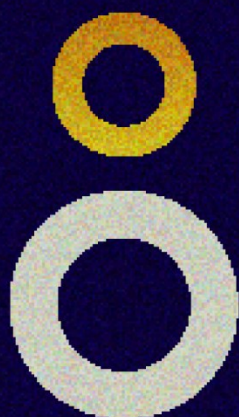


Revista Científica

Basachi

ISSN-2954-520X



VOLUMEN NO.2

Edición
Julio - Diciembre
2024

Sello Editorial UTPN //
ISSN-2954-520X

hndm
HEMEROTECA NACIONAL
DIGITAL DE MÉXICO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA PASO DEL NORTE



DIFUSIÓN VÍA ELECTRÓNICA

BASACHÍ

ISSN: 2954-520X

INFORMACIÓN EDITORIAL

BASACHÍ Año 2, número 2, julio-diciembre 2024, es una publicación semestral editada por la Universidad Tecnológica Paso del Norte, con dirección en Calle Pez Lucio No. 10526, de la Colonia Puerto de Anapra, en la Heroica Ciudad Juárez, Chihuahua, C.P. 32107, Tel. 656 2-57-00, Ext. 2005, www.utpn.edu.mx. Editora responsable: Dra. María Cristina Guevara Neri. Reserva de Derechos al uso Exclusivo No. 04-2022-090613343700-102, ISSN: 2954-520X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Departamento de Editorial, Lic. Sergio Fabián Delgado Ramírez, con dirección en Calle Pez Lucio No. 10526, de la Colonia Puerto de Anapra, en la Heroica Ciudad Juárez, Chihuahua, C.P. 32107, con fecha de la última modificación, 20 de agosto de 2024.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de la Universidad Tecnológica Paso del Norte.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Nacional del Derecho de Autor.

DIRECTORIO

ULISES MARTÍNEZ CONTRERAS
RECTOR

JORGE ANTONIO MARTÍNEZ QUEZADA
ABOGADO GENERAL

MARÍA CRISTINA GUEVARA NERI
DIRECTORA GENERAL DE LA REVISTA
BASACHÍ

MARÍA DE LOS ÁNGEL HOLTZEIMER
ÁLVAREZ
DIRECTORA DE CARRERA: DIVISIÓN
INGENIERÍAS

ESMERALDA YADIRA CEPEDA ALCON
DIRECTORA DE CARRERA: DIVISIÓN
ADMINISTRACIÓN

OCTAVIO RAMÍREZ ROMERO
DIRECTOR DE VINCULACIÓN

LETICIA ROCHA LUCERO
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS
HUMANOS

NORELY QUEZADA GOYTIA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS
FINANCIEROS

HÉCTOR MOLINAR CATALÁN
DIRECTOR DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN

GABRIEL MUÑOZ SAPIÉN
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN Y
FINANZAS

IRVING LUIS VÁZQUEZ HERNÁNDEZ
JEFE DE BIENESTAR UNIVERSITARIO

ARACELY AGUIRRE MEDINA
JEFA DE CONTROL ESCOLAR

SERGIO FABIÁN DELGADO RAMÍREZ
JEFE DE PRENSA Y DIFUSIÓN

ELIAZAR SALAZAR PAVÓN
DIVISIÓN DE LOGÍSTICA INTERNACIONAL



MIRNA LILIANA GUILLÉN RAMÍREZ
DIVISIÓN DE GESTIÓN DE PROYECTOS Y
NEGOCIOS

WENDY NEVAREZ AGUILAR
DIVISIÓN EN REDES INTELIGENTES Y
CIBERSEGURIDAD

MARÍA CRISTINA GUEVARA NERI
DIVISIÓN DE MECATRÓNICA

DENNISE GABRIELA RIVERA MOJICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

IVÁN MARTÍNEZ MENDOZA
ACADEMIA DE CIENCIAS BÁSICAS

CLAUDIA CECILIA DIAZ MORENO
DIVISIÓN DE EXPRESIÓN ORAL Y ESCRITA

ANA GALLEGOS
DIVISIÓN DE LENGUAS Y MÉTODOS

EDITORIAL



La Revista Científica **BASACHÍ** genera el volumen 2, número 2, cuya versión se encuentra disponible a través del portal de la Universidad Tecnológica Paso del Norte: <https://www.utpn.edu.mx/es/revista> para ser visible las publicaciones, y tener el acercamiento al público en general.

BASACHÍ realiza su cuarta publicación científica con el objetivo de difundir la ciencia, la tecnología y la investigación, y de consolidarse como una fuente de conocimiento para los lectores en general.

EQUIPOS EDITORIALES



Rector de la Universidad Tecnológica Paso del Norte

Dr. Ulises Martínez Contreras

Directora General de la Revista Científica BASACHÍ

Dra. María Cristina Guevara Neri

Coordinación Editorial de la Revista

Lic. Sergio Fabián Delgado Ramírez

CONSEJO DE ARBITRAJE

Dr. Adán Valles Chávez
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Dra. Erik Berenice Herrera Ríos
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Dr. Tomás Francisco Limones Meraz
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Dra. Ana Isela García Acosta
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Dr. Manuel Alejandro Barajas Bustillos
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Dr. Diego Adiel Sandoval Chávez
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Dr. Eduardo Rafael Poblano Ojinaga
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Dr. Jorge Adolfo Pinto Santos
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Dra. Alma Guadalupe Rodríguez Ramírez
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Dr. Gilberto Mercado Mercado
Universidad Vizcaya de Las Américas

Dr. Diego Manuel Medina Carril
UT Metropolitana de Mérida

Mtra. Angélica Esther Herrera Lugo
UT Metropolitana de Mérida

Dra. Claudia Evangelina Valles Sosas
Universidad del Paso Texas

Dra. Perla Ivette Gómez Zepeda
Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez

Dra. María Cristina Guevara Neri
Universidad Tecnológica Paso del Norte

Dr. Iván Martínez Mendoza
Universidad Tecnológica Paso del Norte

Mtro. Víctor Saucedo Díaz
Universidad Tecnológica Paso del Norte

Mtra. Denisse Gabriela Rivera Mojica
Universidad Tecnológica Paso del Norte

Mtro. Eliazar Salazar Pavón
Universidad Tecnológica Paso del Norte

Mtra. Laura Navarro Enríquez
Universidad Tecnológica Paso del Norte

Mtra. Mirna Liliana Guillén Ramírez
Universidad Tecnológica Paso del Norte

Mtra. Ana Lorena Chávez Montelongo
Universidad Tecnológica Paso del Norte

Mtro. Eduardo Alejandro Carranza González
Universidad Tecnológica Paso del Norte

Mtra. Mayra Sato Franco
Universidad Tecnológica Paso del Norte

RESEÑA



En el año 2023, la revista **BASACHÍ** de la Universidad Tecnológica Paso del Norte (UTPN), ubicada en Cd. Juárez, Chihuahua, México, inició su actividad como revista científica, tras completar los trámites pertinentes ante el Centro Nacional ISSN y el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR).

1. Coordinación Editorial: La revista cuenta con la colaboración de profesionistas de diversas disciplinas y grados académicos, incluyendo doctores y maestros.
2. Comité de Arbitraje: El comité de arbitraje de la revista **BASACHÍ** está integrado por académicos con grados de maestro y doctor, quienes entre sus logros académicos cuentan con el Perfil Deseable otorgado por PRODEP o son miembros del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).
3. Formato y Registro ISSN: **BASACHÍ** es una revista electrónica que cuenta con el Número Internacional Normalizado de Publicaciones Seriadas (ISSN): 2954-520X.
4. Proyección y Reconocimiento: La revista científica **BASACHÍ** trabaja arduamente para ser aceptada en catálogos y directorios de revistas nacionales e internacionales de gran prestigio. Asimismo, busca pertenecer a repositorios de servicios de información y bibliotecas universitarias.
5. Significado del Nombre: **BASACHÍ**, en lengua tarahumara, significa "coyote", la mascota representativa de la Universidad Tecnológica Paso del Norte.
6. Fecha de Registro ISSN: El número **ISSN: 2954-520X** fue otorgado por INDAUTOR el 17 de febrero de 2023.

CONTENIDO

Implementación de una red neuronal artificial con aprendizaje en línea como controlador de temperatura en un microcontrolador	10
Clubes de programación y aprendizaje activo: del aula al éxito en programación competitiva con el uso de omegaup.....	17
Apropiación de tic en alumnos de la educación preescolar. Estudio diagnóstico	26
Desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas grises en el mercado “los sauces” con humedal superficial.....	32
Remediación de aguas residuales en México: oportunidades en materia de responsabilidad social, economía circular y desarrollo sustentable	40
Parámetros para mejorar y asegurar la calidad en los tratamientos térmicos	47
Estudio productivo del maíz (zea mays) como básico del clúster agroalimentario en el estado de nuevo león, México	55
Sundesk charge: innovación sostenible para tu smartphone.....	68

IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL CON APRENDIZAJE EN LÍNEA COMO CONTROLADOR DE TEMPERATURA EN UN MICROCONTROLADOR

Sánchez Huerta Alex Rubén¹, Chan Puc Freddy¹, Torres Montalvo Emmanuel¹, Sánchez Huerta Víctor M.¹

¹División de Ciencias, Ingeniería y Tecnología. Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo.
1924262@uqroo.mx, fredyy@uqroo.edu.mx, etorres@uqroo.edu.mx, vsanchez@uqroo.edu.mx. +52 98350300 Ext. 5186

Resumen -- Actualmente se cuenta con microcontroladores de bajo costo con capacidades suficientes de procesamiento que coadyuven a la implementación de técnicas de inteligencia artificial en tareas de control. Las Redes Neuronales Artificiales (RNAs) son una técnica de inteligencia artificial que por su capacidad de aprendizaje y adaptabilidad se ha utilizado para su aplicación en el control de plantas no lineales. Una de las RNAs más utilizadas en el desarrollo de control inteligente son las RNAs prealimentadas (Feedforward artificial neural networks). No obstante, uno de los principales retos en la implementación de este tipo de RNAs en microcontroladores consiste en que requieren de la programación de funciones de activación que son funciones continuas en el tiempo, como, por ejemplo, la función sigmoideal o tangente hiperbólica. Aunado a ello, este tipo de RNAs requieren de una etapa de entrenamiento en la que aprendan las relaciones no lineales de la planta a controlar, para lo cual se debe contar con un conjunto de datos que caractericen lo más fiel posible la dinámica de la planta a controlar. Este proceso de entrenamiento de la RNA conlleva un aumento en el tiempo de diseño e implementación del controlador neuronal. En este sentido, existe un tipo de RNA que utiliza ecuaciones recursivas como una alternativa a la implementación de funciones de activación continuas en el tiempo, las cuales se conocen como redes neuronales artificiales Bspline, además de que esta clase de RNA tiene la característica de poder aprender en tiempo real las relaciones no lineales de la planta bajo control. Las RNA Bspline utilizan funciones Bspline como funciones de activación, las cuales se construyen a partir de ecuaciones recursivas por lo que requieren de un procesamiento computacional menor comparado con funciones sigmoideales o tangenciales. En este artículo se propone la implementación de una RNA Bspline en un microcontrolador de bajo costo para el control de temperatura. Los resultados obtenidos muestran la factibilidad de implementar la RNA Bspline en una tarjeta Arduino UNO, lo cual demuestra el potencial uso de este tipo de RNA en el control de sistemas y su implementación en microcontroladores de bajo costo.

Palabras Clave: Inteligencia artificial, red neuronal artificial, red neuronal Bspline, control de temperatura.

Abstract -- Nowadays, there are low-cost microcontrollers with sufficient processing capacities to assist in the implementation of artificial intelligence techniques in control tasks. Artificial Neural Networks (ANNs) are an artificial intelligence technique that, due to their learning capacity and adaptability, have been used for application in the control of non-linear plants. One of the most widely used ANNs in the development of intelligent control are feedforward artificial neural networks. However, one of the main challenges in the implementation of this type of ANN in microcontrollers is that they require the programming of activation functions that are continuous functions in time, such as, for example, the sigmoidal function or hyperbolic tangent. In addition, this type of ANN requires a training stage in which they learn the non-linear relationships of the plant to be controlled, for which a set of data must be available that characterizes as faithfully as possible the dynamics of the plant to be controlled. This ANN training process leads to an increase in the design and implementation time of the neural controller. In this sense, there is a type of ANN that uses recursive equations as an alternative to the implementation of continuous activation functions in time, which are known as Bspline artificial neural networks. In addition, this type of ANN has the characteristic of being able to learn in real time the non-linear relationships of the plant under control. Bspline ANNs use Bspline functions as activation functions, which are built from recursive equations and therefore require less computational processing compared to sigmoidal or tangential functions. This article proposes the implementation of a Bspline ANN in a low-cost microcontroller for temperature control. The results obtained show the feasibility of implementing the Bspline ANN on an Arduino UNO board which demonstrate the potential use of this type of ANN in system control and its implementation in low-cost microcontrollers.

Keywords: Artificial intelligence, artificial neural network, bspline neural network, temperature controller.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas y las industrias buscan herramientas que les permitan aumentar la eficiencia en la producción, reducir costos, garantizar la calidad del producto y mejorar su competitividad en el mercado, así como maximizar sus márgenes de ganancia. Una de estas herramientas es el control automático, el cual permite mantener niveles de calidad sin interrumpir la producción, reducir los gastos relacionados con la revisión de calidad posterior y operar de manera altamente eficiente cuando se implementa correctamente. Un sistema de control se compone de elementos, dispositivos e incluso otros subsistemas que trabajan en conjunto para llevar a cabo una tarea en específico y tienen la capacidad de regularse automáticamente. El control de temperatura en los procesos industriales es una de las tareas de control que más frecuentemente se realiza. Dada la relevancia en el control de esta variable física, en este trabajo se propone implementar en un microcontrolador una RNA como controlador de temperatura. Las RNAs, con su capacidad para aprender y adaptarse a diferentes condiciones, ofrecen una solución avanzada para el control de temperatura, permitiendo ajustes precisos y eficientes [1]. La característica adaptativa de las RNAs, así como su robustez las hacen buenas candidatas para su utilización como controladores de procesos de naturaleza no lineal [2]. A los controladores que utilizan RNAs se les denomina también como neuro controladores. Al utilizar una red neuronal en un sistema de lazo cerrado, el neurocontrolador implementado en el microcontrolador podrá analizar continuamente las condiciones de temperatura y realizar ajustes en tiempo real para mantener el entorno dentro de los parámetros deseados, mejorando así la eficiencia y la calidad del proceso de obtención de datos.

Existen varios trabajos reportados en la literatura en la que se han implementado controladores de temperatura basados en RNAs. En [3] se presenta el desarrollo de un neuro controlador basado en redes neuronales del tipo NARMA-L2, la cual es un tipo de RNA que implementa un modelo no lineal auto regresivo de promedio móvil (Nonlinear Autoregressive-Moving Average) para el control de temperatura en un sistema cerrado similar al de una incubadora. En este trabajo los autores hacen uso del toolbox de aprendizaje profundo de simulink [4] para las fases de entrenamiento e implementación del neuro controlador. En [5], los

autores proponen el uso de una red neuronal recurrente tipo LSTM (Long Short-Term Memory, por sus siglas en inglés) para el control de temperatura basado en un laboratorio experimental propuesto en [6]. No obstante, el controlador neuronal propuesto en este trabajo opera en una computadora portátil. Por su parte en [7] se propone el uso de una RNA evolutiva para el control de temperatura en un reactor BATCH de polimerización. En el caso particular de esta RNA requiere de una fase previa de entrenamiento para aprender la dinámica de la planta a controlar. De igual forma, en [8] se propone el uso de una RNA prealimentada para el control de temperatura y humedad en un invernadero de tomate, donde también se requirió de una fase previa de entrenamiento de la RNA.

Dentro del conjunto de las RNAs se encuentran las redes neuronales Bspline, las cuales tienen como una de sus principales características que pueden aprender en línea, facilitando con ello la rapidez de su implementación al no necesitar de una fase de entrenamiento. Además, las RNAs Bspline utilizan funciones spline para el mapeo de los datos de entrada. Las funciones spline son funciones recursivas definidas en intervalos por polinomios, lo cual reduce la carga computacional para su procesamiento; a diferencia de funciones exponenciales o tangenciales que se utilizan por ejemplo en RNAs del tipo prealimentadas. Con base en estas características, en este trabajo se propone desarrollar un controlador neuronal Bspline e implementarlo en un microcontrolador de bajo costo. En este sentido se seleccionó la tarjeta de desarrollo Arduino UNO que utiliza el microcontrolador ATmega328P para un rápido prototipado del neuro controlador propuesto. En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un sistema de control de lazo cerrado del control de temperatura, utilizando una red neuronal Bspline, con el objetivo de mostrar la factibilidad de la implementación de una RNA en tareas de control automático.

DESARROLLO

La planta utilizada en este trabajo está basada en el laboratorio de control de temperatura propuesto en [9]. El objetivo de control en esta planta consiste en regular la temperatura de un transistor bipolar TIP41 mediante una modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés) proveniente de una tarjeta de desarrollo ARDUINO UNO, cuyas principales características son:

- Voltaje de operación de 5 V.
- Microcontrolador de 8 bits ATmega328P.
- Frecuencia de reloj de 16 MHz
- 32 kBytes de memoria Flash

- 1 kByte de memoria SRAM
- 2 unidades contador/timer de 8 bits
- 1 contador/timer de 16 bits
- 6 canales PWM
- 1 convertidor analógico – digital de 10 bits y 8 canales
- Puerto serial programable USART
- 14 pines de entrada/salida digital

En este laboratorio de control, cada vez que el transistor conduce, se genera un calentamiento por la corriente circulante y con ello la elevación de su temperatura. Para la medición de temperatura en el transistor se utiliza el circuito integrado LM35, el cual genera un voltaje proporcional a la temperatura con base en la ecuación (1):

$$V_{LM35} = 10 \frac{mV}{^{\circ}C} \quad \text{Ec. (1)}$$

El voltaje de la Ec.(1) es una señal analógica que es convertida a señal digital en la tarjeta ARDUINO UNO y que sirve como señal de retroalimentación del sistema de control. La Figura 1 muestra el banco de pruebas utilizado en este trabajo:

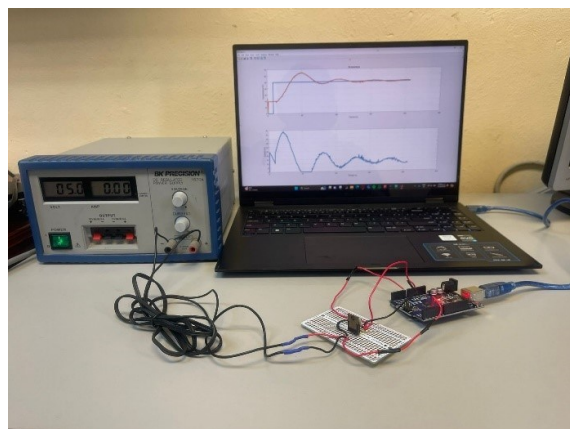


Figura 1. Banco de pruebas para el control de temperatura

Como se observa en la Figura 1, la tarjeta ARDUINO es conectada mediante cable serial a una computadora desde la cual se programa el microcontrolador. De igual forma, se utiliza esta comunicación serial para el registro de las variables controlada y manipulada de la planta.

Modelo matemático de la planta

El modelo dinámico que rige la temperatura en el transistor se obtiene a partir de la ecuación de balance de energía descrita por la ecuación (2).

$$mc_p \frac{dT}{dt} = \sum h_{entrada} - \sum h_{salida} + Q \quad \text{Ec. (2)}$$

donde m es la masa del transistor, c_p es la capacidad calorífica, T es la temperatura, h es la entalpía relacionada a la temperatura y Q es la potencia desarrollada por el transistor. Con base en (2) e incluyendo los términos de transferencia de calor por convección y radiación, se obtiene la ecuación completa de balance de energía descrita por la ecuación (3).

$$mC_p \frac{dT}{dt} = UA(T_{AMB} - T) + \epsilon\sigma(T_{AMB}^4 - T^4) + \alpha Q \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde U es el coeficiente de transferencia de calor, A es el área, T es la temperatura, T_{AMB} es la temperatura ambiente, ϵ es la emisividad, σ es la constante de Stefan-Boltzmann, α es una constante de proporcionalidad para expresar la potencia disipada por el transistor en porcentaje (0 - 100%). La ecuación (3) describe un modelo dinámico no lineal de la planta y sobre la cual se desarrollará el controlador con la RNA Bspline.

Neurocontrolador Bspline

La Figura 2 muestra el diagrama a bloques del sistema de control empleado en este trabajo:

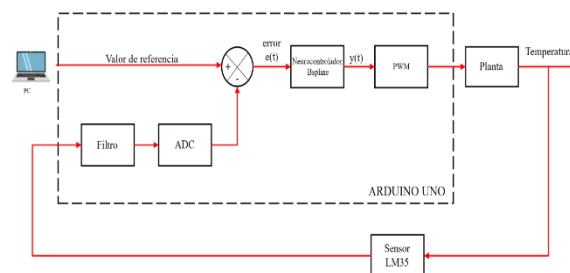


Figura 2. Diagrama a bloques del sistema de control de temperatura

El control de la temperatura en el transistor se realizará mediante un esquema de modulación PWM, cuyo ancho de pulso determinado por la RNA Bspline permitirá que el transistor alcance la temperatura deseada establecida como valor de referencia (setpoint). Con base en el modelo de la planta descrito por la Ec.(3), se requiere de una ley de control adaptativa que contemple la naturaleza no lineal de la planta, los cambios de la temperatura ambiente, T_{AMB} , y la variación de parámetros de los componentes.

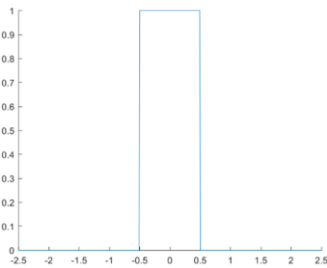
En este contexto, la RNA Bspline permite controlar sistemas no lineales de forma adaptativa, siendo una opción viable para el problema de control de temperatura establecido en este trabajo. Además, la RNA Bspline permite una rápida implementación debido a que no requiere de una etapa de entrenamiento

fuera de línea, ya que su aprendizaje se realiza directamente con la planta a controlar en operación (aprendizaje en línea).

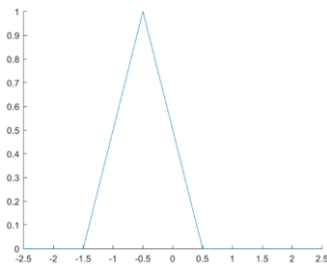
Para el diseño de la RNA Bspline se requiere inicialmente establecer el espacio de la variable de entrada, que para el caso del sistema de control, está consiste de la señal de error entre el valor deseado de temperatura en el transistor (T^*) y el valor actual medido de la temperatura en el transistor (T), como se describe en la ecuación (4)

$$e = T^* - T \quad \text{Ec. (4)}$$

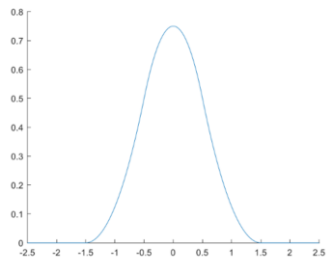
El espacio de entrada es normalizado mediante las funciones base de la RNA Bspline, las cuales pueden ser orden 1, 2, 3 o superior. La Figura 3 muestra la forma de funciones base utilizadas por la RNA Bspline.



(a)



(b)



(c)

Figura 3. Funciones base de una RNA Bspline. (a) orden 1, (b) orden 2, (c) orden 3

Las funciones base se definen a partir de un conjunto de puntos de control (λ_i) cuyos valores son determinados por el diseñador considerando el

conocimiento que tenga de la planta [10]. Los puntos de control pueden ser internos o externos al rango del espacio de entrada, como se muestra en la Figura 4.

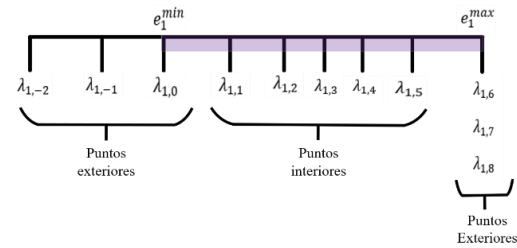


Figura 4. Puntos de control del espacio de entrada de la RNA Bspline

En el caso de la RNA Bspline utilizada en este trabajo, los puntos de control empleados $\lambda_{i,j}$ ($j=1, \dots, r_i$, $i=1, \dots, n$) son internos y se encuentran definidos por la Ec.(5).

$$e_i^{min} < \lambda_{i,1} \leq \lambda_{i,2} \leq \dots \leq \lambda_{i,r_i} < e_i^{max} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde e_i^{min} y e_i^{max} definen los valores mínimo y máximo de la variable de entrada de la RNA Bspline. De esta forma, la j -ésima función base de orden K se denota por $N_K^j(\cdot)$ y están definidas por las Ec. (6) y (7).

$$N_1^j(e) = \begin{cases} 1 & \text{si } e \in I_j \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$N_K^j(e) = \left(\frac{e - \lambda_j - K}{\lambda_{j-1} - \lambda_{j-K}} \right) N_{K-1}^j(e) + \dots + \left(\frac{\lambda_j - e}{\lambda_j - \lambda_{j-K+1}} \right) N_{K-1}^j(e) \quad \text{Ec. (7)}$$

donde λ_j es el j -ésimo punto de control y donde el j -ésimo intervalo corresponde a $I_j = [\lambda_{j-1}, \lambda_j]$.

El valor obtenido por las funciones base es multiplicada por un peso (w_i) relacionado a cada una de estas funciones. Cabe mencionar no todas las funciones base son activadas por la variable de entrada, por lo que no todos los pesos de la RNA se deben calcular en cada iteración, lo que contribuye a reducir el esfuerzo computacional y el tiempo de ejecución del algoritmo. La Figura 5 muestra el esquema de transformación del espacio de entrada de la RNA Bspline.

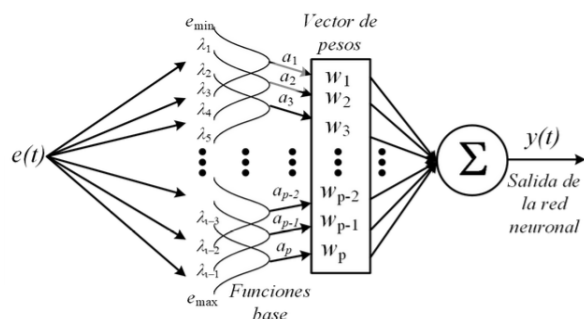


Figura 5. Normalización y transformación del espacio de entrada por la RNA Bspline

El valor de salida de la red neuronal, $y(t)$, está determinado por (8).

$$y(t) = a^T w \quad \text{Ec. (8)}$$

donde a es el vector con los p -ésimos valores de transformación de cada una de las funciones base y w es el vector p -ésimos pesos de la RNA, descritos por (9) y (10):

$$w = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_p]^T \quad \text{Ec. (9)}$$

$$a = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_p]^T \quad \text{Ec. (10)}$$

El proceso de aprendizaje en línea de la RNA Bspline se realiza mediante la regla de corrección del error que ajusta los pesos de la RNA con la finalidad de reducir el error de salida. El ajuste de los pesos es realizado bajo el principio del mínimo disturbio, lo que significa que los valores de los pesos de la RNA son actualizados mediante pequeños cambios con la finalidad de evitar cambios importantes en su señal de salida. De esta forma, en la RNA Bspline la actualización de los pesos se realiza mediante la regla de corrección del error cuadrático medio (MSE, por sus siglas en inglés) [11], lo cual está descrito por la Ec. (11).

$$w_p(t) = w_p(t-1) + \frac{\eta e(t)}{\|a(t)\|_2^2} a_p(t) \quad \text{Ec. (11)}$$

donde η es la razón de aprendizaje de la RNA Bspline. Las redes neuronales entrenadas instantáneamente poseen características de generalización [12]. Una RNA entrenada en línea convierte el patrón entrante en pesos correspondientes sin cálculos intensivos, siendo esta una de las razones por las cuales se propone el control de temperatura mediante este tipo de RNA.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Figura 6 se muestra el banco de pruebas utilizado en la implementación del neurocontrolador Bspline en la tarjeta de desarrollo Arduino UNO.

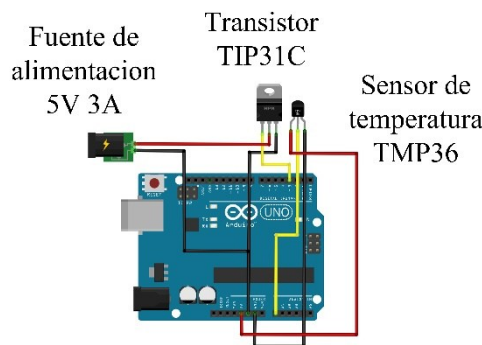


Figura 6. Banco de pruebas del neuro controlador Bspline

Como se observa en la Figura 6, el banco de pruebas está conformado por la tarjeta de desarrollo ARDUINO UNO donde se implementó la RNA Bspline. La planta a controlar está conformada por el transistor NPN. El CI LM35 mide la temperatura en el transistor. La fuente de poder provee la energía para la planta a controlar y la computadora personal se utiliza para programar la tarjeta de desarrollo ARDUINO UNO, así como también para el registro de las variables controlada y manipulada.

La RNA Bspline utilizada en este trabajo está conformada por 5 funciones base de orden 3, las cuales se muestran en la Figura 7.

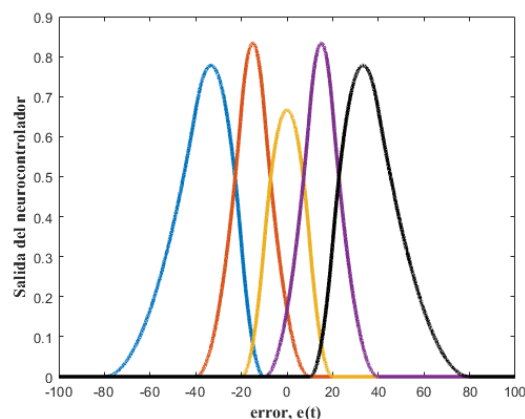


Figura 7. Funciones base de orden 3 empleadas por el neuro controlador Bspline

En la Figura 8 se muestra el desempeño del neuro controlador ante un cambio en forma de escalón del valor de referencia de la temperatura a 50 °C a los 8 segundos de iniciado el experimento.

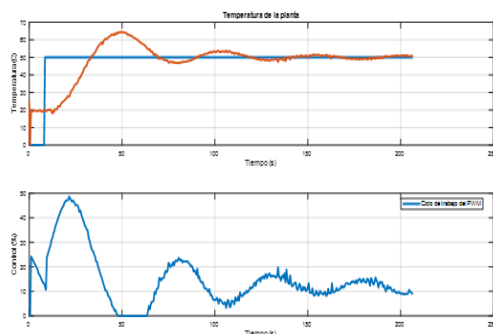


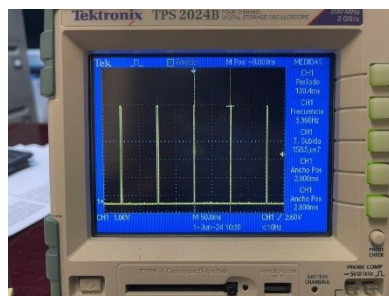
Figura 8. Respuesta del neurocontrolador ante un cambio en escalón del valor de referencia a 50 °C

Como se observa en la Figura 8, la temperatura de la planta muestra una respuesta estable ante un cambio en escalón del valor de referencia de temperatura. De esta forma, el valor de temperatura en la planta alcanza su valor de estado estable a los 118 s de iniciado el experimento, por lo que se considera que el tiempo de establecimiento de la respuesta de la planta con el neurocontrolador Bspline es de 110 s aproximadamente. De igual forma, se observa que ante el cambio en escalón del valor de referencia, la temperatura de la planta presenta una respuesta oscilatoria amortiguada con un sobre impulso de 14 °C que equivalen a un 45% del valor del escalón en el valor de referencia de la temperatura. De igual se forma se observa una respuesta suave por parte del neurocontrolador Bspline que provoca la respuesta estable en el control de la temperatura de la planta. Esta respuesta suave por parte del neuro- controlador permite una demanda de energía moderada a la fuente, lo cual es benéfico al no exigir un cambio súbito en el suministro de energía a la fuente.

El neurocontrolador Bspline fue programado en la interrupción del Timer del microcontrolador el cual tiene un conteo máximo de 8 s. El Timer fue programado para que la acción de control del neurocontrolador se aplique cada 100 ms a la planta. Cabe mencionar que la ejecución del programa correspondiente al neurocontrolador Bspline, incluyendo el tiempo de adquisición de la variable de entrada, es de 3.8 ms. La determinación del tiempo de ejecución de la RNA Bspline se realizó mediante una señal digital programada como bandera al inicio y final de la rutina. En la Figura 9 se muestra la gráfica de osciloscopio donde se muestra la duración de ejecución del programa de la RNA Bspline en el Timer del microcontrolador, así como el tiempo de aplicación de la acción de control a la planta.



(a)



(b)

Figura 9. Tiempo de ejecución de la rutina del neurocontrolador Bspline. (a) Duración de la rutina en la interrupción del Timer del microcontrolador. (b) Periodicidad del tiempo de aplicación de la acción de control

El tiempo de ejecución alcanzado del programa del neurocontrolador Bspline comprueba el reducido costo computacional requerido para su ejecución. Esta característica permite que neurocontrolador Bspline pueda ser implementado en microcontroladores que tienen una capacidad limitada de procesamiento.

En la Figura 10 se muestra la respuesta del control de temperatura utilizando un control PID.

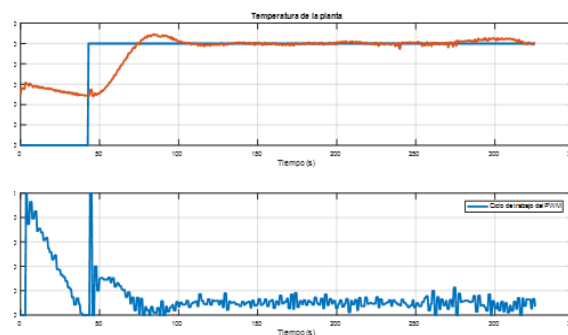


Figura 10. Respuesta del controlador PID

Si bien se observa en la respuesta del control de temperatura un menor sobre impulso y menor tiempo de establecimiento de la variable controlada con respecto al neurocontrolador Bspline, la demanda de energía por

parte del controlador PID es del 100 % al momento de aplicar el cambio en escalón del valor de referencia, lo que exigirá una fuente de energía que tenga la capacidad de proveer cambios súbitos en la energía que suministra. Por otra parte, para la sintonización del controlador PID se tuvo que realizar una tarea de identificación de la planta de temperatura inicialmente, y aproximar la respuesta de la planta a una función de transferencia de primer orden con retardo, para con ello poder calcular los valores de las ganancias proporcional, integral y derivativa del controlador. En el caso del neurocontrolador Bspline no fue necesario contar con un modelo de la planta, lo que demuestra su capacidad adaptativa para el control de plantas no lineales.

CONCLUSIONES

La implementación de una red neuronal Bspline con el objetivo de regular los parámetros de una estación de temperatura logró demostrar ser una opción viable, demostrando con ello su capacidad para aprender y adaptarse al comportamiento dinámico y no lineal de la planta. La red neuronal fue capaz de mantener los parámetros de control de manera efectiva, manteniendo la temperatura dentro de un rango deseado con un margen de error mínimo. Al mantener el control ante diferentes situaciones y escenarios establece que la RNA Bspline diseñada ha alcanzado un nivel adecuado de generalización, permitiendo una regulación precisa y estable de la temperatura. Además, los tiempos de ejecución del neurocontrolador Bspline obtenidos en este trabajo demuestran que el tiempo de procesamiento de su algoritmo es reducido, lo que permite que pueda implementarse en microcontroladores de bajo costo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido por la División de Ciencias, Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo a través del apoyo a la realización de proyectos internos de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Brown M, Harris C. Neurofuzzy Adaptive Modeling and Control. New York: Prentice Hall International; 1994.
- [2] Tapia Olvera R, Ramírez Arredondo JM. Power Systems Neural Voltage Control by a StatCom. The 2006 IEEE International Joint Conference on Neural Network Proceedings 2006: 2249-54.
- [3] Ortiz Valencia PA, Arias Londoño A. Control de una planta no lineal de temperatura con redes

neuronales. Revista Avances en Sistemas e Informática. 2009; 6(2): 127-41.

- [4] MathWorks [Internet]. The MathWorks Incorporated; [citado 11 nov 2024]. Deep Learning Toolbox; [aprox. 4 p.]. Disponible en: <https://www.mathworks.com/products/deep-learning.html>
- [5] Blanco Fernández C, Sierra García JE, Santos M. Control de un laboratorio de temperatura mediante redes neuronales concurrentes. XLIII Jornadas de Automática 2022; libro de actas: 193-200.
- [6] Oliveira PM, Hedengren JD. An APMonitor Temperature Lab PID Control Experiment for Undergraduate Students. 24th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation 2019: 790-7.
- [7] Sánchez-Ruiz F, Argüelles Hernández E; Terrones-Salgado J, Fernández Quiroz L. Red neuronal artificial evolutiva para el control de temperatura en un reactor batch de polimerización. Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología. 2023;(30): 79-89.
- [8] Guzmán-Gordillo J, Morales-Hernández M, Matadamas-Ortiz IC, Díaz Sarmiento B. Redes neuronales para el control de temperatura y humedad en un invernadero de tomate. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería. 2017; 4(12): 10-9.
- [9] Oliveira PM, Hedengren JD, Rossiter JA. Introducing Digital Controllers to Undergraduate Students using the TCLab Arduino Kit, IFAC-PapersOnLine. 2020; 53 (2): 17524-9.
- [10] Fausett L. Fundamentals of Neural Networks Architectures: architecture, algorithms, and applications. Englewood Cliffs: Prentice Hall; 1994.
- [11] Haykin S. Neural Networks: A comprehensive foundation. Signapore: Prentice Hall; 2001.
- [12] Tang KW, Instantaneous Learning Neural Networks. Lousiana: Ph.D. Dissertation Lousiana State University; 1999.
- [13] Yañez Badillo H, Tapia Olvera R, Aguilar Mejía O, Beltran Carbajal, F. Control Neuronal en Línea para Regulación y Seguimiento de Trayectorias de Posición para un Quadrotor. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. 2017; 4(2): 141-51.
- [14] Valdez Muñoz JC. Desarrollo e implementación de redes neuronales para acondicionamiento de sensores LM35, SHARP y MG811 utilizando Matlab y PIC16F877A. Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo. 2021; 1(7): 127-32.
- [15] Menacho Chiok CH. Modelos de regresión lineal con redes neuronales. Anales Científicos. 2014; 75(2): 253-60.

CLUBES DE PROGRAMACIÓN Y APRENDIZAJE ACTIVO: DEL AULA AL ÉXITO EN PROGRAMACIÓN COMPETITIVA CON EL USO DE OMEGAUP

Morales Ortiz Leticia Verónica¹, Ucan Cih Juan Manuel², Ramos Santiago Alex³

¹Maestría en Tics, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Cancún, Depto. de Sistemas y Computación. leticia.mo@cancun.tecnm.mx, (998) 166.4266, Av. Kabah KM 3, Cancún, Q.Roo.

²Maestría en Ciencias de la Computación, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Cancún, Depto. de Sistemas y Computación. juan.uc@cancun.tecnm.mx, (998) 155.7722, Av. Kabah KM 3, Cancún, Q.Roo.

³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Cancún, Depto. de Sistemas y Computación. alex.rs@cancun.tecnm.mx, (998) 385.4068, Av. Kabah KM 3, Cancún, Q.Roo.

Resumen – El proyecto "Clubes de programación y aprendizaje activo: del aula al éxito en programación competitiva con el uso de omegaup" se implementó en el Instituto Tecnológico de Cancún con el objetivo de mejorar el rendimiento académico en programación mediante la creación de clubes de programación y el uso de la plataforma omegaUp, buscando a su vez, introducir a los estudiantes a la programación competitiva.

Este enfoque cuasi-experimental involucró a estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales inscritos en las materias iniciales de programación. La implementación de la plataforma omegaUp como herramienta de apoyo en el aprendizaje proporcionó retroalimentación inmediata y ejercicios gamificados, promoviendo la práctica autónoma y el aprendizaje activo.

La creación de un club de programación, con reuniones semanales extra clase, ofreció un entorno colaborativo para resolver problemas en conjunto, fortaleciendo la comunicación y el trabajo en equipo.

Los resultados muestran un incremento en la motivación de los estudiantes con la participación en competencias importantes de programación competitiva como el ICPC Gran Premio de México 2024, HackatecNM 2024, Coding-Cup 2024 y el 1er. Concurso de Clubes de Programación de OmegaUp, obteniendo posiciones destacadas.

Este proyecto demuestra que la integración de herramientas gamificadas y la creación de clubes de programación son estrategias efectivas para mejorar el aprendizaje en programación más allá del aula, fomentan un aprendizaje significativo, preparan a los estudiantes para enfrentar desafíos reales y fortalecen el desarrollo de competencias técnica, habilidades de comunicación y el trabajo en equipo, esenciales para su éxito profesional.

Palabras Clave: clubes de programación, aprendizaje activo, competencias de programación, gamificación educativa, omegaUp, rendimiento académico.

Abstract – The project "Programming Clubs and Active Learning: From the Classroom to Success in Competitive Programming with omegaUp" was implemented at the Instituto Tecnológico de Cancún with the goal of improving academic performance in programming through the creation of programming clubs and the use of the OmegaUp platform.

This quasi-experimental approach involved Computer Systems Engineering students enrolled in introductory programming courses. The implementation of omegaUp as a support tool provided immediate feedback and gamified exercises, promoting autonomous practice and active learning.

The creation of a programming club, with weekly meetings, extra class, offered a collaborative environment for group problem-solving, strengthening communication and teamwork skills.

The results show an increase in student motivation with their participation in major competitive programming events such as the ICPC Gran Premio de México 2024, HackatecNM 2024, Coding-Cup 2024, and the 1st OmegaUp Programming Club Competition, achieving notable placements.

This project demonstrates that integrating gamified tools and establishing programming clubs are effective strategies for enhancing programming education beyond the classroom, promote meaningful learning and also prepare students to face real-world challenges in the tech field, developing essential technical and soft skills for their professional growth.

Keywords: competitive programming, active learning, gamification for education, omegaUp, programming clubs, academic performance.

INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de la programación se ha vuelto cada vez más relevante debido al crecimiento en la demanda de profesionales capacitados en desarrollo de software y tecnologías digitales. La generación actual de jóvenes, motivados por el entorno tecnológico en el que viven,

encuentran en la programación una oportunidad valiosa para su desarrollo profesional.

Sin embargo, aprender a programar implica superar desafíos complejos, ya que requiere habilidades específicas en lógica, resolución de problemas, el desarrollo del pensamiento crítico y algorítmico, éste último es una de las grandes dificultades durante los semestres iniciales, lo que aumenta el nivel de fracaso de los estudiantes y también la tasa de deserción de dichos cursos. (Velasco Ramírez, 2020)[1]

La enseñanza de la programación

Estudios recientes en pedagogía de la programación, como el de J. Figueiredo y F. J. García-Peñalvo (2018) [2], subrayan que la programación es un proceso que requiere transformar ideas abstractas en instrucciones concretas para la computadora, una habilidad que puede ser difícil de desarrollar en un entorno tradicional de aula.

AlMegren y Yassin (2013) [3], citados por Velasco Ramírez, en su estudio “Resolución de problemas algorítmicos y objetos de aprendizaje”, sostienen que los objetos de aprendizaje se consideran herramientas que mejoran la eficacia, rendimiento y la experiencia de los estudiantes, al segmentar los materiales didácticos en pequeñas unidades de aprendizaje. Que también vayan alineados con los intereses de los estudiantes, para motivar su interés.

Por esta razón, es esencial implementar estrategias de aprendizaje activo que promuevan la participación directa de los estudiantes y les permitan aplicar conceptos en situaciones reales.

En ese sentido, el uso de la gamificación en la enseñanza de la programación, es otro recurso que ofrece grandes beneficios, Carreño-León (2018) [4], en su publicación denominada: “Gamification technique for teaching programming”, afirma que el uso de la técnica de gamificación para la enseñanza de la programación incluyen un mayor compromiso y motivación de los estudiantes en el proceso de aprendizaje, mejora habilidades de resolución de problemas y habilidades de pensamiento crítico, una mejor retención y comprensión de los conceptos de programación, así como facilita el aprendizaje activo a través de experiencias interactivas e inmersivas.

Los clubes de programación

El fomento de la colaboración y el trabajo en equipo entre los estudiantes se cuenta también entre los retos de la enseñanza de la programación (Mekouar, 2022)

[5], por lo que una alternativa probada para propiciar esta interacción, son los clubes de programación, que ofrece un entorno colaborativo donde los estudiantes pueden resolver problemas en equipo, aprender unos de otros y aplicar sus conocimientos en programación competitiva.

De acuerdo con un estudio presentado por Wei Yu, Lance, Haynes., Diane, DiMassa (2022) [6], denominado “Extracurricular Student-Centered Projects to Learn Computer Programming”, demostraron que los proyectos extracurriculares mejoraron los intereses de aprendizaje de los estudiantes y las habilidades de programación.

Otros estudios al respecto, demuestran que los clubes de programación al tener características diferentes en comparación con las clases de programación en la escuela, dan mejores resultados en la confianza, persistencia, concentración, habilidades de colaboración que incluso motiva no solo a aprender sino también a enseñar. (Aivaloglou, 2019) [7].

OmegaUp y la programación competitiva

OmegaUp, es una plataforma de programación competitiva que ofrece herramientas para apoyar a los estudiantes de programación a desarrollar habilidades técnicas y de resolución de problemas.

La plataforma omegaUp, fue creada en 2010 por ingenieros mexicanos, como una solución centralizada para concursos de programación. Sus funcionalidades son fáciles de usar, permite a los organizadores de concursos crear, gestionar y supervisar los concursos, así como cargar tareas para calificación automática.

Esta plataforma, soporta múltiples lenguajes de programación como C++, C, Haskell, Java, Pascal, Python y Ruby y se ha convertido en una herramienta gamificada que motiva a los usuarios a través del desafío y la diversión.

OmegaUp tiene como objetivo apoyar a estudiantes latinoamericanos en el desarrollo de habilidades de programación para acceder a oportunidades profesionales en la industria del software a nivel mundial.

Además, ofrece opciones para profesores, como aplicar exámenes y dar retroalimentación, y para estudiantes, como resolver problemas y participar en concursos.

Su estructura gamificada permite a los estudiantes practicar mediante ejercicios y recibir retroalimentación instantánea, lo cual fomenta el

aprendizaje autónomo, la motivación continua de mejora y el espíritu de competencia. (Pereyra Agüero, 2014) [8]

La plataforma de omegaUp ofrece la posibilidad de participar en competencias de programación internas de cada institución y externas que incluso pueden ser internacionales.

La programación competitiva, llamadas también maratones de programación, donde un estudiante debe dar solución a un conjunto de problemas planteados, sin la ayuda de un profesor, tiene como objetivo mejorar la capacidad lógico-interpretativa de los estudiantes, mediante el análisis y solución de problemas de la vida real. (Lora Patiño et al., 2021, #359-553) [9]

Antecedentes

El uso de la plataforma omegaUp como herramienta de apoyo a las clases de programación, se inició por iniciativa de un profesor en 2019. No se usaba como herramienta obligatoria, si no, como una herramienta extra clase.

El desempeño de los estudiantes que utilizaron la plataforma omegaUp antes y durante la pandemia (2019-2021) en dos asignaturas del plan de estudios de Ingeniería en Sistemas Computacionales en tres períodos en los que se impartió la asignatura, Ago-Dic-2019 (presencial), Ago-Dic-2020 y Ago-Dic-2021 (durante la pandemia COVID-19, en modalidad virtual):

Asignatura: Fundamentos de programación.

(Ago-Dic 2019), el 52% de los estudiantes (29 de 56) aprobaron la asignatura. Durante este tiempo, los estudiantes recibieron retroalimentación directa por parte del profesor y usaron la plataforma para resolver actividades adicionales.

En contraste, durante los semestres Ago-Dic-2020 y Ago-Dic-2021, en formato virtual y durante la pandemia, se observó un aumento significativo en el porcentaje de aprobación, alcanzando el 81% (29 de 36) y el 62% (28 de 45) respectivamente. A pesar de las dificultades del modelo virtual, los estudiantes utilizaron más la plataforma, mostrando un incremento en su desempeño.

En estos semestres, se propusieron 76, 71 y 53 ejercicios respectivamente, y el porcentaje de resolución en la plataforma omegaUp fue del 67%, 52%, y 64% respectivamente.

Asignatura: Estructura de datos.

Esta asignatura forma parte del tercer semestre del plan de estudios y requiere conocimientos previos en fundamentos de programación. Esto podría explicar el bajo número de estudiantes inscritos: Ago-Dic-19 (4), Ago-Dic-2020 (8) y Ago-Dic-2021 (16).

Además, el nivel de complejidad aumenta considerablemente en esta asignatura y hay estudiantes que prefieren dejarla para después cuando estén mejor preparados.

Es importante destacar que no todos los estudiantes que cursaron la asignatura fueron atendidos por el mismo profesor en la materia previa.

La estadística revela que, en el semestre Ago-Dic 2019, el 80% de los estudiantes (4 de 5) obtuvo aprobación en un entorno presencial y previo a la pandemia de COVID-19.

Esto sugiere una constante presencia del docente en las clases, complementada con el uso de la plataforma omegaUp para actividades de resolución de ejercicios, que extendían el aula física al espacio virtual. A pesar de que el profesor planteó 95 ejercicios, solo se resolvió el 18% de ellos.

Para los semestres Ago-Dic 2020 y Ago-Dic 2021, en un formato no presencial y durante la pandemia de COVID-19, se observa un notable aumento en el porcentaje de aprobación: 8 de 11 (73%) y 16 de 23 (70%) respectivamente.

Asimismo, se observa un incremento en la resolución de problemas en la plataforma omegaUp, pasando del 18% en Ago-Dic-2019 al 42% y 67% para los semestres Ago-Dic 2020 y Ago-Dic 2021 respectivamente.

Objetivos del proyecto

Este proyecto tiene como objetivo principal, elevar el rendimiento académico en asignaturas de programación mediante la integración de clubes de programación y el uso de omegaUp como herramienta de trabajo, para crear un entorno de aprendizaje activo que motive a los estudiantes a participar en desafíos de programación y los prepare para competir en eventos de programación competitiva desde los primeros semestres de su carrera.

Con el presente proyecto se busca transformar el aprendizaje de la programación en una experiencia dinámica y motivadora, promoviendo un aprendizaje

significativo que los prepare para los retos de la industria tecnológica actual.

DESARROLLO

Metodología

El diseño de este proyecto es de tipo cuasi-experimental con un enfoque de aprendizaje activo y gamificación:

- Se introducen dos variables independientes: el uso de la plataforma omegaUp y la participación en clubes de programación, para medir su efecto en el rendimiento académico y en las habilidades de programación de los estudiantes.
- No se utilizó asignación aleatoria: Los participantes son estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, de grupos preexistentes que cursan las asignaturas de programación y que voluntariamente participan en el club de programación.
- El proyecto se lleva a cabo en un entorno académico real de enseñanza-aprendizaje (el Instituto Tecnológico de Cancún), lo que permite evaluar el impacto de las herramientas de manera directa.
- El proyecto tiene duración de dos semestres: enero-junio 2024 y agosto-diciembre-2024.
- Instrumentos Utilizados: la plataforma omegaUp, se utilizó como herramienta principal para apoyar el desarrollo de habilidades de programación mediante ejercicios gamificados y concursos. Esta plataforma permite a los estudiantes resolver problemas de programación, recibir retroalimentación inmediata y acumular puntos, motivándolos a continuar con su aprendizaje.
- Registro de participación en los clubes de Programación y competencias: se realizó un seguimiento del rendimiento de los estudiantes en el club de programación, con el seguimiento de problemas resueltos y los resultados de su participación en competencias diversas.

Procedimiento

El proyecto se dividió en varias etapas:

1. Definición de objetivos y alcance:

Se identificaron los objetivos del proyecto enfocados en el aprendizaje de programación y se definió el alcance, abarcando asignaturas específicas de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Se capacitó a profesores en el uso de omegaUp y en técnicas de enseñanza basadas en gamificación, así como para aprendizaje activo.

2. Diseño de Actividades de Enseñanza y Aprendizaje:

Se realizó la instrumentación didáctica de las asignaturas de fundamentos de programación, programación orientada a objetos y estructura de datos. Se diseñaron ejercicios para desarrollar habilidades de programación y resolución de problemas, adaptándolos al nivel de conocimiento de los estudiantes, integrando omegaUp.

omegaUp en su versión para profesores ofrece funcionalidades para crear cursos, gestionar contenidos, crear y configurar actividades, dar seguimiento a la entrega de actividades, aplicar exámenes, brindar retroalimentación y crear bancos de reactivos para propósitos específicos.

En este sentido, una función primordial que ofrece omegaUp para los profesores es la selección de problemas, ya que ofrece una gran colección de problemas clasificados en varias categorías: Introducción a la programación, Estructuras de datos y algoritmos, Programación competitiva, Análisis y diseño de algoritmos, Matemáticas en la programación y Temas especializados.

La labor del docente consistió en explorar la colección de problemas, seleccionar cuidadosamente los ejercicios que servirían de apoyo a las clases, acorde a los temas de cada asignatura, armando un problemario adecuado al nivel de la asignatura y de los estudiantes, dejando un margen para el reto de los alumnos más avanzados.

Asimismo, los profesores que se involucraron en el proyecto, diseñaron un total de 63 ejercicios propios divididos en 5 categorías en la fase de arranque. Para cada problema se le introduce la información correspondiente: título del problema o el número que lo identifica, el puntaje y la fecha de vigencia del mismo y la posibilidad de ser solo para sus estudiantes, o ser parte del problemario global de la plataforma y que podrían usar otros usuarios de la misma.

3. Implementación de Actividades en el Aula:

Se fomentó el aprendizaje activo con los estudiantes, se incluyeron actividades de codificación interactiva y proyectos prácticos en el aula, incentivando la participación y el uso de la plataforma para obtener retroalimentación inmediata sobre sus soluciones, promoviendo un aprendizaje autónomo y la resolución de problemas.

Se invitó a los estudiantes a crear también sus propios problemas, para ser resueltos por sus compañeros o por toda la comunidad de omegaUp. Este ejercicio es también retador, porque al plantear un problema debieron haberlo resuelto previamente para validar su comprensión y buen funcionamiento.

4. Establecimiento del Club de Programación:

Se fundó un club de programación con reuniones extra-clase los fines de semana.

Para la integración del club se hizo una invitación abierta a toda la carrera de Ingeniería en sistemas y Mecatrónica, en el podían participar estudiantes de todos lo semestres, para hacerlo más atractivo y social.

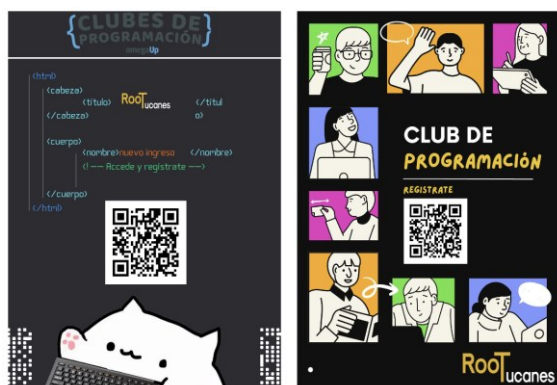


Figura 1. Invitaciones a inscribirse al club de programación Tucanes

Una vez integrado el club, se gestionó con las autoridades del plantel los permisos correspondientes para el acceso a la institución los sábados de 9:00 a 13:00 hrs. y para el uso de un aula de cómputo.

El club dio inicio con 30 integrantes de la carrera de Sistemas, en el mes de marzo de 2024.

Para la operación del club, se diseñaron por parte de los profesores responsables, ejercicios propios para el club, adicionales a los aplicados en clases, ya que los estudiantes provenían de distintos grupos y semestres.

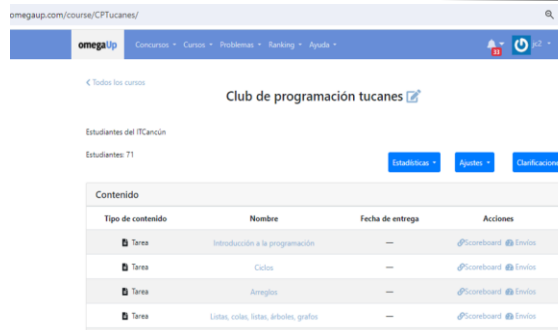


Figura 2: Ejercicios para el club de programación

La mecánica de trabajo en el club inicia con explicaciones breves del tema, demostraciones por parte del profesor y posteriormente, se plantean los retos de la sesión a resolver. Los cuales se eligen del problemario previamente diseñado para tal fin.

5. Vinculación y difusión del club de programación.

Una vez que el club estuvo operando con regularidad, se dispuso a extender su alcance más allá de la institución con actividades de divulgación y vinculación.

Se visitó distintos bachilleratos, llevando charlas relacionadas con la programación competitiva por parte de los profesores a cargo del proyecto.

En estas charlas se atendió a un total de 240 estudiantes, de 3 centros de bachillerato públicos, Cecyte, CBTis y Colegio de Bachilleres de la ciudad de Cancún, Q.Roo.



Figura 3. Visita a instituciones de educación media superior

Se extendió la invitación a los estudiantes a unirse al club y se aprovechó para hacer difusión de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, como una opción para continuar estudiando.

Para el segundo semestre de la integración del club, éste ya contaba con 70 miembros, de los cuales 24 son provenientes de 3 bachilleratos diferentes.

Del mismo modo, se hizo vinculación con la Universidad Tecnológica de la Riviera Maya, ubicada en Playa del Carmen, Quintana Roo, promoviendo los beneficios de la creación de clubes de programación y apoyándolos con la organización del 1er. concurso de programación interno para sus estudiantes en el marco del Día del Programador, siendo una experiencia nueva y motivadora para ellos, que sembró las bases de colaboración con la institución para futuros intercambios educativos y trabajos en conjunto con la academia de dicha institución.



Figura 4: Estudiantes de Tics y Negocios Digitales de la UTRM de Playa del Carmen



Figura 5: Conferencia sobre Programación Competitiva en la UTRM de Playa del Carmen



Figura 6: Conferencia sobre clubes de programación en la UTRM de Playa del Carmen

Resultados generales

El proyecto ha logrado resultados significativos en la promoción de la programación y el desarrollo de habilidades técnicas y competitivas entre los estudiantes del Instituto Tecnológico de Cancún.

omegaUp			Inicia sesión / Regístrate
66	Universidad del Caribe		11199.00
67	Instituto Tecnológico de Cancún		11129.00
68	CBTis 45		11083.00
69	Colegio Americano de Torreón		11026.00
70	IPN-UPITA		10918.00

Figura 7: Ranking de escuelas en omegaUp

En el ranking de escuelas de omegaUp en 2024, se ha llegado a la posición 67 de 100. Este ranking se logra en función del desempeño individual y grupal de los estudiantes con el set de problemas planteados en el club y en las clases regulares.

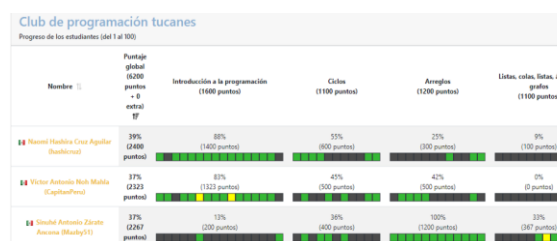


Figura 8: Porcentajes de problemas resueltos.

Mes a mes los resultados cambian, variando la posición de cada equipo, actuando también como motivador para los participantes en el club, al competir con otros clubes de otras instituciones.

Instituto Tecnológico de Cancún



Figura 9: Total de problemas resueltos por mes.

Resultados en eventos de programación competitiva

Se ha logrado motivar el interés de los estudiantes para participar en concursos y eventos de programación internos y externos.



Figura 10: Participación en el ICPC México, fase final

1. El ICPC (International Collegiate Programming Contest) Gran Premio de México, el concurso de programación Inter universidades más grande y prestigioso del mundo, donde 10 equipos (30 estudiantes) representaron al instituto, dos de los cuales clasificaron a la final nacional el 8 y 9 de noviembre en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, México, ante un total de 130 equipos.

Contest	Date	Registration	Contact	Capacity	Details	Registration
Finished						
The 2024 ICPC Caribbean Finals (Qualifier)	Oct 05, 24 - Oct 05, 24	Aug 26, 24 - Oct 05, 24	✉	136/210	Details	Closed
The 2024 ICPC Colombia - XXXVIII Maratón Nacional de Programación ACIS 80000	Oct 19, 24 - Oct 19, 24	Aug 13, 24 - Oct 19, 24	✉	120/185	Details	Closed
The 2024 ICPC Gran Premio de México	Apr 20, 24 - Oct 01, 24	Apr 20, 24 - Oct 01, 24	✉	1258/1814	Details	Closed
The 2024 ICPC Gran Premio de Centroamérica	May 03, 24 - Oct 01, 24	May 03, 24 - Oct 01, 24	✉	71/302	Details	Closed
The 2024 ICPC South America/South Finals	Nov 08, 24 - Nov 08, 24	Oct 08, 24 - Nov 08, 24	✉	218/305	Details	Closed
The 2024 ICPC Mexico Finals	Nov 08, 24 - Nov 08, 24	Sep 05, 24 - Oct 05, 24	✉	121/130	Details	Closed
The 2024 ICPC Central America Finals	Nov 08, 24 - Nov 08, 24	Oct 01, 24 - Oct 01, 24	✉	46/62	Details	Closed

Figura 11: listado de eventos del ICPC México

2. HackatecNM 2024. Participación de un integrante del club como miembro del equipo del HackatecNM, quienes lograron el 2o. lugar en la etapa regional en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, en el mes de septiembre 2024 y obteniendo su pase a la fase nacional, que será a fines de noviembre 2024.



Figura 12: Equipo HackatecNM 2024

3. El Coding-Cup 2024. Este concurso es organizado por el TecNM, es un concurso de programación que se efectúa en equipos de tres personas con modalidad VIRTUAL (en línea), con un formato similar al ICPC. Participaron 15 equipos del club, un total de 45 estudiantes. Los lugares obtenidos: 38, 39 y 42 de entre un poco más de 500 equipos de todo el país.

El 1er. Concurso de Programación de Clubes de Programación organizado por omegaUp. Este evento tuvo lugar el sábado 26 de octubre. Participaron 10 estudiantes del club, la participación fue individual. En este evento, el estudiante y presidente del club de programación, Rafael Ramos Jiménez, obtuvo el 1er lugar.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados del proyecto "Clubes de Programación y Aprendizaje Activo: Del Aula al Éxito en Programación Competitiva" muestran el impacto positivo de integrar plataformas de programación gamificadas como omegaUp y de fomentar el aprendizaje colaborativo a través de clubes de programación.

Estos resultados reflejan los objetivos establecidos, orientados a mejorar el rendimiento académico en programación y preparar a los estudiantes para competir en entornos de programación competitiva.

1. Aprendizaje activo

La implementación de OmegaUp en las actividades de enseñanza en el aula permitió a los estudiantes desarrollar habilidades técnicas en un entorno estructurado que fomenta el aprendizaje autónomo. La retroalimentación inmediata facilita la comprensión de conceptos complejos de programación y promueve un aprendizaje significativo y autogestionado.

La clasificación del Instituto Tecnológico de Cancún en el ranking de escuelas de omegaUp (posición 67 de 100) refleja el compromiso de los estudiantes con la plataforma y su progresión en el desarrollo de habilidades de resolución de problemas. Este avance es un indicador clave de que el enfoque en competencias técnicas mediante actividades prácticas está alineado con los objetivos de elevar el rendimiento y la motivación de los estudiantes.

2. Impacto de los Clubes de Programación

La creación del club de programación ha sido fundamental para fortalecer la colaboración entre los estudiantes, promoviendo un espacio en el que pueden resolver problemas en conjunto y mejorar sus habilidades de comunicación y trabajo en equipo. La participación activa de los estudiantes en el club, con una asistencia promedio del 50% cada fin de semana.

Las actividades de vinculación, con otras escuelas, han ampliado el alcance del club, despertando el interés en programación entre estudiantes de nivel medio superior y fomentando la creación de una comunidad de programación que va más allá del aula.

3. Participación en Competencias de Programación

La participación en competencias externas más allá del aula, dotan al estudiante de experiencias retadoras y lo sitúan en una realidad distinta, donde puede medir sus habilidades con otros jóvenes no solo de México y ante problemáticas reales que requiere otro nivel de solución.

Los resultados obtenidos en competencias importantes, como el ICPC Gran Premio de México, el HackatecNM 2024, el Coding-Cup 2024 y el 1er Concurso de Programación de Clubes de Programación organizado por omegaUp, evidencia el compromiso de los estudiantes para enfrentar desafíos competitivos.

Estos logros son una manifestación directa del objetivo del proyecto de formar a los estudiantes en programación competitiva y permitirles aplicar sus habilidades en contextos reales. La motivación adicional que estos eventos brindan es evidente en la participación continua y los resultados destacados, especialmente el 1er. lugar obtenido por el presidente del club en el concurso de omegaUp.

4. Vinculación con otras instituciones educativas.

El contacto con otras instituciones educativas de medio superior y superior en la zona norte de Quintana Roo, permitió al equipo de investigación identificar la misma problemática en la enseñanza de la programación y cómo a través de la compartición de experiencias y la búsqueda de la colaboración se pueden crear soluciones conjuntas.

CONCLUSIONES

La enseñanza de la programación tiene retos interesantes, la complejidad en sí, de la actividad misma y de su enseñanza efectiva, ha llevado a los

académicos a buscar soluciones creativas para mitigar la frustración, mejorar el rendimiento y motivaciones de los nuevos aprendices.

Los clubes de programación crean un espacio donde los estudiantes pueden mejorar sus habilidades técnicas mientras desarrollan competencias blandas como la comunicación y el trabajo en equipo, habilidades altamente valoradas en el ámbito profesional y fundamentales para los ingenieros que quieren ser más que simples codificadores.

Adoptar estrategias que fomenten la competencia sana entre los estudiantes puede mantener la motivación e incentivar el espíritu de logro, no solo individual, si no también grupal. Dotar de experiencias reales en competencias da un motivador extra a los estudiantes al verse capaces de resolver problemas que están más allá del aula y que incluso van más allá de obtener una calificación.

Apoyarse de herramientas de gamificación con las cuales los estudiantes actualmente están familiarizados a interactuar, le da un valor adicional, al poder autogestionar sus avances individuales y hace también más activas las sesiones grupales y los ayuda a comprometerse con su mejora continua.

AGRADECIMIENTOS

Se hace un agradecimiento especial al Tecnológico Nacional de México el apoyo económico prestado para la adquisición de 7 computadoras para el club y a las autoridades del plantel por las facilidades brindadas para el uso de las instalaciones de cómputo los fines de semana y el apoyo en los viajes de los estudiantes del club para participar en los concursos fuera de la ciudad.

Asimismo, se agradece a la Universidad Tecnológica de la Riviera Maya y a los bachilleratos por el apoyo brindado al proyecto al habernos permitido trabajar con sus estudiantes y compartir las experiencias del club.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Velasco Ramírez, M. L. (2020). Resolución de problemas algorítmicos y objetos de aprendizaje: una revisión de la literatura. RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo, 10(20). <https://doi.org/10.23913/ride.v10i20.630>
- [2] J. Figueiredo and F. J. García-Peñalvo, "Increasing student motivation in computer programming with gamification," 2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Porto, Portugal, 2020, pp. 997-1000, doi: 10.1109/EDUCON45650.2020.9125283.

- [3] AlMegren, A. and Yassin, S. Z. (2013). Learning Object Repositories in e-Learning: Challenges for Learners in Saudi Arabia. *European Journal of Open, Distance and E-learning*, 16(1), 115-130.
- [4] M. Carreño-León, A. Sandoval-Bringas, F. Álvarez-Rodríguez and Y. Camacho-González, "Gamification technique for teaching programming," 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Santa Cruz de Tenerife, Spain, 2018, pp. 2009-2014, doi: 10.1109/EDUCON.2018.8363482.
- [5] L. Mekouar, "The Art of Teaching Programming Languages: Challenges and Accomplishments," 2022 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE), Santos, Brazil, 2022, pp. 1-6, doi:10.1109/EDUNINE53672.2022.9782372.
- [6] Wei, Yu., W., Lance, Haynes., Diane, DiMassa. (2022). Extracurricular Student-Centered Projects to Learn Computer Programming. doi: 10.1109/ISEC54952.2022.10025164
- [7] Efthimia, Aivaloglou., Felienne, Hermans. (2019). How is programming taught in code clubs? Exploring the experiences and gender perceptions of code club teachers. doi: 10.1145/3364510.3364514
- [8] Pereyra Agüero, F. (2014). OMEGAUP Una alternativa para la evaluación automática de algoritmos programados, un juez en línea. Recuperado de: <https://slideplayer.es/slide/13775126/>
- [9] Lora Patiño, G. A., Flores Jiménez, J. H., Rodríguez Marín, P. A., & Taborda Blandón, G. (2021, 01). Programación competitiva como estrategia didáctica para potenciar el aprendizaje colaborativo en estudiantes de ingeniería. *Iberian Journal of Information Systems and Technologies*, (39), 539-553. <https://www.risti.xyz/issues/ristie39.pdf>
- [10] L.H. Chávez, A. González, J. Ponce (2014). omegaUp: Cloud-Based Contest Management System and Training Platform in the Mexican Olympiad in Informatics. *Olympiads in Informatics*, 2014, Vol. 8, 169-178
- [11] Teixes Arguilés, F. Gamificación: motivar jugando. ed. Barcelona: Editorial UOC, 2015. 130 p. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/cancun/57871?page=13>. Consultado en: 11 Aug 2022
- [12] Osuna Zabaleta, J. M., Sánchez Espinoza, M. T., Jara Ochoa, J. Y., Villalba Góngora, J. D., & Quiroga Rojas, D. E. (2021, 01). La gamificación como un aliado pedagógico en los procesos académicos de los programas universitarios. *Iberian Journal of Information Systems and Technologies*, (39), 257-267. <https://www.risti.xyz/issues/ristie39.pdf>
- [13] Clemente Ruiz Durán, M. P. (1 de 09 de 2005). Los retos para el desarrollo de la industria del software. *Comercio exterior*, 55(9), 253. Recuperado el 14 de 07 de 2022
- [14] Marcin, Fojcik., Martyna, Katarzyna, Fojcik., Sven-Olai, Høyland., Jon, Hoem. (2022). Challenges in teaching programming. doi: 10.36315/2022v1end034
- [15] Díaz Pérez, D., & González Martínez, A. (2019). Clubes de programación en educación básica: una experiencia práctica para el desarrollo de habilidades digitales. *Revista Educación y Desarrollo Social*, 13(2), 52-67.

APROPIACIÓN DE TIC EN ALUMNOS DE LA EDUCACIÓN PREESCOLAR. ESTUDIO DIAGNÓSTICO

Llanes Chiquini Charlotte Monserrat¹, Mex Álvarez Diana Concepción², Hernández Cruz Luz María³, Castillo Tellez Margarita⁴

¹Doctora en Ciencias de la Administración. Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Contaduría y Administración chmllane@uacam.mx Av. Agustín melgar S/N Col. Buenavista, Campeche, México.

²Doctora en Proyectos. Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería diancmex@uacam.mx Av. Agustín melgar S/N Col. Buenavista, Campeche, México.

³Doctora en Proyectos. Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería lmhernan@uacam.mx Av. Agustín melgar S/N Col. Buenavista, Campeche, México.

⁴Doctora en Ingeniería, con especialidad en Energías Renovables / Energía solar térmica (UNAM). Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería mcastill@uacam.mx Av. Agustín melgar S/N Col. Buenavista, Campeche, México.

Resumen -- Este proyecto surge de la necesidad de proponer acciones que promuevan el uso y apropiación de las TIC entre las personas que fungirán como docentes en las instituciones de educación. El presente estudio diagnóstico, fue aplicado a los alumnos de la Licenciatura en Educación Preescolar del Instituto Campechano en la ciudad de San Francisco de Campeche, México. Inicialmente se realizó un trabajo de campo por medio del cuestionario de apropiación tecnológica por parte de los docentes (Llanes, 2010) y se sometió a la tipología de Alfabetización digital docente de Llanes (2010), donde se pudieron obtener evidencias del conocimiento que los alumnos tienen de estas tecnologías y el modo en que hace uso de ellas, si es que las usan, pues existen algunos indicios que apuntan en el sentido de que no todos los alumnos aprovechan las posibilidades que las TIC brindan como herramienta en la formación profesional de sus futuros alumnos. Dentro de la tipología de Alfabetización digital docente de Llanes (2010), se pudo observar que el 81% se encuentra ubicado dentro del nivel tipológico alfabetización digital funcional; por lo que un mejor conocimiento y uso de las TIC por parte de los futuros profesores, potencia las posibilidades de mejorar la calidad de la enseñanza, elemento sine qua non podremos ingresar como país en la sociedad del conocimiento; no cabe duda de que México deberá enfocar sus esfuerzos en esa dirección.

Palabras Clave: Apropiación, Tecnologías de la Información, Docentes.

Abstract -- This project arises from the need to propose actions that promote the use and appropriation of ICT among people who will serve as teachers in educational institutions. The present diagnostic study was applied to the students of the Bachelor's Degree in Primary Education at the Campechano Institute in the city of San Francisco de Campeche, Mexico. Initially, field work was carried out through the technological

appropriation questionnaire by teachers (Llanes, 2010) and was subjected to the typology of technological appropriation (Llanes, 2010), where evidence of the knowledge that the students have could be obtained. of these technologies and the way in which they use them, if they use them, since there are some indications that point to the fact that not all students take advantage of the possibilities that they offer. ICT provides as a tool in the professional training of its future students. Within the Llanes typology (2010), it was observed that 81% are located within the functional digital literacy typological level; Therefore, better knowledge and use of ICT by future teachers enhances the possibilities of improving the quality of teaching, an element sine qua non that we will not be able to enter the knowledge society as a country; There is no doubt that Mexico should focus its efforts in that direction.

Keywords: Appropriation, Information Technologies, Teachers.

INTRODUCCIÓN

Alvin Toffler [1] decía que los analfabetos del futuro no son los que no sabrán leer o escribir, sino los que no puedan aprender, desaprender y reaprender. Es sabido que el valor social de la educación depende del nivel de desarrollo económico de las sociedades, aunado a los múltiples factores del entorno político, económico y social de un país [2]. En el caso de México, las propias fuerzas y dinámicas institucionales han provocado que hoy en día se estén realizando esfuerzos encaminados a promover cambios dentro del sistema educativo, en su mayoría influenciados por el fenómeno de la globalización [3].

De acuerdo con Llanes [4] a pesar de la trayectoria que nuestro país muestra en materia de apropiación y uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la educación –en distintos niveles y modelos

educativos—, las instituciones de educación superior (IES) no se encuentran paralizadas en el tiempo. En efecto, son muy variados y numerosos los esfuerzos que éstas han realizado para modernizarse [5]; sin embargo, y considerando el ritmo del cambio en otros ámbitos, algunas de ellas manifiestan signos que indican cierto grado de retroceso o rezago.

Uno de los actores clave que obligadamente tiene que estar involucrado en el rediseño de los modelos educativos es el maestro. En las últimas décadas, el rol del profesor se ha diversificado, particularmente en la educación superior [4]. Se espera de él, además de cumplir con la responsabilidad de la enseñanza; la elaboración de materiales didácticos; la actualización de estos; y, a últimas fechas, como menciona [6], el manejo de las competencias de los profesores para el uso de las TIC en la enseñanza, sin duda, estas competencias les permitirán trabajar en diferentes modalidades (presenciales, no presenciales y mixtas); etc. Esta amplitud de funciones y roles ha ido forzando la modificación de la figura del docente por la de un académico, sin que necesariamente se observen los requisitos de formación y experiencia que ello presupone.

DESARROLLO

Con el propósito de ayudar a las IES en estas nuevas tareas, la investigación que aquí se presenta incluyó el uso de la tipología del nivel de apropiación y uso de las TIC por parte de los profesores, tipología de Alfabetización digital docente de [4] fundamentada en la teoría de aceptación tecnológica de [7]. Esta tipología facilitó diseñar acciones que, por un lado, atiendan la enorme heterogeneidad de nuestro profesorado y, por el otro, respondan a las necesidades de formación de las entidades académicas universitarias a las que estos se encuentran adscritos.

Sólo mediante la formación y la actualización del profesorado será posible disminuir la brecha que hoy en día separa a quienes utilizan las TIC de manera cotidiana y aquéllos que todavía no las han incorporado. Sin duda, un mejor conocimiento y uso de las TIC posibilitará mejores posibilidades para modificar los modelos educativos vigentes en nuestras instituciones, sin perder de vista según [8] cuál es el camino para la adopción de nuevas ideas y qué elementos favorecen su propagación.

Planteamiento del problema

Es necesario tomar en consideración que, al introducir una innovación en una organización, generalmente se generan cambios y, como consecuencia de éstos,

surgen resistencias a dichos cambios. Las instituciones educativas no se ubican al margen de esta reacción al cambio. La literatura señala que algunas investigaciones han reportado que, al introducir las TIC en la práctica de los docentes, la mayoría de ellos presenta una resistencia natural al ver modificado su estilo o forma de enseñar, producto o bien de su escaso conocimiento y aplicación de las TIC o bien de sus temores.

Ante este panorama, en la presente investigación se buscaba encontrar respuestas a la pregunta: ¿Cómo incorporar las TIC en la práctica docente?

Objetivo general:

Mejorar el proceso de aceptación tecnológica y la incorporación de las TIC en la práctica docente de los profesores.

El presente estudio diagnóstico, está elaborado con la finalidad de saber que tanto y de qué manera se han apropiado de las TIC los alumnos de la Licenciatura en Educación Preescolar del Instituto Campechano en la ciudad de San Francisco de Campeche, México.

Definición de la población bajo estudio

La población que se invitó a participar en este proyecto de investigación interinstitucional está compuesta por 21 alumnos, de los cuales, el 95.2% son de género femenino y el 4.8% no binario, todos ellos están adscritos a la Licenciatura en educación preescolar del Instituto Campechano de la ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche; México.

Inicialmente se requería conocer las características de su conocimiento y uso de las TIC, especialmente en su ejercicio docente; es decir, su nivel de aceptación, rutinización y apropiación tecnológica. Algunos de los resultados preliminares permiten observar que existen diferencias entre los alumnos, en una o más de las siguientes variables:

1. Actitud hacia el uso de las TIC.
2. Creencias sobre la facilidad y la utilidad de las TIC.
3. Intenciones de uso de las TIC.
4. Conocimiento de las TIC.

El cuestionario está estructurado de la siguiente manera, como muestra la Tabla 1:

Tabla 1. Estructura del cuestionario de apropiación de TIC.

Secciones (Datos generales)	Descripción	Tipo de Reactivo
Sección A	- Nivel de manejo de la tecnología - Manejo de programas de cómputo	Escala de Likert
Sección B	TIC que conoce y dónde las utiliza	Escala de Likert
Sección C	Frecuencia de uso en determinadas actividades	Escala de Likert
Sección D	- Percepción de las TIC - Identificación con el uso de las TIC - Disposición hacia el uso de las TIC - Disponibilidad de la Infraestructura Institucional	Escala de Likert
Sección E	Intervención de la Administración	Escala de Likert
Sección F	Gusto por la adquisición de conocimientos y habilidades para el uso de las TIC	Opcional y respuestas semi-cerradas
Sección F1	Factores que inciden en la incorporación de las TIC en la práctica docente	Opcional, respuestas semi-cerradas y respuestas abiertas

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El estudio partió suponiendo que existen diferentes perfiles dentro del alumnado. Con estos perfiles, también era de esperarse que hubiera distintas necesidades y condiciones para la adopción y aplicación de las TIC, lo cual implica que se requerirán distintas estrategias para fomentar un mayor y mejor uso de dichas tecnologías. Para el análisis de los datos se utilizó una escala tipo Likert, con un continuo de cinco intervalos que van desde “Totalmente de Acuerdo” hasta “Totalmente en Desacuerdo”. Se diseñó la estructura de la base de datos donde se almacenaría la información recabada en las entrevistas. Dado que el análisis se llevó a cabo con ayuda del software estadístico SPSS ver.20, la estructura de la base debía contemplar los requerimientos de este paquete.

Niveles tipológicos

Con el fin de conocer cómo se distribuyen los docentes entre los distintos niveles contemplados en la tipología de apropiación tecnológica de Llanes [4], fue necesario conocer en qué actividades de su quehacer cotidiano

aplican sus conocimientos y uso de las TIC, aspecto que fue incluido en el cuestionario (Sección C). En efecto, los reactivos incorporados en esa sección permiten identificar en qué nivel del proceso de apropiación (aceptación, rutinización, o apropiación) se encuentran estos docentes.

Una primera aproximación de la distribución de los entrevistados entre los distintos niveles se muestra en la Figura 1.

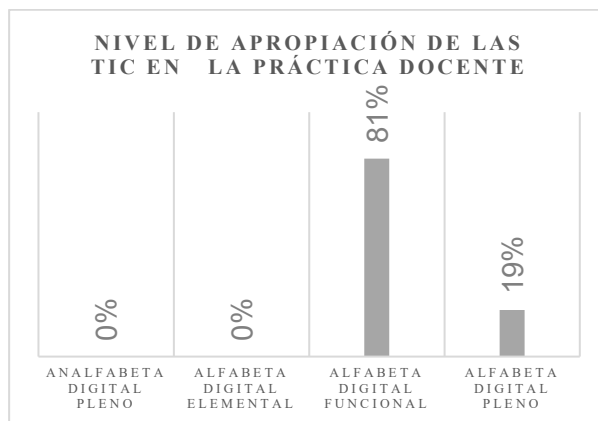


Figura 1. El 4.56% del grupo entrevistado se ubica en el nivel tipológico de Analfabeta digital pleno, que representa a los docentes que o bien desconocen las TIC (que no es el caso), o bien manifiestan resistencia hacia su aprendizaje y uso

Por su parte, los alumnos que pertenecen a la segunda categoría, es decir aquellos que conocen algunas TIC, pero no las utilizan, tampoco tienen disposición para adoptarlas ni para incorporarlas en su labor de enseñanza; subestiman su potencial y las consideran innecesarias en la formación de sus alumnos.

El 0% del grupo entrevistado se ubica en el nivel tipológico de Analfabeta digital pleno, que representa a los alumnos que o bien desconocen las TIC (que no es el caso), o bien manifiestan resistencia hacia su aprendizaje y uso.

En relación con las características actitudinales, los primeros no cuentan con habilidades para usarlas y muestran inseguridad al decidir sobre si tomar cursos de formación en TIC; por consiguiente, estos alumnos no se sienten capaces de utilizarlas. La mayoría de ellos cree que las TIC no son aplicables en su quehacer docente y consideran que aprender a utilizarlas implica una inversión de tiempo que aumenta su carga laboral. Por su parte, los alumnos que pertenecen a la segunda categoría, es decir aquellos que conocen algunas TIC, pero no las utilizan, tampoco tienen disposición para adoptarlas ni para incorporarlas en su labor de

enseñanza; subestiman su potencial y las consideran innecesarias en la formación de sus alumnos. Claramente, se puede observar que no se aplica esta tipología al grupo estudiado.

El 0% de este grupo trata del nivel tipológico Alfabeto digital elemental; es decir, se trata de alumnos que conocen y usan las tecnologías; que ya han iniciado su incorporación en su trabajo magisterial. El empleo que hacen de estas herramientas en el aula es mediante aplicaciones básicas, es notable que este grupo ha superado esta condición sin problema.

En relación con las características actitudinales de los alumnos que conocen las TIC, pero las utilizan en ámbitos personales, se encontró que en cuanto su uso, conocen las TIC, pero las utilizan en ámbitos personales. A pesar de que las tecnologías son incorporadas de manera incipiente en su actividad de enseñanza, estos maestros mantienen una actitud optimista hacia los programas de capacitación y formación que se ofrecen en la institución.

El 80.95%, corresponde al nivel tipológico Alfabeto digital funcional, integrado por aquellos alumnos que poseen conocimientos de las TIC en cuanto a su aplicación en el aula como los siguientes software: Kahoot!, Hot Potatoes, Webquest, Jcllic, Podcast entre otros y con respecto a su uso, estas son de manera frecuente, de tal forma que la incorporación en su práctica es cotidiana y constante, sin embargo; en sus comentarios piden cursos avanzados para estar más especializados en estos software de autor en su mayoría.

Este grupo se diferencia del anterior en que existe una mayor frecuencia de uso y, por lo mismo, se facilita su operacionalización, ocasionando o promoviendo la necesidad de adquirir conocimientos más elevados en cuanto a las aplicaciones tecnológicas para diseñar material didáctico digital en apoyo a sus clases. En este nivel, el uso de estas herramientas pasa de ser algo excepcional a formar parte de la cotidianeidad del alumno.

En relación con las características actitudinales, se trata de alumnos que conocen y utilizan las TIC de manera continua; son entusiastas y participan regularmente en los cursos que la institución ofrece y sirven de modelo para los demás. Una característica adicional de este grupo es que empiezan a elaborar su propio material didáctico digital.

Es importante puntualizar dos variables que tienen una correlación significativa: edad y uso. Respecto a la edad de acuerdo con el INEGI, en el 2020, la población en

México hizo uso de las TIC, cerca de 50 millones corresponde a niñas, niños y adolescentes de 6 a 19 años. El 22.5% utilizó computadora, el 33.5% celular y el 44% accedió a internet (INEGI, 2021). Lo anterior respalda ampliamente la tendencia de los resultados que se obtuvieron de los encuestados, dado que están en un rango entre 19-21 años en este 2024 y están 100% dispuestos a seguir adquiriendo estas habilidades tecnológicas.

En cuanto al uso incremental que le están dando a sus habilidades tecnológicas se aceleró en el periodo de pandemia (COVID-19), dando un gran salto a modalidades alternas de aprendizaje, en este caso al aprendizaje en línea, teniendo que usar plataformas digitales como aulas virtuales, no cabe duda que hay que evolucionar en todos los aspectos y el académico no se debe quedar atrás y este acontecimiento pandémico lo demostró ampliamente; la historia le da la razón a [9], cuando menciona que el concepto de que la educación deberá ser durante toda la vida con sus ventajas de flexibilidad, diversidad y accesibilidad en el tiempo y el espacio.

Este joven grupo encuestado cuenta con el 100% de disponibilidad para adquirir conocimientos y habilidades para el uso de las TIC por medio de cursos y talleres presenciales (33%), así como, asesorías personalizadas en modalidad presencial (14%), este grupo presenta un especial interés en ser autodidacta ya que observamos que el 47% prefiere los manuales y tutoriales. Se les facilitaría incorporar estos saberes si se les brindan cursos con horarios flexibles (61.9%), así como facilidad en el acceso en el centro de cómputo de la institución (61.9%) respaldado con apoyo técnico (76.2%). Ellos perciben las TIC como una valiosa herramienta que les ha permitido innovar procesos de enseñanza-aprendizaje dentro sus clases (90%), compartir y difundir sus experiencias docentes (90%) llegando a reconceptualizar su proceso de enseñanza-aprendizaje (90%).

En palabras de los encuestados, comentan que el uso de las TIC enriquece su práctica educativa, por lo cual consideran importante la formación de los futuros docentes en esta área para adquirir herramientas y habilidades funcionales para poner en práctica su labor en las aulas de clase y así, favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje. No omiten, el comentario que debe preocupar a los altos tomadores de decisiones en la Secretaría de Educación Pública respecto a que, en la mayoría de los centros de trabajo (escuelas preescolares de gobierno donde han hecho sus prácticas), no se cuenta con la tecnología mínima para poder llevar a cabo su labor, a través de las TIC, por lo que ellos se

las ingenian para sacar adelante su programa educativo aun cuando ya lo hayan preparado en dicha modalidad.

Esta encuesta de apropiación tecnológica de los alumnos que se estan preparando para ser docentes se pudo rescatar una necesidad en cuanto al conocimiento y uso que llamó mucho la atención en los resultados de la encuesta, que a pesar de que ellos manejan con gran habilidad softwares especializados en su área como futuros docentes, tienen un específico vacío en otros softwares de corte básico, ya que el adecuado manejo de herramientas ofimáticas no lo contemplan en sus habilidades. Por lo que, se recomienda una actualización de sus conocimientos de este software por medio de una certificación Microsoft Office Specialist, la cual incluye desde un procesador de palabras hasta una hoja de cálculo y un software de presentaciones, cubriendo de esta manera las peticiones hechas, a través, de las preguntas abiertas que contempla el presente cuestionario.

Finalmente, el 19.04% (4 alumnos) restante corresponde al nivel tipológico Alfabeto digital pleno, el cual representa a los alumnos que se han apropiado de las TIC de una forma incremental, generando cierto grado de estandarización en sus procesos; estos alumnos comparten sus trabajos y experiencias, a través, de redes colaborativas llegando a la reconceptualización de algunos de sus procesos de enseñanza.

En relación con las características actitudinales, son aquellos alumnos que continuamente están indagando acerca de las novedades tecnológicas y de nuevos métodos de enseñanza, a través de estas, para incorporarlos a su quehacer profesional. Se comunican por medio de redes digitales, con otros profesionales similares externos al sistema para compartir sus experiencias.

Finalmente, cabe mencionar que éste, es un grupo en el que existe automotivación para seguir descubriendo nuevos usos y poder incorporarlos a su quehacer cotidiano, así como una tendencia al aprendizaje autodidacta como bien menciona [10] La educación permanente es un proceso de autoconstrucción.

Naturalmente, es posible considerar este hallazgo como una fortaleza de la institución, ya que significa que sus futuros docentes no perciben a las TIC como herramientas extrañas a su bagaje y, por ende, no será difícil implementar medidas tendientes a incrementar su uso y fomentar su inserción en la docencia.

CONCLUSIONES

Se tiene que el 80.95% de los alumnos incluidos en este estudio corresponden al nivel tipológico Alfabeto digital funcional. Alumnos que están en el 100% de disposición para adquirir nuevos y especializados conocimiento en cuanto a aplicaciones para elaborar su material didáctico digital, por medio de cursos y talleres presenciales (33%), así como, asesorías personalizadas en modalidad presencial (14%). Este grupo presenta un especial interes en ser autodidacta ya que observamos que el 47% prefiere los manuales y tutoriales. Se les facilitaría incorporar estos saberes si se les brindan cursos con horarios flexibles (61.9%), así como facilidad en el acceso en el centro de cómputo de la institución (61.9%) respaldado con apoyo técnico (76.2%). Ellos perciben las TIC como una valiosa herramienta que les ha permitido innovar procesos de enseñanza-aprendizaje dentro sus clases (90%), compartir y difundir sus experiencias pedagógicas (90%) llegando a reconceptualizar su proceso docente (90%).

Con la pandemia, pudieron hacer un salto cuántico a modalidades que tal vez en 10 años pudieran haber accedido según el ritmo de apropiación tecnológica que teníamos antes de la pandemia, sin embargo; en cuanto a los conocimientos básicos se detectó un preocupante vacío, por lo que se recomienda se les brinde una certificación en Microsoft Office Specialist. Teniendo de esta manera, al 80.95% de los docentes listos para entrar al siguiente nivel tipológico de apropiación de las TIC en su práctica docente.

Las TIC, por sí mismas, no van a cambiar la educación, pero indudablemente pueden ser una herramienta que permita llevar a cabo innovaciones educativas. Estas herramientas, como hemos presentado, ofrecen nuevas alternativas para el sistema educativo.

Sin embargo, una adecuada introducción de estas tecnologías en la educación debe obedecer a un proyecto educativo muy bien delimitado, y debe estar guiada por objetivos claramente definidos. Cada uno de los usuarios deberá encontrar las respuestas a sus propias necesidades y escoger las aplicaciones que más le convengan para la consecución de sus objetivos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Toffler, Alvin (1980) La tercera Ola. Plaza y Janes, Barcelona, España.
- [2] Suárez, María Herlinda (2005). Jóvenes Mexicanos en la feria del mercado de trabajo. México, D. F.: Miguel Ángel Porrúa.

[3] Muñoz, Humberto y Roberto Rodríguez (2004). La Educación Superior en el contexto actual de la sociedad mexicana. México, D. F.: Miguel Ángel Porrúa.

[4] Llanes, Charlotte (2010). Tesis Doctoral Maestro hoy, ¿Analfabeta Digital Mañana?. Diseño de una Tipología de Apropiación de Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) en la práctica docente: el caso de la Universidad Autónoma de Campeche (UAC). UNAM, 2010.

[5] Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) (2005). Acciones de Transformación de las Universidades Públicas.

[6] Tejedor, F. y García, A. (2006). Competencias de los profesores para el uso de las TIC en la enseñanza. Análisis de sus conocimientos y actitudes. Revista española de pedagogía, año LXIV, Núm. 233, enero-abril 2006, 21-44

[7] Saga, V. L. y Zmud, R. W. (s.f.). The nature and determinants of IT acceptance, routinization, and infusion. Trabajo presentado en TC-8 Conference. Amsterdam North Holland (1994).

[8] Rogers, Everett (2003) Diffusion of Innovations. 5a. Edition. Free Press. New York.

[9] Delors, Jacques (1996). La educación encierra un tesoro. México: Ediciones UNESCO.

[10] Valle Sánchez. (1998). En Vázquez Gómez, G. (1987). Educar para el siglo XXI.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES EN EL MERCADO “LOS SAUCES” CON HUMEDAL SUPERFICIAL

López Castillo Josué Miguel¹, Delfín Pórtela Elizabeth², Fernández López Marco Antonio³, Durán Ortiz Guillermo De J.⁴, Hernández Fernández Héctor E.⁵, Mendoza Melchor Alexander⁶, Landero Martínez Karla Jannet⁷

¹Maestro en Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, Sección 5A Reserva Territorial S/N, Santa Bárbara, Veracruz 91096, México, josue.lopez@itsx.edu.mx , 2288488313.

²Doctora en ciencias de la ingeniería, Universidad Euro hispanoamericana, delfin.elizabeth270@ueh.edu.mx , 2288355401.

³Maestro en calidad , qfb.marco.fernandez@gmail.com , 2281472806, 91030.

⁴Alumno del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, 217003622@itsx.edu.mx , 2283446931, Rinconada, Veracruz, México, 91634.

⁵Alumno del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, 217001877@itsx.edu.mx , 2283779590, Rinconada, Veracruz, México, 91634.

⁶Alumno del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, 217001550@itsx.edu.mx , 2283336175, Xalapa, Veracruz, México, 91096.

⁷Maestra en Educación. Centro de Estudios Especializados Ausubel. Calle Hacienda Santa Rosa No. 13. Fraccionamiento la Hacienda 91630. klanderom@centroausubel.edu.mx 2281013431.

Resumen -- Este estudio aborda el desarrollo e implementación de un sistema de tratamiento de aguas grises mediante humedal construido en el mercado "Los Sauces" de Xalapa, Veracruz, como respuesta a la problemática de escasez de agua. La investigación se enfoca en tres objetivos específicos: caracterizar las aguas grises del mercado para identificar los principales contaminantes y su concentración, diseñar un humedal construido adecuado considerando factores como tamaño, tipo de vegetación y materiales necesarios, e implementar y monitorear el sistema para evaluar la reducción de contaminantes y la calidad del agua tratada.

El proyecto aprovechó las condiciones topográficas del área y empleó especies vegetales locales como totora (*Typha latifolia*), junco (*Juncus spp.*) y carrizo (*Phragmites australis*) para el proceso de filtración. La implementación se realizó en un área de 22 cm × 15 cm × 15 cm, utilizando capas de grava y arena como sustrato, junto con plantas de lirio de agua.

Durante el periodo de evaluación de 10 días, el sistema mostró mejoras significativas en la calidad del agua tratada, evidenciadas por una notable reducción en la turbidez y los sólidos suspendidos. Los resultados destacan la viabilidad de esta solución sostenible, que además de ser económicamente accesible, requiere un mantenimiento relativamente simple basado en el monitoreo de niveles de agua, cuidado de la vegetación y evaluación periódica de la calidad del efluente.

El estudio propone que la implementación del humedal permitirá un tratamiento eficaz de las aguas grises generadas en los lavamanos del mercado, logrando una calidad adecuada para su reutilización y reduciendo así la dependencia del suministro de agua potable. Los hallazgos contribuirán al desarrollo de soluciones sostenibles y establecen un precedente para su

potencial aplicación en entornos urbanos similares, demostrando que es posible implementar soluciones innovadoras y económicamente viables para la gestión del agua en espacios comerciales.

Palabras Clave: Humedal construido, mercados urbanos, tratamiento de agua, calidad del agua, reducción de contaminantes, reutilización de agua.

Abstract -- This study addresses the development and implementation of a greywater treatment system through a constructed wetland at the "Los Sauces" market in Xalapa, Veracruz, as a response to water scarcity issues. The research focuses on three specific objectives: characterizing the market's greywater to identify key contaminants and their concentration, designing a suitable constructed wetland considering factors such as size, vegetation type, and necessary materials, and implementing and monitoring the system to evaluate contaminant reduction and treated water quality.

The project leveraged the area's topographic conditions and employed native plant species such as cattail (*Typha latifolia*), rush (*Juncus spp.*), and reed (*Phragmites australis*) for the filtration process. The system was implemented in a 22 cm × 15 cm × 15 cm area, using layers of gravel and sand as a substrate, along with water hyacinth plants.

During the 10-day evaluation period, the system showed significant improvements in treated water quality, evidenced by a notable reduction in turbidity and suspended solids. The results highlight the feasibility of this sustainable solution, which, in addition to being cost-effective, requires relatively simple maintenance based on water level monitoring,

vegetation care, and periodic assessment of effluent quality.

The study suggests that the implementation of this constructed wetland will allow effective treatment of greywater generated in the market's washbasins, achieving adequate quality for reuse and thus reducing dependence on potable water supply. The findings contribute to the development of sustainable solutions and set a precedent for potential application in similar urban environments, demonstrating that it is possible to implement innovative and economically viable water management solutions in commercial spaces.

Keywords: digital competencies, teacher training, Methodological strategies, IADOV neutrosophic.

INTRODUCCIÓN

El mercado “Los Sauces” es un importante centro de comercio que cumple la función del abastecimiento de productos frescos en la ciudad, sin embargo, enfrenta un problema crítico de escasez de agua que afecta a locatarios y por efecto secundario también a los clientes de la zona. Este problema se incrementa aún más con las temporadas de calor que ocurren cada año, mismo que afecta a otras zonas del municipio de Xalapa, Veracruz.

La demanda del recurso líquido en el mercado es alta, pero el suministro es insuficiente, lo que genera problemas de abastecimiento y afecta la operación de los locales. Esta problemática conlleva a otras consecuencias como lo es la calidad del mismo recurso, la proliferación de agentes bacterianos y por supuesto la falta de seguridad e higiene que ocurre en los sanitarios del mercado.

Dicho lo anterior, el agua que es ocupada contiene residuos y contaminantes que pueden impactar negativamente el medio ambiente y la salud de las personas si no son gestionadas adecuadamente. Ante la creciente preocupación por la sostenibilidad y la necesidad de proteger los recursos hídricos, se vuelve imperativo desarrollar soluciones efectivas para el tratamiento de estas aguas residuales, así como su ahorro y mejor distribución.

El presente proyecto se enfoca en la implementación de un sistema de tratamiento de aguas grises utilizando un humedal construido, Figura 1, una tecnología sostenible y de bajo costo que emplea procesos naturales para filtrar y purificar el agua, esto contribuiría al ahorro del recurso y no depender al 100% de la toma de distribución.

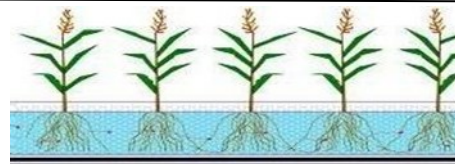


Figura 2. Humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal (Adaptado de Sánchez, 2009)

Figura 1. Diagrama de funcionamiento de un humedal construido (Universidad de Costa Rica)

Los humedales artificiales, son sistemas diseñados para imitar los procesos de depuración de los humedales naturales, aprovechando la acción conjunta de plantas, microorganismos y el suelo para eliminar contaminantes [1]. Son una tecnología efectiva y segura para el tratamiento y recirculación del agua si se mantienen y operan adecuadamente [2].

El desarrollo de este sistema no solo busca mejorar la calidad del agua antes de su reintegración al entorno natural, sino también ofrecer un modelo replicable para otros mercados y comunidades que enfrentan desafíos similares. Además, se espera que este proyecto contribuya a la sensibilización de los comerciantes y la comunidad local sobre la importancia del manejo adecuado de los recursos hídrico.

Descripción del tratamiento

Los HA se definen como sistemas que simulan una zona de transición entre el ambiente terrestre y el acuático, pero que son específicamente construidos para el tratamiento de aguas residuales bajo condiciones controladas de ubicación, dimensionamiento y capacidad de tratamiento [3].

El tratamiento de las aguas residuales por HA se basa en los principios de los sistemas naturales, ya que se acercan a lo que ocurre en la naturaleza, por lo que, a pesar de la intervención del hombre, se han catalogado como “sistemas naturales de tratamiento” [4].

Sistemas de flujo libre (FWS) consiste en canales con la superficie del agua expuesta a la atmósfera y el fondo constituido por suelo relativamente impermeable, o con una cubierta impermeable, vegetación emergente y niveles de agua poco profundos que oscilan entre 0.1 y 0.6 metros [5]. Los tallos, hojas y raíces proporcionan el oxígeno al humedal [6].

Sistemas de flujo subsuperficial (SFS). Está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado; la vegetación emergente es la misma del FWS [7]. El nivel del agua está por debajo de la superficie del soporte, el agua fluye únicamente a

través del lecho de grava que sirve para el crecimiento de la película microbiana, que es la responsable en gran parte del tratamiento que ocurre, las raíces penetran hasta el fondo del lecho (Figura 2).

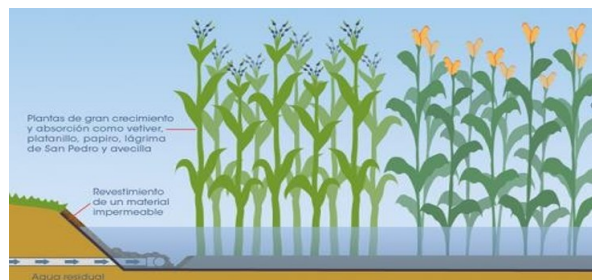


Figura 2. Diagrama de funcionamiento de un humedal construido (Universidad de Costa Rica)

Estos humedales funcionan basados en mecanismos en los cuales las plantas juegan un papel importante al contribuir en la depuración de las aguas residuales junto con la función realizada por los microorganismos que se generan dentro de los medios filtrantes [8].

Las aplicaciones para humedales artificiales son variadas e incluyen tratamiento de aguas residuales municipales, industriales y agrícolas; el tratamiento con humedales también ha sido usado en aguas subterráneas contaminadas y el departamento de defensa de los Estados Unidos para tratar aguas efluentes del lavado del equipo militar.

En México, los HA se han implementado en los estados de Colima, Chihuahua, Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Nayarit, Oaxaca, Tamaulipas y Tlaxcala [9].

DESARROLLO

Evaluación y selección de la zona para desarrollar el proyecto

Los humedales son idealmente situados en lugares de áreas disponibles relativamente largas con fuentes de aguas contaminadas, y concentración de contaminantes baja, pero por supuesto estos son casos que se presentan con poca frecuencia, y los factores deben ser evaluados separadamente y juntos.

El área disponible para un humedal artificial depende del flujo de volumen, concentración de contaminantes, y metas del tratamiento, un humedal podría requerir un área considerable y un humedal pequeño puede tener dificultades en el manejo de grandes flujos de agua en tormentas en zonas de alta lluvia [6].

Las principales características que se debe tener en cuenta para la localización y diseño preliminar del

proyecto de sistemas de humedales artificiales incluyen la topografía, el suelo, el uso actual de los terrenos, el riesgo de inundación y el clima.

Topografía

Xalapa, Veracruz. Xalapa, la capital del estado de Veracruz, se encuentra en una zona montañosa y tiene una topografía accidentada (Figura 3). La ciudad está ubicada en la Sierra Madre Oriental, específicamente en la región de las estribaciones de las montañas del Cofre de Perote y el Pico de Orizaba. Esto le da una elevación que varía considerablemente, con altitudes entre los 1,200 y 1,700 metros sobre el nivel del mar [10].



Figura 3. Mapa de la Ciudad de Xalapa-Enríquez (Google Maps, 2024)

La topografía de Xalapa se caracteriza por colinas, pendientes pronunciadas y pequeñas depresiones, lo que influye en la distribución de sus áreas urbanas y en los sistemas de drenaje. Estas condiciones también afectan el clima, ya que la elevación contribuye a que la ciudad tenga un clima húmedo y templado. Además, la abundancia de ríos y arroyos que descienden de las montañas genera una vegetación rica y favorece la presencia de humedales y cuerpos de agua, que son vitales para el ecosistema local, pero pueden presentar retos para el manejo de agua y la infraestructura urbana.

Este relieve variado también ha influido en la disposición de las construcciones en la ciudad y ha sido un desafío para los sistemas de abastecimiento de agua, debido a que el terreno dificulta la distribución uniforme en toda el área urbana.

El Mercado “Los Sauces” (Figura 4) se ubica en una zona baja de Xalapa, lo que hace que su topografía sea más plana en comparación con otras áreas de la ciudad. Este tipo de terreno plano es más favorable para la construcción de infraestructuras de captación y tratamiento de agua, como los humedales artificiales.



Figura 4. Ubicación del Mercado "Los Sauces" (Google Maps, 2024)

Además, al estar en una zona baja, es probable que reciba escurrimientos de agua de otras áreas más elevadas, lo cual puede aprovecharse en un sistema de humedal artificial.

Los humedales artificiales suelen usarse en terrenos con pendiente moderada a plana y en lugares donde se pueden captar y tratar aguas residuales o de escurrimiento. En el caso de Los Sauces (Figura 5), la cercanía con zonas comerciales y la posibilidad de capturar aguas grises de las fondas y locales del mercado lo convierte en un sitio viable para implementar este tipo de sistema. Este humedal podría ayudar a reducir el consumo de agua potable en los baños del mercado al tratar y reutilizar las aguas grises, alineándose con soluciones sostenibles para el suministro de agua.



Figura 5. Mercado "Los Sauces" (Google Maps, 2017)

La construcción de un humedal artificial en Los Sauces sería factible siempre que se tomen en cuenta factores como el espacio disponible, el tipo de suelo, y las necesidades de mantenimiento para asegurar el buen funcionamiento del sistema.

Consideraciones de construcción

Los aspectos más importantes a tener en cuenta para la construcción de humedales son básicamente, la impermeabilización de la capa superficial del terreno, la selección y colocación del medio granular para el caso de los sistemas SFS, el establecimiento de la

vegetación (Figura 6), y por último las estructuras de entrada y salida. Estaciones de bombeo, instalación de desinfección y tuberías de conducción pueden ser también necesarias, como otras que pueden llegar a ser indispensables. Puesto que los niveles de oxígeno disuelto pueden llegar a ser bajos, en algunos casos pueden ser necesarias también unas instalaciones de pre-aireación. Donde la topografía lo permita, una caída en cascada cubierta de cemento para protegerla puede ser suficiente para este propósito. Para el cálculo de la profundidad del humedal este debe ser acorde al crecimiento que alcanzan las raíces de la especie vegetal.

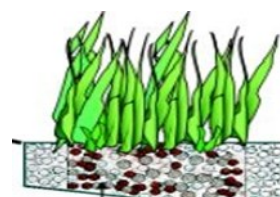


Figura 6. Esquema de vegetación presente en un humedal artificial (Elaboración propia)

Los humedales FWS se diseñan y construyen con el fin de aprovechar los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren naturalmente para reducir la materia orgánica, los sólidos suspendidos totales, nutrientes y organismos patógenos.

Los temas importantes de los humedales son la hidrología, la hidráulica, la bioquímica, los efectos de la temperatura, las características de los componentes y la especie vegetal.

Selección de la especie vegetal

Los componentes de un HA son las plantas, el sustrato y la población microbiana. Las plantas pueden ser de diferentes especies y hábitos de enraizamiento y entre sus principales funciones se encuentra la absorción de nutrimentos, la relación simbiótica que se establece con los microorganismos, el suministro de oxígeno y la filtración de partículas [11]. El sustrato es el soporte para las plantas y un medio de fijación para los microorganismos en el sistema y funciona como conductor hidráulico [12].

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia física en el sistema (los tallos, las raíces, y rizomas). En los humedales FWS las proporciones sumergidas de las hojas y tallos muertos se degradan y se convierten en lo que se llama restos de vegetación. Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales incluyen:

1.- Totorá (*Typha latifolia*): También conocida como espadaña o tule, esta planta es común en humedales y se adapta bien a suelos saturados de agua. Ayuda a la filtración de aguas residuales y aporta estructura al humedal [13].

2.- Junco (*Juncus spp.*): Esta planta herbácea es resistente y se encuentra en áreas húmedas. Crece bien en el clima de Xalapa y es efectiva para la absorción de nutrientes en aguas grises [1].

3.- Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*): Común en cuerpos de agua, el lirio tiene raíces que absorben contaminantes y nutrientes del agua, aunque debe controlarse su crecimiento, ya que puede ser invasivo [14].

4.- Carrizo (*Phragmites australis*): Esta planta alta y densa es ideal para la filtración de agua y es frecuente en humedales naturales. Además, soporta variaciones en el nivel de agua [7].

5.- Plantas flotantes, como lenteja de agua (*Lemna spp.*): Ayudan a reducir la luz solar en la superficie del agua, lo que controla el crecimiento de algas, y también filtran el agua al absorber nutrientes [1].

Estas plantas nativas o adaptadas a Xalapa no solo son adecuadas para la filtración de agua, sino que también contribuyen a la biodiversidad del área. Además, son resistentes al clima húmedo y ayudan a estabilizar el suelo en terrenos propensos a la erosión.

En la construcción de los dos tipos de humedales, es de vital importancia establecer la vegetación con la densidad apropiada. Las diferentes especies de plantas acuáticas que se utilicen son importantes, debido a que difieren en su capacidad de depuración del agua residual, en la remoción de nutrimentos específicos, de elementos traza y de compuestos potencialmente tóxicos como los metales pesados [15]. Si están disponibles, deben ser preferidas las plantas locales que estén adaptadas a las condiciones del sitio. Aunque la siembra se puede hacer a partir de semillas, este método requiere bastante tiempo y control estricto del agua. Adicionalmente, presenta el problema del posible consumo de semillas por parte de los pájaros, por lo que es más aconsejable plantar mediante trasplante de rizomas al lecho previamente preparado.

En los Estados Unidos las especies vegetales dominantes en los humedales artificiales son juncos de laguna y las espadañas o una combinación de estas dos especies. En Europa la especie dominante son los carrizos.

El jacinto de agua ha sido exitosamente desarrollado en Marruecos y en una pequeña comunidad en Brasil, donde el sistema se utiliza para tratar agua para consumo humano y aguas residuales domésticas.

Un estudio hecho a principios de 1997 donde se instaló un sistema de tratamiento de agua residual para la federación colombiana de cultivadores de café (FEDERACAFE) en el centro de capacitación Manuel Mejía, en la Ciudad de Chinchina, donde se trabajó con la (*Typha Angustifolia*) muestran observaciones importantes como que la planta puede soportar condiciones de poca humedad por periodos de tiempo de más o menos dos meses, aunque se limita su reproducción y aumenta su susceptibilidad al ataque de hongos e insectos, en condiciones de baja exposición directa a la luz solar el cultivo desmejora notablemente.

Implementación

En esta etapa se llevó a cabo la construcción del humedal artificial siguiendo las especificaciones del diseño:

1. Construcción de la base. Área de 22 cm × 15cm × 15cm
2. Colocación del sustrato. Se rellenó con grava en capas uniformes para garantizar una distribución adecuada del flujo.
3. Plantación. Se colocaron plantas de lirio de agua de la familia de las Pontederiaceae.
4. Instalación del sistema hidráulico. Se implementó una red de tuberías perforadas para garantizar un flujo uniforme en el humedal.

ETAPA 1: Diseño del modelo

1. Definición del objetivo.
2. Selección del contenedor.
3. Dimensiones.

ETAPA 2: Recolección de materiales

1. Sustratos necesarios.
2. Plantas.
3. Agua.
4. Herramientas.

ETAPA 3: Preparación del contenedor

1. Limpieza de la cubeta.

ETAPA 4: Colocación de los sustratos

1. Capa base de grava gruesa con espesor.
2. Compactación.
3. Capa intermedia de grava fina con espesor.
4. Capa superior de arena con espesor.

ETAPA 5: Plantación de orquídeas

1. Preparación de las orquídeas.
2. Plantación.
3. Se cubrió ligeramente las raíces con arena y grava fina.
4. Distribución.

ETAPA 6: Llenado con aguas grises provenientes de los lavamanos

1. Agua inicial.
2. Nivel del agua.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este Sistema fue evaluado durante un período de 10 días, y las muestras analizadas evidenciaron mejoras significativas en la Calidad del agua tratada en comparación con el agua sucia (sucia), Figura 7.



Figura 7. Comparación inicial de aguas

Agua Sucia. Color amarillento muy marcado, con alta turbidez y sólidos suspendidos visibles.

Agua Tratada. Color más claro, con notable reducción de turbidez y eliminación parcial de los sólidos suspendidos. Sin embargo, se mantiene una ligera opacidad.

El agua sucia (botella de la izquierda) se ve ligeramente más turbia y presenta partículas visibles en suspensión, dándole un aspecto menos claro.

El agua tratada (botella de la derecha) se observa más transparente y con menos impurezas o partículas flotando, lo que indica una mejora en su claridad y Calidad visual, Figura 8.

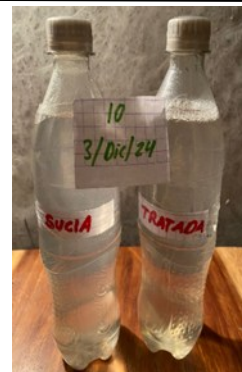


Figura 8. Comparación final de aguas

El Desarrollo e implementación de un humedal construido de tipo superficial en el mercado, demuestra ser una alternativa viable para enfrentar la problemática de la escasez de agua en zonas urbanas.

A pesar de las limitaciones encontradas, como la falta de análisis químicos detallados, el Proyecto resalta la importancia de implementar soluciones innovadoras y accesibles que contribuyan a un uso más responsable y eficiente del agua,

Mantenimiento y monitoreo

Es necesario para una actividad de mantenimiento identificar el periodo vegetativo, monitorear, o realizar rutinas de observación del sitio, ciertas acciones serán necesarias para asegurar la eficiencia de los humedales artificiales.

Un plan de operación y mantenimiento debe ser preparado durante el proceso de planeación y así tener un bosquejo de las actividades que serán usadas en el mantenimiento del humedal.

Actividades de mantenimiento potencial (especificadas por la EPA 2000), incluyen: uniformidad del agua flujo (entrada y salida de la estructura), administración de la vegetación, control de olor, control de animales molestos e insectos, y mantenimiento de reboses, diques y otras estructuras de control del agua.

Independientemente de la corriente de agua residual o el tratamiento de objetivo, los requisitos son muy similares. El control del nivel del agua es el parámetro operacional más crítico, esta actividad asegura la función del sistema como un humedal. Los rebordes deben ser periódicamente inspeccionados para garantizar su integridad. Los cambios significativos en el nivel del agua deben ser investigados inmediatamente para que no se presenten fisuras en los rebordes o diques del sistema que contiene el humedal y no haya daños como resultado de tormentas o

taponamiento de las tuberías. Un mantenimiento adecuado de las conexiones de entrada y salida de las tuberías asegurará que estas estructuras no se obstruyan, así garantizamos el nivel y el flujo del agua. Asociado a las actividades de mantenimiento de obstrucción se incluyen remoción física de basuras o desechos de la sedimentación, lavado de las tuberías y tubo colector, y el uso de alta presión del agua para limpiezas periódicas.

Otra actividad de mantenimiento es el control de animales molestos los cuales incluyen: mosquitos y otros pequeños insectos. A causa de que los humedales mantienen el agua por extensos periodos de tiempo, estos son perfectos para la proliferación y crecimiento de mosquitos. Una cantidad alta de mosquitos puede ser molesta para los humanos y podrían transmitir enfermedades algunas veces fatales, para humanos, ganado y otros animales grandes. La literatura sugiere que el mayor problema de los mosquitos en humedales artificiales son los asociados con cargas orgánicas excesivas en el sistema. Control de la población de mosquitos puede ser destinada a través de la reducción de carga orgánica, conservando niveles de oxígeno disuelto alto, y mantener depredadores como murciélagos y pájaros que pueden ser favorables in control de la población de mosquitos, otra forma podría ser incrementar el flujo de agua en el sistema, también el uso de pesticidas, pero bajo seguras circunstancias (no es muy preferible esta opción).

Es recomendado para la vigilancia del humedal que todos los puntos de entrada y salida en el sistema sean monitoreados por temperatura, oxígeno disuelto, pH, y conductividad semanalmente. Para los humedales artificiales municipales, la DQO, SST, cloruros y sulfatos deben ser monitoreados mensualmente. Para humedales artificiales que tratan aguas industriales, el monitoreo de DQO y SST debe ser mensualmente, para aguas lluvias los SST deben ser monitoreados en un evento de tormenta por mes, y el flujo de agua una vez al mes.

Las plantas de la especie dominante se pueden revisar anualmente, la caracterización de los contaminantes orgánicos e inorgánicos es bueno un chequeo trimestral. También se recomienda realizar un plan mínimo de revisiones en el suelo y técnicas analíticas en el agua para que se muestre que el humedal está funcionando.

Consideraciones ambientales y de salud pública

La protección de la salud pública es el propósito fundamental del tratamiento de residuos y le sigue en importancia la protección del medio ambiente. Por

tanto, es responsable de los ingenieros proyectistas, investigadores científicos y gestores públicos involucrados, asegurar que los sistemas de tratamiento logren esta meta.

El control del efluente es complicado porque los indicadores de organismos (coliformes totales) no muestran dramáticamente la magnitud de tratamiento del agua residual (por ejemplo, remoción de organismos patógenos). Cualquier aplicación futura de agua residual a humedales artificiales debe estar libre de riesgos irrazonables para la salud pública. Puede controlarse el acceso público a estos sistemas cercado, de modo que en lo referente a salud pública solo sea necesario monitorear el efluente y tener un adecuado cuidado con los operarios de las instalaciones.

Los principales contaminantes en el agua residual entran en las siguientes categorías: nitrógeno, fósforo, organismos patógenos, metales pesados y trazas orgánicas. Los patógenos incluyen bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Los metales pesados incluyen cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio, selenio y zinc. Las trazas orgánicas incluyen compuestos sintéticos muy estables (sobre todo hidrocarburos clorados).

CONCLUSIONES

El sistema de tratamiento de aguas grises mediante humedal construido implementado en el mercado "Los Sauces" demuestra ser una alternativa sustentable frente a la problemática de escasez hídrica que enfrenta esta zona comercial de Xalapa, Veracruz.

El estudio realizado permite establecer las siguientes conclusiones:

La ubicación del mercado presenta características topográficas favorables para la construcción y operación del humedal artificial. Las condiciones ambientales locales favorecen el crecimiento de especies vegetales fundamentales como la Totorá, Junco y Carrizo, las cuales se adaptan naturalmente a las características de la región Xalapeña.

Desde la perspectiva económica, el sistema destaca por requerir una inversión inicial accesible y costos reducidos de operación.

Su implementación disminuirá significativamente la dependencia del suministro convencional de agua potable en las instalaciones sanitarias del mercado, mientras que el proceso natural de tratamiento minimiza el impacto ambiental de las actividades comerciales cotidianas.

El mantenimiento del sistema resulta simple y efectivo, centrándose en aspectos básicos como el monitoreo de niveles de agua, cuidado de la vegetación y evaluación periódica de la calidad del efluente tratado. Estos elementos, junto con el control de factores biológicos como mosquitos, determinan la eficiencia general del sistema.

Este proyecto establece un referente para otros mercados de la región, demostrando la viabilidad de soluciones sostenibles en la gestión del agua. Su éxito contribuye a crear conciencia sobre la importancia del manejo responsable de recursos hídricos en espacios comerciales.

La implementación contempla rigurosos protocolos de salud pública mediante controles de acceso y monitoreo constante de la calidad del agua tratada. Esto garantiza la reducción de riesgos sanitarios asociados tradicionalmente con la escasez y gestión deficiente del recurso hídrico.

El desarrollo e implementación de este sistema representa un avance significativo en la gestión sostenible del agua en entornos comerciales urbanos. Sus beneficios impactan directamente en la comunidad del mercado "Los Sauces", mientras contribuye a la preservación del recurso hídrico local. Este proyecto demuestra que es posible implementar soluciones innovadoras y económicamente viables para enfrentar los desafíos actuales de gestión del agua en espacios comerciales urbanos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación fue posible gracias al apoyo y colaboración de diversas personas e instituciones. Agradecemos especialmente al mercado "Los Sauces" y sus locatarios, por su disposición y apertura para realizar este estudio en sus instalaciones, facilitando el acceso y la información necesaria para llevar a cabo la investigación.

Al Instituto Tecnológico Superior de Xalapa y su Departamento de Investigación y Desarrollo, por proporcionar la infraestructura y el soporte académico necesario para la realización de este proyecto. A la Universidad Paso del Norte y a la revista Basachí por su apoyo en la difusión de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Arteaga-Cortez VM. Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *SciELO*. 2020;X.
- [2] R.M. M. Desarrollo, situación actual y aplicaciones potenciales de los humedales artificiales de flujo

horizontal de México [tesis de licenciatura]. México: Facultad de Química, UNAM; 2000.

- [3] Gerba CP, Thurston JA, Falabi JA, Watt PM, Karpiscak MM. Optimization of artificial wetland design for removal of indicator microorganisms and pathogenic protozoa. *Water Sci Technol*. 1999;40:363–8.

- [4] Romero-Aguilar M. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *SciELO*. 2009.

- [5] Ñique Álvarez M. Humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales [Internet]. Sociedad Peruana de Gestión Ambiental; 2001 [citado 2024 Dic 20]. Disponible en:

http://www.geocities.com/sociedadpga/publicaciones/anoInro1/humedales_tratamiento_aguas.htm.

- [6] Environmental Protection Agency (EPA). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: humedales de flujo libre superficial [Internet]. 2000 [citado 2024 Dic 20]. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/cs_00_024.pdf.

- [7] Puno GRd. Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales. Puno; 2015.

- [8] Arias S, Brix H. Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de residuales porcinas. 2019.

- [9] Comisión Nacional del Agua (CNA). Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. México: SEMARNAT.

- [10] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Carta topográfica E14B27 Xalapa, escala 1:50 000, serie II [Internet]. 2000 [citado 2024 Dic 20]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825638030>.

- [11] Brix H, Arias CA, del Bubba M. Media selection for sustainable phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands. *Water Sci Technol*. 2001;44(11-12):133–40.

- [12] Faulkner S, Richardson C. Physical and chemical characteristics of freshwater wetland soils. Tennessee: Lewis Publishers; 1989.

- [13] Arias CA, Brix H. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Cienc Ing Neogranadina*. 2003;13:65–70.

- [14] Marín-Muñoz JL. Humedales construidos en México para el tratamiento de aguas residuales, producción de plantas ornamentales y reúso del agua. *Agroproductividad*. 2018;11(8):75–80.

- [15] García-González B. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potentials and problems. *Water Sci Technol*. 1999;40(3):11–7.

REMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO: OPORTUNIDADES EN MATERIA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL, ECONOMÍA CIRCULAR Y DESARROLLO SUSTENTABLE

López-Castillo Josué Miguel¹, Delfín-Portela Elizabeth², Redondo-Ochoa José David³, Arellano-Rodríguez Claudia Iveth⁴, Hernández Jiloteo Pablo Isaac⁵, Landero Martínez Karla Jannet⁶

¹Maestro en Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, Sección 5A Reserva Territorial S/N, Santa Bárbara, Veracruz 91096, México, josue.lopez@itsx.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0005-1725-7456>.

²Doctora en Ciencias de la Ingeniería. Universidad Euro hispanoamericana. Avenida Alamo 1 y 3 Fraccionamiento la Pradera, Emiliano Zapata, Veracruz, delfin.elizabeth270@ueh.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0001-7592-0037>.

³Doctor en Desarrollo Económico. Universidad del Atlántico. Carrera 30 Número 8 - 49, Cp. 081001, Puerto Colombia, Atlántico, Colombia. jredondo@mail.uniatlantico.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-0509-0020>.

⁴Alumna del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, 227o00347@itsx.edu.mx, 228 198 6854, Xalapa, Veracruz, México, 91066.

⁵Alumno del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, 207O00330@itsx.edu.mx, 2791162009, Actopan, Veracruz, México, 91482.

⁶Maestra en Educación. Centro de Estudios Especializados Ausubel. Calle Hacienda Santa Rosa No. 13. Fraccionamiento la Hacienda 91630. klanderom@centroausubel.edu.mx. 2281013431, <https://orcid.org/0009-0004-4342-2796>.

Resumen -- El tratamiento de aguas residuales es un desafío crítico en México, especialmente en zonas rurales y sectores industriales. El presente estudio revisa los avances en tecnologías como los humedales construidos verticales parcialmente saturados (HC-VPS) y los humedales construidos de flujo libre superficial (FLS), que se destacan por su eficiencia en la eliminación de contaminantes como la demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), y nitrógeno amoniacal (N-NH₄). Estas tecnologías representan una oportunidad significativa para la responsabilidad social y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS No. 6, que busca garantizar el acceso a agua limpia y saneamiento [1]. Existe evidencia de que los HC-VPS, implementados con plantas como Canna híbridos e Iris germánica, mostraron una reducción del 5% en DQO, 20% en SST, 25% en N-NH₄, y 32% en nitrógeno total Kjeldahl (NTK), demostrando una alternativa eficaz y sostenible para la remediación de aguas residuales en sectores agroindustriales [2, 3].

La adopción de estas ecotecnologías no solo mejora la gestión hídrica y contribuye al desarrollo rural sustentable, sino que también se alinea con los principios de la economía circular, reutilizando recursos y minimizando impactos ambientales. Además, la integración de la gobernanza del agua y la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) permite articular la participación social y las políticas públicas en torno al uso eficiente de los recursos naturales, creando un entorno favorable para el desarrollo de infraestructura ambiental [4].

Este estudio concluye que, en México, la implementación de humedales construidos ofrece una vía prometedora hacia el desarrollo sustentable, promoviendo la responsabilidad social empresarial, reduciendo costos operativos en muchos sectores y mejorando la calidad de vida en comunidades rurales a través de soluciones ecológicas y económicamente viables.

Palabras Clave: aguas residuales, humedales construidos, economía circular, responsabilidad social, desarrollo sustentable, México.

Abstract -- Wastewater treatment is a critical challenge in Mexico, particularly in rural areas and industrial sectors. This study reviews advancements in technologies like partially saturated vertical constructed wetlands (HC-VPS) and free-flow surface wetlands (FLS), which stand out for their efficiency in removing contaminants such as chemical oxygen demand (COD), total suspended solids (TSS), and ammonium nitrogen (N-NH₄). These technologies represent a significant opportunity for social responsibility and for achieving the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG No. 6, which aims to ensure access to clean water and sanitation (UN, 2015). The HC-VPS, implemented with plants such as Canna Hybrids and Iris germanica, achieved a reduction of 5% in COD, 20% in TSS, 25% in N-NH₄, and 32% in total Kjeldahl nitrogen (TKN), proving to be an effective and sustainable alternative for wastewater remediation in agro-industrial sectors. The adoption of these ecotechnologies not only improves water management and contributes to

sustainable rural development but also aligns with the principles of the circular economy, reusing resources and minimizing environmental impacts. Moreover, the integration of water governance and Integrated Water Resources Management (IWRM) enables the coordination of social participation and public policies around efficient natural resource use, creating a favorable environment for the development of environmental infrastructure.

This study concludes that, in Mexico, the implementation of constructed wetlands offers a promising path toward sustainable development, promoting corporate social responsibility, reducing operational costs in sectors such as pig farming, and improving the quality of life in rural communities through ecological and economically viable solutions.

Keywords: wastewater, constructed wetlands, circular economy, social responsibility, sustainable development, Mexico.

INTRODUCCIÓN

La problemática de las aguas residuales es un desafío significativo en México, donde la gestión inadecuada de estos recursos ha llevado a consecuencias ambientales y sociales graves. Según la Comisión Nacional del Agua [5], el 95% de las aguas residuales generadas en el país no son tratadas adecuadamente, lo que resulta en la contaminación de cuerpos de agua y la afectación de ecosistemas. Este estado actual exige una atención urgente, ya que la remediación de aguas residuales no solo contribuye a la protección del medio ambiente, sino que también presenta oportunidades en el contexto de la responsabilidad social y la economía circular.

Al gestionar el agua de forma sostenible, se mejora la gestión de forma de la producción de alimentos y energía y se contribuye al trabajo digno y al crecimiento económico. Además, se preservan los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad y se lucha contra el cambio climático. [1]

Esta revisión que se llevó a cabo mediante las búsquedas en motores como: Google Academic, SciELO, etc. de artículos publicados en los que se hubieran analizado temas relacionados con los humedales construidos en México, se centra en identificar las oportunidades que la remediación de aguas residuales ofrece en términos de responsabilidad social, economía circular y desarrollo sustentable. Se busca responder a la pregunta: ¿Cómo pueden las empresas y organizaciones integrar prácticas de remediación de aguas residuales que promuevan la sostenibilidad y el bienestar social? Este enfoque es

fundamental en un mundo donde los recursos son limitados y la presión por prácticas más responsables y sostenibles aumenta [6].

Los objetivos de este trabajo son: (1) Analizar el estado actual de la remediación de aguas residuales en México; (2) Identificar las oportunidades en materia de responsabilidad social que surgen de la implementación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales; y (3) Evaluar el impacto de estas prácticas en el marco de la economía circular y el desarrollo sustentable. A través de esta revisión, se espera contribuir a la discusión sobre la importancia de gestionar de manera responsable los recursos hídricos y promover la sostenibilidad en las organizaciones.

La justificación de este trabajo radica en la necesidad de fomentar una cultura de responsabilidad social en las empresas mexicanas, integrando la remediación de aguas residuales como una práctica fundamental para el desarrollo sustentable. La adopción de estrategias efectivas de tratamiento de aguas residuales no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede generar valor económico y mejorar la imagen corporativa de las organizaciones [7].

DESARROLLO

Esta revisión se basa en los resultados encontrados en motores de búsqueda como: Google Academic, SciELO, etc., mediante la búsqueda de “humedales construidos”, “economía circular” “casos de estudio de humedales construidos”, “tratamientos de aguas residuales domésticas” así como “incentivos económicos” y “legislación en materia ambiental”. Tras la búsqueda y selección de los artículos, se llevó a cabo la revisión y análisis de 28 artículos científicos que contenían la información acorde a los objetivos en los que se enfoca esta revisión.

El agua

El agua es esencial, necesaria e insustituible para la sobrevivencia de cualquier ser vivo del planeta, sin embargo, en la actualidad, el vital líquido en condiciones de calidad para consumo humano ha disminuido. [8]

Aguas residuales

Se denominan aguas residuales domésticas a aquellas que resultan del uso doméstico o comercial de agua potable, en general, por haber sido utilizadas en procesos de limpieza, procesamiento de alimentos y demás usos domésticos, estas constituyen en la mayoría de las veces un desecho o residuo [9]

Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales se presenta como una serie de operaciones y procesos unitarios que incluyen cambios físicos y químicos de la materia, que además de separar contaminantes del agua, puede permitir la obtención de subproductos de utilidad para diferentes actividades económicas como abono, combustibles, bioplásticos o electricidad. El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la 5 normativa de descarga, recarga de acuíferos o por el tipo de reutilización a la que se destinará. [10]

Una de las maneras efectivas que se encontraron para el tratamiento de aguas residuales fue la implementación de Humedales Construidos, también llamados Humedales Artificiales, los cuales se definen como áreas que se encuentran inundadas o saturadas bien sea de aguas superficiales o subterráneas con frecuencia, duración o profundidad suficiente para mantener plantas adaptadas a crecer en suelos saturados u otro material rugoso como piedras, gravas, arenas o sedimentos finos como arcillas o limos con vegetación emergente [8].

Son una solución innovadora que combina la responsabilidad social y la economía circular para el tratamiento de aguas residuales. Estos sistemas imitan los procesos naturales de los humedales para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del agua.

Se encontró evidencia de que los HC-VPS, implementados con plantas como Canna hybrids e Iris germánica, mostraron una reducción del 5% en DQO, 20% en SST, 25% en N-NH₄, y 32% en nitrógeno total Kjeldahl (NTK), demostrando una alternativa eficaz y sostenible para la remediación de aguas residuales en sectores agroindustriales [2, 3].

El tratamiento de las aguas residuales se considera un factor determinante para la crisis hídrica por la que atravesamos y esta ecotecnología juega un papel crucial como elemento de mejora ambiental [9]. La reutilización de las aguas residuales tratadas en condiciones seguras que generen rentabilidad y eficiencia se orienta hacia el modelo de economía circular, que es una economía regenerativa, donde se aprovechan los recursos mediante la reutilización y reciclaje de productos disponibles, se prioriza el cuidado y la reducción de impactos ambientales generados [9].

Los humedales artificiales en México no solo mejoran la calidad del agua y reducen costos, sino que también generan beneficios ambientales y sociales significativos, alineándose con los principios de la economía circular.

Los humedales construidos o artificiales son una alternativa ecológica y económicamente viable para mejorar la calidad del agua y su uso posterior depende de los parámetros de la misma. Al limpiar el agua mediante dicho sistema se favorece su reutilización para diferentes usos industriales y domiciliarios, además de propiciar la producción de plantas ornamentales como alternativa económica para los operadores del humedal, lo cual, a su vez, favorece la adopción de los humedales en la población. [10].

Otros medios en donde se han utilizado las aguas tratadas por medio de humedales son: usos acuícolas, usos agrícolas, áreas verdes, hogar, uso industrial, uso porcícola, recarga de acuíferos, recreación y ambiental y usos urbanos no potables.

Los humedales construidos, por sus características físicas, químicas y biológicas, son una alternativa económica y ecológicamente viable, Tabla 1; la problemática es la permanencia operacional de estos, por lo cual la estrategia idónea es la participación social vía el capital social, además de que, debido al deterioro ambiental a nivel mundial es prioritario el uso de políticas públicas que incluyan la atención a estas problemáticas [4]. Esto en razón de que contar con un ambiente sano en el cual desarrollarse es un derecho ambiental, dentro del cual se incluye el saneamiento del agua, vital para la subsistencia humana y el funcionamiento de los ecosistemas, por lo que resulta importante plantear alternativas que mitiguen la contaminación y permitan sanear el agua para su reutilización.

Tabla 1. Usos del agua tratada en humedales construidos.

Área de uso de agua tratada	Ejemplos de uso
Acuícola	Agua tratada apta para cultivo de peces.
Agrícola	Irrigación de cultivos que no sean tubérculos, principalmente árboles de cítricos, riego en viveros y de áreas de producción floral.

Áreas verdes	Riego en parques, iglesias, jardines escolares, campos de golf, cementerios.
Hogar	Uso en el trapeado, sanitario, lavado de banquetas y autos.
Industrial	Uso para enfriamiento de equipo, uso del agua para construcción, mezclado con otras descargas orgánicas industriales para favorecer el tratamiento.
Porcícola	Agua para lavado de áreas de crecimiento de cerdos.
Recarga de acuíferos	Recarga subterránea, control de cuñas salinas.
Recreación y ambiental	Uso en lagos y lagunas, mejora de pantanos y reservas naturales.
Usos urbanos no potables	Uso para apagar incendios, climatización, agua para uso sanitario, lavado de banquetas y canchas deportivas.

Estos proyectos a menudo incluyen programas educativos para aumentar la conciencia sobre la importancia de los humedales y la conservación del agua. Esto ayuda a las comunidades a entender y valorar los beneficios ambientales y sociales de esos sistemas de tratamiento.

En México se le da prioridad al enfoque de la oferta, lo que expone la falta de voluntad política para dar satisfacción al derecho al agua y saneamiento [8]. En este sentido, para garantizar la eficiencia y sostenibilidad de recursos hídricos es necesario transitar de un modelo de economía lineal a uno circular [9].

Economía circular

Para Actis la economía es una ciencia social plural, integrada por una serie de escuelas de pensamiento que se ocupa de estudiar las relaciones económicas y/o sociales que rigen la producción, la distribución, la circulación y el consumo de bienes y servicios materiales e/o inmateriales que satisfacen las necesidades humanas, que contribuyen a la reproducción social de la fuerza de trabajo, en el mercado y/o en el hogar, en un espacio y tiempo particular o ideal. Por lo tanto, se concluye que la Economía se ocupa de cómo las personas y las sociedades gestionan sus recursos limitados y sus decisiones económicas individuales y colectivas para

lograr un bienestar económico [11]. Siendo así, la economía circular ha sido considerada un sistema que se ha caracterizado por ser resiliente, beneficiando a las empresas, a las personas y al medio ambiente, dejando de lado el hecho de producir y desechar. De acuerdo con Cortinas, la economía circular se caracteriza como un sistema económico que sustituye el modelo lineal, incorporando prácticas como la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en todos los niveles de la cadena de producción y consumo. Su meta es alcanzar un desarrollo sostenible que beneficie a las generaciones presentes y futuras, fomentado la calidad ambiental, el crecimiento económico y la equidad social.

En este sentido, los resultados obtenidos por algunos investigadores nos dejan un buen ejemplo de economía circular mediante la implementación de humedales construidos en algunas zonas rurales, al mencionar cómo el saneamiento de aguas residuales representa una ecotecnología compatible con el medio ambiente, ya que evita que los contaminantes lleguen a los ríos, lagos, mares o aguas subterráneas, pero también puede utilizarse para otras actividades económicas, entre ellas el cultivo de plantas ornamentales [10]. Estas plantas pueden ser vendidas por los operarios de estos sistemas de tratamiento, convirtiéndose en un recurso económico del cual ellos pueden disponer. Por otra parte, el agua resultante puede ser utilizada para el riego de algunos cultivos o el cultivo de peces.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El capital social se refiere a las redes de relaciones, normas y confianza que existen entre las personas y que facilitan la cooperación y el trabajo conjunto en la sociedad.

El capital social relacionado con los humedales construidos no ha sido debidamente explorado como una estrategia que contribuya al desarrollo rural sustentable. Las características del capital social y de este tipo de humedales facilitan diferentes aspectos que contribuyen a la sustentabilidad [4].

El capital social, entendido como las redes de relaciones, confianza y cooperación entre los miembros de una comunidad, se presenta como un componente crucial en la gestión de dichos sistemas de tratamiento. Asimismo, la participación social debe organizarse para involucrarse en los procesos de construcción de esta ecotecnología, empoderando los grupos o colectivos en la gestión, con el fin de tener acceso a los apoyos económicos necesarios para garantizar la permanencia de los sistemas de participación social [4].

Según Contreras [4], el capital social facilita la colaboración entre diversos actores, desde la comunidad local hasta las autoridades gubernamentales y las empresas. Este enfoque colaborativo permite una gestión más eficiente de los recursos hídricos y contribuye a la resiliencia de las comunidades rurales frente a desafíos como la escasez de agua.

También se encontró que existen barreras institucionales que frenan la creación de humedales construidos a nivel nacional, municipal y local, comenzando por el desconocimiento de las técnicas ecológicamente amigables [8]. Además de barreras regulatorias y logísticas destacan la necesidad de una acción gubernamental decidida. La colaboración estrecha entre el gobierno local y las empresas se presenta como una estrategia efectiva para superar estos obstáculos [11]. De acuerdo con esto, se ve necesario crear acciones que incentiven y posibiliten la gestión adecuada de los recursos hídricos, a través de algunos instrumentos económicos, los cuales se definen como aquellas “medidas de carácter financiero y fiscal que ayuden a fomentar, motivar o incentivar la conducta de los individuos para reducir la contaminación y degradación de los recursos naturales”. De esta manera, corresponde a académicos, servidores públicos y sociedad civil promover acciones encaminadas a lograr una adecuada gestión del agua con la finalidad de promover su preservación y uso sostenible, garantizando el abastecimiento para futuras generaciones [12].

La problemática mexicana no es la carencia de legislación en materia ambiental, sino la existencia de ambigüedad en la misma, ya que no se establece una acción concreta ni mecanismos reguladores para proporcionar este beneficio. Por lo tanto, las autoridades deben realizar propuestas legislativas a fin de clarificar las acciones susceptibles de adquirir dicho beneficio [13].

En la constitución política de los estados unidos mexicanos se cuenta con los artículos 73, 115 y 122 en donde se establecen las facultades tanto del congreso de la unión, así como de las entidades federativas y la federación en materia del recurso hídrico. Por otro lado, se cuenta con los artículos 21 y 22 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y protección al Ambiente (LGEEPA) en donde se menciona que se diseñarán, desarrollarán y aplicarán instrumentos económicos que incentiven acciones para que los objetivos ambientales tengan un fiel cumplimiento. Por otra parte, en el artículo 22 se describen lo que se consideran instrumentos económicos de carácter fiscal, así como los mecanismos normativos y administrativos de tipo fiscal, financiero o de mercado. Además, se destaca la

importancia de la investigación científica y tecnológica, bien como la incorporación de mecanismos, equipos y tecnologías que tengan por objetivo evitar, reducir o controlar la contaminación o deterioro ambiental y el uso eficiente de recursos naturales y de energía. No obstante, existe una ambigüedad en esta legislación, ya que no se establece una acción concreta ni mecanismos reguladores para proporcionar este beneficio económico [12]. En este orden de ideas, es necesario que las autoridades realicen propuestas legislativas a fin de clarificar las acciones susceptibles de adquirir dicho beneficio.

CONCLUSIONES

La implementación de humedales construidos para la remediación de aguas residuales es un buen ejemplo de cambio de una economía lineal a una economía circular, ya que como lo menciona Cortinas se estaría dando un nuevo uso a las aguas residuales, cambiando el modelo de desechar, a otro que tiene como objetivo la reutilización. Esta estrategia convierte el tratamiento de aguas residuales en un proceso de reutilización, transformando un recurso considerado desecho en una fuente valiosa para diferentes usos. En lugar de descartar las aguas residuales sin más, el sistema de humedales construidos permite un tratamiento natural que puede devolver el agua al ciclo productivo, brindándole un nuevo uso.

A través de este tratamiento, el agua residual pasa por un proceso dentro del humedal, donde se elimina una parte significativa de contaminantes, incluyendo algunos patógenos. Dependiendo del nivel de tratamiento y la cantidad de patógenos remanentes, las aguas tratadas pueden ser reutilizadas para una variedad de actividades no potables, como el riego de parques, el trapeado de calles, usos sanitarios, la extinción de incendios, e incluso para fines agrícolas (irrigación de cultivos o cultivo de peces). En caso de que no se cumpla con los estándares de reutilización directa, este proceso garantiza que el agua sea suficientemente purificada para su vertido en cuerpos de agua, lo que contribuye a la mejora de la calidad del agua disponible para la población y la preservación de los ecosistemas acuáticos que dependen de esta.

Las aguas resultantes del tratamiento de aguas residuales demostraron una reducción significativa de agentes patógenos en comparación con otros métodos de tratamiento que se utilizan actualmente.

No obstante, a pesar de sus ventajas, aún existen varios retos que deben abordarse para garantizar la viabilidad y permanencia de los humedales construidos como una opción sostenible a largo plazo. Es fundamental que se

fomente la participación activa de la comunidad, no solo en términos de concientización ambiental, sino también en su integración en el sistema económico local. Esta ecotecnología debe ser vista no solo como una solución para el tratamiento de aguas residuales, sino también como una oportunidad económica que puede generar empleo y valor social. A este respecto, es crucial que las autoridades locales promuevan políticas públicas que incentiven la implementación de estos sistemas de tratamiento "ecológicos", no solo desde el punto de vista ambiental, sino también como una inversión en la salud pública y el bienestar colectivo.

Un aspecto clave que diferencia a este tipo de sistemas para el tratamiento de aguas residuales de otros métodos es su capacidad para funcionar de manera autónoma, sin necesidad de consumir grandes cantidades de energía ni depender de combustibles fósiles. Esta característica no solo los hace más sostenibles, sino que también reduce su huella de carbono, alineándose con los principios de la economía circular y contribuyendo a la lucha contra el cambio climático. Además, al estar diseñados para integrarse armoniosamente en el paisaje, dichos sistemas pueden ofrecer una solución tanto funcional como estéticamente atractiva para el tratamiento de aguas residuales. En algunos casos, incluso pueden convertirse en espacios de valor.

En esta revisión se encontró que los humedales construidos constituyen una tecnología amable con el medio ambiente, toda vez que para su funcionamiento no requiere del uso de energía de ningún tipo, ya sea combustibles fósiles o electricidad.

Otra de las ventajas encontradas es que son compatibles con el paisaje, dándole en algunos casos incluso un toque más estético.

En conclusión, se puede decir que estos sistemas representan una alternativa efectiva, económica y sostenible para el tratamiento de aguas residuales, promoviendo una visión más circular y menos lineal de la gestión del agua. Para que esta tecnología alcance su pleno potencial, es necesario un esfuerzo conjunto entre la sociedad, el sector público y los actores privados, con el fin de asegurar su implementación y mantenimiento adecuados. Solo así podremos garantizar que estas soluciones naturales contribuyan no solo a la salud ambiental, sino también al bienestar económico y social.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Redondo Ochoa y al equipo multidisciplinar que se ha formado por la oportunidad

de colaborar en este proyecto, de igual manera a la Universidad Tecnológica Paso del Norte por la oportunidad de participar en su revista, a las universidades: Universidad del Atlántico, Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, Universidad Euro Hispanoamericana.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Botello, Héctor Alberto. Condiciones y [1] Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas; 2015.
- [2] Sandoval-Herazo M, Nani G, Sandoval L, Rivera S, Fernández-Lambert G, Alvarado-Lassman A. Evaluación del desempeño de humedales construidos verticales parcialmente saturados para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2020;23:1–5.
- [3] Cruz Palacios GR, García KY. Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales de flujo libre superficial (FLS) utilizando lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). Lima, Perú; 2024.
- [4] Contreras IZ, Marín Muñoz JL, Vidal Álvarez M, Zamora Castro SA. Capital social y humedales construidos como estrategias para impulsar el desarrollo rural sustentable en México. *Revista Ingenierías*. 2021;8(2):26–30.
- [5] Estadísticas del agua en México 2020. Comisión Nacional del Agua. 2020
- [6] López A, Ramos C. Economía circular y tratamiento de aguas residuales: Oportunidades para el desarrollo sustentable. *Journal of Environmental Management*. 2021;34(4):455–69.
- [7] González M, Pérez L, Torres J. Remediación de aguas residuales: Un enfoque hacia la responsabilidad social y la sostenibilidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Ambiental*. 2022;12(1):25–38.
- [8] Palma-Cabrera EM, Marín-Muñoz JL, Ruelas-Monjardín LC. Limitantes para la adopción de humedales artificiales: estudio de caso con perspectiva de género en Pastorias, Actopan, Veracruz. *Journal of Basic Sciences*. 2022;8(23):170–8.
- [9] Castañeda-Villanueva AA. Experiencias en la utilización de humedales artificiales para el saneamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones rurales. *Ambients Techné et Scientia México*. 2022
- [10] Comisión nacional del agua (2024) Lineamientos técnicos: sistema de tratamiento de aguas residuales a nivel vivienda en zona rural 2024 [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/894608/LINEAM_2.PDF]
- [9] Sandoval-Herazo M, Fernández-Lambert G, Nani G. Un análisis del área de oportunidad de los humedales artificiales en la transición hacia un modelo de economía circular. *Jóvenes en la Ciencia*. 2020;160–8.

- [10] Hernández-Salazar AB, Moreno-Seceña JC, Sandoval-Herazo LC. Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender. RINDERESU. 2018;2:75–87.
- [11] Espíndola HM, Jacinto JA, Licea GR. Desafíos y oportunidades de la Economía Circular en la Zona Oriente del Estado de México. Ciencia Latina Revista Multidisciplinar. 2024;8(1)
- [12] Jesús, R. G. (2022). INSTRUMENTOS ECONÓMICOS PARA PROMOVER LA CAPTACION PLUVIAL. Impluvium(20).
- [13] Jesús, R. G. (2022). LA CAPTACIÓN PLUVIAL COMO ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN, VISTA DESDE UNA PERSPECTIVA MUNDIAL. Impluvio (21).

PARÁMETROS PARA MEJORAR Y ASEGURAR LA CALIDAD EN LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

López-Castillo Josué Miguel¹, Arroyo-Vázquez Álvaro Emilio², Arriola-Landaverde Marco Octavio³, Montemira-Mávil Luis Alberto⁴, Gonzalez-Lira Yukari Guadalupe⁵, Alarcon-Castañeda Arisbeth⁶, Gamboa-López Sophia Grisel⁷

¹Maestro en Ingeniería Industrial Universidad Euro Hispanoamericana, Área Técnica, Docente y Mentor de Área Técnica. lopez.josue2201@ueh.edu.mx , 2288488313 y Avenida de los Álamos # 1 Fraccionamiento La Pradera Emiliano Zapata, Veracruz. <https://orcid.org/0009-0005-1725-7456>.

²Maestría en Desarrollo Organizacional, Maestría en Administración de Personal, Consultor de empresas; Profesor de licenciatura y maestría en la Universidad de Guanajuato, alvaro.arroyo@ugto.mx ; División de Ciencias Económico Administrativas, El Establo, Marfil, en Guanajuato, Gto.; C.P. 36000; 4737352900. Doctorante en Alta Dirección y Negocios, Universidad el País INNOVA, 22 Poniente Sur #332. Colonia Santa Elena Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, CP 29060
ORCID ID: 0009-0002-8559-2238.

³Maestría en educación para la educación superior. Universidad Euro Hispanoamericana. arriola.marco2102@ueh.edu.mx 2283389008. Avenida de los álamos 1. Colonia pradera. 91097 Xalapa Enriquez Veracruz. <https://orcid.org/0009-0006-6116-7076>.

⁴Ingeniero Eléctrico. Universidad Veracruzana. montemira.luis2202@ueh.edu.mx , 2285912983, 91240.

⁵Estudiante de Ingeniería Industrial 7º Semestre. Universidad Euro Hispanoamericana. eh2102ii305@ueh.edu.mx , 2331366894, 91097.

⁶Estudiante de Ingeniería Industrial 7º Semestre. Universidad Euro Hispanoamericana. eh2102ii398@ueh.edu.mx , 2311753628, 91097.

⁷Estudiante de Ingeniería Industrial 9º Semestre, Técnico en Electromecánica. Universidad Euro Hispanoamericana. eh2002ii066@ueh.edu.mx , 2731173775, 91097.

Resumen -- Se realizó un estudio documental, que busca profundizar en los parámetros que optimizan la calidad en los tratamientos térmicos de temple en aceros. Se analizarán aspectos clave como el ciclo térmico, la selección de temperaturas óptimas, los tiempos de permanencia y las velocidades de enfriamiento, elementos fundamentales para modificar la microestructura del material y mejorar propiedades esenciales como la dureza y la corrosión intergranular. Metodológicamente, el uso de diagramas de fase, como el hierro-carbono, facilita la selección de parámetros al predecir las transformaciones estructurales durante el enfriamiento y calentamiento controlado. En adición, técnicas de caracterización metalográfica y análisis mediante microscopía electrónica permiten evaluar las propiedades resultantes y detectar posibles defectos estructurales que comprometan la calidad.

Los resultados de estudios recientes demuestran que tratamientos como el revenido y la normalización, aplicados bajo condiciones específicas de temperatura y tiempo, optimizan la tenacidad y la estabilidad térmica, reduciendo la susceptibilidad al agrietamiento en aplicaciones industriales. Conclusivamente, se establece que una correcta parametrización de los procesos térmicos aumenta significativamente la vida útil de componentes metálicos y su capacidad de resistir ambientes hostiles, lo cual es esencial en sectores como el automotriz y el de generación de energía. Estas metodologías y conclusiones subrayan la importancia de la estandarización en los tratamientos térmicos y

cómo su implementación asegura no solo la calidad del producto, sino también la sostenibilidad del proceso industrial.

Palabras Clave: Tratamientos Térmicos, Fragua, Acero, Templado, Revenido, Metales.

Abstract -- Research on processes and parameters to optimize quality in heat treatments of steel involves evaluating the thermal cycle, selecting appropriate temperatures, dwell times, and cooling rates. These elements are critical to altering the microstructure of materials and improving properties such as hardness and corrosion resistance.

Methodologically, phase diagrams like iron-carbon are used to facilitate parameter selection by predicting structural transformations during controlled heating and cooling. Additionally, metallographic characterization techniques and electron microscopy analysis enable the evaluation of resulting properties and the detection of potential structural defects that may compromise quality.

Recent studies show that heat treatments such as tempering and normalizing, when applied under specific conditions of temperature and time, optimize toughness and thermal stability, reducing susceptibility to cracking in industrial applications. In conclusion, proper parameterization of thermal processes significantly extends the service life of metal components and enhances their ability to withstand

hostile environments, which is essential in industries such as automotive and power generation. These methodologies and conclusions highlight the importance of standardization in heat treatments and how their implementation ensures not only product quality but also the sustainability of industrial processes.

Keywords: Heat Treatments, Forge, Steel, Quenching, Tempering, Metals.

INTRODUCCIÓN

La metodología de esta revisión documental se centra en la recopilación y análisis de literatura científica y técnica relacionada con los procesos y parámetros que afectan la calidad en los tratamientos térmicos de aceros, específicamente en el proceso de temple. El enfoque principal será identificar y evaluar estudios previos, artículos y libros especializados que analicen los ciclos térmicos, la selección de temperaturas, los tiempos de permanencia y las velocidades de enfriamiento, así como su impacto en la microestructura y propiedades mecánicas de los aceros. Para ello, se empleará una estrategia de búsqueda en bases de datos académicas y bibliográficas, tales como Scopus, Google Académico, y bases de tesis universitarias, seleccionando artículos relevantes publicados en los últimos 10 años.

Los criterios de selección incluyen la revisión de estudios experimentales, investigaciones de campo y análisis teóricos sobre los tratamientos térmicos de acero, con énfasis en aquellos que utilicen herramientas como los diagramas de fase hierro-carbono y microscopía electrónica para caracterizar los efectos de los tratamientos. Además, se revisarán normas internacionales sobre clasificación de aceros (como ASTM, AISI y SAE) [1] [2] para asegurar que los parámetros y resultados de la investigación se alineen con los estándares globales. A partir de este material, se sintetizarán los hallazgos más relevantes y se identificarán las mejores prácticas y parámetros óptimos que aseguren la calidad y consistencia de los procesos térmicos.

Los tratamientos térmicos han sido utilizados históricamente para modificar las propiedades mecánicas y estructurales de los aceros y otros metales, lo cual permite mejorar su resistencia, dureza y durabilidad en aplicaciones industriales [3]. Desde los primeros métodos de forjado y templeado, las técnicas se han sofisticado para incluir procesos como el recocido, el temple y el revenido, que maximizan las propiedades deseadas en distintas condiciones de trabajo [4]. A medida que la industria avanza hacia

aplicaciones más exigentes en sectores como el automotriz y la generación de energía, la necesidad de optimizar y asegurar la calidad de estos tratamientos se vuelve fundamental [5].

En la actualidad, la investigación sobre tratamientos térmicos se centra en optimizar parámetros como la temperatura, el tiempo de permanencia y la velocidad de enfriamiento para lograr una microestructura ideal en los metales. Estudios recientes han mostrado que ajustes en estos parámetros permiten no solo mejorar la dureza y tenacidad, sino también aumentar la resistencia a la corrosión y la estabilidad térmica de los materiales [6]. La literatura señala el uso de técnicas avanzadas de caracterización, como la microscopía electrónica y el análisis de composición, que permiten evaluar los resultados y asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad [7].

Pese a los avances en tratamientos térmicos, la falta de estandarización en los parámetros y procesos puede dar lugar a resultados inconsistentes en la calidad del producto final. Esto representa un desafío para las industrias que requieren componentes metálicos de alta resistencia y durabilidad. La investigación se centra en identificar y ajustar los parámetros críticos que aseguren la calidad de los tratamientos térmicos, de manera que se reduzcan defectos y se optimicen las propiedades mecánicas del material.

El objetivo general de esta investigación es desarrollar un marco de parámetros y procesos estandarizados para asegurar la calidad en los tratamientos térmicos aplicados a aceros. Los objetivos específicos incluyen:

1. Identificar los parámetros térmicos críticos que afectan la calidad del producto.
2. Evaluar el impacto de diferentes ciclos térmicos en la microestructura y propiedades mecánicas de los aceros.
3. Proponer recomendaciones para la implementación de estándares en tratamientos térmicos industriales.

Esta investigación es fundamental para mejorar la eficiencia y calidad en procesos industriales que dependen de componentes metálicos con características precisas de dureza, resistencia y estabilidad. La optimización de los tratamientos térmicos contribuye a prolongar la vida útil de los materiales y a reducir costos de mantenimiento, factores clave en industrias de alta exigencia [8]. Además, un proceso estandarizado y confiable respalda la sostenibilidad industrial al minimizar el desperdicio de material y energía.

DESARROLLO

El proceso de temple es esencial en la industria para optimizar las propiedades mecánicas del acero, especialmente su dureza y resistencia al desgaste. Esta técnica consiste en calentar el acero a altas temperaturas y luego enfriarlo rápidamente, promoviendo la transformación de la austenita en martensita, una estructura cristalina que proporciona alta dureza. La capacidad de un acero para ser templado depende principalmente de su composición química, siendo el carbono (C) el elemento más influyente en su templabilidad. Este elemento no solo facilita la formación de martensita, sino que también juega un papel crucial en el endurecimiento del acero.

Elementos de aleación y su contribución a la templabilidad

Manganeso (Mn): Este elemento aumenta la templabilidad al retardar la formación de estructuras más blandas como la perlita y la bainita, permitiendo un enfriamiento más lento sin comprometer la estructura martensítica. Según Shackelford [9] (2005), el manganeso es especialmente útil en aceros con bajo contenido de carbono.

Cromo (Cr): El cromo es fundamental en aceros de alta dureza debido a su capacidad para incrementar la templabilidad y su resistencia a la corrosión y al desgaste. La presencia de cromo permite que la martensita se forme y ayuda a estabilizar esta estructura a altas temperaturas. Smith y Hashemi [10] (2006) señalan que el cromo es esencial en aceros y en aceros inoxidables debido a su efecto positivo en la dureza y resistencia al desgaste.

Níquel (Ni): Este elemento incrementa la tenacidad y la resistencia al impacto del acero, además de contribuir a la templabilidad al facilitar la formación de martensita durante enfriamientos menos agresivos. El níquel es ampliamente utilizado en aceros de aleación debido a su capacidad para proporcionar una combinación equilibrada de dureza y ductilidad.

Molibdeno (Mo): Este elemento es clave para reducir la fragilidad durante el revenido, así como para mejorar la resistencia al ablandamiento a altas temperaturas. El molibdeno también evita la formación de carburo de hierro (Fe_3C) no deseado, lo que mejora la estabilidad de la martensita. Como explica Callister [11] el molibdeno se emplea en aceros que deben mantener su dureza en condiciones de alta temperatura.

Para obtener un acero con propiedades óptimas de temple, el contenido de carbono es un factor determinante. A medida que el contenido de carbono

aumenta más allá del 0.6%, el acero se vuelve muy duro pero también puede tornarse frágil si no se controla adecuadamente el proceso de revenido. Avner, S. H. en "Fundamentos de metalurgia física" (1974) [12], señala que el aumento en el contenido de carbono mejora la dureza del acero pero también advierte sobre la tendencia a la fragilidad si el revenido no se realiza de manera apropiada.

Los elementos de aleación en el acero no solo actúan de forma individual; sus efectos pueden combinarse para mejorar aún más sus propiedades. Un acero que combina de manera equilibrada elementos como cromo y molibdeno, por ejemplo, puede ofrecer alta templabilidad y excelente resistencia al desgaste, lo cual es ideal para aplicaciones industriales exigentes donde la durabilidad y la resistencia al desgaste son primordiales. Los aceros de tipo 4140 y 4340, que contienen combinaciones específicas de estos elementos, han mostrado una templabilidad y durabilidad mejoradas, haciéndolos adecuados para componentes mecánicos sometidos a altos niveles de tensión.

Fases principales del acero

El proceso de temple y otras técnicas de tratamiento térmico del acero dependen de las transformaciones de sus estructuras cristalinas, y entender estas fases resulta fundamental para mejorar las propiedades mecánicas del acero y garantizar su desempeño en aplicaciones exigentes.

El acero puede existir en varias fases, las cuales dependen de su composición y la temperatura a la que se encuentra.

Para lograr que un acero sea templado de manera efectiva, es necesario calentar primero el material por encima de su temperatura crítica superior, conocida como la temperatura de austenización. Esta temperatura, que suele situarse entre 750 °C y 950 °C para aceros al carbono, permite que el acero entre en una fase austenítica, en la cual los átomos de carbono están disueltos de manera uniforme en la estructura FCC. Durante este proceso, un calentamiento uniforme es crucial, pues cualquier inconsistencia puede llevar a un temple desigual y favorecer la formación de estructuras no deseadas, como perlita o bainita, tal como lo destaca Shackelford [13](2005).

Efectos de la velocidad de enfriamiento

La velocidad de enfriamiento determina qué estructuras cristalinas se formarán. Esta velocidad mínima, o

velocidad crítica de enfriamiento, es clave en la producción de un acero duro y resistente.

Perlita: Cuando el acero se enfría de forma lenta, la austenita se convierte en una mezcla de ferrita y cementita llamada perlita. La perlita tiene una dureza moderada y mayor ductilidad que la martensita, por lo cual es preferida en aplicaciones donde la tenacidad es más importante que la dureza.

Bainita: Si el enfriamiento es intermedio, entre las velocidades necesarias para producir perlita o martensita, se forma la bainita, una estructura con forma acicular y propiedades mecánicas versátiles que dependen de la temperatura de formación. La bainita combina una buena dureza con tenacidad, y su estructura puede ser ajustada mediante el temple isotérmico.

Problemas y defectos comunes en el temple

El proceso de temple modifica las propiedades mecánicas del acero para adecuarlo a distintas aplicaciones, siendo clave para mejorar su dureza. Sin embargo, el éxito del temple depende de varios factores que afectan la formación y estabilidad de la martensita.

- La velocidad de enfriamiento es crítica para lograr una transformación completa de la austenita en martensita. Una velocidad de enfriamiento rápida genera tensiones internas que aumentan la dureza, como detallan [14] Smith y Hashemi (2006). Si la velocidad de enfriamiento es más lenta, la austenita se transforma en estructuras más blandas, como la perlita o la bainita. La perlita, con su mezcla laminar de ferrita y cementita, ofrece mayor ductilidad, mientras que la bainita, de estructura acicular, brinda un equilibrio entre dureza y tenacidad, especialmente útil en aplicaciones donde se requiere resistencia a impactos.
- El tamaño y la forma de una pieza afectan su capacidad de enfriarse uniformemente. Las piezas más gruesas tienden a enfriarse más lentamente en el núcleo, lo que puede llevar a una estructura combinada, con martensita en el exterior y perlita o bainita en el interior, lo cual es conocido como "templabilidad limitada". Para contrarrestar este efecto, se añaden elementos de aleación como cromo, níquel y molibdeno, los cuales permiten que la martensita se forme a menores velocidades de enfriamiento y en piezas de mayor espesor. [15] (Shackelford 2005) subraya que estos

elementos ayudan a retrasar la transformación de la austenita, facilitando así un enfriamiento uniforme en piezas de gran tamaño.

- La calidad del temple depende también de las condiciones en las que se realiza el calentamiento inicial. Si la temperatura de austenización es demasiado baja, no se formará suficiente austenita; si es excesiva, puede causar un crecimiento de grano austenítico, resultando en una martensita más frágil [16] (Callister, 2019). Además, algunos aceros requieren tratamientos previos, como el normalizado, para refinar la estructura de grano antes de la austenización.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Medios de enfriamiento

El medio de enfriamiento determina la velocidad de disipación del calor y, por tanto, influye en la estructura resultante.

- Agua: Es uno de los medios de enfriamiento más rápidos y permite alcanzar la velocidad crítica necesaria en muchos casos, aunque el enfriamiento brusco puede generar tensiones internas y defectos, como grietas, sobre todo en piezas grandes o complejas.
- Aceite: Proporciona un enfriamiento más suave y uniforme que el agua, lo cual reduce el riesgo de tensiones y distorsiones internas, siendo ideal para aceros de aleación con elementos como cromo y níquel que mejoran la templabilidad [17] (Smith y Hashemi, 2006).
- Aire: Se emplea para aceros de alta templabilidad, pues permite un enfriamiento lento que minimiza las distorsiones y es adecuado para piezas de geometría compleja.

Problemas y defectos comunes en el temple

El proceso de temple, ampliamente usado en metalurgia para mejorar la dureza del acero, puede presentar defectos que afectan su calidad y limitan sus aplicaciones.

1. Grietas y distorsiones. Las tensiones internas por el enfriamiento desigual, especialmente con medios rápidos como el agua, pueden provocar grietas y distorsiones en las piezas. Al enfriarse rápidamente, el acero experimenta tensiones internas, y las piezas gruesas o complejas son más propensas a grietas por el enfriamiento desigual entre el núcleo y la superficie.

Usar medios de enfriamiento más lentos (aceite o aire) en piezas complejas o gruesas reduce las tensiones internas.

2. Fragilidad. La martensita tiene alta dureza, pero es frágil, especialmente en aceros con alto carbono o aleaciones duras. La fragilidad resulta de las tensiones internas atrapadas en la red cristalina al enfriarse rápidamente. El revenido, o calentamiento controlado a una temperatura más baja, alivia estas tensiones, mejora la tenacidad y reduce el riesgo de fractura bajo impacto [18] (Smith y Hashemi, 2006).

3. Ablandamiento prematuro. Si el revenido no se controla, la martensita puede ablandarse, reduciendo la resistencia del acero al desgaste. El revenido a temperaturas muy altas o por tiempo prolongado transforma la martensita en fases más blandas, como ferrita o perlita. Realizar el revenido entre 150 °C y 650 °C, según la dureza deseada.

Controlar estrictamente la velocidad de enfriamiento y añadir elementos como cromo o molibdeno mejora la templabilidad y reduce la formación de estructuras blandas [19]. La Tabla 1 muestra la clasificación y normas internacionales para los materiales.

Tabla 1. Clasificación y normas internacionales

CLASIFICACIÓN Y NORMAS INTERNACIONALES			
Norma	Función	Clasificación	Descripción
ASTM (American Society for Testing and Materials)	Definición específica para materiales de construcción.	ASTM A681	Clasifica los aceros de herramienta según su composición química y su capacidad para ser templados.
		ASTM A582	Establece las especificaciones para los aceros inoxidables, incluyendo aquellos que pueden ser tratados térmicamente para mejorar sus propiedades mecánicas.
AISI (American)	Clasifica los	AISI 1045	Acero al carbono medio que es

an Iron and Steel Institute)	aceros en categorías numéricas que reflejan su contenido de carbono y los elementos de aleación.	AISI 4140	adecuado para ser templado. Acero de aleación que tiene propiedades mejoradas para la resistencia al desgaste y la fatiga.
SAE (Society of Automotive Engineers)	Clasifica los aceros según su composición.	SAE 1020	Comúnmente utilizados en la industria automotriz, donde se requiere alta resistencia al desgaste y a la fatiga, lo que se logra mediante tratamientos térmicos adecuados.
		SAE 1045	
		SAE 4140	
Sistema AISI-SAE	Los aceros se clasifican con cuatro dígitos.		El primer dígito especifica la aleación principal, el segundo modifica al primero y los dos últimos dígitos, dan la cantidad de carbono en centésimas. En algunos aceros al cromo 32 de alto carbono hay números de cinco dígitos, los tres últimos dan el porcentaje de carbono.

El temple mejora significativamente la dureza y resistencia al desgaste del acero, pero no todos los tipos de acero son adecuados para este proceso. Las normas y clasificaciones ayudan a identificar aceros aptos para el temple.

1. Aceros al Carbono. Los aceros al carbono se dividen según su contenido de carbono, lo cual influye en su capacidad de endurecimiento:

- Bajo Carbono ($< 0.3\%$): De baja templabilidad, no son ideales para el temple y se prefieren para procesos como el recocido.
- Medio Carbono ($0.3\%-0.6\%$): Aptos para el temple, pueden lograr buena dureza y resistencia, como los aceros SAE 1040 y 1050, que se usan en maquinaria y herramientas.
- Alto Carbono ($> 0.6\%$): Alcanzan alta dureza, pero son frágiles y requieren revenido para evitar fracturas. Ejemplo: SAE 1095, usado en cuchillas y resortes.

El contenido de carbono es clave para la templabilidad, ya que impacta la formación de martensita y la dureza final (Smith y Hashemi, 2006).

2. Aceros de Aleación. Estos aceros contienen elementos adicionales, como cromo y molibdeno, que mejoran su templabilidad, resistencia al desgaste, y tenacidad.

- Aceros 4140: Con cromo y molibdeno, ideal para engranajes y ejes de alta resistencia.
- Aceros 4340: Incluye cromo, níquel y molibdeno, adecuado para aplicaciones que requieren alta tenacidad.
- Aceros 8620 y 9310: Usados para engranajes y transmisiones; el 9310 ofrece alta resistencia al desgaste tras el temple y revenido.

Los elementos de aleación en estos aceros retardan la transformación de la austenita, permitiendo un temple uniforme incluso en secciones gruesas [20]. La Tabla 2 muestra las propiedades mecánicas del acero.

Tabla 2 Propiedades mecánicas del acero AISI/SAE 1045. Efecto de los tratamientos térmicos en la resistencia a la corrosión de un acero súperduplex.

Dureza	163 HB (84Hrb)
Esfuerzo de fluencia	310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo máximo	565 MPa (81900 PSI)
Elongación	16% (en 50 mm)
Reducción de área	40%

Módulo de elasticidad	200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad	57% (AISI 1212 = 100%)

Tratamientos térmicos posteriores

El tratamiento térmico posterior al temple es crucial para aliviar tensiones internas y mejorar propiedades como la tenacidad y resistencia al desgaste. Entre estos, el revenido es fundamental para ajustar la dureza y tenacidad del material. Aplicado tras el temple, el revenido reduce las tensiones internas que surgen durante el enfriamiento rápido, evitando la fragilidad del acero.

Davis sugiere que las temperaturas de revenido varían entre $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, según la aleación y las propiedades requeridas. Las temperaturas bajas reducen tensiones, mientras que las altas mejoran la ductilidad y tenacidad.

El revenido contribuye a un equilibrio entre dureza y tenacidad, como explica Callister [21] algo crucial en componentes sometidos a impactos o cargas cíclicas. La composición del acero influye en los efectos del revenido. En aceros de alta aleación como el AISI 4340, el revenido mejora la tenacidad y disminuye la susceptibilidad a fracturas por carga cíclica [22].

Gere & Timoshenko [23] destacan que el revenido incrementa la resistencia a la fatiga y la ductilidad, permitiendo que el acero resista ciclos de carga sin fracturarse, esencial para resortes y componentes de suspensión en la industria automotriz.

Un revenido mal controlado puede causar defectos, como la formación de carburos y fragilidad en el acero. Es fundamental controlar tiempo y temperatura para evitar pérdida de dureza o fracturas, asegurando así que el revenido mejore la vida útil de los componentes [24]. Con el control adecuado, el revenido optimiza significativamente propiedades como la tenacidad y resistencia a la fatiga, sin comprometer la estructura del acero. La adecuada combinación de temperaturas y tiempos de revenido resulta esencial para la durabilidad y fiabilidad de los aceros templados en aplicaciones industriales.

Aplicaciones prácticas del acero templado

1. El acero templado se utiliza ampliamente en herramientas de corte debido a su capacidad para

mantener una alta dureza, lo cual es esencial para soportar las fuerzas de corte sin perder el filo. La combinación de carbono y aleaciones como el tungsteno mejora la resistencia al desgaste y la retención del filo, lo que asegura una mayor durabilidad en su uso [25].

2. Los aceros templados son fundamentales en la fabricación de componentes automotrices y aeroespaciales, especialmente en la creación de engranajes y ejes sometidos a esfuerzos dinámicos y ciclos repetitivos. En el contexto aeroespacial, aceros con aleaciones de cromo y níquel, como el AISI 4340, son ampliamente utilizados debido a sus propiedades de resistencia a altas temperaturas y fatiga, esenciales en turbinas y piezas estructurales de aeronaves [26].

3. El uso de acero templado en resortes y elementos de suspensión es reconocido por su capacidad para proporcionar alta elasticidad y resistencia a la fatiga. Este proceso es esencial para componentes que deben resistir cargas dinámicas, como los resortes en la industria automotriz [27].

4. El acero templado también se aplica en componentes de máquinas industriales, como rodillos y ejes de transmisión, que requieren una combinación de dureza, resistencia al desgaste y tenacidad. Estos componentes deben ser capaces de resistir fracturas bajo cargas cíclicas, lo que hace indispensable el uso de acero templado en su fabricación [28].

5. En la construcción, los aceros templados se utilizan para componentes estructurales como pernos de anclaje y cables de acero. Estos deben soportar grandes tensiones sin fallar prematuramente, y la capacidad de los aceros templados para resistir esfuerzos extremos los convierte en una opción ideal para aplicaciones estructurales críticas [29].

6. El acero templado también es común en herramientas de uso diario, como cuchillos y sierras, donde la alta dureza obtenida por el temple permite que estas herramientas mantengan su filo a lo largo de un uso constante. Este tipo de acero es ideal para mantener el rendimiento de las herramientas de corte a lo largo del tiempo [30].

CONCLUSIONES

La investigación documental realizada evidencia que la calidad de los tratamientos térmicos depende de una adecuada combinación de parámetros clave como temperatura, tiempo de permanencia y velocidad de enfriamiento, así como de una correcta selección de elementos de aleación y técnicas de caracterización.

Estos aspectos permiten personalizar las propiedades mecánicas del acero, como la dureza, tenacidad y resistencia al desgaste, asegurando su desempeño óptimo en aplicaciones industriales.

El análisis destaca la importancia de la estandarización en los procesos térmicos, la cual no solo garantiza la homogeneidad en los resultados, sino que también contribuye a la sostenibilidad del proceso al reducir el consumo energético y minimizar defectos que puedan comprometer la vida útil de los componentes [31]. En particular, el temple y el revenido emergen como tratamientos esenciales para equilibrar propiedades mecánicas críticas como la resistencia al impacto y la estabilidad estructural, demostrando su relevancia en sectores de alta exigencia como el automotriz, aeroespacial y de generación energética. El artículo destaca el uso de herramientas analíticas como los diagramas de fase hierro-carbono y las técnicas de microscopía electrónica, que permitieron no solo optimizar los tratamientos térmicos, sino también detectar defectos comunes como grietas o formación de martensita frágil. Estos hallazgos enfatizan la importancia de un control estricto en las variables del proceso para evitar inconsistencias y garantizar un producto final que cumpla con los estándares internacionales.

Desde una perspectiva práctica, esta investigación subraya la necesidad de un enfoque más integral en la parametrización de los tratamientos térmicos. La combinación de elementos como el revenido controlado y el temple isotérmico no solo prolonga la vida útil de los componentes metálicos, sino que también promueve prácticas más sostenibles al minimizar el desperdicio de materiales y energía. Asimismo, el análisis interdisciplinario confirma que la colaboración entre especialistas de distintas áreas es esencial para abordar los complejos retos que plantea la mejora y aseguramiento de la calidad en procesos industriales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las Universidad donde nos encontramos adscritos por el apoyo brindado para el desarrollo de la presente investigación. Por ese ahínco por desarrollar colaboraciones interinstitucionales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Jones, D. A. (1996). Principles and prevention. Corrosion, 2, 168. [1]
- [2] Baboian, R. (Ed.). (2005). Corrosion tests and standards: application and interpretation (Vol. 20). ASTM international.

- [3] Pérez Patiño, J. A. (1996). Tratamientos Térmicos de los Aceros. México. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- [4] Instituto Técnico de la Estructura en Acero. (s.f.). Metalurgia aplicada: Características de las Aleaciones de Hierro y Carbono. España. ITEA
- [5] Mayta Conza, J. O. (2021). Diseño de un Sistema de Calidad de Gestión y Trabajos Operativos de Soldadura bajo la norma AWS D1.1/2010. Perú. Universidad Peruana de Ciencias e Informática.
- [6] Burgos, A., Rodríguez, J., Svoboda, H., y Surian, E. (2018). Tratamiento térmico alternativo para soldadura de acero 9Cr. Brasil. Revista Matéria, 23(2).
- [7] Prieto Velandia, C. D., & Poveda Suárez, B. H. (2016). Influencia del tratamiento térmico en resistencia a la corrosión en un acero AISI/SAE 1045. Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- [8] Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Santiago de Chile. (s.f.). Tratamientos térmicos. Chile. Universidad Santiago de Chile.
- [9] Shackelford, J. F., Güemes, A., & Martín, M. P. (2005). Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros (Vol. 872). España: Pearson Prentice Hall.
- [10] Smith, W. F., Hashemi, J., Cázares, G. N., & González-Caver, P. A. (2006). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales (pp. 459-462). México, DF: McGraw-Hill.
- [11] Callister, W.D. (2018). Materiales de Ingeniería y Ciencia de Materiales (10ª ed.). Estados Unidos de América. John Wiley & Sons.
- [12] Avner, S. H. (1979). Introducción a la metalurgia física.
- [13] Shackelford, J. F., Güemes, A., & Martín, M. P. (2005). Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros (Vol. 872). España: Pearson Prentice Hall.
- [14] Smith, W. F., Hashemi, J., Cázares, G. N., & González-Caver, P. A. (2006). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales (pp. 459-462). México, DF: McGraw-Hill.
- [15] Shackelford, J. F., Güemes, A., & Martín, M. P. (2005). Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros (Vol. 872). España: Pearson Prentice Hall.
- [16] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2019). Ciencia e ingeniería de materiales. Reverté.
- [17] Smith, W. F., Hashemi, J., Cázares, G. N., & González-Caver, P. A. (2006). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales (pp. 459-462). México, DF: McGraw-Hill.
- [18] Smith, W. F., Hashemi, J., Cázares, G. N., & González-Caver, P. A. (2006). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales (pp. 459-462). México, DF: McGraw-Hill.
- [19] Shackelford, J. F., Güemes, A., & Martín, M. P. (2005). Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros (Vol. 872). España: Pearson Prentice Hall.
- [20] Claudel, A. (2006). Efecto de los tratamientos térmicos en la resistencia a la corrosión de un acero súperduplex.
- [21] Callister, W. D. (2020). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Volumen I. Reverté.
- [22] Callister, W.D. (2018). Materiales de Ingeniería y Ciencia de Materiales (10ª ed.). Estados Unidos de América. John Wiley & Sons.
- [23] Totten, G.E., & Howes, M. (2004). El acero y su tratamiento térmico. Estados Unidos de América. CRC Press.
- [24] Gere, J.M., & Timoshenko, S. (2001). Mecánica de Materiales (6ª ed.). Estados Unidos de América. PWS-Kent.
- [25] Boyer, H.E., & Gall, J.E. (2002). Aceros: Manual para ingenieros de manufactura. Estados Unidos de América CRC Press.
- [26] Callister, W.D. (2018). Materiales de Ingeniería y Ciencia de Materiales (10ª ed.). Estados Unidos de América. John Wiley & Sons.
- [27] Gere, J.M., & Timoshenko, S. (2001). Mecánica de Materiales (6ª ed.). Estados Unidos de América. PWS-Kent.
- [28] Davis, J.R. (2000). Aleación: Comprendiendo los fundamentos. Estados Unidos de América. ASM International.
- [29] Totten, G.E., & Howes, M. (2004). El acero y su tratamiento térmico. Estados Unidos de América. CRC Press.
- [30] Gunduz, M., & Kucuk, A. (2008). Manual de construcción en acero. Estados Unidos de América. Springer.
- [31] Mott, R.L. (2006). Fundamentos del análisis de la fatiga de los metales. Estados Unidos de América. Pearson Education.

ESTUDIO PRODUCTIVO DEL MAÍZ (*Zea mays*) COMO BÁSICO DEL CLÚSTER AGROALIMENTARIO EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN, MÉXICO

Arroyo-Vázquez Álvaro Emilio¹, Guzmán-Durán Mariana², López-Castillo Josué Miguel³, Reyes-Núñez Sergio⁴, Rivas-Vega Margarita⁵

¹Maestría en Desarrollo Organizacional, Maestría en Administración de Personal, Consultor de empresas; Profesor de licenciatura y maestría en la Universidad de Guanajuato, alvaroarroyo@uninnova.mx; División de Ciencias Económico Administrativas, El Establo, Marfil, en Guanajuato, Gto.; C.P. 36000; 4737352900. Doctorante en Alta Dirección y Negocios, Universidad el País INNOVA, 22 Poniente Sur #332. Colonia Santa Elena Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, CP 29060. ORCID ID: 0009-0002-8559-2238.

²Maestría en Educación, Directora de Recursos Humanos de KSP IT Consulting, S.C., marianaguzman@uninnova.mx; Avenida Paseo de los Insurgentes 1402 Colonia Jardines del Moral, CP 37160, León, Guanajuato. 4451003669. Doctorante en Alta Dirección y Negocios, Universidad el País INNOVA, 22 Poniente Sur #332. Colonia Santa Elena Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, CP 29060. ORCID ID: 0009-0004-8189-3708.

³Maestro en Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, Sección 5A. josuelopez@uninnova.mx. Reserva Territorial S/N, Santa Bárbara, Veracruz 91096, México. Doctorante en Alta Dirección y Negocios, Universidad el País INNOVA, 22 Poniente Sur #332. Colonia Santa Elena Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, CP 29060. ORCID ID: 0009-0005-1725-7456.

⁴Maestría en Finanzas, Asesor en Materia de Contrataciones Públicas en Gestión Empresarial Múltiple e Integral 360 (GEMI 360), sergioreyes@uninnova.mx. Piero de Benedetto MZ 31, Fraccionamiento Las Plazas, C.P. 55365, Zumpango, Estado de México, (56) 1770-0012. Doctorante en Alta Dirección y Negocios, Universidad el País INNOVA, 22 Poniente Sur #332. Colonia Santa Elena Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, CP 29060. ORCID ID: 0009-0002-7289-3488.

⁵Maestría en administración, profesora de tiempo completo en Universidad Estatal de Sonora Unidad Académica Navojoa. margarita.rivas@ues.mx. Carretera a Huatabampo, km 5, Navojoa, Sonora, 85800, México. 6424227576. Doctorante en Alta Dirección y Negocios, Universidad el País INNOVA, 22 Poniente Sur #332. Colonia Santa Elena Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, CP 29060. ORCID ID: 0000-0002-8411-1562.

Resumen -- El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio documental de uno de los productos agrícolas del Estado de Nuevo León, el maíz, identificando la cadena de producción con base en información documental proveniente de fuentes confiables, obtenidas de los motores de búsqueda como: Google Académico, Scielo y Latindex así como páginas gubernamentales, tanto federales como estatales y municipales, con el fin de proponer mejoras en la competitividad de este grano.

Se examinó el modelo de negocio dentro de la cadena global de valor del maíz, con énfasis en factores como la innovación, la cadena de suministro, la producción y procesamiento, la logística y distribución, y la comercialización, cotejando información y datos referentes a los años del 2014 al 2023.

Como resultado del estudio se identificó que una estrategia vital para el Estado de Nuevo León, sería la implementación de sistemas que contribuyan a la sostenibilidad de la agricultura, a través de la participación e implementación de clústeres agrícolas para aumentar la producción y competitividad en el sector en el Estado de Nuevo León.

El análisis detallado de la cadena productiva del maíz revela la necesidad de implementar estrategias integrales que promuevan la auto sustentabilidad en la producción agrícola, alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 en el

objetivo 2 que menciona poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.

Palabras Clave: Clúster, Competitividad, Nuevo León, Maíz.

Abstract -- The objective of this work was to conduct a documentary study of one of the agricultural products of the State of Nuevo León, corn, identifying the production chain based on documentary information from reliable sources, obtained from search engines such as Google Scholar, Scielo, and Latindex, as well as government pages, both federal, state, and municipal, in order to propose improvements in the competitiveness of this grain.

The business model within the global corn value chain was examined, with an emphasis on factors such as innovation, supply chain, production and processing, logistics and distribution, and marketing, comparing information and data from 2014 to 2023.

As a result of the study, it was identified that a vital strategy for the State of Nuevo León would be the implementation of systems that contribute to the sustainability of agriculture, through the participation and implementation of agricultural clusters to increase production and competitiveness in the sector in the State of Nuevo León.

The detailed analysis of the corn production chain reveals the need to implement integral strategies that promote self-sustainability in agricultural production, aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda, specifically goal 2, which mentions ending hunger, achieving food security and improving nutrition, and promoting sustainable agriculture.

Keywords: Cluster, Competitiveness, Nuevo León, Corn.

INTRODUCCIÓN

En México el maíz es el cultivo de mayor importancia, constituye una de las actividades económicas más importantes del sector rural, no solo en términos de uso de suelo, sino que también en el empleo y en el suministro de alimentos de la población rural y urbana de bajos ingresos. A nivel nacional se identifican aproximadamente 2 millones de productores dedicados al cultivo de maíz, de estos 85% llevan a cabo su labor en predios cuya extensión es menor o igual a 5 hectáreas. Es el segundo importador de este cereal después de Japón con 11.2 millones de toneladas. [1, 2]

Algunos de los cambios que han impactado en la agricultura del maíz, ha sido el intentar reemplazar la agricultura tradicional (milpa, sembradío por temporal) con la tecnología y los cambios genéticos del maíz que nació hace más de 6,750 años, a través del banco de germoplasma donde se reservan las semillas para la preservación del maíz y de la cual se refiere el combinar las variedades nativas de maíz propias y el mecanismo de cruzamiento o la introducción de materiales parentales alopátricos (con los que el maíz local no se cruzaría debido a la distancia geográfica); así como la implementación de la milpa intercalada en árboles frutales, que representa en asesorar a los pequeños productores tradicionales y dejar a un lado la agricultura conservadora para pasar al trazo de curvas en el surco de la tierra y dinámicas de filtro de agua de escurrimiento y de los sedimentos aplicados en la tierra, para con ello proteger el suelo contra la erosión, sin eliminar su roturación; se fomenta con ello la interacción entre los cultivos componentes, para una mayor economía del uso de los recursos naturales y los insumos importados a la parcela, así como el aprovechamiento de carbono atmosférico. [3]

El presente artículo describe el estudio del maíz en el Estado de Nuevo León, identificando la cadena de valor con base en información documental proveniente de fuentes confiables, obtenidas de los motores de búsqueda como: Google Académico, Scielo y Latindex así como páginas gubernamentales, tanto federales

como estatales y municipales, con el fin de proponer mejoras en la competitividad de este grano.

Dentro de las acciones que se han realizado en el Estado de Nuevo León se encuentran los programas de gobierno que juegan un rol importante para el impulso a los productores agrícolas, de la misma manera, la organización de la sociedad a través de la implementación de clústeres agrícolas, han apoyado para sustentar el incremento de la competitividad en el sector de los granos y forrajes.

Resalta la estrategia de innovación que en coordinación con la Universidad de Nuevo León mantienen con el primer banco germoplasma (espacio para conservar diversidad genética de especies agrícolas, pecuarias, forestales y microbianos a decir, hongos, bacterias y virus) en donde han realizado diversas acciones para la preservación de las semillas de diferentes granos.

Se presenta además la propuesta de creación de un organismo que promueva la economía de escala, en colaboración del gobierno con el gremio agrícola y la sociedad misma, con el fin de mejorar la productividad en toda la cadena de valor, y así como fomentar la capacitación, infraestructura y tecnología en el campo para consolidar el desarrollo productivo de los granos; así como la implementación de una logística y distribución para comercializar los granos y estos lleguen a su destino final.

El objetivo del presente artículo es presentar un estudio en base a un diagnóstico sistémico donde se identifican las oportunidades de la cadena productiva a fin de dar a conocer el decrecimiento que ha tenido durante los últimos 10 años el maíz y las causas que lo han provocado.

Estado del arte

El crecimiento poblacional mundial ha provocado que la demanda de alimentos se incremente, de la misma manera los compromisos globales de reducir el hambre y la pobreza, son los principales impulsores de la creciente competencia por el uso de la tierra. Se estima que 1.000 millones de personas viven hoy con menos de 1,25 USD/día, 2.800 millones con menos de 2 USD/día y se espera que en 2050 la población mundial supere los 9.600 millones, siendo mayor este crecimiento en la población de bajos y medianos ingresos [4].

Ante este desafío global, resulta vital establecer estrategias efectivas para garantizar la elaboración sostenible de alimentos y materias primas industriales con el fin de satisfacer las necesidades básicas de la

humanidad, en este contexto, los clúster desempeñan un papel fundamental al fomentar la colaboración entre agricultores, empresas agroalimentarias y proveedores, fortaleciendo las relaciones en toda la cadena de valor y contribuyendo a la mejora continua de la producción de alimentos.

El presente estudio se fortalece con una revisión del estado del arte sobre clúster agrícolas, analizando su dinámica como aglomeraciones estratégicas de empresas e instituciones que, mediante la proximidad y colaboración, alcanzan ventajas competitivas y posiciones dominantes en sus sectores. Según Porter (1991), su desempeño depende de la interacción de cuatro factores clave: demanda, sectores afines, condiciones de los recursos y la rivalidad empresarial, conformando el Diamante Competitivo que impulsa su éxito. (Figura 1). [5]



Figura 1. Modelo de diamante de Porter"Adaptada de Michael E. Porter, *Competitive Strategy*, Nueva York: Free Press, 1980, pp. 35 – 40 [6]

Krugman (1991), mediante la actualización del planteamiento de Marshall (1920), propone como detonantes de la aglomeración a la disponibilidad de recursos humanos calificados, suministro de insumos especializados y las derramas tecnológicas, entendiéndose las últimas como el fenómeno de divulgación de las prácticas industriales que se da por la interacción social de los trabajadores de una industria. [7, 8]

A partir de los planteamientos de Porter (1991) y del resurgimiento de la teoría de la economía geográfica que inició Krugman (1991), los clústeres industriales empezaron a adquirir visibilidad como elementos importantes para el crecimiento económico de un país, hasta el punto de que en las economías emergentes, es visto como un mecanismo de fortalecimiento y

surgimiento de pequeñas y medianas empresas, y en los países industrializados, resultan ser un factor clave para el desarrollo de nuevas tecnologías [5, 7, 9]

Gálvez (2010) define a los clústeres de base agrícola, como la concentración de productores, agroindustria e instituciones soporte que participan en el mismo subsector agrícola o agroindustrial para construir redes de valor y enfrentar desafíos comunes, así mismo, resalta que los gobiernos reconocen a los clústeres de base agrícola como herramientas valiosas para fomentar el crecimiento del sector agrícola en un territorio y la vinculación de este territorio a las cadenas de valor mundiales. [10]

Reiteradamente, los clústeres se han señalado como factores de competitividad para la agricultura del siglo XXI. Por ejemplo, Gibbon (2001) señaló que los clústeres o aglomeraciones agroindustriales permiten mejorar los procesos y productos y son un medio para que los países en desarrollo puedan insertarse en la globalización. [11]

Así mismo, el IICA (2003) planteó que las economías de aglomeración y consolidación de "clústeres productivos" determinan la competitividad y la forma en que los territorios pueden captar beneficios de la misma. Yelkikalan (2012) afirmaron que los clústeres agrícolas son impulsores de la productividad en la industria alimentaria y esto, los reviste de un impacto global. [12, 13]

Clúster agrícola y cadenas de suministro agroalimentarias

La industria agroalimentaria reconoce que la Administración de la Cadena de Suministro o Supply Chain Management (SCM) es un concepto clave para su competitividad. La rápida industrialización de la producción agrícola, la estructura de oligopolio del sector de distribución de alimentos, el avance de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en la logística, las preocupaciones de los clientes y las normas gubernamentales de seguridad alimentaria, el establecimiento de requisitos de calidad en alimentos, la aparición de formas modernas para el retail o venta minorista de alimentos, la creciente importancia de integración vertical y alianzas horizontales, así como la aparición de una gran cantidad de empresas multinacionales; son sólo algunos de los desafíos del mundo real que han conducido a la adopción del SCM en el sector agroalimentario. [14]

Manzini y Accorsi (2013) consideran que indicadores clave de desempeño que evalúen diseño, planificación, gestión y control de las cadenas de suministro

agroalimentarias son necesarios para medir: 1) niveles de seguridad, calidad, sostenibilidad y eco eficiencia de la cadena; 2) cada etapa del suministro en la cadena (sea adquisición de materias primas, cumplimiento, almacenamiento, fabricación, distribución); 3) desempeño de actores involucrados (consumidores, proveedores de logística, fabricantes) y 4) la interacción de las disciplinas de interés (elaboración de alimentos, fabricación, logística, microbiología, embalaje, entre otros). [15]

Para Fischer y Hartman (2010) es evidente que las cadenas de suministro agroalimentarias modernas necesitan desarrollar la colaboración sólida y relaciones de largo plazo entre sus socios. [16]

¿Cómo se han estudiado los clústeres agrícolas después de Michael Porter?

De acuerdo con la dimensión o alcance, los estudios de clúster pueden ser de dos tipos:

Los micros clústeres buscan entender como las relaciones entre empresas pueden convertirse en una ventaja competitiva, pues pretenden conocer la forma en que las empresas de un mismo sector comparten capacidades productivas, mercados, mano de obra y tecnología. Mientras que los estudios de mes o clúster corresponden a análisis sectoriales, miden alianzas estratégicas entre las empresas del clúster y otras fuera de él, o pretenden la identificación de potencialidades y ventajas de otros sectores distintos del desarrollado en el clúster. [17, 18]

Posterior a los estudios de Porter (1991), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico-OECD (1999) recopiló iniciativas exitosas de clúster en Europa, Norteamérica y México, que habían sido previamente estudiadas mediante diversas técnicas tales como: el método de grafos, método de correspondencia, matriz de entrada-salida y análisis de caso, siendo esta última la más utilizada. El estudio identificó clústeres de diversos sectores económicos y dentro del sector agropecuario analizó el desempeño de los clústeres agroalimentarios en Austria, Dinamarca, Finlandia, Holanda, Noruega, Suecia y Estados Unidos, específicamente y resaltó los principales problemas presentados y las medidas gubernamentales y privadas que se tomaron para solucionarlos. Se concluyó, que la creación de clúster no debe ser impulsada por el gobierno sino el resultado de iniciativas impulsadas por el mercado. [5, 19]

En su mayoría, los estudios demuestran que un aspecto importante para el nacimiento e incubación del clúster, es la cooperación empresa-Estado a través de políticas

y programas de intervención que dirijan los intereses de estos sistemas hacia la satisfacción de las exigencias del mercado. En este sentido, la innovación en los clústeres es un impulsor de su desarrollo, los trabajos de España demuestran que la demanda de las multinacionales o exportadoras que compran los productos agrícolas del clúster genera que pequeños y medianos productores, aumenten su productividad, debido a que los requisitos de calidad de estas compañías derivan en la innovación de procesos, productos, maquinaria, entre otros. [20-22]

DESARROLLO

Situación Actual del Sector Granos y Forrajes en Nuevo León

La agricultura en México ha sido muy significativa, prioritaria e importante desde nuestros antepasados, toda vez que representa una gran base de la economía nacional, en virtud de contar con suelos, climas y ecosistemas, representa una amplia gama de opciones para la producción agrícola los distintos estados de la República Mexicana, y Nuevo León no es la excepción. En este sentido, la producción de maíz es parte fundamental en el desarrollo de la base alimentaria de la población mexicana, por lo que, la situación actual de este grano en el Estado de Nuevo León (Tabla 1), es un tema relevante para la prosperidad de su economía y la agricultura regional.

Censo Agropecuario 2022

Es la fuente de información más completa y detallada del país, ya que cuenta con datos estadísticos de la economía, la producción agrícola, forestal y ganadera, desde sus inicios en el año de 1930, Tabla 1.

Tabla 1. Indicadores Clave de la Entidad

República Mexicana		Nuevo León			
Extensión	Población	Capital	Municipios	Extensión	Población
1,964,375 km ²	126,014,024 (INEGI, 2020)	Monterrey	51	64,156 km ² ; 3.3% del territorio nacional.	6,308,199 habitantes; 4.8% del total del país
	128.5 millones (Banco Mundial, 2023)				

Fuente: Elaboración propia con información del Censo Agropecuario 2022.

Por lo que hace a la producción agrícola Galeana y Aramberri, son los principales municipios en cuanto al valor de la producción, con un 29.60% (1,891 MDP) y 11.80% (753 MDP), respectivamente, le siguen en orden descendente: General Terán, Montemorelos y Cadereyta Jiménez (Figura 2).

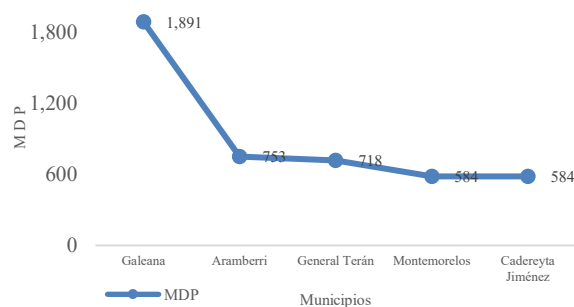


Figura 2. Valor producción de maíz

Fuente: Elaboración propia con información de Nuevo-Leon-Infografía-Agroalimentaria-2024. [23]

En este sentido, el estado aportó el 1.00% (2,784,293 t) a la producción nacional durante 2023, la cual fue de 271,790,933 t, por lo que, Nuevo León se ubicó en el lugar número 25 de 32, en el ranking nacional, con una estimación en has. de 5,016 para el maíz.

Durante el 2023, el estado tuvo una producción agrícola en cuanto de 23,911.92 ton.

Nuevo León en el mercado nacional

En México, la superficie con uso o vocación agropecuaria y la superficie de aprovechamiento forestal sumaron 103.6 millones de has.

- 29'806,706 hectáreas se destinaron a uso agrícola.
- Se obtuvieron 34.6 millones de toneladas de los principales granos que se producen en el país (arroz, cebada grano, frijol, maíz grano amarillo, maíz grano blanco, sorgo grano y trigo grano).
- 26'984,247 personas conformaron la mano de obra en las actividades agropecuarias: 84.0 % correspondió a hombres y 16.0 % a mujeres.

Las unidades de producción agropecuaria y forestal sumaron 5'194,342 y su superficie agrícola sumó 29'806,706 has., estas se dividen en:

- 4'629,134 unidades de producción agropecuaria activas, con 25'703,081 has. de superficie agrícola.
- 3,763 unidades de producción forestal activas, con 352,605 has. de superficie agrícola y,
- 561,445 unidades de producción, cuyos terrenos están totalmente en descanso, estos últimos tienen 3'751,090 has. de superficie agrícola.

De las 25'703,081 has. de superficie agrícola, 26.0 % es de riego y 74.0 % es de temporal.

Producción agrícola: de las 25'703,081 has. de superficie agrícola de las unidades de producción agropecuaria activas, 21'635,876 corresponden al área sembrada, el resto fue superficie no sembrada, ya sea porque estaba en descanso o porque no se sembró, por el mal temporal, falta de crédito, enfermedad, falta de dinero o apoyos, o bien, no hubo quien la sembrara, entre otras razones.

Respecto a la agricultura a cielo abierto, el censo obtuvo información sobre la producción y la superficie sembrada y cosechada de todos los cultivos que se producen en el territorio nacional. Destacan los siguientes cultivos (Tabla 2).

Tabla 2. Principales Cultivos Anuales (octubre de 2021 a septiembre de 2022)

Cultivo	Producción (Ton)	Superficie sembrada (h)
Maíz Grano Blanco	21,926,26	6,077,029
Sorgo Grano	4,393,719	1,472,605
Maíz Grano Amarillo	3,476,543	710,273
Trigo Grano	3,123,284	556,233
Papa	1,695,233	56,089
Frijol	967,403	1,909,374

Fuente: INEGI. Censo Agropecuario, 2022

Nuevo León se encuentra en la región noreste de México. Su ubicación geográfica está entre los paralelos 27°49' y 23°11' latitud norte y los meridianos 98°26' y 101°14' longitud oeste. Colinda al norte con Coahuila, Tamaulipas y Texas, en EE.UU.; al sur con Tamaulipas y San Luis Potosí; al este con Tamaulipas y al oeste con San Luis Potosí, Zacatecas y Coahuila. Comparte 19 km de frontera con EE.UU.

La superficie con uso o vocación agropecuaria y la superficie de aprovechamiento forestal sumaron 3.4 millones de hectáreas, de estas se destinaron 835,516 has. a uso agrícola. Entre los cultivos perenes, el pasto cultivado fue el más importante por superficie cultivada con 303,796 y una producción de 986,844 toneladas, por lo que hace a la mano de obra, está se conformó por 86,600 personas; 88.4 % correspondió a hombres y el 11.6 %, a mujeres.

Nuevo León tiene una superficie de 6.4 millones de has. de estas, 6.3 millones corresponden al área rural y 0.1 millones a centros de población, caminos y cuerpos de agua, entre otros rasgos geográficos. En lo que respecta al área rural, la superficie con uso o vocación

agropecuaria, en el período de octubre de 2021 a septiembre de 2022, fue de 3.1 millones de has. (49.2 %), la superficie con aprovechamiento forestal, de 0.3 millones de has. (4.6 %) y la superficie sin uso o vocación agropecuaria y sin aprovechamiento forestal, de 2.9 millones de hectáreas (46.3 %). La superficie con uso o vocación agropecuaria y la superficie de aprovechamiento forestal sumaron 3.4 millones de has. de las cuales, el censo cubrió 3.3 millones.

Las unidades de producción agropecuaria y forestal en Nuevo León, sumaron 44 191 y su superficie agrícola sumó 835,516 has., estas se dividen en: 28,097 unidades de producción agropecuaria activas con 611,327 has. de superficie agrícola; 66 unidades de producción forestal activas con 8,673 has. de superficie agrícola y 16,028 unidades de producción cuyos terrenos están totalmente en descanso, estos últimos tienen 215,516 has. de superficie agrícola.

Producción agrícola. De las 611,327 has. de superficie agrícola declaradas en las unidades de producción agropecuaria activas del territorio de Nuevo León, 502,783 correspondió al área sembrada. El resto fue superficie no sembrada, ya sea porque estaba en descanso o porque no se sembró por mal temporal, falta de crédito, enfermedad, falta de dinero o apoyos, o bien, no hubo quien la sembrara, entre otras. Respecto a la agricultura a cielo abierto, el censo obtuvo información sobre la producción y la superficie sembrada y cosechada de todos los cultivos que se producen en el estado. Destacan los siguientes (Tabla 3):

Tabla 3. Principales Cultivos Anuales, 2022

Cultivo	Producción (Ton)	Superficie sembrada (h)
Papa	123,891	3,172
Sorgo Forrajero	121,331	12,568
Maíz Forrajero	37,143	3,897
Trigo Grano	31,144	14,583
Sorgo Grano	21,054	9,385
Maíz Grano Blanco	20,294	64,204

Fuente: INEGI. Censo Agropecuario, 2022

Factores que afectan las actividades agrícolas

Las plagas producen pérdidas de hasta un 40% en la producción agrícola, por lo que se recomienda la rotación de cultivos y la adquisición de seguros agrícolas como medidas para enfrentar a las plagas, las cuales no sólo reducen la producción agrícola, sino que también desmejoran la calidad de los cultivos, lo cual supone grandes repercusiones sobre el sector rural.

La prevención y control de plagas es fundamental para asegurar cosechas sanas y suficientes. Entre las plagas más nocivas para los agricultores, se destacan: el pulgón amarillo, la mosquita blanca, el picudo rojo, la araña roja, el escarabajo gallina ciega, la mosca de la fruta, y la larva minadora de hojas.

Las diferentes variedades de pulgones afectan cultivos que van desde la papa, el tomate o el chile, hasta el algodón. Esta plaga detiene el proceso de maduración de los cultivos, además de que puede transmitir una gran cantidad de virus. Los escarabajos conocidos como gallinas ciegas pueden afectar el crecimiento y ocasionar la muerte de diferentes tipos de cultivos como el maíz o el sorgo, ya que se alimentan directamente de las raíces de estas plantas.

Para el caso de la producción de maíz, las diferentes plagas pueden ocasionar que los maizales desarrollen enfermedades como la podredumbre bacteriana, el virus del mosaico, o el carbón de la espiga.

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) del Gobierno de México recomienda a los productores la práctica de la rotación de cultivos, lo cual evita la creación de entornos propicios para las plagas.

Factores que afectan la sostenibilidad del maíz

Los factores más importantes para el desarrollo del maíz son el clima, suelo, nutrientes y agua, siendo el manejo del suelo y la conservación del agua los más susceptibles a la intervención humana, así como, los costos de producción, precios y mercados. Así mismo, el agotamiento de nutrientes sin reposición influye negativamente en la sustentabilidad de este producto agrícola.

Para lograr la sustentabilidad del maíz, los recursos naturales suelo y agua deben favorecer los ciclos de nutrientes ya que son finitos y en el marco de procesos exclusivamente extractivistas, el sistema ambiental se vería deteriorado con imposibilidad de sostener su productividad en el tiempo. Si bien este efecto perjudicial sobre los recursos se manifiesta a largo plazo, es un proceso gradual y acumulativo.

Su proceso productivo tiene entradas y salidas al sistema, funciones que mantienen ciclos generadores de los recursos naturales y su estado, por lo cual es clave entender los insumos que requiere y tecnologías para aplicar a fin de que los ciclos se sostengan en el tiempo.

Los métodos agrícolas tradicionales tienen una huella de carbono baja, pero la labranza excesiva del suelo y riego sin el drenaje adecuado pueden causar daños a largo plazo que incluyen la erosión o pérdida del suelo y salinización respectivamente.

La intensificación sostenible de agricultura se ha convertido en una prioridad para las Naciones Unidas a fin de lograr el aumento de su productividad y otorga importancia específica a los resultados ambientales más amplios.

La agricultura vertical es también un concepto con ventajas potenciales de la producción durante todo el año, el aislamiento de plagas y enfermedades, el reciclaje de recursos controlables y los costos de transporte reducidos.

La innovación y mejores prácticas para aumentar la producción del maíz

Es importante identificar algunas acciones que se han realizado en Nuevo León, con la finalidad de propiciar mayor rendimiento en el maíz.

En materia de innovación se cuenta con un Banco de Germoplasma (espacio para conservar diversidad genética de especies agrícolas, pecuarias, forestales y microbianos a decir, hongos, bacterias y virus) ubicado en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Martínez, J. s. f.), para el resguardo, conservación, utilización y mejoramiento de semillas de cultivos de maíz. [24]

Destaca el Programa de Competitividad e Innovación Regional el cual posiciona al Estado dentro de la economía del conocimiento y desarrollo productivo sustentable, donde queda claro que el gobierno se convierte en promotor, el empresario es líder en la instrumentación del programa y la comunidad académica y científica aporta el capital intelectual.

La Secretaría de Agricultura en 2018, convoca a mujeres (pequeñas productoras agrícolas legalmente constituidas) a Proyectos de Agregación de Valor, con enfoque a recibir apoyo en infraestructura productiva, maquinaria y equipo, así como de asistencia técnica.

Se inició con la entrega del apoyo: Fertilizantes para el Bienestar en 2023, tal como se enuncia en (León, R. A. N. s. f.-b) bajo un esquema gratuito y conforme a reglas del gobierno para ejecutar con eficacia a los agricultores en beneficio de la superficie agrícola. [25] Pese a lo anterior, existen más acciones que se pueden implementar para mejorar la producción de toneladas del maíz, ya sea por el lado de la innovación o de las

mejores prácticas en beneficio del campo y que a continuación se describen de manera general:

En la administración de clúster, es indispensable promover la integración de clústeres funcionales para el campo, esto es, que los diferentes actores de la sociedad como las empresas, organizaciones de innovación y aprendizaje continuo e instituciones públicas de apoyo, interactúen de manera constante a través de alianzas estratégicas en beneficio del campo y lograr con ello mayor producción de maíz, como parte de la cadena agroalimentaria.

Así mismo, se requiere implementar capacitación en relación con el uso adecuado de la tierra y su mayor aprovechamiento utilizando técnicas de cultivo amigables con el medio ambiente y con ello se disminuya además el uso de plagas que afectan al campo.

En el ámbito de la innovación es necesario impulsar la creación del Centro de Innovación de Granos y Forrajes del Estado cuya finalidad se describe en la siguiente imagen (Figura 3):

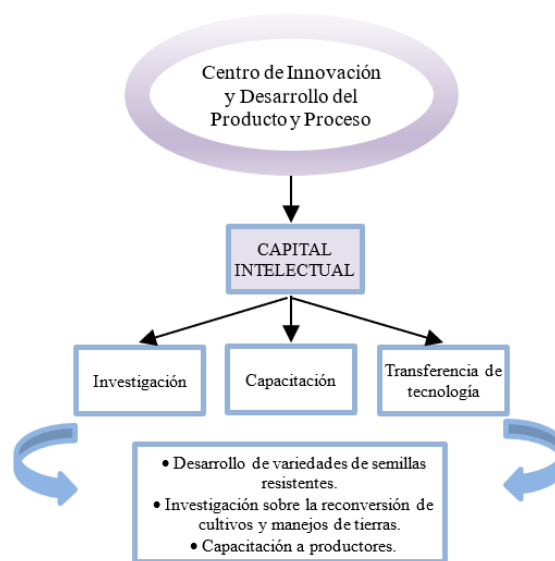


Figura 3. Finalidad del centro de innovación de granos y forrajes.

Fuente: Elaborado por CECIC

La función principal será la de promover la integración de productores, autoridades y centros de investigación, mediante el fomento y difusión de actividades de investigación y uso de mejores prácticas de manejo de cultivo del maíz.

El fideicomiso se integrará con recursos de instituciones nacionales e internacionales.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y el Banco Interamericano de Desarrollo son necesarios para el desarrollo de proyectos estratégicos.

El abastecimiento de insumos por parte de los proveedores de maíz

Existen en el Estado diez empresas integradoras agropecuarias y sólo una comercializa maíz. Del total de proveedores de semillas, un alto porcentaje se dedica a su importación y distribución, mientras que sólo alrededor del 20% las produce.

La mayoría de los proveedores de semillas en Nuevo León cuentan con baja capacidad. Del total de los proveedores, únicamente dos expenden semillas de maíz certificadas.

El abastecimiento de insumos engloba la proveeduría oportuna de los elementos necesarios para la producción, busca la generación de economías de aglomeración, reducción de costos y tiempos.

El primer insumo que se requiere para incrementar los rendimientos es la semilla, la que se encuentra al alcance del pequeño productor tiene un porcentaje considerable de baja germinación, por ello es indispensable lograr que el productor tenga la posibilidad de adquirirla y el que sea semilla certificada representaría un impulso directo al incremento de la competitividad en el mercado.

Respecto a los fertilizantes y métodos de control de plagas, los productores tienen acceso a ellos, pero es necesaria la integración de los factores de la cadena global de valor que fomentan las economías de aglomeración, que permiten a los productores obtener mejores precios en insumos y, de esta manera, lograr puntos a favor de la competitividad, tal como se establece en el Registro Agrario Nacional. [26]

La integración de cada eslabón de la cadena de valor, como una estrategia en conjunto, implica diversas acciones como el disponer de fertilizantes y capacitación adecuada para su uso, dar a las plantas los requerimientos en la medida adecuada con los macro y micronutrientes, según la etapa de desarrollo del cultivo del maíz y de acuerdo con su destino final, traerá una repercusión directa sobre la calidad de granos y/o forraje.

Actualmente, la mayoría de los productores compran individualmente sus agro insumos y conforme al modelo de integración de la cadena global de valor, es necesario agrupar las necesidades de abastecimiento para alcanzar economías de escala que permitan la integración y posicionamiento del clúster en el mercado y en tal sentido, el sector de granos y forrajes de Nuevo León creó un organismo encargado de coordinar las compras de insumos de los productores que así lo deseen, tal como se describe en la siguiente imagen (Figura 4):

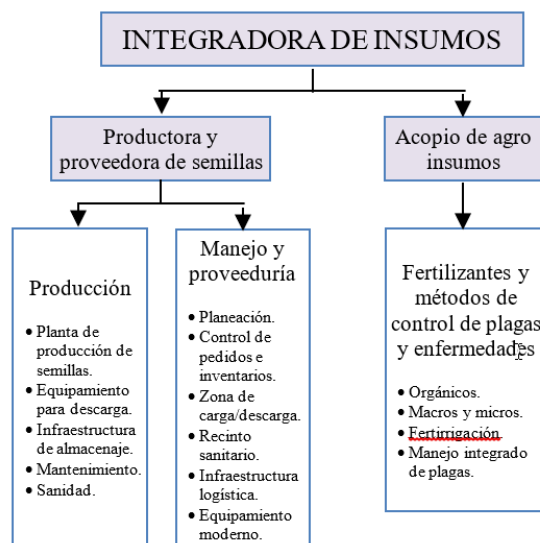


Figura 4. Integradora de insumos

Fuente: Elaborado por CECIC

El abastecimiento de insumos atraviesa varios conflictos y crisis que pueden afectar rotundamente la producción sobre los granos en Nuevo León, uno de ellos es el tema de costos y el acceso al financiamiento que tiene el campo para continuar al margen de la demanda requerida en el Estado por el crecimiento de la población.

El riesgo principal está en las cosechas de algunos productores, ya que no todos tienen acceso a los recursos que requieren para sembrar el maíz, pues después de la pandemia, se generó alto impacto en el alza de precios de los insumos requeridos y para que se pueda considerar solucionado el tema dentro del sector se requiere al menos \$1,000 millones de pesos, tal como lo menciona el Asamblea General del Consejo Agropecuario de Nuevo León.

Así mismo, algunos de los problemas identificados se presentan en la siguiente figura (Figura 5):

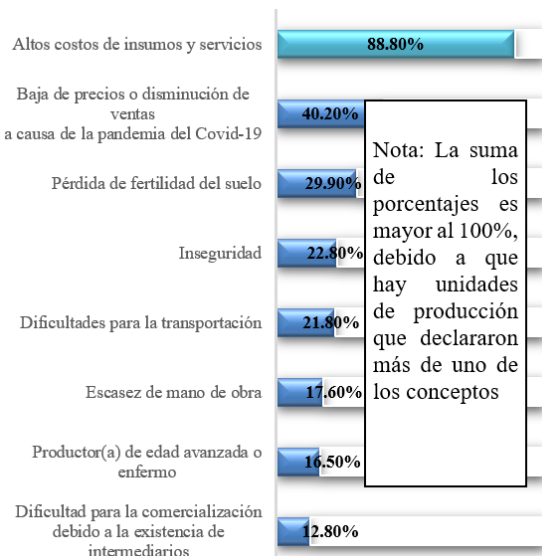


Figura 5. Problemas identificados en el abastecimiento de insumos

Fuente: Elaborado por CECIC en base al Censo Agropecuario 2022.

A fin de mermar el impacto de los principales problemas identificados y de generar apoyo a los proveedores de producción de granos se enlistan las siguientes actividades a realizar para mantener el campo activo del maíz:

- Implementar tecnología en la producción agroalimentario.
- Gestión de recursos con gobierno para financiamiento al campo.
- Capacitación de aprovechamiento de insumos y su eficacia en la administración de su uso.
- Promover prácticas sostenibles en la producción agroalimentaria.
- Propiciar economías de escala para la sostenibilidad de la agricultura.
- Abastecimiento de pozos que puedan recolectar y aprovechar el uso efectivo del agua como uno de los principales insumos del campo.
- Producción comparativa del Estado de Nuevo León con otros Estados.

La producción agrícola en la República Mexicana es muy diversa y diferente, toda vez que México cuenta con una gran diversidad de ecosistemas, tales como:

- Cálido Subhúmedo
- Seco y Semiseco
- Muy Seco o Seco Desértico
- Cálido Húmedo
- Templado Subhúmedo

- Templado Húmedo
- Frío

Al respecto, y de conformidad con el Censo Agropecuario 2022, México tiene una superficie agrícola de **29,806,776** has., de las cuales; 25,703,081 corresponden a superficie agrícola activas, 352,605 forestal activas y 3,751,090 en descanso, es por ello que a continuación, se representa estadísticamente la producción agrícola del maíz las 32 entidades federativas del país (Tabla 4):

Tabla 4. Datos Abiertos - Estadística de Producción Agrícola (Ton)

Estado	2022	2023
Aguascalientes	71,209.35	52,182.22
Baja California	18,091.77	24,910.66
Baja California Sur	45,573.35	34,125.00
Campeche	381,053.06	530,109.98
Chiapas	1,379,252.44	1,327,894.58
Chihuahua	1,731,210.97	1,601,890.40
Ciudad de México	4,954.90	4,379.98
Coahuila	16,518.78	14,017.49
Colima	49,653.35	39,615.42
Durango	305,022.24	370,445.01
Guanajuato	1,898,924.59	1,762,462.60
Guerrero	1,490,519.35	1,425,672.34
Hidalgo	603,891.43	576,377.35
Jalisco	3,984,289.04	3,498,653.21
México	1,779,468.40	1,811,192.21
Michoacán	2,093,142.37	1,905,197.66
Morelos	191,449.90	113,148.96
Nayarit	122,451.40	161,525.55
Nuevo León	32,275.26	23,911.92
Oaxaca	770,846.94	708,191.74
Puebla	724,891.92	1,139,813.56
Querétaro	206,628.60	240,273.72
Quintana Roo	71,828.90	78,590.13
San Luis Potosí	162,556.26	103,344.25
Sinaloa	5,309,195.07	6,656,330.77
Sonora	185,958.83	503,014.40
Tabasco	169,173.66	179,808.06

Estado	2022	2023
Tamaulipas	451,060.42	489,807.45
Tlaxcala	361,413.41	343,952.30
Veracruz	1,353,531.25	1,343,227.67
Yucatán	149,287.54	160,620.65
Zacatecas	437,914.55	325,230.29
Totales	26,553,239.30	27,549,917.53

Fuente: Elaboración propia con información de la
Datos Abiertos:

<http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
[27]

En este contexto, el Estado de Sinaloa fue el mayor productor de maíz para los años 2022 y 2023, por su parte Nuevo León ocupó el lugar número 29 y 30, respectivamente.

Producción Agrícola Nacional 2014 – 2023

Durante la última década la producción de maíz, ha tenido el siguiente comportamiento, el cual se representa tomando como base a los 5 principales productores de forma histórica, así como, el Estado de Nuevo León.

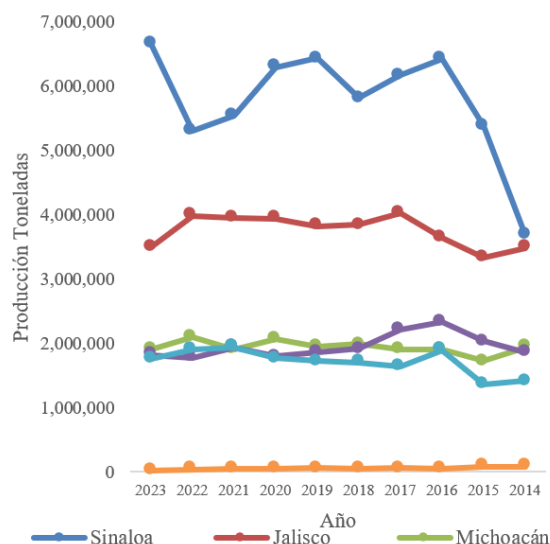


Figura 6. Principales productos de maíz 2014-2023

Fuente: Elaboración propia con información de Datos
Abiertos:

<http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php> [27]

En consecuencia, y de la información manifestada y analizada de la Producción Agrícola Nacional 2014 – 2023 (Figura 6), podemos encontrar que el Estado de Nuevo León no ha despegado en cuanto a la producción del maíz.

Visualizando el futuro: Planeación Agrícola Nacional 2017-2030

La producción de maíz en México es una historia fascinante que nace desde nuestros antepasados, toda vez que ha sido parte de la base alimentaria en nuestro país desde épocas remotas, este sentido, el Gobierno Federal ha elaborado un plan denominado “Planeación Agrícola Nacional 2017-2030”, esto con la finalidad de garantizar el abasto de 38 cultivos básicos hacia el año 2030, dicha planeación tiene las siguientes encomiendas: [28]

- Propósito. – Garantizar la seguridad alimentaria de manera sostenible.
- Visión. – Un sector agrícola productivo y rentable que garantice la seguridad alimentaria con alto sentido ambiental y social.
- Objetivo. – Generar una visión de Estado sobre la producción nacional sustentable de los cultivos estratégicos, estableciendo políticas regionales que aumenten la productividad conforme a los requerimientos de los mercados.

En este sentido, el maíz tiene como meta alcanzar la siguiente producción (Tabla 5):

Tabla 5. Metas de producción de maíz

Producción Año	Cultivo Miles de Toneladas
2030	22,862.65

Fuente: Elaboración propia con datos de la
Planeación Agrícola Nacional 2017-2030.

Logística y distribución

El circuito de comercialización del maíz, inicia con la producción primaria, continuando con la comercialización y suministro a través de los centros de acopio, en el proceso de procesamiento y/o transformación es utilizada para la fabricación de tortillas, botanas, frituras, aceite, entre otros, los cuales son distribuidos en abarrotes, tiendas de autoservicio, etc. llegando al final para consumo animal y humano. (figura 7).

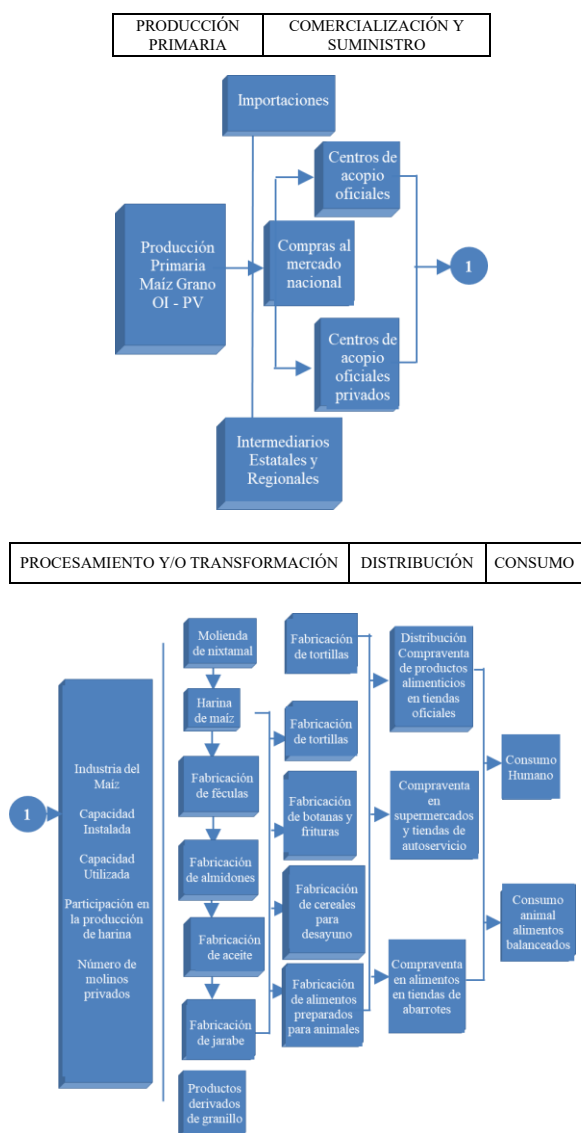


Figura 7. Circuito de comercialización del maíz

Fuente: SIAP, Sistema Producto maíz. [27]

Comercialización

En las siguientes gráficas se muestra el consumo nacional aparente del maíz. En la última década se ha ido incrementando en un 42% (Figura 8).

El porcentaje de importaciones de maíz ha ido en aumento desde un 31% en el año 2014 hasta llegar a 41.4% en el 2023 (Figura 9).

Según el economista (2023), las importaciones de maíz a México sumaron 17 millones 336,510 toneladas en 2022, una reducción de 2.3% interanual. [29]

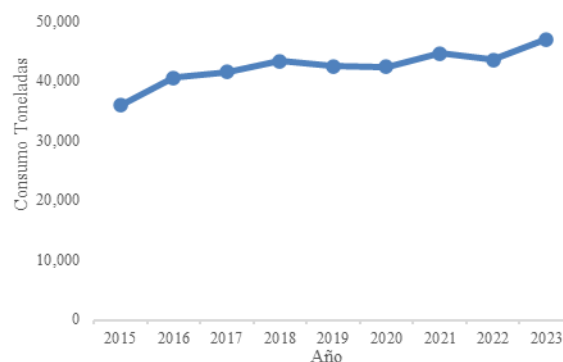


Figura 8. Consumo Nacional Aparente maíz

Fuente: Elaboración propia. Datos de SIAP

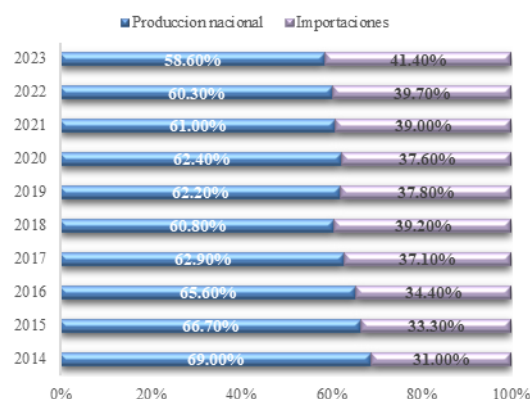


Figura 9. Producción nacional – Importaciones

Fuente: Elaboración propia. Datos de SIAP. [27]

El maíz es el producto agrícola más importado por México, el más cultivado por los agricultores mexicanos y un símbolo poderoso precolombino por su importancia en los campos de la economía, la política y la sociedad. (el economista, 2023). [29]

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de un análisis profundo, se identificó que una estrategia vital para el Estado de Nuevo León, sería la implementación de sistemas que contribuyan a la sostenibilidad de la agricultura, partiendo de que el objetivo es crear conciencia sobre el proceso de producción agrícola, dado el desafío que representa para el sector la generación de alimentos que puedan satisfacer las necesidades de la población.

En este contexto, el caso de estudio analizó el Estado y la evolución en el que se encuentra la producción del maíz en nuestro país, a través de la participación e implementación de clústeres agrícolas para aumentar la

producción y competitividad en el sector, básicamente en el Estado de Nuevo León.

El análisis indica que la producción de granos no ha tenido un crecimiento significativo, y éste se mantiene dentro de los niveles de la media en los últimos 10 años, se destaca que el Estado de Nuevo León, disminuyó su producción del año 2014 en poco más del 60% en comparación con el año 2023, por lo que, es recomendable analizar las causas que han llevado al decrecimiento, y en su caso, implementar las acciones pertinentes para elevar la producción de dichos granos, y así estar en posibilidades de alcanzar las metas establecidas en la **Planeación Agrícola Nacional 2017 – 2030**, implementada por el Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [28]

CONCLUSIONES

El análisis detallado de la cadena productiva del maíz Zea mays en el Estado de Nuevo León revela la urgente necesidad de implementar estrategias integrales que promuevan la autosustentabilidad en la producción agrícola, alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 en el objetivo 2 que menciona poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible. A partir de los datos examinados (2014-2023) y la figura 9 que muestra un incremento en las importaciones del maíz (del 31% al 41.4%), es evidente que la dependencia del mercado externo representa un desafío estructural para la región.

Para revertir esta tendencia, es imprescindible adoptar las siguientes acciones prioritarias:

1. **Innovación tecnológica y capacitación:** Implementar programas de transferencia de tecnología, investigación en semillas mejoradas y prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan los efectos de las plagas y optimicen el uso de recursos como el agua y el suelo.
2. **Fortalecimiento de clústeres agrícolas:** Promover una mayor integración entre productores, instituciones académicas y actores públicos-privados, incentivando economías de escala que disminuyan los costos de insumos y aumenten la competitividad.
3. **Infraestructura y logística:** Desarrollar infraestructura eficiente para la distribución y comercialización del maíz, facilitando su acceso a mercados nacionales y reduciendo el desperdicio durante el traslado.

4. **Políticas públicas de financiamiento:** Gestionar recursos para otorgar créditos accesibles a pequeños productores, mejorando su capacidad de producción y adquisición de insumos certificados.

El desarrollo y fortalecimiento de estas estrategias no solo aumentará la productividad y calidad del maíz en la región, sino que también contribuirá a la seguridad alimentaria y a la autosuficiencia nacional, disminuyendo la dependencia de importaciones y fomentando un modelo agrícola sostenible a largo plazo.

Se deberá poner especial énfasis a la importancia de la colaboración e innovación para alcanzar metas ambiciosas, por lo que, la inversión en capacitación, infraestructura y tecnología será factor clave para consolidar el desarrollo y crecimiento del sector agrícola en México.

Por otra parte, desarrollar e implementar una logística y distribución para que la comercialización de los productos sea más eficiente, y así estén al alcance para el consumo de todas aquellas personas dependientes.

Finalmente, es recomendable fortalecer la coordinación entre actores públicos, privados, así como, la participación ciudadana con la finalidad de aprovechar los desafíos globales, para mejorar la competitividad y productividad, y así depender menos de las importaciones.

Se recomienda realizar futuras investigaciones con el objetivo de desarrollar propuestas de Ley que apoyen a los productores locales de maíz.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2012. Balanzas disponibilidad-consumo de productos agrícolas. Maíz amarillo y maíz blanco. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=379.
- [2] Romero Padilla, Arely, Hernández Juárez, Martín, León Merino, Aurelio, & Sangermán-Jarquín, Dora Ma. (2015). Impacto en el mercado mexicano de maíz en ausencia de políticas de producción de biocombustibles en Estados Unidos de América. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 6(5), 1023-1033. Recuperado en 18 de diciembre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000500010&lng=es&tlng=es.
- [3] Matsuoka, Y.; Vogoroux, Y.; Goodman, M. M.; Sanchez, J.; Buckler, G. E. and Doebley, J. 2012. A single domestication for maize shown by multilocus

- microsatellite genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA* 99:6080-6084.
- [4] Harvey, M. y PILGRIM, S. 2011. The new competition for land: Food, energy, and climate change. *Food Policy*. 36(1):40 - 51.
- [5] Porter, M. E. (1991). La ventaja competitiva de las naciones. Ed. Vergara
- [6] Porter, M. E. (1980). *Competitive Strategy*, Ed. Free Press.
- [7] Krugman, P. 1991. *Geography and Trade*. 1st edition. Leuven University Press and MIT Press. Leuven and Cambridge Massachusetts. 137p.
- [8] Marshall, A. 1920. *Principles of Economics*. 8va Edición, Macmillan, London. 513p.
- [9] Vera, J. y Ganga, F. 2007. Los clústeres industriales: precisión conceptual y desarrollo teórico. *Cuaderno de Administration*. 20(33):303-322.
- [10] Galvez-Nogales, E. 2010. Agro-based clusters in developing countries: Staying competitive in a globalized economy. *Occasional Papers No. 25*. FAO-Agricultural Management, Marketing and Finance, Rome. 105 p
- [11] Gibbon, P. 2001. Upgrading Primary Production: A Global Commodity Chain Approach. *World Development*. 29(2):345 - 363.
- [12] Instituto Interamericano De Cooperación Para La Agricultura (IICA). 2003. Territorios rurales, competitividad y desarrollo. *Serie Cuadernos Técnicos / IICA*. No. 23.
- [13] Yelkikalan, N., Söylemezoglu, E., Kiray A., Sönmez R., Ezilmez B. Y Altun M. 2012. Clustering Approach as a Regional development tool. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 58:503 - 513.
- [14] Tsolakis N., Keramydas C., Toka, A., Aidonis, D. Y Iakovou, E. 2014. Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical taxonomy. *Biosystemsengineering*. 120(1):47 - 64.
- [15] Manzini, R. Y Accorsi, R. 2013. The new conceptual framework for food supply chain assessment. *Journal of Food Engineering*. 115(2):251 – 263
- [16] Fischer, C. y Hartman, M. 2010. *Agri-food chain relationships*. 1st edition. Edited Massey University and University of Bonn. London, UK. 288p.
- [17] Hoen, A. 2001. An international comparison of national clusters. 15p. Paper presented at the 41st Congress of the European Regional Science Association August 29-September 1. Zagreb, Croatia.
- [18] Sánchez, J. Y Bracamonte, A. 2006. Aglomeraciones industriales y desarrollo económico. *Frontera norte*. 18(36), 87 - 124.
- [19] Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD). 1999. *Boosting innovation the cluster approach*. OECD Publications Service. Paris, Francia. 427p.
- [20] Pérez, J. 2008. Multinacionales y difusión de tecnología en clúster agroindustriales: el caso almeriense. *Revista de Estudios Regionales*. 86(3):155 - 180.
- [21] Martínez-Carrasco, F. Y Martínez, J. 2011. El clúster agroalimentario de la región de Murcia. *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios*. 2:175-198.
- [22] Aznar, J. 2011. El clúster agroindustrial de la horticultura intensiva de Almería: surgimiento, dinámica y perspectivas. *Cuaderno de Estudios Agroalimentarios*. 2:199 - 217.
- [23] Infografía Agroalimentaria 2024 (Publicación 2024 con cifras 2023)
- [24] Martínez, J. (s. f.). El Banco de Germoplasma de la Facultad de Agronomía UANL, como patrimonio etnobiológico del estado de Nuevo León – Ciencia UANL. <https://cienciauanl.uanl.mx/?p=11319>.
- [25] León, R. A. N. (s. f.-b). Fertilizantes para el Bienestar 2023- Nuevo León. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/nuevoleon/es/documentos/fertilizantes-para-el-bienestar-2023-nuevo-leon?idiom=es>.
- [26] Servicio Nacional de inspección y certificación de semillas (2023). Directorio de Productores, Obtentores y Comercializadores de Semillas. <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/directorio-de-productores-obtentores-y-comercializadores-de-semillas-237740>
- [27] Servicio de información agroalimentaria (2024). Datos abiertos. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- [28] Secretaría de agricultura y desarrollo rural. (2017) Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813>
- [29] Morales, R. (06 de febrero de 2023). México aumenta dependencia de maíz importado. El economista. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-aumenta-dependencia-de-maiz-importado-20230206-0108.html>

SUNDESK CHARGE: INNOVACIÓN SOSTENIBLE PARA TU SMARTPHONE

Reyes Fraire Uriel¹, Rodríguez Gausin David², García Rojas Karla Nayeli³, Melchor Mariscal Jesús Noé⁴, Guevara Neri María Cristina⁵, Rodríguez Ramírez Alma Guadalupe⁶

¹4to. Cuatrimestre de TSU, Universidad Tecnológica Paso del Norte, 23310105@utpn.edu.mx.

²4to. Cuatrimestre de TSU, Universidad Tecnológica Paso del Norte, 23310118@utpn.edu.mx.

³4to. Cuatrimestre de TSU, Universidad Tecnológica Paso del Norte, 23310101@utpn.edu.mx.

⁴4to. Cuatrimestre de TSU, Universidad Tecnológica Paso del Norte, 23310002@utpn.edu.mx.

⁵Doctorado en Ciencias de la Ingeniería Avanzada, Universidad Tecnológica Paso del Norte, Departamento de Mecatrónica
maria.guevara@utpn.edu.mx.

⁶Doctorado en Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Ingeniería y Tecnología,
alma.rodriguez.ram@uacj.mx.

Resumen -- El presente estudio aborda el diseño de una estación de carga móvil alimentada por energía solar para su implementación en el campus de la Universidad Tecnológica Paso del Norte (UTPN). Se llevó a cabo un análisis detallado de la orientación de los paneles solares, considerando la ubicación geográfica y las condiciones climáticas locales. Asimismo, se diseñó la estructura de soporte y el sistema de almacenamiento de energía, con el objetivo de proporcionar una solución sostenible para la carga de dispositivos electrónicos de los estudiantes. Si bien el proyecto se encuentra en fase de diseño, los resultados obtenidos sugieren que la estación de carga podría mejorar el aprovechamiento de la energía solar, reduciendo el consumo eléctrico convencional y fomentando el uso de energías renovables en la comunidad universitaria. Finalmente, se identificaron áreas de mejora relacionadas con la seguridad y la eficiencia del sistema, lo que permitirá futuras optimizaciones antes de su implementación.

Palabras Clave: Paneles solares, sostenibilidad, ambiental, energía solar, emisiones, sostenible, consumo energético.

Abstract -- This study presents the design of a solar-powered mobile charging station for implementation at the Universidad Tecnológica Paso del Norte (UTPN) campus. A detailed analysis of the orientation of solar panels was conducted, considering the geographic location and local climate conditions. The structural support and energy storage system were also designed to provide a sustainable solution for students to charge their electronic devices. While the project remains in its design phase, preliminary results suggest that the charging station could improve solar energy utilization, reduce conventional electricity consumption, and promote the use of renewable energy within the university community. Finally, areas for improvement were identified, particularly regarding security and

system efficiency, which will guide future optimizations before implementation.

Keywords: Solar panels, sustainability, environmental, solar energy, emissions, sustainable, energy consumption.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de la energía solar ha demostrado ser una solución viable y sostenible para reducir el impacto ambiental y promover el uso eficiente de los recursos energéticos en distintos contextos. La implementación de tecnologías como paneles solares en espacios públicos y privados ha sido estudiada ampliamente, mostrando beneficios como la disminución de emisiones de carbono, la reducción de costos operativos y el acceso a fuentes renovables de energía [1,2]. Estas iniciativas no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental, sino que también fomentan el desarrollo tecnológico y la innovación en el diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos [3,4].

El diseño de prototipos para optimizar la captación de energía solar y su integración en la vida cotidiana ha sido un enfoque clave en estudios recientes. Por ejemplo, se han desarrollado paneles solares híbridos y sistemas autónomos que mejoran la eficiencia energética en poblaciones dispersas y regiones con condiciones climáticas extremas [5,6]. A nivel institucional, la implementación de tecnologías fotovoltaicas en zonas urbanas ha demostrado ser una estrategia efectiva para gestionar el consumo energético, reducir costos y garantizar la sostenibilidad a largo plazo [7,8].

En este contexto, el presente proyecto propone la instalación de estaciones de carga solar en el campus universitario, un enfoque que integra las lecciones aprendidas de estudios previos y adapta sus conceptos al entorno académico. La investigación se fundamenta

en modelos de análisis costo-beneficio, estrategias de diseño estructural y evaluación técnica del rendimiento energético [9,10]. La combinación de estos elementos permite no solo abordar las necesidades energéticas inmediatas, sino también establecer una base para futuras aplicaciones en espacios públicos, alineadas con las tendencias globales de sostenibilidad [2].

Este trabajo contribuye al debate académico sobre el uso de tecnologías renovables en espacios urbanos, apoyándose en estudios que destacan la viabilidad técnica y económica de los sistemas fotovoltaicos para aplicaciones específicas [6,10].

El objetivo principal de este proyecto es diseñar una estación de carga móvil alimentada por energía solar para el campus de la Universidad Tecnológica Paso del Norte (UTPN). Esta estación está destinada a permitir que los estudiantes carguen dispositivos esenciales, como smartphones y laptops, de manera sostenible y eficiente, aprovechando fuentes de energía renovable y contribuyendo a la reducción del impacto ambiental.

DESARROLLO

El aprovechamiento de la energía solar es una estrategia clave para reducir el consumo energético y promover el uso de fuentes renovables en entornos académicos. En este proyecto, se diseña un sistema fotovoltaico en la Universidad Tecnológica Paso del Norte (UTPN), con el objetivo de proporcionar una solución sostenible para la carga de dispositivos electrónicos en el campus.

Para garantizar la eficiencia del sistema, es fundamental considerar la ubicación de la universidad, ya que factores como la latitud y la radiación solar disponible determinan el rendimiento de los paneles fotovoltaicos. Además, se deben evaluar aspectos como la inclinación óptima del panel, la elección de los componentes eléctricos y la estructura de soporte que asegure la estabilidad del sistema a largo plazo.

A continuación, se presentan los fundamentos teóricos que sustentan el diseño, los cálculos de optimización, la selección de materiales y los resultados obtenidos tras la instalación y pruebas de funcionamiento.

Fundamentos de captación de energía solar

Para maximizar la captación de energía solar, es fundamental comprender cómo varía la radiación solar a lo largo del año y cómo la ubicación geográfica influye en la eficiencia de los paneles. Factores como la latitud, la inclinación del panel y la orientación adecuada juegan un papel clave en el rendimiento del sistema fotovoltaico. A continuación, se abordan los

principios teóricos que sustentan el diseño y la instalación del sistema solar.

Posicionamiento del panel solar

El posicionamiento de los paneles solares se determina mediante una fórmula con relación la posición del sol varía dependiendo de la ubicación geográfica y de la época del año. El sol aparece en diferentes puntos del cielo, con distintos ángulos, en función de la latitud y la longitud. Para calcular el ángulo óptimo de inclinación del panel, es esencial conocer estos dos parámetros geográficos, ya que su correcta orientación puede mejorar la eficiencia del sistema hasta en un 20%, dependiendo de la estación del año [11].

Latitud y longitud

La latitud se originó a partir del estudio de la inclinación de los rayos solares en diversos puntos de la Tierra, siendo utilizada desde la antigüedad, especialmente en la navegación. Los antiguos griegos, como Eratóstenes e Hiparco, calcularon la latitud observando la posición del sol en el cielo y la sombra de un objeto en diferentes lugares y momentos del año. Actualmente, la latitud sigue siendo un parámetro fundamental en el cálculo de la eficiencia fotovoltaica, ya que determina la inclinación óptima de los paneles solares para maximizar la captación de radiación [12].

La longitud, que mide las posiciones hacia el este y el oeste, fue más difícil de establecer con precisión debido a la necesidad de una referencia de tiempo exacta en dos lugares distintos.

El Meridiano de Greenwich (0° de longitud), que pasa por el Observatorio de Greenwich en Londres, se adoptó como referencia global durante la Conferencia Internacional del Meridiano en 1884. A diferencia de la latitud, la longitud varía de 0° a 180° hacia el este y el oeste, formando un círculo completo alrededor del planeta.

Estas bases históricas han sido fundamentales para el desarrollo de los sistemas de navegación modernos, como el GPS, y son esenciales al momento de ubicar un panel solar, ya que el ángulo de inclinación debe ajustarse en función de la latitud y longitud para maximizar la captación de energía solar [13].

Determinación de la ubicación

Para conocer la latitud y longitud de un lugar con precisión, pueden utilizarse aplicaciones de GPS en dispositivos móviles, como Google Maps o plataformas especializadas en análisis de irradiancia solar, como

NASA POWER, que proporcionan datos detallados sobre la radiación en cualquier ubicación geográfica [14].

Cálculo de inclinación

El cálculo de inclinación se realiza utilizando dos fórmulas, dependiendo de la estación del año en la que nos encontremos:

En verano se utiliza la Ec. (1):

$$\theta_{\text{Verano}} = \text{latitud} - 15^\circ \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde a la latitud se le restan 15° para obtener el ángulo de inclinación óptimo en la estación de verano.

En cambio, en la estación de invierno es lo mismo, pero de manera inversa, como muestra la Ec. (2):

$$\theta_{\text{Invierno}} = \text{latitud} + 15^\circ \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde a la latitud se le suman 15° para obtener el ángulo de inclinación óptimo en la estación de invierno.

Después, se utiliza la fórmula con la latitud de la UTPN, que se obtiene utilizando Google Maps, como lo muestra la Figura 1.



Figura 1. Latitud de la UTPN

Los cálculos para verano e invierno se muestran en la Ec. (3) y Ec. (4), respectivamente:

$$\theta_{\text{Verano}} = 31.7^\circ - 15^\circ = 16.7^\circ \quad \text{Ec. (3)}$$

$$\theta_{\text{Invierno}} = 31.7^\circ + 15^\circ = 46.7^\circ \quad \text{Ec. (4)}$$

Se pueden utilizar los ángulos para posicionar el panel solar según la estación. Sin embargo, como la estructura será fija y no podrá ser modificada físicamente, se ha decidido tomar un punto medio. De esta forma, se optimiza la obtención de energía solar tanto en verano como en invierno. Por lo tanto, se calcula el ángulo medio mediante la Ec. (5):

$$\text{Punto medio} = (\theta_{\text{Invierno}} - \theta_{\text{Verano}})/2 \quad \text{Ec. (5)}$$

$$\text{Punto medio} = (46^\circ + 16^\circ)/2 = 31^\circ$$

La Figura 2 muestra el ángulo de inclinación en la estructura.

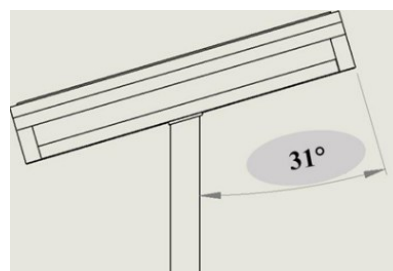


Figura 2. Ángulo de inclinación

Ubicación del panel solar

El panel solar se instalará frente al edificio B, específicamente en las mesas de descanso para estudiantes. Esta ubicación fue seleccionada debido a que recibe una mayor cantidad de luz solar al estar en un área despejada, lo que garantiza un rendimiento óptimo. Además, su proximidad facilita su uso por parte de los estudiantes, como se ilustra en la Figura 3.



Figura 3. Ubicación del panel solar

Captación solar y horas pico

Conocer las horas pico de captación solar es muy importante a nivel teórico, ya que con esta información se pueden establecer diferentes parámetros a futuro, como el tiempo de duración de la batería, la eficiencia energética, entre otros. Para ello, se consultaron diversas fuentes, como la plataforma NASA POWER [14] y TUTIEMPO.NET [15], que proporcionan datos sobre la irradiancia solar en diferentes ubicaciones. Según esta plataforma, las horas pico de irradiación solar en Ciudad Juárez, específicamente en la zona de Anapra, se concentran generalmente entre las 12:00 y las 14:00 horas, con la mayor radiación solar durante este momento.

Este conocimiento es clave para dimensionar de manera adecuada los sistemas fotovoltaicos, ya que mejora la planificación de la capacidad de generación de energía solar, asegurando un aprovechamiento eficiente del recurso. Además, a partir de los datos obtenidos de plataformas como Solar App y PVGIS [16,17], se puede ajustar la inclinación de los paneles

para maximizar la captación en función de las condiciones climáticas y la estación del año.

Funcionamiento del sistema

El funcionamiento del sistema se divide en cuatro etapas, iniciando con la generación de energía solar, así como su regulación y almacenamiento. Finalmente, termina con la distribución de energía y respaldo con batería. A continuación, se describe cada etapa.

1. *Generación de energía solar:* Durante el día, el panel solar captura la luz del sol y genera corriente continua (DC). Este proceso convierte la energía solar en electricidad utilizable.
2. *Regulación y almacenamiento:* La energía generada por el panel solar pasa al controlador fotovoltaico, que se encarga de regular tanto el voltaje como la corriente, asegurando que la batería y los dispositivos conectados estén protegidos de posibles sobrecargas. Parte de esta energía se almacena en la batería para su uso posterior.
3. *Distribución de energía:* El controlador fotovoltaico también envía energía al inversor, que convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC) de 120V, la cual se usa para alimentar dispositivos eléctricos.
4. *Respaldo con batería:* En ausencia de suficiente energía solar, como en la noche, la batería proporciona la energía almacenada al inversor, lo que permite que los dispositivos sigan funcionando sin interrupción.

Componentes eléctricos del sistema

El esquema eléctrico se basa en cuatro componentes eléctricos principales para su funcionamiento. A continuación, la *Figura 4* muestra el esquema de conexión de los componentes.

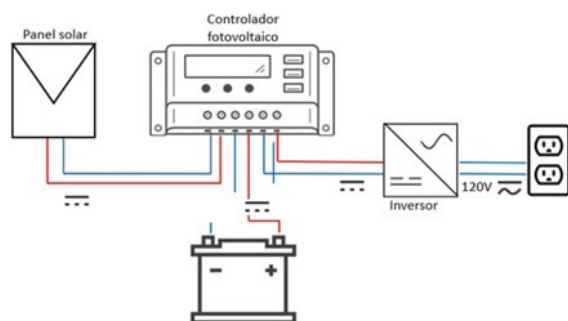


Figura 4. Esquema de conexión de los componentes eléctricos

Enseguida se proporciona una descripción general de las partes principales.

Panel solar: El panel solar está conectado al controlador fotovoltaico a través de dos cables: uno positivo (rojo) y uno negativo (negro). Este dispositivo captura la energía del sol y la convierte en corriente continua (DC). La energía generada por el panel es enviada al controlador fotovoltaico para su regulación.

Controlador fotovoltaico: El controlador fotovoltaico es un componente esencial que regula la carga y descarga de la batería, protegiéndola de sobrecargas y sobre descargas, lo que asegura una mayor durabilidad y eficiencia en el sistema. Este dispositivo tiene tres conexiones principales:

Entrada del panel solar: Recibe la energía en corriente continua (DC) generada por el panel solar.

Conexión a la batería: Se conecta directamente a la batería, almacenando la energía para su uso posterior. Se utilizan cables de conexión positiva (rojo) y negativa (negro) para asegurar la correcta transferencia de energía.

Conexión del inversor: Proporciona la energía almacenada a un inversor, que se encarga de convertir la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), adecuada para el uso de dispositivos eléctricos domésticos.

Especificaciones técnicas del sistema

Las especificaciones técnicas de los componentes del sistema son las siguientes.

Panel solar: El panel solar utilizado en este sistema fue proporcionado por la UTPN para la implementación del sistema propuesto.

Aunque es un modelo de alta eficiencia destinado a instalaciones más grandes o con mayores demandas energéticas, es adecuado para el sistema debido a sus características.

Las especificaciones eléctricas se muestran en la *Tabla 1*:

Tabla 1. Especificaciones del panel solar

Componente	Valor
Modelo	LONGi LR4-72HPH-450M
Potencia máxima (P _{máx})	450W

Voltaje a máxima potencia (Vmp)	41.3V
Corriente a máxima potencia (Imp)	10.85A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	49.3V
Corriente de cortocircuito (Isc)	11.60A
Tolerancia de potencia	0~+5W
Voltaje máximo del sistema	1500V

Controlador de carga solar: El controlador de carga solar fue seleccionado para adaptarse a las especificaciones eléctricas del panel solar, y debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Entrada de voltaje máxima superior a 45V DC.
- Capacidad para manejar una corriente mayor a 10A.
- Conexión a una batería de 12V o 24V.



Figura 5. Controlador de carga solar

Una vez establecidos los parámetros adecuados para el sistema, logramos adquirir el controlador de carga solar en una tienda en línea debido a su precio accesible y su disponibilidad. Aunque es un producto económico y de gama baja en comparación con otros modelos de mayor calidad, resulta perfecto para la experimentación de nuestra integradora, ya que cumple con las especificaciones necesarias para este proyecto.

Batería: En el desarrollo del proyecto, la adquisición de un sistema adecuado para el almacenamiento de energía presentó varios desafíos debido a la falta de recursos y tiempo suficiente para conseguir una batería solar nueva o una batería de automóvil. Por ello, se optó por utilizar una batería de automóvil usada de 24V LTH, seleccionada por su costo accesible, fácil disponibilidad y adecuada compatibilidad con las necesidades energéticas del sistema.

La batería de 24V se ajusta al diseño del sistema gracias al controlador fotovoltaico, que regula la energía generada por el panel solar (41.3V Vmp, 10.85A) para cargarla de forma eficiente, sin necesidad de modificaciones adicionales. Si bien las baterías solares ofrecen ventajas para ciclos profundos y aplicaciones a gran escala, la batería de automóvil utilizada aquí es una alternativa práctica, funcional y rentable, especialmente para proyectos pequeños con restricciones presupuestarias, como fue el caso de nuestro proyecto.

Las especificaciones de la batería se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones de la batería

Categoría	Especificación
Modelo	LTH Batería de Litio 24V 100Ah
Voltaje nominal	24V
Capacidad	100Ah
Tipo de batería	Litio (mejor rendimiento en ciclos profundos y mayor eficiencia que las baterías de plomo-ácido)
Ciclos de vida	3000-5000 ciclos
Eficiencia de carga	>95%, más eficiente que las baterías de plomo-ácido
Peso	Más ligera que las baterías de plomo-ácido

Inversor: Un inversor es un dispositivo electrónico que convierte la corriente continua (CC o DC) en corriente alterna (CA o AC). Esto es fundamental para que la energía generada por fuentes como los paneles solares, las baterías o los generadores de CC pueda ser utilizada por dispositivos que requieren corriente alterna, como la mayoría de los electrodomésticos y sistemas eléctricos convencionales.

En el contexto de este proyecto, al utilizar una batería con una capacidad limitada, el inversor permite que la energía almacenada pueda alimentar equipos pequeños, como celulares, laptops o cualquier dispositivo móvil que necesite corriente alterna.

Dado que la batería no tiene una gran capacidad de almacenamiento, el uso del inversor está restringido a estos dispositivos con menores requerimientos energéticos.

Cálculo del tiempo de carga

Para dimensionar adecuadamente un sistema fotovoltaico, es esencial calcular el tiempo necesario para cargar completamente la batería utilizando la energía generada por los paneles solares. Este cálculo permite optimizar la eficiencia del sistema y garantizar un suministro energético constante.

Capacidad de la batería

La capacidad de una batería se mide en amperios-hora (Ah) y representa la cantidad de carga eléctrica que puede almacenar. Para convertir esta capacidad en energía almacenada (Wh), se utiliza la Ec. (6).

$$E = V * C, \quad \text{Ec. (6)}$$

donde E es la energía (Wh), V es el voltaje (V) y C es la capacidad (Ah).

Potencia del Panel Solar

La potencia de un panel solar se mide en vatios (W) y determina la cantidad de energía que puede generar bajo condiciones óptimas de irradiancia solar. Es fundamental conocer este valor para estimar el tiempo de carga de la batería.

Tiempo de Carga

El tiempo estimado para cargar una batería se calcula dividiendo la energía almacenada en la batería por la potencia del panel solar, ajustando el resultado según la eficiencia del sistema, la fórmula para este cálculo se muestra en la Ec. (7).

$$T = \frac{E}{P_{\text{máx}} * n}, \quad \text{Ec. (7)}$$

donde T es el tiempo de carga (h), E es la energía (Wh), P_{máx} es la potencia del panel solar (W) y n es la eficiencia del sistema (valor entre 0 y 1).

En el sistema propuesto, los valores de energía y tiempo de carga son los siguientes.

$$E = V * C = 24V * 100Ah = 2400Wh$$

$$T = \frac{2400Wh}{450W * 0.85} \approx 6.27 h$$

Para estimar con mayor precisión el tiempo de carga de la batería, es aconsejable considerar una eficiencia del sistema entre el 85% y el 90%. Este rango tiene en cuenta las pérdidas típicas en los componentes del

sistema fotovoltaico, como los paneles solares, controladores de carga, inversores y baterías. Al ajustar los cálculos según esta eficiencia, se obtiene una estimación más realista del tiempo necesario para una carga completa, asegurando un diseño y funcionamiento óptimos del sistema.

Diseño estructural y construcción

En esta sección, se detallan los componentes principales que conforman la estructura del sistema fotovoltaico, describiendo sus características y funciones específicas.

Descripción de las partes de la estructura

Las partes principales de la estructura se detallan a continuación.

1. Panel Solar

- Dimensiones: 84 pulgadas (213.36cm) de largo por 41 pulgadas (104.14 cm) de ancho.

2. Caja de Componentes

- Altura: 40 pulgadas (101.6 cm).
- Dimensiones con llantas: 46 pulgadas (116.84 cm) de altura, 28 pulgadas (71.12 cm) de ancho y 49 pulgadas (124.46cm) de largo.

3. Puertas de la Caja

- Cada puerta tiene 24.5 pulgadas (62.23 cm) de largo y 13 pulgadas (33.02 cm) de ancho.

4. Llantas de la Estructura

- Cantidad: 4 llantas.
- Radio: 3 cm.

5. Tubo de Soporte

- Material: tubo galvanizado.
- Radio: 9 cm.

6. Base del Soporte

- Material: dos ángulos de acero.
- Características: Diseño centrado para el soporte del panel solar.
- Separación: 3 pulgadas entre los ángulos en el centro.
- Dimensiones: 40 pulgadas (101.6 cm) de largo por 35 pulgadas (88.9 cm) de ancho.

Procedimiento de desarrollo estructural

El proceso de desarrollo del sistema comenzó con una planificación previa del presupuesto para la adquisición de los materiales necesarios. Los materiales se consideraron para la construcción de la base principal de la estructura para los componentes del sistema solar,

el inversor, la batería de 24V, el controlador y los cables.

Para la construcción, la primera etapa consistió en realizar las mediciones para las bases de la estructura, tomando como referencia las dimensiones del panel solar (84 pulgadas de largo por 41 pulgadas de ancho). Con base en estas medidas, se seleccionaron tubos PTR calibre 14, que ofrecerían mayor resistencia y estabilidad, características esenciales para proteger los componentes de movimientos bruscos o golpes.

Una vez adquiridos los tubos PTR, se procedió a soldarlos utilizando electrodos adecuados, los cuales también fueron contemplados en el presupuesto de materiales. La Figura 6 ilustra la estructura base.



Figura 6. Estructura base

Una vez construida la base principal, se reutilizó lámina galvanizada para proporcionar una protección adicional contra las inclemencias del tiempo, como lluvias o temperaturas extremas. Las láminas se fijaron a la estructura con tornillos especiales para metal, distribuyéndolos en las esquinas y en el centro de cada lado (4 tornillos por esquina y 1 en el centro de cada lado), como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Estructura con lámina galvanizada

Posteriormente, se fabricó el soporte vertical para el panel solar. Para ello, se utilizaron dos ángulos de acero, a los cuales se soldó un tubo galvanizado de aproximadamente 1.80 metros de altura. Se dejó un espacio de 5 cm de radio entre el tubo y la base para

facilitar su instalación, tal como se ilustra en la Figura 8.



Figura 8. Soporte inferior para tubo de la base

La parte superior del tubo fue recortada con una inclinación de 30° hacia el sur, lo que optimiza la captación solar. Este soporte proporcionó la estabilidad necesaria para evitar desplazamientos del panel ante vientos fuertes o interferencias externas.

El soporte del panel solar fue diseñado con dimensiones específicas para asegurar su estabilidad. Se utilizó una base de ángulos de acero centrados, con una separación de 3 pulgadas entre los ángulos del centro, y dimensiones de 40 pulgadas de largo por 35 pulgadas de ancho.

Esta estructura proporcionó un asiento seguro para el panel, garantizando que se mantuviera en su lugar bajo diversas condiciones, como se ilustra en la Figura 9.



Figura 9. Soporte de la parte superior

Por último, se fabricaron dos compuertas para permitir un fácil acceso a los componentes internos, facilitando futuras modificaciones o mantenimientos. Las compuertas fueron elaboradas con tubos PTR calibre 18, reciclados de un proyecto anterior.

Durante la fabricación, se presentaron algunos desafíos, ya que el espacio requería cortes precisos alineados con el tubo base del panel. Para lograr la simetría, se realizaron cortes de 5 cm (el diámetro del tubo base) y

se soldaron dos tubos en el centro para garantizar un cierre adecuado.

Este proceso de desarrollo estructural no solo se enfocó en la resistencia y seguridad de los componentes, sino también en la reutilización de materiales, lo que contribuyó a reducir costos y hacer el proyecto más sostenible. La estructura final proporciona una base sólida, segura y accesible, preparada para soportar los componentes del sistema solar de manera eficiente a largo plazo, tal como se muestra en la *Figura 10*.



Figura 10. Compuertas de protección

En resumen, se ha detallado el proceso de diseño y construcción del sistema fotovoltaico destinado a la Universidad Tecnológica Paso del Norte (UTPN). Aunque la implementación física del sistema aún está pendiente, se han establecido las bases teóricas y prácticas necesarias para su futura instalación y operación exitosa.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al evaluar un sistema innovador o inteligente, es fundamental centrarse en su funcionalidad efectiva y directa. Esto implica no solo realizar pruebas, sino también seguir una secuencia lógica que resalte las observaciones más importantes, enfocándose en cómo los resultados obtenidos cumplen con los objetivos planteados en el proyecto.

El prototipo SunDesk Charge (SDC) ha demostrado ser efectivo en las pruebas iniciales. Sin embargo, aún no está completamente disponible para el uso diario de los estudiantes. Actualmente, se están realizando esfuerzos para hacerlo accesible, permitiendo que los alumnos de la Universidad Tecnológica Paso del Norte carguen sus dispositivos de manera eficiente. Este es solo el comienzo de lo que podría convertirse en una solución clave para maximizar el aprovechamiento de la energía renovable en el campus.

Para evaluar la aceptación del proyecto entre la comunidad estudiantil, se llevó a cabo una encuesta dirigida a estudiantes de la UTPN. Los resultados indicaron que un 73.3% de los encuestados respondieron positivamente al proyecto, mostrando disposición para utilizar una estación de carga en el campus. Solo el 20% manifestó no estar interesado en utilizarla. Estos datos reflejan una actitud favorable hacia la implementación del SDC y sugieren un alto potencial de uso una vez que esté plenamente operativo.

El proyecto ha establecido una base sólida para avanzar en un diseño estratégico preciso, facilitando su desarrollo continuo. Se ha logrado una inversión técnica y tecnológica significativa, alcanzando un progreso del 69%.

Este proyecto tiene el potencial de transformarse en una solución integral para la gestión eficiente de la energía solar, y no solo limitarse a funcionar como un simple cargador de dispositivos. Se prevé que, en el futuro, su capacidad se incremente significativamente, optimizando así el uso de la energía solar y expandiendo sus funcionalidades.

CONCLUSIONES

El proyecto de diseño de una estación de carga móvil alimentada por energía solar para el campus de la Universidad Tecnológica Paso del Norte (UTPN) ha cumplido con las expectativas planteadas. Se ha proporcionado una solución sostenible y ecológica para la carga de dispositivos esenciales de los estudiantes, como smartphones y laptops, en los espacios comunes de la universidad. Las pruebas realizadas confirmaron que estos dispositivos pueden cargarse eficazmente utilizando energía solar, garantizando una carga óptima y reduciendo el impacto ambiental. Además, la implementación en áreas al aire libre ha fomentado la convivencia estudiantil y ha contribuido a disminuir los costos de electricidad tanto para los estudiantes como para la universidad.

A pesar de alcanzar el objetivo principal, se identificó la necesidad de implementar medidas adicionales de seguridad para prevenir posibles actos de vandalismo. Este aspecto es crucial para futuras implementaciones y para asegurar el éxito y la durabilidad del proyecto a largo plazo. Se recomienda la incorporación de sistemas de seguridad que protejan la estación de carga, así como la optimización del uso de energía, proporcionando a los estudiantes información sobre el tiempo de carga y el consumo energético.

Los resultados físicos, incluyendo la correcta instalación de la estructura solar y las pruebas de

medición de energía, han demostrado la viabilidad técnica del proyecto. Para investigaciones futuras, sería valioso evaluar el impacto a largo plazo de esta estación en la reducción del consumo energético y explorar mejoras en la infraestructura para maximizar la eficiencia. Además, se sugiere considerar la integración de tecnologías avanzadas que permitan una gestión más eficiente de la energía y una mayor interacción con los usuarios.

En resumen, este proyecto no solo ofrece una solución práctica para las necesidades energéticas de los estudiantes, sino que también promueve la conciencia ambiental y el uso de energías renovables dentro de la comunidad universitaria. La experiencia adquirida y las lecciones aprendidas sentarán las bases para futuras iniciativas que busquen integrar tecnologías sostenibles en entornos educativos.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Tecnológica Paso del Norte (UTPN) por su invaluable apoyo y confianza en el desarrollo de este proyecto. Su compromiso con la innovación y la sostenibilidad ha sido fundamental para llevar a cabo esta iniciativa, y su respaldo ha permitido que avancemos en la búsqueda de soluciones energéticas eficientes para nuestra comunidad universitaria. Asimismo, agradecemos a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez por su valiosa colaboración con nuestra institución.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Abello Mendoza EN, Bernal Suárez WF. Prototipo para la orientación automática. *Rev Esp Ing*. 2016;104(10):104-110.

[2] Salvador Seguí C, Salvador Orts G, Gimeno Sales F. Convertidores electrónicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño. *Univ Politécnica de Valencia*. 2011;9(11):9-15.

[3] Arrieta Paternina M, Olmos Villaba LC, Izquierdo Núñez JL, Álvarez López A. Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando. *Prospectiva*. 2012;97(6):97-107.

[4] Cabezas Maslanczuk MD, Franco Braze JI, Fasoli Tolosa HJ. Diseño y evaluación de un panel solar fotovoltaico y térmico para poblaciones dispersas en regiones de gran amplitud térmica. *Ing Investig Tecnol*. 2018;209(5):209-218.

[5] Díaz Rodríguez J, Pabón Fernández L, Pardo García A. Sistema híbrido de energía utilizando energía solar. *Lámpsakos*. 2011;70(19):70-77.

[6] Sanabria Orozco AF. Análisis costo-beneficio de la implementación de tecnologías de energía con paneles solares en la ESE Hospital San Cristóbal. *Univ Mil Nueva Granada*. 2016;2(9):2-18.

[7] Castañeda J, Mazari I, Molano M. Análisis costo-beneficio de la instalación de paneles solares en instituciones educativas. *Inst Mex Competitividad*. 2019;3(1):3-39.

[8] Vera L, Pilar C. Equipamiento solar sustentable para el espacio público. *Rev Bras Energía Solar*. 2022;157(4):157-164.

[9] Rincón Barbosa DC, Sarmiento Orjuela DM. Estudio técnico del uso de energía solar para la implementación de una zona de recarga en espacios universitarios. *Univ Distrital Francisco José de Caldas*. 2022;18(12):18-98.

[10] López Luque R, Martínez J, Reca J, Ruiz R. Análisis de viabilidad y gestión del riego en sistemas fotovoltaicos aplicados a entornos urbanos. *Ribagua*. 2017;74(28):74-83.

[11] Martínez-Díaz LC, López-Rodríguez G. Optimización del ángulo de inclinación en sistemas fotovoltaicos: Un enfoque basado en latitud. *Rev Energía Solar*. 2023;35(2):102-115.

[12] Pérez-Castaño JM, Sánchez-López R. Impacto de la inclinación de paneles solares en la eficiencia de captación. *Int J Renewable Energy*. 2022;29(4):213-229.

[13] Instituto Nacional de Energías Renovables. Manual de instalación de sistemas fotovoltaicos en entornos urbanos. Ed. 2021.

[14] NASA POWER. Base de datos de irradiancia solar. Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov>. Accedido en diciembre de 2024.

[15] TUTIEMPO.NET. Datos climáticos históricos y predicciones solares. Disponible en: <https://www.tutiempo.net>. Accedido en diciembre de 2024.

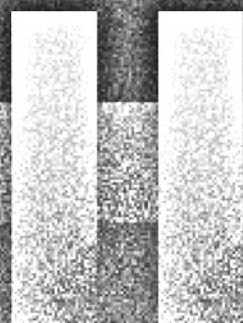
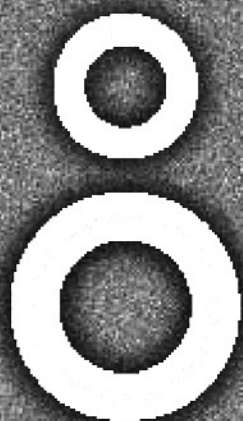
[16] Solar App. Herramientas de análisis de irradiancia solar. Disponible en: <https://www.solarapp.com>. Accedido en diciembre de 2024.

[17] PVGIS. Plataforma de análisis de rendimiento fotovoltaico en Europa y América. Disponible en: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/. Accedido en diciembre de 2024.

Revista Científica

Basachí

ISSN-2954-520X



**VOLUMEN 2,
NÚMERO 2**

JUL-DIC 2024

