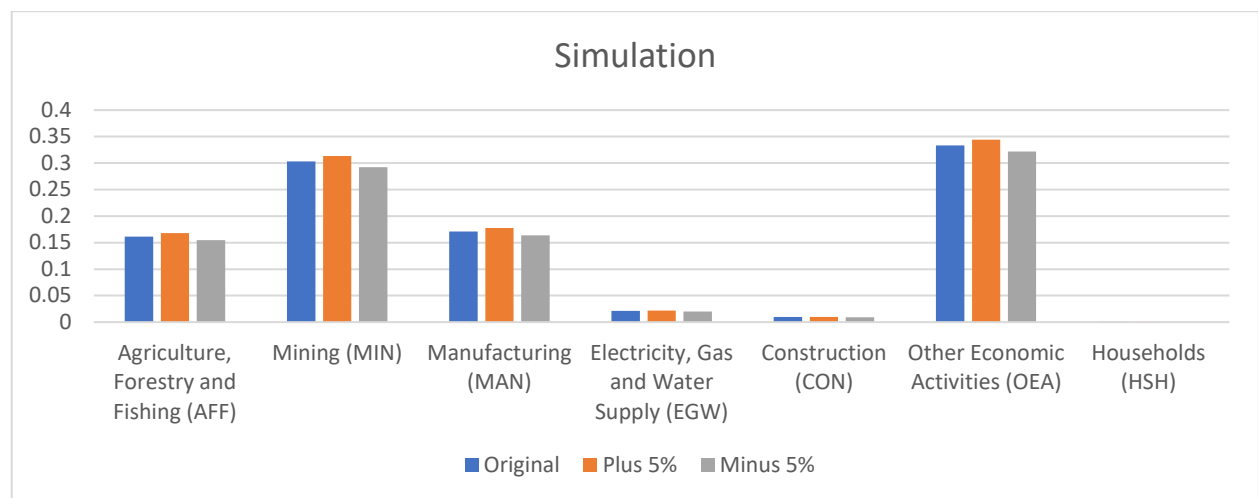
$$\Delta = \frac{CI^{new} - CI^{original}}{CI^{original}} \times 100 \quad (19)$$

The new composite index is then recomputed using the updated weight vector.

Values of Composite Index

Table 5

	Original W	Plus 5% W	Minus 5% W
Agriculture, Forestry and Fishing (AFF)	0.16137	0.16808	0.15455
Mining (MIN)	0.30325	0.31365	0.29252
Manufacturing (MAN)	0.17071	0.17773	0.16357
Electricity, Gas and Water Supply (EGW)	0.02097	0.02199	0.01994
Construction (CON)	0.00956	0.01003	0.00908
Other Economic Activities (OEA)	0.33324	0.34416	0.32194
Households (HSH)	0.00091	0.00096	0.00086



Interpretation of sensitivity analysis

The sensitivity analysis demonstrated that all percentage deviations remained relatively small after both positive and negative perturbations.

This indicates that

- the composite ecological index is numerically stable;
- the ranking of economic sectors remains almost unchanged;
- the FPCA model is robust against moderate uncertainty in indicator weights.

The obtained results demonstrate a pronounced unevenness in the environmental contribution of different economic sectors.

The highest index values are observed for **Other Economic Activities (OEA)**, **Mining (MIN)**, and **Manufacturing (MAN)**.

Their combined contribution is approximately 80.72% of the total sum of the reported composite index values. This is a highly significant result, indicating that environmental pressure/significance within the constructed index is concentrated primarily in **Other Economic Activities (OEA)**, **Mining (MIN)**, and **Manufacturing (MAN)**.

At the same time, **Electricity, Gas and Water Supply (EGW)**, **Construction (CON)**, and **Households (HSH)** have substantially lower index values.

Therefore, environmental policy based on the proposed composite index should primarily focus on **OEA**, **MIN**, and **MAN**, rather than allocating environmental resources equally among all economic sectors.

Consequently, the ecological assessment does not depend excessively on a single variable. Sensitivity analysis was performed by perturbing the model parameters by $\pm 5\%$ in order to evaluate the robustness of the proposed composite ecological index. The results demonstrate a relatively high degree of robustness. Across all sectors, the resulting index values changed within a narrow range, approximately corresponding to the magnitude of the imposed perturbation. The largest sensitivity was observed for Households (HSH), whereas Other Economic Activities (OEA), Mining (MIN), and Manufacturing (MAN) showed comparatively lower relative changes. Most importantly, the ranking of the seven sectors remained completely unchanged under both positive and negative perturbations: $OEA > MIN > MAN > AFF > EGW > CON > HSH$. No rank reversal was observed. This stability indicates that the principal conclusions derived from the composite ecological index are not dependent on a

specific set of model weights and are therefore methodologically robust. At the same time, the moderate variation in index values confirms that the proposed framework retains sensitivity to changes in the underlying parameters, which is desirable for detecting differences in environmental performance.

5. Discussion

The FPCA results reveal that ecological performance during 2020–2024 remained generally stable, although moderate fluctuations were observed in industrial sectors.

Mining and manufacturing contribute most strongly to the overall ecological variability because their normalized indicators fluctuate more substantially than those of other sectors.

Agriculture exhibits consistently high ecological performance, with normalized values close to unity throughout the study period.

The Electricity, Gas and Water Supply sector also demonstrates stable environmental behavior, indicating effective environmental management during the observation period.

Households display almost constant normalized values, suggesting minimal influence on the extracted principal components.

The sensitivity analysis further confirms that the proposed FPCA framework is robust. Small perturbations in the indicator weights produce only negligible changes in the composite ecological index, thereby validating the reliability of the proposed methodology.

6. Conclusions

This study proposed a comprehensive Fuzzy Principal Component Analysis framework for evaluating ecological performance across seven economic sectors of Azerbaijan during 2020–2024.

The proposed methodology integrates fuzzy set theory with principal component analysis, allowing uncertainty inherent in environmental indicators to be incorporated directly into the dimensionality reduction process. The approach consists of data normalization, fuzzy membership construction, fuzzy covariance estimation, eigenvalue decomposition, weight extraction, composite index construction, and sensitivity analysis.

The empirical results demonstrate that:

- The FPCA model successfully reduced the multidimensional ecological dataset while preserving the dominant information structure;
- The first principal component captured the largest proportion of ecological variability and served as the basis for deriving indicator weights;
- Mining (**MIN**) and manufacturing (**MAN**) exhibited the greatest ecological variability, whereas agriculture (**AFF**) and the electricity (**EGW**) sector remained comparatively stable throughout the study period;
- The composite ecological index revealed only moderate temporal changes, indicating relatively stable ecological performance over 2020–2024;
- Sensitivity analysis confirmed the robustness of the proposed model, as $\pm 5\%$ perturbations in indicator weights produced only marginal changes in the ecological index and did not alter the overall ranking of sectors.

Overall, the proposed FPCA framework provides a reliable and transparent decision-support tool for ecological assessment under uncertainty. Its ability to combine fuzzy logic with multivariate statistical analysis makes it particularly suitable for environmental monitoring, sustainability evaluation,

and policy development where uncertainty and incomplete information are unavoidable. The methodology can be readily extended to larger environmental datasets, regional sustainability assessments, and other multi-criteria ecological decision-making applications.

Reference

- [1] Zadeh, L.A. (1965). **Fuzzy Sets**. Information and Control, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- [2] Klir, G.J., & Yuan, B. (1995). **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications**. Prentice Hall, New Jersey.
- [3] Zimmermann, H.J. (2001). **Fuzzy Set Theory and Its Applications** (4th ed.). Springer, New York.
- [4] Imanov G., M.Murtuzaeva, S.Pur Riza, **Fuzzy linguistic assessment of sustainable development on the base of criterias**, El Comité Científico del XV Congreso internacional de gestión, calidad, derecho y competitividad empresarial Morelia, Mexico, 2020, 3095-3101 pp.
- [5] Jolliffe, I.T. (2002). **Principal Component Analysis** (2nd ed.). Springer Series in Statistics. Springer, New York.
- [6] Sârbu, C., & Pop, H.F. (2005). **Principal Component Analysis versus Fuzzy Principal Component Analysis: A Case Study—The Quality of Danube Water (1985–1996)**. Talanta, 65(5), 1215–1220. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2004.08.047>
- [7] Pop, H.F., Sârbu, C., & Moldovan, D. (2009). **A Robust Fuzzy Principal Component Analysis Algorithm**. Studies in Informatics and Control, 18(2), 101–108.
- [8] M.Murtuzayeva, S.Pur Riza, **Fuzzy estimation of ecological performance index (EPI)**, AMSA-Advances in Mathematical Sciences and Applications, Vol.26, Tokyo, Japan, 2017, 81-87 pp.
- [9] M.Murtuzayeva, S.Pur Riza, **The Quality of the Green Economy as a Private Indicator of the Level of Ecological Civilization of the Country**, International Conference Smart Environment and Green Technologies ICSEGT2024, Baku, Azerbaijan, 12-13 April 2024, Vol.2, 425-434 pp., Springer.
- [10] State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. (2025). *Waste movement in 2024*.
- [11] State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. <https://stat.gov.az/>
- [12] Kaiser HF (1960) **The application of electronic computers to factor analysis**. *Educational and Psychological Measurement* 20(1):141–151. <https://doi.org/10.1177/001316446002000116>
- [13] Kaiser, H. F., (1970). A second-generation Little Jiffy. *Psychometrika*, 35, pp. 401-415.
- [14] The *Handbook on Constructing Composite Indicators* explains that PCA/factor-analysis loadings can be used to construct weights representing the information content of individual indicators. [OECD/European Commission/JRC — Handbook on Constructing Composite Indicators](https://www.oecd-ilibrary.org/data-and-statistics/handbook-on-constructing-composite-indicators)

[15] Michela Nardo, Michaela Saisana, Andrea Saltelli, Stefano Tarantola, Anders Hoffmann, and Enrico Giovannini. Handbook on constructing **composite indicators**: Methodology and user guide. OECD Statistics Working Paper 2005/03, OECD Publishing, Paris, 2005

[16] OECD and European Commission Joint Research Centre. Handbook on Constructing **Composite Indicators**: Methodology and User Guide. OECD Publishing, Paris, 2008. doi: 10.1787/9789264043466-en