PULSOTEC

REVISTA

CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA



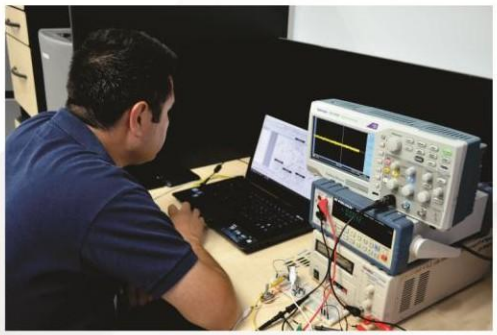
EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO




sep INSTITUTO TECNOLOGICO
de la laguna
DIPLOMADO EN


sep INSTITUTO TECNOLOGICO
de la laguna
CENTRO DE INFORMACION





















José Omar Saldivar Correa
Director del Instituto Tecnológico de La Laguna

Bienvenidas y bienvenidos a una nueva edición de la "Revista PulsoTec", órgano editorial del Instituto Tecnológico de La Laguna del Tecnológico Nacional de México, valioso foro de divulgación científica interdisciplinaria para acceder a discusiones, aportes y hallazgos gestados en campos específicos de la educación, la ciencia y la tecnología.

Esta edición da continuidad a la historia y es un preámbulo a la celebración del sexagésimo aniversario de nuestra casa de estudios, que el próximo 2025 festejaremos con amor y orgullo, reafirmando el compromiso de continuar con nuestra misión de brindar formación integral con calidad hacia el desarrollo científico y tecnológico en nuestra dedicada búsqueda de la excelencia educativa.

"PulsoTec" es un foro plural, con la identidad plasmada de las y los investigadores y docentes, quienes, al exponer su trabajo, abren la conversión a nuevas ideas, métodos y descubrimientos, siempre fundamentados en nuestros tres ejes rectores: ciencia, tecnología y humanismo.

Este quehacer editorial tiene como visión convertirse en una herramienta para difundir con nuestra comunidad y la sociedad, el desarrollo de la investigación, aportando nuevos conocimientos y contribuyendo con la formación profesional de miles de egresados y egresadas a la transformación de la región y del país en el contexto de esta sociedad que ha sido testigo del esfuerzo y la dedicación de nuestra Institución a lo largo de seis décadas.

No resta más que agradecerles a las y los colaboradores por sus valiosas aportaciones y a nuestras y nuestros amables lectores por el valor de su atención. Y recordarle a nuestra gran comunidad académica que: "Las y los Gatos Negros del Instituto Tecnológico de La Laguna, siempre buscamos llegar a la cima del éxito".

¡Éxito y actitud positiva, siempre!

Secretario de Educación
Mario Martín Delgado Carrillo

Director General del Tecnológico Nacional de México
Ramón Jiménez López

Director del Instituto Tecnológico de La Laguna del TecNM
José Omar Saldivar Correa

Consejo Editorial
Miembros:

Presidente del Consejo Editorial
Armando Ruiz Arroyo
Subdirector de Planeación y Vinculación

Secretario Técnico
Luis Fernando Madinaveitia Sandoval
Jefe del Depto. de Comunicación y Difusión

Iscander Armando Ramírez Castañeda
Jefe del Centro de Información

Claudio César Pedroza Sifuentes
Jefe del Depto. de la División de Estudios Profesionales

José Irving Hernández Jáquez
Jefe del Depto. de la División de Estudios de Posgrado e Investigación

José Daniel Ríos Vélez
Jefe del Depto. de Recursos Materiales y Servicios

Comité Editorial

Lina Ernestina Arias Hernández
Ana Lilia Urbina Amador
Raquel Adriana Ulloa Hurtado

Comité Editorial Asociado

Karla Anhel Camarillo Gómez
Suresh Kumar Gadi
Alejandro Enrique Dzul López
Ramón García Hernández
Jorge Orrante Sakanassi
Noé Alvarado Tovar
Hesner Coto Fuentes

Diseño Editorial

Luis Alberto Meré Juárez

Fotografía

Juan Carlos Cerda Ceniceros
Jacobo Hernández Favila



CINTILLO LEGAL

PULSOTEC: REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA, número 1, 23 de julio de 2025 al 23 de julio de 2026, es una publicación anual editada por el Tecnológico Nacional de México, Avenida Universidad 1200, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, teléfono 5536002511 Ext. 65092, correo d_vinculación05@tecnm.mx, a través del Instituto Tecnológico de La Laguna, Avenida Instituto Tecnológico de La Laguna y Boulevard Revolución S/N, C.P. 27000. Torreón, Coahuila, México. Contacto: 871 705 1305, https://pulsotec.itlalaguna.edu.mx, splaneacion@lalaguna.tecnm.mx. Editora Responsable: M.C. Ana Lilia Urbina Amador. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2025072310274000-102, ISSN: 3122-4032, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Departamento de Comunicación y Difusión, Ing. Luis Fernando Madinaveitia Sandoval, Avenida Instituto Tecnológico de La Laguna y Boulevard Revolución S/N. C.P. 27000. Torreón, Coahuila, México. Contacto: 871 7 05 13 20. Fecha de la última modificación: 30 de julio de 2025.

Información técnica: Este archivo PDF pesa aproximadamente 5.7 MB, optimizado para visualización web.

El contenido de los artículos publicados en la revista PULSOTEC: REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA es de responsabilidad exclusiva de sus autores. Las opiniones vertidas no reflejan necesariamente la postura oficial de la institución. Se autoriza la reproducción total o parcial de los materiales siempre que se cite adecuadamente la fuente y se reconozca la autoría correspondiente.

CONTENIDO

1	Mensaje del director
2	Comité Editorial
3	Contenido
5	Sobre la Pasividad y Teoría de Lyapunov en el control de un Convertidor Boost de CD a CD
17	Detección de insecticidas utilizando tecnología de semiconductores por medición indirecta
31	Diseño y Control No Lineal Basado en Lyapunov para un Convertidor Buck en Modo Corriente
46	Cómputo Cuántico y su Desarrollo Actual
61	Implementación de controles informáticos en Centro de Información del Tecnológico La Laguna
79	Modelo Preventivo para Reducir Niveles de Ansiedad y Depresión en Estudiantes
92	Comparativo de Técnicas de Reestructuración Cognitiva: Beck y Ellis

Sobre la Pasividad y Teoría de Lyapunov en el control de un Convertidor Boost de CD a CD

Mario Ivan Nava Bustamante[1]
Instituto Tecnológico de La Laguna / TecNM
Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna
Torreón, Coahuila, México, C.P.27000
navabustamantem@gmail.com

Cesar A. Hernández Jacobo[2]
Instituto Tecnológico de La Laguna / TecNM
Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna
Torreón, Coahuila, México, C.P.27000
cesar_ahj@ieee.org

José Luis Meza Medina
Instituto Tecnológico de La Laguna / TecNM
Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna
Torreón, Coahuila, México, C.P.27000
jlmeza2000@gmail.com

Rodrigo Loera Palomo[4]
CONAHCYT- Instituto Tecnológico de La Laguna / TecNM
Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna
Torreón, Coahuila, México, C.P.27000
rloerapa@conahcyt.mx

Resumen: Un convertidor elevador de corriente directa a corriente directa, o convertidor boost, eleva la tensión de una fuente de alimentación mediante el almacenamiento y descarga de energía a través de la conmutación de un semiconductor y un diodo. Este artículo investiga las propiedades dinámicas del convertidor desde un enfoque de análisis de sistemas pasivos, que permite evaluar la estabilidad del sistema usando términos representativos de energía. Además, se propone un controlador basado en pasividad y la teoría de Lyapunov para regular el voltaje de salida a un nivel deseado.

Palabras Clave: Pasividad, teoría de Lyapunov, control PBC, estabilidad, convertidor boost.

Abstract: A CD-CD boost converter, raises the voltage of a power supply by storing and discharging energy through the switching of a semiconductor and a diode. This article investigates the dynamic properties of the converter from a passive systems analysis approach, which allows evaluating the stability of the system using representative energy terms. Furthermore, a controller based on passivity and Lyapunov theory is proposed to regulate the output voltage to a desired level.

keywords: Passivity, Lyapunov theory, PBC control, stability, boost converter.

Introducción

El control de convertidores de corriente continua (CD) a CD ha emergido como un área clave en diversas aplicaciones de la ingeniería eléctrica, tales como sistemas de energía renovable,

vehículos eléctricos y dispositivos electrónicos de potencia. Los convertidores Boost, en particular, son ampliamente utilizados debido a su capacidad para elevar el voltaje de entrada y proporcionar una regulación precisa de la salida. La eficiencia, estabilidad y control de estos sistemas son factores cruciales para su correcto desempeño, lo que hace necesario un análisis exhaustivo de su comportamiento dinámico y la implementación de técnicas robustas de control para garantizar su estabilidad y rendimiento.

En este contexto, un enfoque reciente y prometedor para analizar la estabilidad de convertidores es el uso de sistemas pasivos interconectados. Esta teoría, fundamentada en la idea de que los convertidores pueden modelarse como sistemas dinámicos pasivos, ofrece un marco más general y versátil para el estudio de su estabilidad. La estabilidad de los sistemas pasivos interconectados puede analizarse utilizando herramientas matemáticas avanzadas como el criterio de estabilidad de Lyapunov, el cual permite examinar no solo la estabilidad local sino también la global del sistema (Slotine & Li, 1991; Ortega et al., 2004). Este enfoque ha ganado relevancia en los últimos años, ya que facilita el análisis de sistemas no lineales de manera intuitiva y proporciona una base sólida para el diseño de controladores.

El control basado en la teoría de Lyapunov ha sido tradicionalmente una herramienta potente en el diseño de reguladores para sistemas no lineales. La capacidad de Lyapunov para asegurar la estabilidad global de los sistemas hace que esta técnica sea particularmente atractiva para el control de convertidores Boost, que operan bajo condiciones no lineales y variables (Khalil, 2002; Bianchi et al., 2019). En el caso de los convertidores Boost, el diseño de un controlador basado en la teoría de Lyapunov permite garantizar que el sistema sea robusto ante perturbaciones y variaciones en las condiciones de operación, lo que asegura una regulación eficiente del voltaje de salida (Liu et al., 2018).

Recientemente, la teoría de sistemas pasivos y la teoría de Lyapunov han sido utilizadas de manera conjunta en estudios que abordan la estabilidad y el control de convertidores de potencia. Por ejemplo, estudios recientes han demostrado cómo estas teorías pueden integrarse para proporcionar soluciones más efectivas y robustas en el diseño de controladores para convertidores Boost, mejorando significativamente el rendimiento y la estabilidad del sistema bajo condiciones dinámicas cambiantes (Zhao et al., 2021; Zeng et al., 2023). Además, la implementación práctica de estas teorías en convertidores Boost ha sido objeto de investigaciones experimentales, que validan su efectividad en la regulación de la tensión de salida y el comportamiento estable en una amplia gama de condiciones operativas (Yan et al., 2020).

Este artículo presenta una metodología para el análisis de la estabilidad y el diseño de un controlador para un convertidor Boost de CD a CD basado en la teoría de sistemas pasivos interconectados y la teoría de Lyapunov. A través de esta aproximación, se busca proporcionar una evaluación rigurosa de la estabilidad del sistema y un diseño de controlador que garantice la regulación precisa de la corriente del inductor, lo cual es crucial para aplicaciones donde la fiabilidad y eficiencia energética son prioritarias.

Los convertidores elevadores boost de corriente directa a corriente directa (CD a CD) son componentes esenciales en el ámbito de la electrónica de potencia, permitiendo la conversión eficiente de voltajes bajos a niveles más altos para diversas aplicaciones, desde dispositivos portátiles hasta sistemas de energía renovable. Su importancia radica no solo en su capacidad para aumentar la tensión, sino también en su eficiencia energética, funcionamiento robusto y eficiente. Este enfoque permite descomponer el sistema en términos energéticos, facilitando la identificación de las interacciones entre los componentes del convertidor. En este artículo, se exploran las propiedades energéticas de los convertidores boost y se presenta un diseño de control basado en pasividad y la teoría de Lyapunov. Este controlador tiene como objetivo regular el voltaje de salida, asegurando que se mantenga dentro de un rango deseado frente a diversas condiciones de carga y variaciones en la tensión de entrada. A través de simulaciones y análisis teóricos, se demuestra cómo un enfoque basado en la pasividad puede optimizar el rendimiento de los convertidores elevadores, contribuyendo a un diseño más eficiente y fiable.

El análisis de pasividad en sistemas eléctricos proporciona un marco teórico sólido para entender y evaluar la estabilidad y el comportamiento dinámico de estos convertidores. Al aplicar principios de la teoría de sistemas pasivos, se pueden identificar las condiciones necesarias para garantizar un funcionamiento robusto y eficiente. Este enfoque permite descomponer el sistema en términos energéticos, facilitando la identificación de las interacciones entre los componentes del convertidor. En este artículo, se exploran las propiedades energéticas de los convertidores boost de CD a CD (Figura 1) y se presenta un diseño de control basado en pasividad y la teoría de Lyapunov. Este controlador tiene como objetivo regular la corriente del inductor, asegurando que se mantenga dentro de un rango deseado frente a diversas referencias de corriente deseadas. A través de simulaciones y análisis teóricos, se demuestra cómo un enfoque basado en la pasividad puede optimizar el rendimiento de los convertidores elevadores, contribuyendo a un diseño más eficiente y fiable.

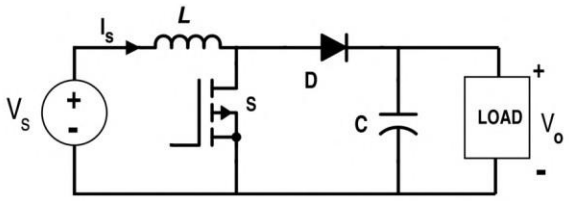


Figura1. Convertidor Boost de CD a CD.

Conceptos de pasividad

La teoría de pasividad resulta ser una herramienta de aplicaciones avanzadas para el análisis de estabilidad de sistemas no lineales. En (Kelly y Ortega, 1988) fueron reportados avances significativos en este campo de estudio, partiendo de (Willems, 1971) donde fueron introducidos los conceptos de pasividad y disipatividad. El desarrollo y difusión de dichos conceptos fundamentales fueron explorados a profundidad en (Hill y Moylan, 1976), (Hill y Moylan, 1980). La teoría de pasividad establece que la interconexión negativa de dos sistemas pasivos es estable (Lozano et al. 2000), además dicha interconexión sigue siendo pasiva (Navarro, 2005). En la literatura existen diversos trabajos muy relevantes relacionados a la pasividad en sistemas interconectados (Chopra y Spong, 2007), (Chopra, 2008), (Zhao y Hill, 2008), (Song et al. 2009) y (Li y Shi, 2010). En este artículo de investigación, se aborda el estudio de las propiedades naturales de pasividad de un convertidor boost de CD a CD, considerando un mapeo del voltaje de alimentación V_1 a la corriente en el inductor I_L. Se demuestra que la estructura pasiva del convertidor se preserva en lazo cerrado con la realimentación de corriente y una ley de control adecuada. Este artículo emplea algunas propiedades de sistemas pasivos interconectados, con el fin de utilizar un teorema de pasividad reportado en la literatura (Khalil, 1996), y con ello determinar estabilidad asintótica para un controlador propuesto vía teoría de pasividad y teoría de Lyapunov.

Se dice que un sistema es pasivo, si la cantidad de energía suministrada es mayor o igual a la energía almacenada y/o disipada. Lo anterior se define formalmente en la siguiente definición:

Definición de pasividad interna. (Khalil,1996) El sistema

$$\dot{x} = f(x,u) \tag{1}$$

$$y = h(x,u) \tag{2}$$

se dice que es pasivo si existe una función continuamente diferenciable semidefinida positiva $V(\boldsymbol{x})$ (llamada función de almacenamiento) tal que

$$u^T y \geq V(x) + \epsilon u^T u + \delta y^T y + \rho\psi(x) \tag{3}$$

donde ϵ, δ y ρ son constantes no negativas, y $\psi(\boldsymbol{x}): \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}$ es una función definida positiva de $\boldsymbol{x}$. El término $\rho\psi(\boldsymbol{x})$ es llamado la tasa de disipación de estado. Además, se dice que el sistema es:

- Sin pérdidas (lossless) si (3) es satisfecha con la igualdad y con $\epsilon = \delta = \rho = 0$; esto es, $u^T y = V(x)$.
- Estrictamente pasivo en la entrada si $\epsilon > 0$ y $\delta = \rho = 0$.

Si más de una de las constantes son positivas, se combinan los nombres en la definición.

Una buena técnica para el análisis mediante pasividad de sistemas de control complejos es la implementación de lemas de sistemas pasivos interconectados.

Lema 2. Una conexión realimentada de dos sistemas pasivos, como la que se muestra en la Figura 1b, es también un sistema pasivo.

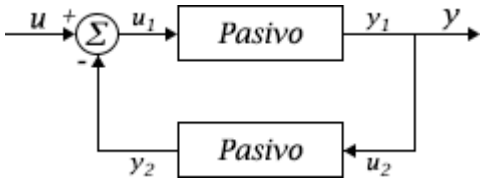


Figura 2. Sistemas pasivos interconectados.

Nótese que la importancia de establecer la pasividad de un sistema depende en gran medida de la facilidad para encontrar una función de almacenamiento de energía adecuada. A continuación, se muestra el procedimiento fundamental para la obtención del modelo dinámico Hamiltoniano de un convertidor boost de CD a CD.

Modelo dinámico del Convertidor Boost de CD a CD

La dinámica de un convertidor boost de CD a CD, en su configuración promediada no lineal, resulta ser ((Kelly y Ortega, 1988)

$$\dot{I_L} = \frac{V_1}{L} - \frac{V_C(1-D)}{L} \tag{4}$$

$$V_{\dot{c}} = \frac{I_L(1-D)}{C} - \frac{V_C}{RC} \tag{5}$$

donde I_L y V_c representan a la corriente en el inductor y voltaje en el capacitor, mientras V_1 representa el voltaje de alimentación del sistema, R, L y C corresponden a los valores de resistencia, inductancia y capacitancia respectivamente. A su vez, D representa el ciclo de trabajo del convertidor elevador de CD a CD. Estas ecuaciones dinámicas son utilizadas en el desarrollo del controlador de corriente, como se muestra en la sección correspondiente.

Hamiltoniano del Convertidor Boost de CD a CD

Un convertidor boost de CD a CD esta típicamente compuesto por elementos que almacenan energía en forma de campo magnético (inductores) y en forma de campo eléctrico (capacitores). La energía que no es almacenada es disipada mediante una resistencia de carga. La conmutación conjugada de un switch controlado y un diodo permite que este tipo de sistemas puedan elevar el voltaje de entrada mediante un periodo de conmutación adecuado. En (Ortega *et al*., 1998) se muestra a detalle la obtención del modelo Hamiltoniano de un convertidor boost de CD a CD, el cual se usa en este trabajo de investigación.

Los términos representativos de la energía potencial en el capacitor υ, y la energía cinética en el inductor τ, están dados por

$$\upsilon = \frac{1}{2} C V_C^2 \tag{6}$$

$$\tau = \frac{1}{2} L I_L^2 \tag{7}$$

El Hamiltoniano del sistema es una expresión dada por la energía total del sistema, por lo cual se puede obtener de la suma de la energía potencial y la energía cinética:

$$H = \frac{1}{2} L I_L^2 + \frac{1}{2} C V_C^2 \tag{8}$$

Resultados

En esta sección se muestran los resultados y aportaciones de este artículo de investigación, los cuales se pueden dividir en: 1) análisis de pasividad del convertidor boost de CD a CD, 2) propuesta de una estrategia de control en modo corriente, basado en teoría de pasividad y Lyapunov, y 3) verificación del buen desempeño del controlador mediante simulaciones computacionales.

Análisis de pasividad del convertidor Boost. Dada la definición de pasividad interna, una función

de almacenamiento de energía adecuada puede ser el Hamiltoniano propio del sistema (8), cuya derivada temporal a lo largo de las trayectorias de la dinámica del sistema es

$$H = LI_L I_L + CV_C V_C \tag{9}$$

Sustituyendo el modelo dinámico se llega a

$$H = V_1 I_L - \frac{V_c^2}{R}. \tag{10}$$

Aplicando la definición de pasividad interna



Figura 3. Mapeo pasivo del Convertidc r Boost.

$$u^T y \geq H(x)$$
$$V_1 I_L > V_1 I_L - \frac{V_c^2}{R} \tag{11}$$

Con lo cual se demuestra que la potencia suministrada es mayor a la potencia almacenada y la potencia disipada. El sistema es pasivo del mapeo del voltaje de entrada a la corriente en el inductor, verificando su estabilidad en lazo abierto.

Control de corriente basado en pasividad y teoría de Lyapunov. La teoría de Lyapunov permite analizar la estabilidad de un sistema, a partir de una Función de Lyapunov la cual debe ser definida positiva $(V > 0)$ y cuya derivada debe ser definida negativa $(V < 0)$ para asegurar la estabilidad asintótica global. La función de almacenamiento propuesta a partir del Hamiltoniano, resulta ser una función de Lyapunov adecuada.

Debido a la pasividad demostrada anteriormente del mapeo del voltaje de entrada a la corriente en el inductor, se puede implementar un controlador de corriente partiendo del Hamiltoniano

$$H = \frac{1}{2} LI_L^2 + \frac{1}{2} CV_C^2. \tag{12}$$

Definiendo el error de corriente (donde I_{Ld} representa a la corriente deseada, que al ser constante su derivada será $I_{Ld} = 0$)

$$I_L = I_{Ld} - I_L \tag{13}$$

y sustituyendo en el Hamiltoniano se obtiene

$$H = \frac{1}{2}LI^2 - LI_L I + \frac{1}{2}LI^2 + \frac{1}{2}CV_C^2. \tag{14}$$

Derivando la expresión anterior

$$H = LI_L I_L + CV_C V_C. \tag{15}$$

Es necesario representar la dinámica del sistema en función del error de corriente

$$I_L = -\frac{V_1}{L} + \frac{V_C(1-D)}{L} \tag{16}$$

$$V_C = \frac{I_L(1-D)}{C} - \frac{V_C}{RC} \tag{17}$$

Al sustituir la dinámica en la derivada del Hamiltoniano, obtenemos

$$H = V_C I_L - V_C DI_L - V_1 I_L - \frac{V^2}{R} + V I_C - V I_C D_L \tag{18}$$

A partir de (15), se debe proponer una expresión adecuada para el ciclo de trabajo D, debido a que para asegurar la estabilidad asintótica del sistema de control en lazo cerrado se debe cumplir

$$H < 0. \tag{19}$$

Una ley de control de corriente D adecuada puede ser propuesta como

$$D = KV_C I_L I_L, \tag{20}$$

para todo $K > 1$.

Resultados en simulación. Con la finalidad de evaluar el buen desempeño del controlador propuesto, se realizaron simulaciones computacionales haciendo uso de la herramienta Simulink de Matlab®. Los valores para los elementos que constituyen al sistema son:

Tabla 1. Parámetros del Convertidor Boost de CD a CD

Elemento	Valor
Capacitor	$44\mu F$
Inductor	$160.9\mu H$
Resistencia de carga	25Ω

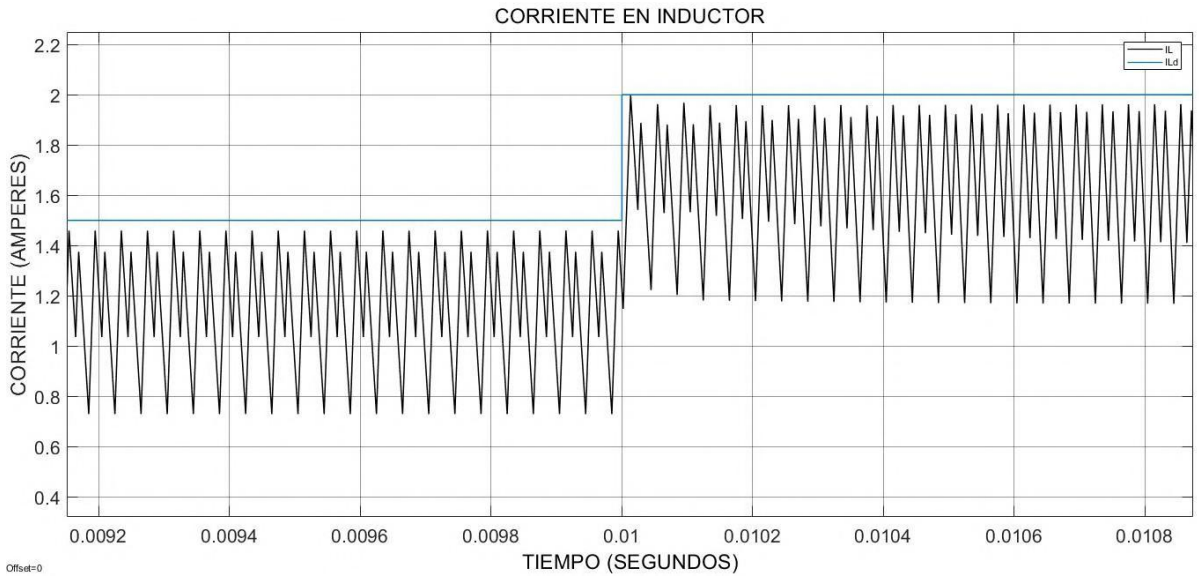


Figura 4. Regulación de la corriente en el inductor.

Como prueba en simulación, se consideró lograr que el convertidor alcanzara una corriente de referencia de 1.5 amperes, para posteriormente hacer una prueba de cambio de referencia estableciendo como nueva corriente deseada 2 amperes. En la Figura 4 se muestra el resultado de la corriente en el inductor. Nótese que el controlador propuesto, logra el objetivo de regular la corriente a la referencia deseada teniendo un error del orden de los miliamperes.

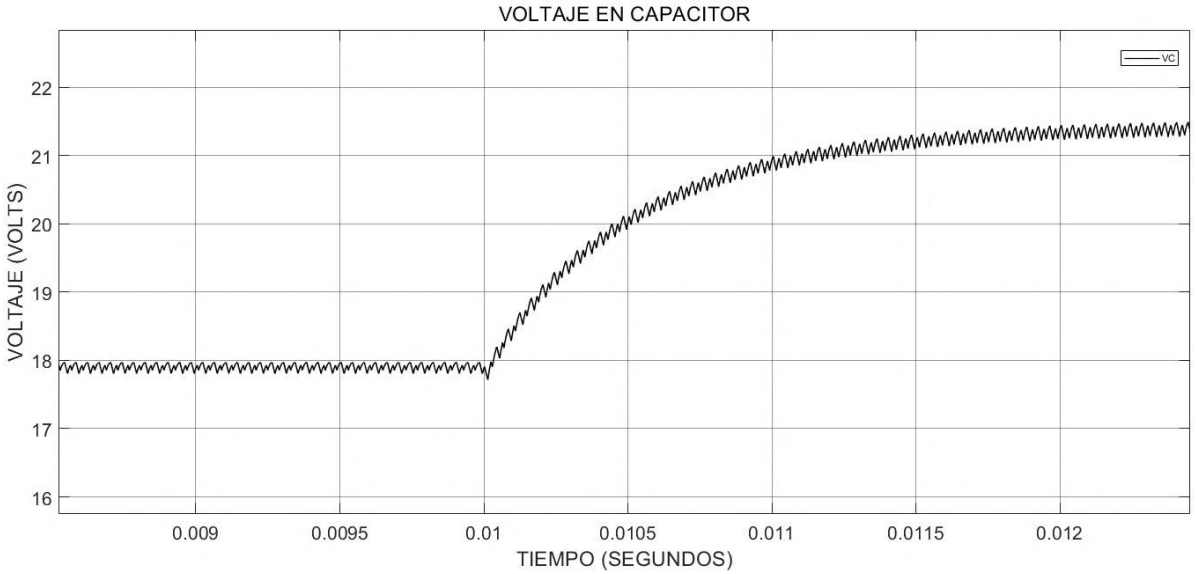


Figura 5. Voltaje del capacitor.

En la Figura 5, se muestra el resultado del voltaje en el capacitor (voltaje de salida). En el instante de tiempo en que se realiza un cambio de referencia en la corriente, el voltaje aumenta. Es importante resaltar que el controlador desarrollado solo regula la corriente del inductor, por lo cual el comportamiento del voltaje es esperado. En la Figura 6, se muestra el diagrama de bloques desarrollado en la herramienta Simulink de Matlab®, mismo que sirvió para las simulaciones realizadas.

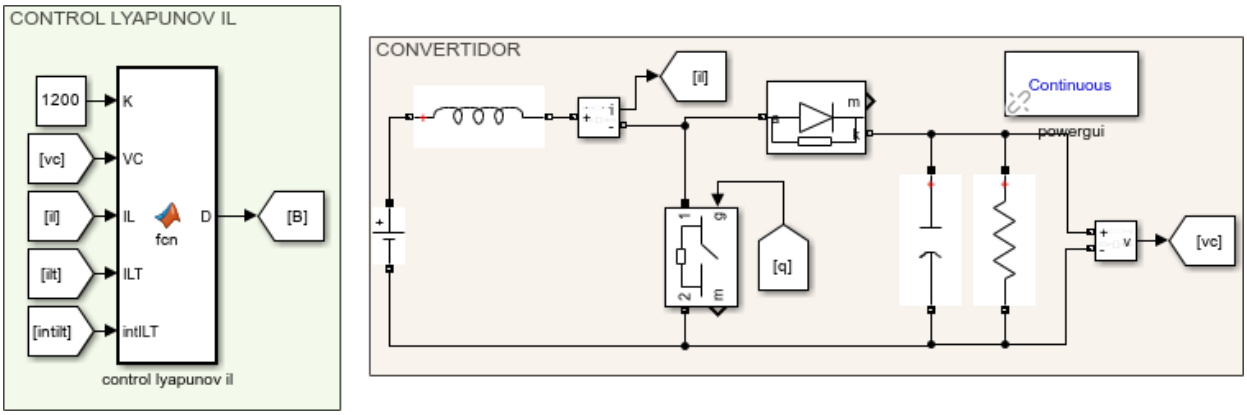


Figura 6. Diagrama de bloques del sistema de control.

Hallazgos y/o conclusiones

En este trabajo de investigación, se abordó el tema del estudio de las propiedades de pasividad propias de un convertidor boost de CD a CD. Se demostró que, para un convertidor de este tipo, el sistema es pasivo, y por lo tanto estable, del mapeo del voltaje de alimentación de entrada a la corriente del inductor. Para ello, fue necesario hacer uso del Hamiltoniano como función de almacenamiento de energía. Posteriormente, tomando como punto de partida la teoría de Lyapunov, se desarrolló un controlador de corriente que permite regular a una referencia deseada el amperaje presente en el inductor del sistema. Dicho controlador asegura la estabilidad asintótica del sistema en lazo cerrado. Un trabajo futuro de alto interés es el estudio de la pasividad del convertidor considerando el voltaje de salida en el capacitor, teniendo como hipótesis previa que la estrategia de control multilazo (lazo interno de corriente y lazo externo de voltaje) sería una buena técnica para solventar dicha problemática.

Citas y referencias

Bianchi, A., Cheng, Y., & Sava, M. (2019). A Lyapunov-based approach for voltage regulation in boost converters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics, 66*(12), 9645-9654. https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2892837

Khalil, H. K. (2002). *Nonlinear systems* (3rd ed.). Prentice Hall.

Liu, Y., Zhang, C., & Wu, Y. (2018). Stability analysis and control of DC-DC converters with nonlinear dynamics using Lyapunov methods. *IEEE Transactions on Power Electronics, 33*(2), 1441-1450. https://doi.org/10.1109/TPEL.2017.2703478

Ortega, R., Loria, A., & Spong, M. W. (2004). *Passivity-based control of Euler-Lagrange systems: Mechanical, electrical and electromagnetic applications*. Springer.

Slotine, J. J., & Li, W. (1991). *Applied nonlinear control*. Prentice Hall.

Yan, B., Zhao, X., & Tan, L. (2020). Experimental implementation of a Lyapunov-based controller for boost converters. *Journal of Power Electronics, 20*(5), 1153-1164. https://doi.org/10.6113/JPE.2020.20.5.1153

Zeng, Z., Song, H., & Hu, W. (2023). Stability and control of boost converters using a hybrid passive approach. *International Journal of Circuit Theory and Applications, 51*(1), 125-140. https://doi.org/10.1002/cta.2831

Zhao, J., Wang, S., & Zhang, X. (2021). Adaptive control of boost converters based on Lyapunov stability theory. *IEEE Transactions on Control Systems Technology, 29*(3), 923-931. https://doi.org/10.1109/TCST.2020.2995102

Chopra N., "Passivity results for interconnected systems with time delay," IEEE Conference on Decision and Control, 2008.

Chopra N., Spong M. W., "Delay-independent stability for interconnected nonlinear systems with finite L2 gain," IEEE Conference on Decision and Control, 2007.

Desoer C. A., Vidyasagar M., "Feedback systems: input-output properties", Academic Press, 1975.

Hill D., Moylan P., "The stability of nonlinear dissipative systems", IEEE Transactions on Automatic Control, 1976.

Hill D., Moylan P., "Connections between finite-gain and asymptotic stability", IEEE Transactions on Automatic Control, 1980.

Khalil Hassan K., "Nonlinear systems" Editorial Prentice-Hall, 1996.

Lozano R., Brogliato B., Egeland O., Maschke B., "Dissipative systems analysis and control: Theory and applications," Springer-Verlag, Londres, 2000.

Song Q., Liang J., Wang Z., "Passivity analysis of discrete-time stochastic neural networks with time-varying delays," Neurocomputing, vol. 72, 2009.

Zhao J., Hill D. J., "Passivity and stability of switched systems: A multiple storage function method," Systems and Control Letters, vol. 57, 2008.

N. H. Viet, P. H. Duong and N. T. Duc," Feedback Linearization Control and Current Control Mode for Boost Converter," 2024 16th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Iasi, Romania, 2024, pp. 1-6, doi:10.1109/ECAI61503.2024.10607550.

M. Faisal and J. Singh Lather," State Derivative Feedback Control for Boost Converter via Linear Matrix Inequalities," 2020 First IEEE International Conference on Measurement, Instrumentation, Control and Automation (ICMICA), Kurukshetra, India, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICMICA48462.2020.9242896.

R. Yang, Z. Liu and H. Su," Control Lyapunov function-based control strategy for air supply system of PEM fuel cells," 2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC), Chongqing, China, 2017, pp. 1964-1969, doi: 10.1109/CCDC.2017.7978838.

Detección de insecticidas utilizando tecnología de semiconductores por medición indirecta

Francisco Gerardo Flores García[1]
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Laguna
Calzada Instituto Tecnológico de la Laguna y Blvd. Revolución, s/n
Torreón, Coahuila, México, C. P. 27000
52 8711634930
fgfloresg@lalaguna.tecnm.mx
Autor de Correspondencia

Mario Francisco Jesús Cepeda Rubio[3]
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Laguna
Calzada Instituto Tecnológico de la Laguna y Blvd. Revolución, s/n
Torreón, Coahuila, México, C. P. 27000
52 8714590939
mfjcepedar@lalaguna.tecnm.mx

Ramón Humberto Sandoval Rodríguez[2]
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Laguna
Calzada Instituto Tecnológico de la Laguna y Blvd. Revolución, s/n
Torreón, Coahuila, México, C. P. 27000
52 8718860860
rhsandovalr@lalaguna.tecnm.mx

José Irving Hernández Jacquez[4]
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Laguna
Calzada Instituto Tecnológico de la Laguna y Blvd. Revolución, s/n
Torreón, Coahuila, México, C. P. 27000
52 8713332998
jihernandezj@lalaguna.tecnm.mx

Resumen: La utilización de insecticidas para la conservación de los cultivos agroalimentarios sigue siendo alternativa hoy en día del cuidado de los cultivos a pesar de los efectos nocivos para la salud de los seres humanos que estos insecticidas conllevan. Mediante la combinación de moléculas neurotransmisoras y tecnología electrónica de transistores tipo MOSFET es posible realizar detección de especies o moléculas complejas, que no cuentan actualmente con un sensor específico. Se logró detectar insecticidas del tipo Organofosforados y Carbamatos utilizando la enzima Acetl-Colinesterasa en combinación con un transistor del tipo ISFET, el cual es un MOSFET con la característica de que la terminal de puerta no está aislada; el biosensor creado es un EnFET, ISFET con una membrana polimérica que contiene la molécula AChE. El biosensor se utilizó para detección de insecticidas mediante la inhibición provocada por los insecticidas en la reacción de la AChE, con esto se demuestra la capacidad tecnológica aplicada a la medición de cualquier variable, y no menos importante, la aplicación del dispositivo sensor para detectar especies que son nocivas para los seres humanos. Se logró detectar insecticida Carbofurán con un límite de detección de 2.216 ppb y Paraoxón con límite de 1.376 ppb. La posibilidad de detectar cualquier tipo de especie en líquidos, gases o radiación son posibles aplicaciones de esta tecnología.

Palabras Clave: ISFET, Detección de insecticidas, Acetilcolinesterasa, Biosensor.

Abstract: The use of insecticides for the preservation of agri-food crops is still an alternative for crop care today, despite the harmful effects that these insecticides have on human health. Through the combination of neurotransmitter molecules and electronic technology of MOSFET type transistors, it is possible to detect complex species or molecules, which currently do not have a specific sensor. It was possible to detect organophosphate and carbamate insecticides using the enzyme Acetl-Cholinesterase in combination with an ISFET type transistor, which is a MOSFET with the characteristic that the gate terminal is not isolated; the biosensor created is an EnFET, ISFET with a polymeric membrane containing the AChE molecule. The biosensor was used to detect insecticides through the inhibition caused by the insecticides in the AChE reaction, thus demonstrating the technological capacity applied to the measurement of any variable, and not least, the application of the sensor device to detect species that are harmful to humans. Carbofuran insecticide was detected with a detection limit of 2,216 ppb and Paraoxon with a limit of 1,376 ppb. The possibility of detecting any type of species in liquids, gases or radiation are possible applications of this technology.

Keywords: ISFET, Insecticide Detection, Acetylcholinesterase, Biosensor.

Introducción

La agricultura es una de las principales actividades del ser humano. Muchas culturas han basado su actividad social y económica en este ámbito. Uno de los principales problemas que ha tenido que resolver para lograr cosechas de buena calidad es la eliminación o el control de plagas que destruyen las plantas y los cultivos (Casida J. E. Y Durkin, K.A., 2013).

Se han desarrollado cantidad de pesticidas que eliminan las plagas provocándoles la muerte por medio de la interrupción de las funciones vitales; pero la mayoría de los pesticidas interfieren también en algunas de las funciones vitales de los seres humanos (Jhonson M. K., 1975). Particularmente los pesticidas organofosforados y carbamatos interfieren en la función de la enzima colinesterasa. Esta enzima juega un papel importante en la transmisión de los impulsos eléctricos en los centros neuronales de los seres humanos (Nurull Illya, Muhamad *et al.*, 2021).

En el análisis elaborado por Thorat Tanmay *et al.* del 2023 se recopilan 96 artículos históricos que versan sobre detección de pesticidas utilizados en la agricultura en los que compara los aspectos de tipo de sensores, arquitectura electrónica utilizada y técnicas de computacionales y de Inteligencia Artificial asociadas. Lo destacable respecto de la plataforma de manejo del sensor es la utilización de sistemas de microfluídica, PCBs con el sensado embebido, Chips de silicio de

sección cruzada, sensores electroquímicos y tecnología de dispersión Raman mejorada en superficie (SERS). Se observa que en los cinco métodos iniciales la Acetilcolinesterasa es fundamental para la detección, ya que tiene límites de detección mínimos. Respecto a la plataforma asociada, la microfluídica, los PCBs y los Chips de silicio son tecnologías que demuestran menor tiempo de respuesta, miniaturización de sistemas, acoplamiento con los sistemas modernos de comunicación y compatibles con las técnicas de programación actuales para análisis de datos; y aunque no compiten en precisión con los resultados del análisis de equipos de laboratorio tradicionales, son una alternativa robusta, rápida, menos costosa en algunos casos y menos dependiente del factor humano. Específicamente, la conjunción de tecnología de dispositivos semiconductores de Silicio combinados con la sensibilidad de moléculas neurotransmisoras es una alternativa viable que ofrece robustez, miniaturización y compatibilidad con las técnicas modernas de instrumentación, comunicación y análisis computacional de datos.

En el presente artículo se describe el desarrollo de un biosensor enzimático para la detección de estos pesticidas basado en un transistor de efecto de campo sensible a los iones (ISFET de sus siglas en inglés). El transistor de efecto de campo sensible a los iones más básico, aquel que cuenta con una compuerta de nitruro de silicio, es capaz de detectar la concentración de iones hidrógeno de una solución y traducirla en una diferencia de potencial. La reacción de la enzima colinesterasa con su sustrato, la tiocolina, produce iones hidrógeno, la enzima contenida en una membrana polimérica adherida a la puerta (G) del ISFET generó un biosensor de tipo EnFET (transistor de efecto de campo enzimático) que es capaz de detectar pesticidas (Sarcina, L. *et al.*, 2022).

La detección se basa en la reacción de la colinesterasa que produce iones hidrógeno y estos iones son detectados por el ISFET. Pero cuando la enzima entra en contacto con los pesticidas mencionados, su acción se inhibe y la reacción produce menor cantidad de iones hidrógeno (ecuación 1), lo cual a su vez produce una variación en el potencial de respuesta del sensor.

Transmisión nerviosa (Neurona)

La acetilcolinesterasa (AChE) es una de las enzimas que participan en el proceso de la transmisión de los impulsos nerviosos en los seres vivos en general y algunos vertebrados en particular. Además, se ha demostrado la influencia que tiene sobre el crecimiento de terminales nerviosas en los ganglios axónicos de la espina dorsal (Bigbee John *et al.*, 2000).

La transmisión nerviosa se realiza a través de las neuronas. Una neurona es básicamente el conjunto de tres partes: el cuerpo neuronal o soma, el axón y las dendritas (Levitan Irwin, *et al.*, 2001). La representación de una neurona puede verse en la figura 1.

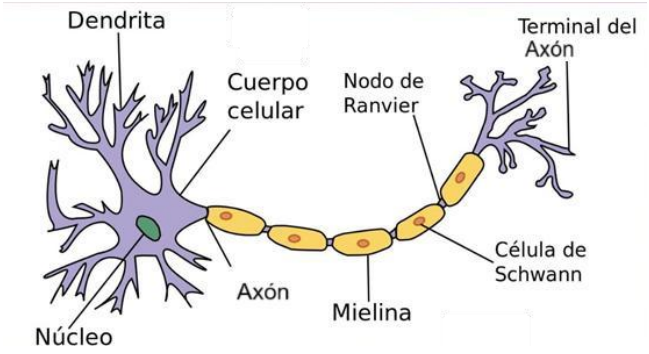


Figura1. Esquema de una neurona [Guyton, A. C. 1994].

El soma es el centro de la neurona donde se procesan los mensajes eléctricos enviados entre neuronas (transmisión nerviosa). El axón o terminal nerviosa se encarga de la transmisión física de los impulsos entre neuronas.

Las dendritas son terminales nerviosas ramificadas que establecen el contacto entre neuronas. La información que activa a las dendritas es convertida en el soma en una señal eléctrica que modifica al potencial llamado de reposo y lo eleva hasta un valor llamado potencial de acción. Esta señal viaja a lo largo del axón a una velocidad de centenares de metros por minuto. El potencial de acción tiene como magnitud alrededor de 100 mV con respecto al potencial de reposo y el tiempo que dura el impulso nervioso es del orden 1 ms, como se observa en la figura 2.

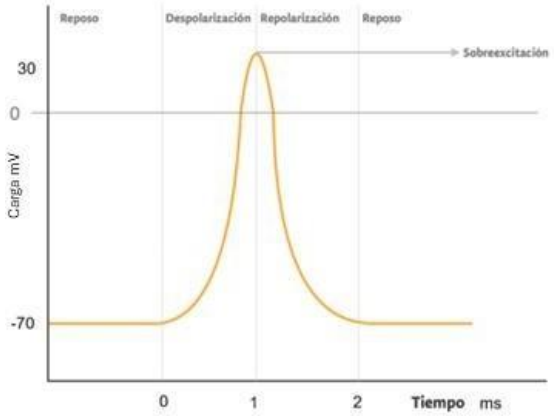


Figura 2. Potencial de acción de estímulo entre neuronas (Fisiosaludable 13 de agosto de 2017).

En la terminación del axón el potencial de acción promueve la liberación de los neurotransmisores (contenidos en pequeñas vesículas). Estos se difunden hacia la neurona vecina donde activan receptores específicos capaces de modificar la actividad eléctrica. A su vez, esta información podrá generar un nuevo potencial de acción en la segunda neurona. La representación de la sinapsis entre neuronas se puede ver en la figura 3.

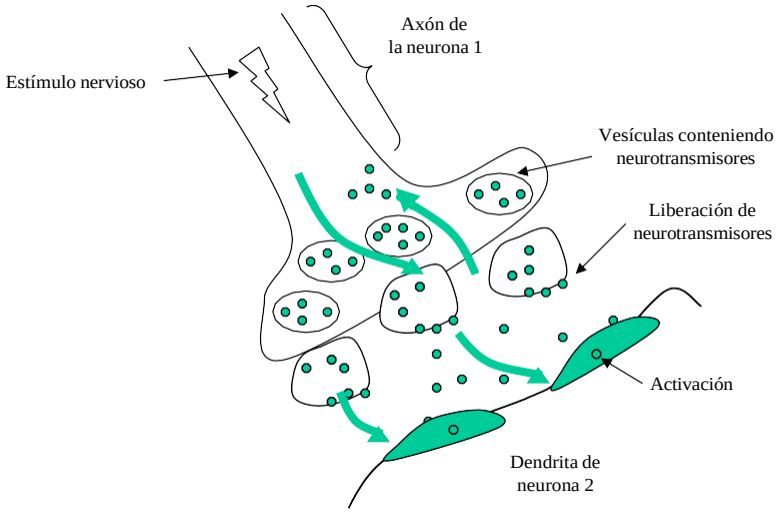


Figura 3. Representación de la sinapsis y la liberación de los neurotransmisores (Flores F. 2003, Tesis Doctoral).

La enzima AChE reacciona ante otra molécula llamada sustrato descomponiéndola; en el caso de la Acetilcolinesterasa su sustrato es la Acetiltiocolina (ATC). La reacción que se genera entre estas dos moléculas se muestra en la ecuación 1 (Ruiz Perez, P., 2023):

$$\text{Acetiltiocolina} + H_2O \xrightarrow{AChE} CH_3COO^- + H^+ + \text{tiocolina} \qquad (1)$$

Los insecticidas que se utilizan para controlar plagas en los campos de cultivo inhiben esta reacción enzimática, provocando daños en los seres humanos cuando entran en contacto con los mismos (Jhonson M. K., 1975).

Estructuras tipo FET, MOSFET, ISFET y EnFET

El sensor desarrollado en el presente artíuclo es del tipo electroquímico, utilizando como transductor a un transistor de efecto de campo sensible a iones.

El ISFET se basa en un transistor MOSFET, el cual es una estructura MOS con dos zonas en las que se difunden impurezas, formando las regiones de drenaje (D del inglés Drain) y fuente (S del inglés Source) montadas en otra región más grande de silicio que es el subestrato (B del inglés Bulk) y en la región del subestrato que esta entre drenaje y fuente se coloca el óxido para la terminal de puerta (G del inglés Gate). Se agregan contactos metálicos a cada terminal disponiendo que la región de puerta quede entre las regiones de drenaje y fuente. La configuración básica de un MOSFET se muestra en la figura 4.

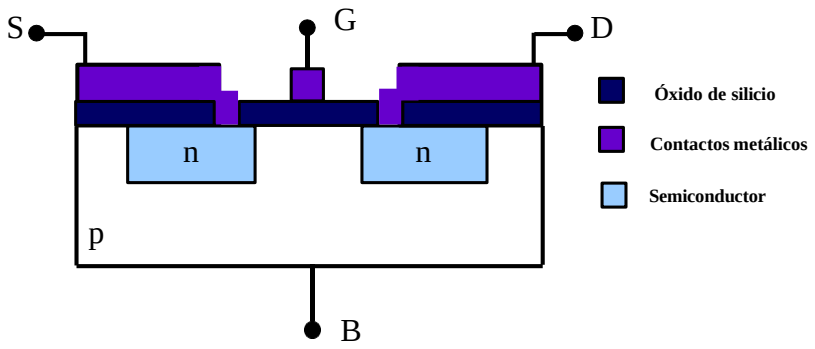


Figura 4. Constitución básica de un MOSFET, (Flores F. 2003, Tesis Doctoral).

El MOSFET tiene como característica un valor de voltaje inverso puerta-fuente de ensanchamiento (VGS_{OFF}). En este límite de voltaje inverso, el valor de corriente entre drenaje y fuente es máximo, debido a que las zonas de agotamiento de las uniones puerta-fuente decrecen hasta que ensanchan la zona de conducción. Si se aplica un potencial en la puerta que sea superior al potencial de ensanchamiento entre puerta y fuente, se creará una zona de inversión en la superficie cercana a la puerta, formando así un canal entre el drenaje y la fuente. Si se aplica un potencial entre fuente y drenaje V_{DS} habrá una conducción de electrones entre estas terminales (el canal) como se muestra en la figura 5 a). Entonces se puede controlar la corriente a través del canal por medio del campo eléctrico que surge de aplicar el potencial de puerta, a este fenómeno se le denomina efecto de campo (Boylestad y Nashelsky L. 1999).

Cada transistor de efecto de campo tiene un potencial de umbral (V_T) que es el mínimo que se debe aplicar a la puerta para que se forme el canal entre fuente y drenaje. Si no se alcanza ese valor, el canal no se forma y no habrá conducción de corriente. En las figuras 5 a) y 5 b) se observan estos dos fenómenos en una estructura de MOSFET canal P.

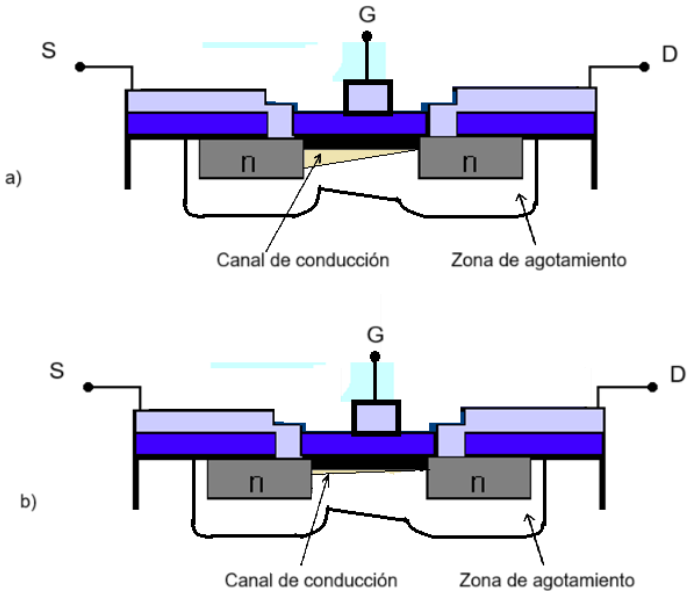


Figura 5. Estructura del MOSFET. a) Aplicando un $V_{GS} > V_T$ se puede controlar el ancho del canal de conducción. b) Aplicando un $V_{GS} > V_G - V_T$ se agota el canal, (Flores F. 2003, Tesis Doctoral).

A partir de la estructura MOSFET se obtiene el ISFET, el cual tiene la región de puerta al descubierto. Se deposita una capa de encapsulante que cubra las terminales eléctricas para que la solución no haga contacto con las conexiones de fuente y drenaje y provoque algún corto circuito que derive en un mal funcionamiento del dispositivo.

Un ISFET es un dispositivo similar a un MOSFET pero con la particularidad de tener la región de puerta al descubierto. Tiene las mismas terminales, fuente (S), drenaje (D), sustrato (B) y la región de puerta al descubierto que funciona como una cuarta terminal a través de la solución y el electrodo de referencia.

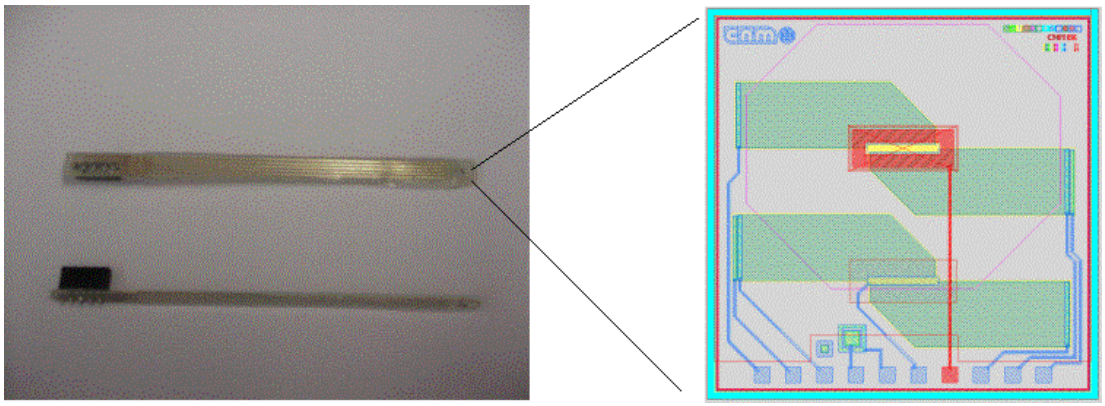


Figura 6. Estructura del ISFET y de su sonda química (Flores F. 2003, Tesis Doctoral)

Los ISFETs utilizados en este proyecto están fabricados con tecnología NMOS en el Centro Nacional de Microelectrónica (CNM) de la Universidad Autónoma de Barcelona en Bellaterra, Barcelona, España. Estos ISFETs son sensibles al pH y el material de puerta es nitruro de silicio (Si_3N_4). En la figura 6 se pueden ver la estructura superficial de los ISFETs utilizados, y la sonda completa.

En todos los casos, la polarización del ISFET incluye una fuente de voltaje entre drenaje y fuente, referenciado a través del subestrato y conectando un electrodo de referencia sumergido en la solución contactada por la puerta del ISFET. El electrodo debe estar conectado al potencial de realimentación o de referencia del circuito utilizado. La conexión de un ISFET, así como su estructura interna se muestran en la figura 7.

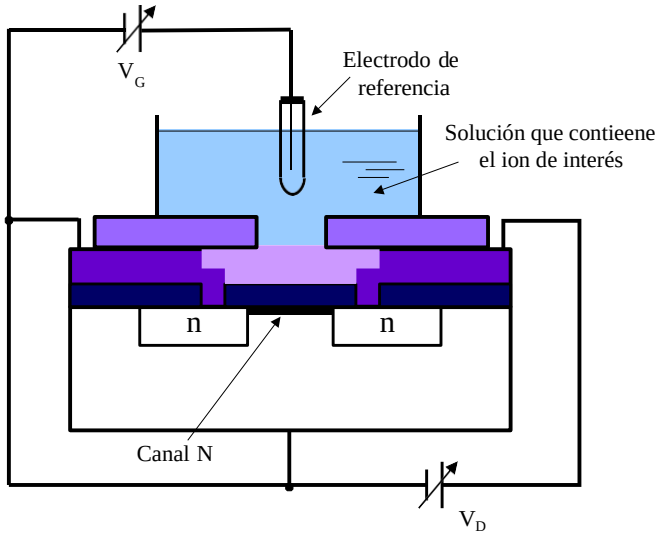


Figura 7. Polarización y conexión del ISFET con un electrodo de referencia (Flores F. 2003, Tesis Doctoral).

Se coloca la región de puerta en contacto con una solución que contenga iones hidrógeno (H^+) y el material superficial de la zona de puerta tiene una afinidad por estos iones, como el nitruro de silicio (Bausells, J. *et al.,* 1999 y Basanta, R. *et al.,* 1996); se genera una acumulación de cargas en la puerta del ISFET. Esta acumulación de cargas positivas (por los iones hidrógeno) provoca un potencial negativo en la región que une a la fuente y el drenaje y esto produce una variación en el ancho del canal por el que puede pasar una corriente. Así se controla el ancho del canal interno de conducción drenaje-fuente con la concentración de iones hidrógeno y de esta forma se controla el nivel de corriente en el canal. Entonces la corriente de drenaje será proporcional a la concentración de iones hidrógeno de la solución, o sea el pH de dicha solución.

Circuito de manejo de corriente constante

El circuito empleado para controlar el ISFET tiene como principio de funcionamiento, el mantener una corriente de canal constante (I_{DS}) a un potencial de drenaje constante (Bergveld P.,1988).

La corriente constante se logra a través del potencial negativo (-V) y la resistencia que se compone con la resistencia fija R, en serie con una resistencia variable R1 como se observa en la figura 8. La terminal de fuente del ISFET está conectada a la entrada inversora del amplificador operacional, lo cual indica que se utiliza como un amplificador inversor. El electrodo de referencia está conectado a la salida del operacional, que corresponde a una configuración con retroalimentación negativa a través de la solución. Cuando el pH de la solución varía, la tendencia sería a provocar una variación de la corriente de drenaje, pero el amplificador operacional varía su voltaje de salida para compensar la diferencia de corriente provocada por el cambio químico y así mantener la corriente constante.

Sobre el ISFET se dispone una membrana polimérica, que contenga a una enzima. El biosensor así producido se denomina EnFET o transistor de efecto de campo enzimático, como se ve en la figura 9.

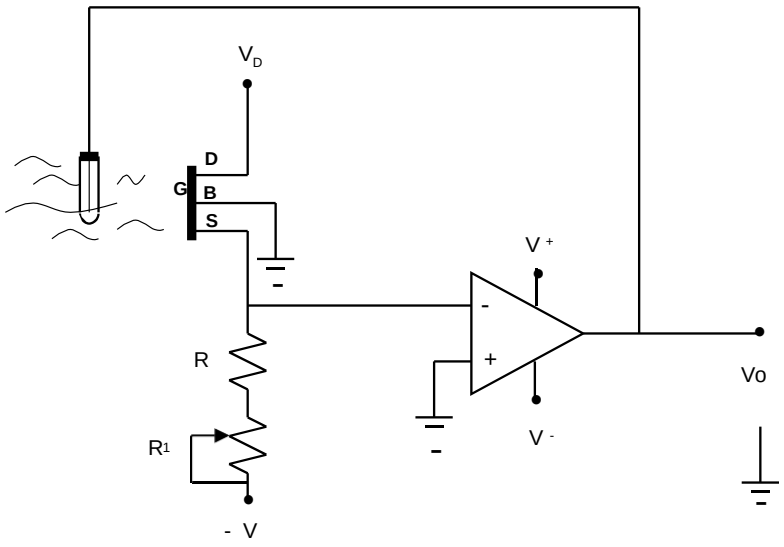


Figura 8. Circuito de polarización del ISFET con manejo de corriente constante (Flores F. 2003, Tesis Doctoral).

El potencial V_D se establece en 1 V, el potencial de la terminal de fuente (S) se utiliza con -15 V, las resistencias, fija (R) es de 120 KΩ y variable (R_1) de 50 KΩ siendo un potenciómetro de precisión. La R_1 se ajusta a un valor de 30 KΩ, de esta forma la suma de R y R_1 es de 150 KΩ

con lo cual la corriente que circula por la malla de -V, R, R_1, y entrada inversora del Amplificador operacional, se ajusta en 100 µA. (quince volts entre 150 KΩ).

El Amplificador Operacional utilizado es el LM 1458 fabricado por Texas Instruments (Dallas TX; Estados Unidos de América). El electrodo utilizado es de doble unión (ORION 902, Boston MA. Estados Unidos de América), con una solución de nitrato de potasio, (solución interna 1), este tubo a su vez se encuentra dentro de otro tubo de diámetro mayor que contiene una solución salina de nitrato de potasio (solución interna 2). Dichas soluciones son estándares en el uso del electrodo de referencia.

La experimentación se llevó a cabo en laboratorio a temperatura de 26 °C aproximadamente. Las cuentes de voltaje son BK Precision 1745ª, de CJM MYS Instruments (Yorba Linda , CA. Estados Unidos de América).

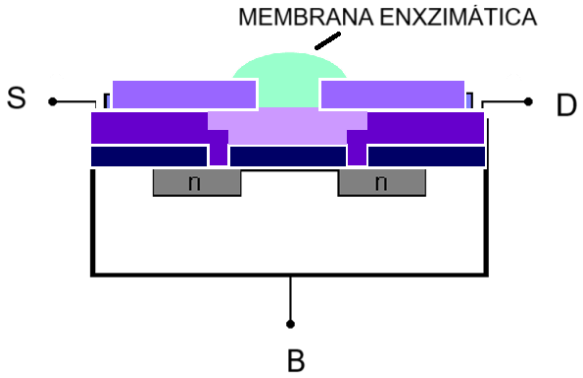


Figura 9. EnFET: ISFET con membrana polimérica conteniendo una enzima (Flores F. 2003, Tesis Doctoral).

Desarrollo y Metodología

Se preparó una solución basada en la enzima AChE, de anguila eléctrica, 0.06 mg, Sigma Aldrich, filial de Darmstadt (Alemania), Rehovot 7670603. Esta solución se combinó con alcohol polivinílico (PVA-SbQ) y glicerol.

Se dispone una gota de 3 µl de solución sobre la puerta (G) del ISFET, se coloca sobre luz blanca por un lapso de 2 horas; esto plastifica la solución y la adhiere a la superficie de la puerta del ISFET.

La enzima se encuentra atrapada en la membrana polimérica sobre el ISFET y puede interactuar con el medio líquido de la muestra que se va a analizar. El biosensor se caracteriza colocándolo en agua destilada y haciendo adiciones de sustrato (Acetiltiocolina), se obtiene una curva de

comportamiento (figura 10). De esta forma se obtiene un sensor de Acetiltiocolina, que servirá como base para el sensor de pesticidas. El experimento se repite en 3 oportunidades hasta que el comportamiento del sensor es repetible.

Se observa que el EnFET tiene una pendiente negativa de 280 mV por década de concentración y la variación de potencial total después de realizar todas las adiciones es aproximadamente de 180 mV. El rango lineal se observa de la gráfica desde 1.5 mM hasta 48.5 mM aproximadamente.

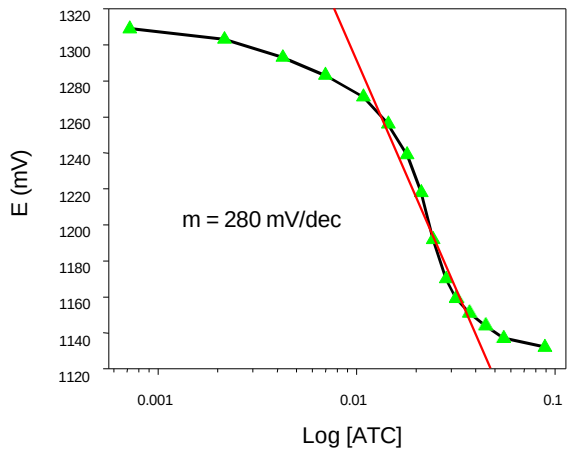


Figura 10. Gráfica de potencial del EnFET respecto de la concentración de acetiltiocolina.

Medición de pesticidas

Para lograr la detección de pesticidas se pone en contacto la membrana con una solución que contenga una concentración específica de pesticida durante un tiempo determinado. Al tiempo de exposición de la enzima con la solución del pesticida se le llama tiempo de incubación. El efecto de inhibición que provoca en la enzima se manifiesta como una disminución en la magnitud del potencial de salida del biosensor, una vez que se vuelve a hacer adición de ATC. La disminución en la variación de potencial es debida a que no se genera el mismo número de iones hidrógeno y no hay polarización de compuerta. Entonces la variación en el potencial de salida es indirectamente debida a la presencia del pesticida en la muestra (concentración) que se analiza. La disminución en el potencial está relacionada con la concentración del pesticida a la que se expuso el biosensor.

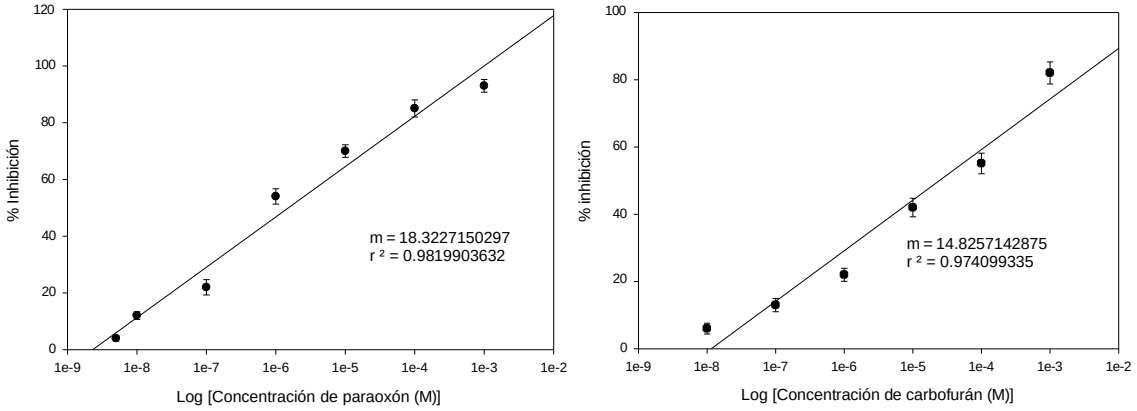
Una vez reconstruidas las gráficas de la figura 10 pero habiendo sumergido los EnFETs en solución de pesticida se realiza el cálculo de porcentaje de inhibición debido a la concentración de insecticidas utilizando la ecuación 2.

$$\% \, I = [\frac{E_0 - E_i}{E_0}] \, x100 \qquad (2)$$

donde % I es el porcentaje de inhibición, E_0 es la variación de potencial obtenido en la calibración del EnFET, antes de la incubación con el pesticida, y E_i es la variación de potencial obtenida del calibrado del EnFET después de haberlo puesto en contacto con el pesticida. Se construye una gráfica de porcentaje de inhibición contra concentración del insecticida.

Resultados

La experimentación con pesticidas arrojó los siguientes resultados (figura 11):



a) b)

Figura 11. Porcentaje de Inhibición en la respuesta del EnFET respecto del a) Paraoxón y b) Carbofurán.

Los experimentos se realizaron en agua destilada se repitieron en 3 oportunidades para cada concentración distinta de pesticida y en condiciones de laboratorio. Los límites de detección para cada insecticida se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Límites de detección para cada tipo de pesticida.

Pesticida	Límite de detección	
	Molar	ppb
Carbofurán	10^{-8} M	2.2126
Paraoxón	5X10-^{9} M	1.376

Hallazgos y/o conclusiones

Los resultados obtenidos muestran límites de detección de 2.21 y 1.37 ppb. para Carbofurán y Paraoxón respectivamente, específicamente utilizando la enzima AChE de angula eléctrica, siendo estos resultados susceptibles de reproducirse con enzima AChE de otro organismo animal para validar si los resultados son concluyentes o dependen de la fuente de obtención del neurotransmisor.

La reproducción de reacciones biológicas extracorporal abre un campo importante en las áreas de biomédica y salud, contribuyendo a detección de sintomatologías, cuantificación de especies de interés y posible prevención de enfermedades mediante detección oportuna.

En el campo de diseño de semiconductores existe la ventaja de desarrollos más robustos, eficientes, miniaturizados y económicos, respecto de la tecnología electrónica de años anteriores. La perspectiva real a futuro es deposición de moléculas, ionoforos, o especies de detección sobre la superficie directa de silicio en los semiconductores.

Citas y referencias

Casida, J.E., Durkin, K.A. (2013). Anticholinesterase insecticide retrospective. *Chem Biol. Interact*. 25, 203(1), 221-225. https://doi:10.1016/j.cbi.2012.08.002

Johnson, M.K. (1977). The delayed neuropathy caused by some organophosphorous esters: mechanism and challenge. *Crit. Rev. Toxicol*. (3), 289-316. https://doi.org/10.3109/10408447509079861

Nurull Illya, Muhamad F., Yap Wing, Fen, Nur Alia Sheh O., Hazwani Suhaila, H. (2021). Recent Advances on Detection of Insecticides Using Optical Sensors. *Sensors*, 21 (3856), 1-39. https://doi.org/10.3390/s21113856

Thorat, Tanmay, Patle, B.K., Wakchaure Manas, Parihar Leena, (2023). Advancements in techniques used for identification of pesticide residue on crops. *Journal of Natural Pesticide Research,* (4), 10031, 1-17. https://doi.org/10.1016/j.napere.2023.100031

Sarcina, L., Macchia, E., Tricase, A., Scandurra, C., Torricelli, F,. Cioffi, N. (2022). Enzyme based fierld effect transistor: State-of-the-art and future perspectives. *Electrochemical Science Advances,* 3e2100216, 1-17. https://doi.org/10.1002/elsa.2100216

Bigbee John, W., Sharma Karun V., Chan Ellen L.-P. y Bögler O. (2000). Evidence for the direct role of acetylcholinesterase in neurite outgrowth in primary dorsal root ganglion neurons. *Brain Research*, 861, 354-362. https://doi.org/10.1016/S0006-8993(00)02046-1

Levitan, Irwin, B. Kaczmarek, Leonard K. (2001). *Neuorn: Cell and molecular biology* 3rd edition, Oxford University Press.

Ruiz Perez, Paula. (2023). *Interacciones de Acetiltiocolina y Acetilcolina en las actividades Fenilvaleratoesterasa y Fenilacetatoesterasa de la Acetilcolinesterasa humana recombinante.* URL: TFG Ruz Perez, Paula.pdf

Guyton, A. C. (1994). *Anatomía y fisiología del sistema nervioso. Neurociencia básica*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.

Fisiosaludable (13 de agosto de 2017). *Potenciales de acción entre neuronas.* https://fisiosaludable.com/publicaciones/articulos/179-potenciales-de-accion-entre-neuronas

Flores García, Francisco (2003). *Desarrollo de un EnFET para la detección de insecticidas Organofosforados y Carbamatos* [tesis doctoral, Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de la Laguna, México].

Boylestad, R. L. y Nashelsky L. (1999). *Electrónica teoría de circuitos 5ª edición*, Ed. Prentice Hall.

Bausells, J., Carrabina, J., Errachid, A. y Merlos, A. (1999). Ion-sensitive field-effect transistors fabricated in a commercial CMOS technology. *Sensors and Actuators B*, 57 (1-3), 56-66. http://dx.doi.org/10.1016/S0925-4005(99)00135-5

Basanta, R., Núñez, E., Fernández, M., Diaz-Fierros, F. (1996). Measurement of cholinesterase activity inhibition for the detection of organophosphorus and carbamate pesticides in wáter, *Int. J. Environ. Studies* 48, 211-223. https://doi.org/10.1080/00207239508710991

Bergveld, P. y Sibbald, A. (1988). *Analytical and Biomedical Applications of Ion-Selective Field-Effect Transistors*, Ed. Elsevier Science Ltd Hardcover, 102.

Valdés-Perezgasga, F. (1990). *Intramyocardial pH measurements using Ion-Sensitive Field-Effect Transistors* [Tesis doctoral University of Newcastle Upon Tyne, Inglaterra]

Montesinos, Thierry, Pérez-Munguia, Sandra, Valdés, F. y Marty, Jean-Louis (2001). Disposable cholinesterase biosensor for the detection of pesticides in water-miscible organic solvents. *Analytica Chimica Acta* 431 (2), 231-237. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)01235-6

Diseño y Control No Lineal Basado en Lyapunov para un Convertidor Buck en Modo Corriente

Cesar A. Hernandez Jacobo[1]
TecNM/IT la Laguna
Torreón, Coahuila, México
cesar_ahj@ieee.org

Mario Iván Nava Bustamante[2]
TecNM/IT La Laguna
Torreón, Coahuila, México
Navabustamantem@gmail.com

Rodrigo Loera-Palomo[3]
CONAHCYT–TecNM/IT la Laguna
Torreón, Coahuila, México
rloerapa@conahcyt.mx

José Luis Meza Medina[4]
TecNM/IT La Laguna
Torreón, Coahuila, México
jlmezam@correo.itlalaguna.edu.mx

Resumen: Este trabajo presenta el diseño, modelado y control no lineal de un convertidor reductor (Buck) mediante un enfoque basado en Lyapunov para el control en modo corriente. El objetivo es garantizar la estabilidad del sistema ante variaciones en la carga y en la referencia de voltaje, optimizando la respuesta del convertidor. Las simulaciones realizadas muestran cómo el controlador permite que el voltaje de salida siga la referencia deseada de manera precisa, con un ciclo de trabajo ajustado que responde a los cambios de carga. Este enfoque garantiza la estabilidad del convertidor, manteniendo un error reducido en el estado estacionario y una respuesta dinámica rápida.

Palabras Clave: Convertidor reductor, Control modo corriente, Lyapunov.

Abstract:

This paper presents the design, modeling, and nonlinear control of a Buck converter using a Lyapunov-based approach for current mode control. The aim is to ensure system stability under load and reference voltage variations, optimizing the converter's response. Simulations show how the controller enables the output voltage to accurately follow the desired reference, with an adjusted duty cycle responding to load changes. This approach ensures converter stability, keeping reduced steady-state error and rapid dynamic response.

Keywords: Buck converter, Current mode control, Lyapunov.

Introducción

Los convertidores electrónicos de potencia (CEP) son ampliamente utilizados en diferentes aplicaciones, ya que de acuerdo con su operación podemos adecuar voltajes, corrientes y transferir energía más eficientemente. Existen diversas operaciones de convertidores ya sea reductor (buck), elevador (boost) o reductor – elevador (buck - boost) (Erickson & Maksimovic, 2001, Lopa, Hossain, Hasan, & Chakraborty, 2016). En particular los convertidores buck reducen el voltaje de salida con respecto su voltaje de entrada para adecuar el voltaje de la carga. Hay que resaltar que existen 4 tipos diferentes de convertidores: CD-CD (corriente directa a corriente directa), CD-CA (corriente directa a corriente alterna), CA-CD (corriente alterna a corriente directa) y CA-CA (corriente alterna a corriente alterna). En cuanto a los convertidores CD-CD en la literatura se encuentran diferentes topologías en diferentes aplicaciones, como, por ejemplo: aplicaciones en sistemas de energías renovables, cargadores de baterías o fuentes conmutadas, por mencionar algunas.

Los CEP emplean dispositivos de almacenamiento de energía (capacitores e inductores) y dispositivos semiconductores (diodos y transistores) para el procesamiento de energía. El flujo de energía es de la fuente a la carga, los transistores operan en sus regiones de saturación y corte operando idealmente como un interruptor. La operación del interruptor es controlada por una señal de control que comúnmente es una señal de modulación por ancho de pulso (PWM, por sus siglas en ingles).

Un aspecto importante en los CEP es la aplicación de control, la cual es muy importante para que el convertidor sea capaz de mantener algún voltaje controlado y de esta forma asegurar el voltaje necesario para la carga ante alguna perturbación. Los convertidores electrónicos de potencia han adoptado múltiples técnicas de control para regular la salida de manera eficiente, como el control adaptativo y el uso de funciones de Lyapunov, que han demostrado mejorar la estabilidad de sistemas de potencia en diferentes aplicaciones (Nizami & Mahanta, 2016, (Mohammadpour Shotorbani & Babaei, 2016; Sira-Ramirez & Oliver-Salazar, 2012)). El estudio de control y de convertidores puede llegar a ser bastante complejo de comprender e implementar.

En este trabajo se pretende analizar con profundidad el modelado, diseño y control no lineal basado en Lyapunov de un convertidor buck. Con el fin de ampliar y validar la estabilidad del convertidor buck con un control en modo corriente que permita asegurar una operación estable del convertidor.

Modelado del convertidor buck

El convertidor buck se muestra en la figura 1, en el cual se conforma por una fuente de voltaje constante (E) de entrada, un inductor (L), un capacitor (C) como elementos de almacenamiento de energía, una resistencia (R) como carga y dos dispositivos semiconductores, el diodo (D) y un interruptor (S), dependiendo de la conmutación del interruptor S, se tienen dos circuitos resultantes.

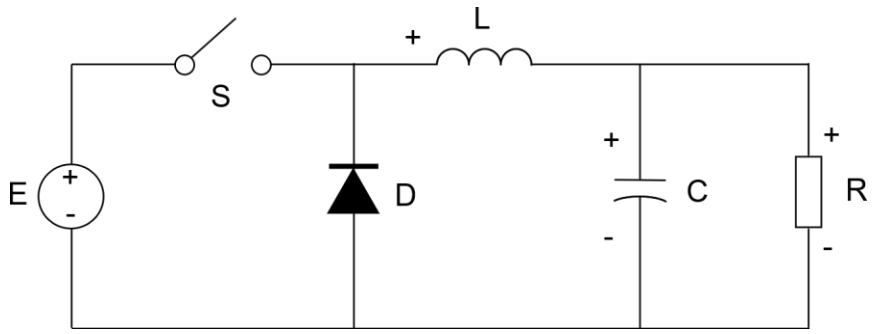


Figura 1. Convertidor reductor ideal.

Los circuitos resultantes se muestran en la figura 2, en donde se observan las variables de interés para el modelo del convertidor, estas variables son $i_L(t)$ y $v_C(t)$, la corriente que pasa a través del inductor y el voltaje en el capacitor, respectivamente.

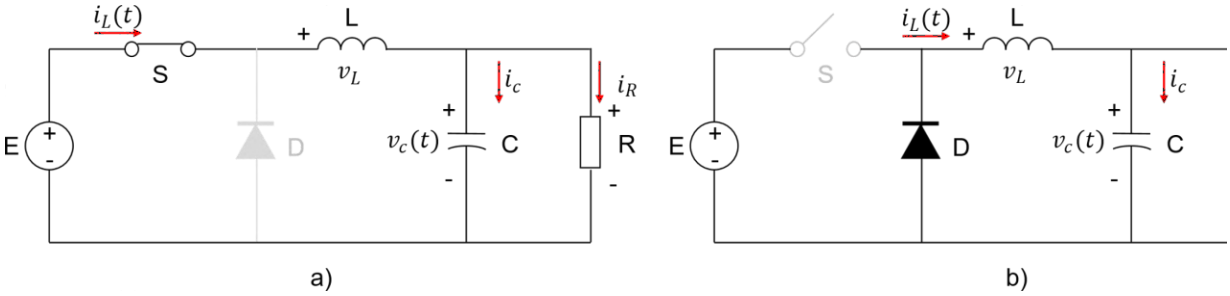


Figura 2. Circuitos resultantes por la conmutación del interruptor S.

A través de un análisis de circuitos eléctricos, se pueden obtener las ecuaciones dinámicas que gobiernan los circuitos, $v_L = \frac{di_L(t)}{dt}$ y $i_C = \frac{dv_C(t)}{dt}$, para el voltaje en el inductor y la corriente en el capacitor. Para el circuito de la figura 2 a), las ecuaciones dinámicas resultan en (1) y (2), y para el circuito de la figura 2 b), las ecuaciones (3) y (4),

$$L\frac{di_L(t)}{dt} = E - v_C(t), \qquad (1)$$

$$C\frac{dv_C(t)}{dt} = i_L(t) - \frac{V_c}{R}, \qquad (2)$$

$$L\frac{di_L(t)}{dt} = -v_C(t) \quad , \qquad (3)$$

$$C\frac{dv_C(t)}{dt} = i_L(t) - \frac{V_c}{R}. \qquad (4)$$

La idea principal es conmutar entre estos dos circuitos en periodos de tiempo muy pequeños (microsegundos) o a frecuencias altas, para asegurar que la corriente en el inductor y voltaje en el capacitor resulten en un promedio debido a la carga y la descarga de energía almacenada en estos elementos. Para la operación del interruptor es necesario una función de conmutación $q(t)$ que active y desactive el interruptor. La figura 3 muestra una comparación entre dos señales, una triangular (llamada portadora) y una de directa (llamada moduladora), la comparación entre estas señales resulta en la activación y desactivación del interruptor. Además, la figura 3, muestra la función de conmutación que puede tomar solo dos valores como se muestra en la expresión (5).

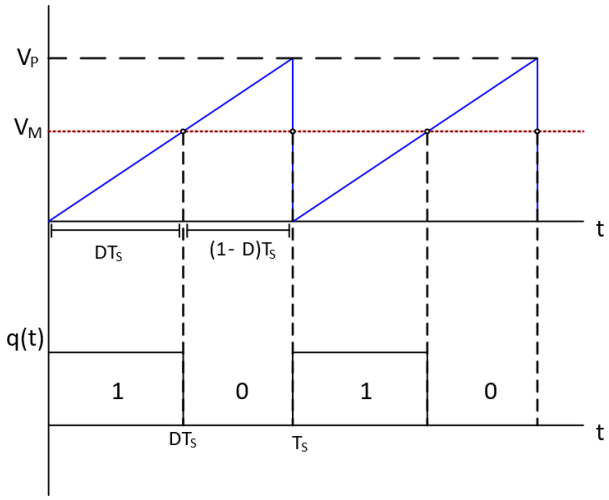


Figura 3. Función de conmutación para la activación del interruptor, dada por la comparación entre la portadora y la moduladora.

La señal moduladora tiene un periodo T_S y una magnitud pico V_p, la moduladora tiene una magnitud V_M, al comparar estas señales se obtiene que la función de conmutación tiene un periodo de activación DT_s y el periodo de desactivación es la parte restante $(1-D)T_s$,

$$q(t) = \begin{cases} 1, & 0 \le t \le DT_s \\ 0, & DT_s < t \le T_s \end{cases}. \qquad (5)$$

En un periodo de conmutación T_s tendremos una dinámica asociada al circuito de la figura 2 a) que tiene una duración DT_s, en este escenario la fuente suministra energía el inductor y el capacitor, el resto del periodo $(1-D)T_s$ corresponde a la figura 2 b) en donde el inductor descarga

su energía al capacitor y la carga, alternando así entre estos dos circuitos en periodos de microsegundos.

La carga y descarga de los elementos de almacenamiento siguen dos principios: principio de balance volt-segundo y el principio de balance de carga, para el inductor y el capacitor, respectivamente (Erickson & Maksimovic, 2001). El principio de balance volt-segundo, expresión (6), establece que, en un régimen de estado estacionario, el voltaje promedio aplicado a través de un inductor a lo largo de un período de conmutación debe ser igual a cero. En régimen permanente, el balance de carga, expresión (7), establece que la carga neta almacenada o extraída por un condensador durante un ciclo completo de conmutación debe ser cero para mantener un voltaje constante a través del condensador,

$$\int_0^{T_s} v_L(t) = 0, \qquad (6)$$

$$\int_0^{T_s} i_C(t) = 0. \qquad (7)$$

Estas condiciones son necesarias para obtener el punto de operación del convertidor reductor, las cuales están dadas para el régimen permanente o estado estable. Estas expresiones se muestran en (8) y (9), en donde en la figura 4 se muestra un ejemplo de la corriente en estado estacionario,

$$V_C = ED, \qquad (8)$$

$$I_L = \frac{V_C}{R} = \frac{ED}{R}. \qquad (9)$$

Donde I_L y V_C son la corriente promedio del inductor y el voltaje promedio del capacitor en estado estable, D es el ciclo de trabajo y se le denomina así ya que es un factor que tiene valores $0 \leq D \leq 1$, ya que es una parte proporcional al periodo de conmutación, de manera que se obtiene una ganancia M que depende del ciclo de trabajo entre el voltaje de salida y el de entrada (10),

$$M = \frac{V_C}{E} = D\ . \qquad (10)$$

En la figura 4 se aprecia un rizado en la corriente promedio del inductor, rizado que también lo presenta el voltaje promedio del capacitor de salida, el rizado se debe a la conmutación entre los diferentes circuitos, la parte creciente representa la carga de energía y al decreciente la descarga de energía en el elemento de almacenamiento, debido a la conmutación en alta frecuencia los elementos no se descargan por completo, sino que, se mantienen en una corriente promedio y voltaje promedio, dados por el punto de operación del convertidor.

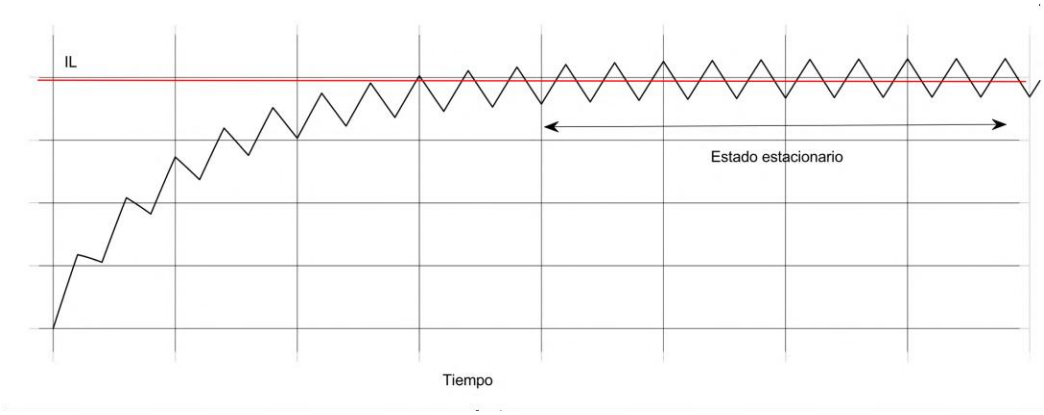


Figura 4. Evolución de la corriente de la corriente en el inductor hasta el estado estacionario (régimen permanente).

Las expresiones para el cálculo del inductor y del capacitor se dan en (11) y (12), respectivamente, las cuales están en función de un porcentaje de rizado α. Los elementos se calculan en un punto de operación determinado, debido a que el inductor y capacitor son elementos de valores fijos, las variaciones en los parámetros provocan un aumento o decremento en el rizado fuera del punto de operación para el que se diseñó el convertidor,

$$L = \frac{R(1-D)T_s}{\alpha_L}, \qquad (11)$$

$$C = \frac{(1-D)T_s}{8\alpha_C L}. \qquad (12)$$

Para que el punto de operación del convertidor sea válido, el convertidor de opera en modo de conducción continua (CCM por sus siglas en ingles), para ello se debe satisfacer la desigualdad en (13), de lo contrario el convertidor opera en modo de conducción discontinua (DCM por sus siglas en ingles),

$$\frac{2L}{RE} \geq (1-D)T_s. \qquad (13)$$

Modelo dinámico del convertidor reductor promediado

El modelo dinámico del convertidor es un modelo conmutado el cual alterna entre dos dinámicas en la corriente del inductor (1) y (3), pero no para el voltaje en el capacitor ya que las expresiones (2) y (4) son las mismas. La variable de control $d(t)$ es necesaria para conmutar entre estas dos ecuaciones y solo toma dos valores 0 ó 1, en el modelo promediado la variable de control se

encuentra entre $0 \leq d(t) \leq 1$ y que también actúa como señal moduladora para controlar el ciclo de trabajo del convertidor reductor. El modelo dinámico promediado resulta en (14) y (15), el cual es un modelo valido que describe el comportamiento del convertidor reductor (Komurcugil, H. 2023),

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{1}{L}(Ed(t) - v_C(t)), \qquad (14)$$

$$\frac{dv_C(t)}{dt} = \frac{1}{C}(i_L(t) - \frac{v_C(t)}{R}). \qquad (15)$$

Debido a la naturaleza discreta del convertidor es un modelo no lineal naturalmente, aun con el modelo promediado, el voltaje de entrada E es multiplicado por la variable de control $d(t)$, el modelo presentado en (14) y (15), es válido para la aplicación de alguna ley de control ya sea lineal o no lineal.

Estabilidad en el sentido de Lyapunov

La concepción de estabilidad en el sentido de Lyapunov se centra en la idea de que, para un sistema dinámico, un punto de equilibrio es estable si, a partir de una condición inicial cercana a dicho equilibrio, las soluciones del sistema permanecen cerca de él para todo tiempo (Khalil, 2002).

Formalmente, un punto de equilibrio x_e de un sistema dinámico es estable en el sentido de Lyapunov si, para cualquier $\epsilon > 0$, existe una $\delta > 0$ tal que, si la distancia inicial al equilibrio $||x(0) - x_e|| < \delta$, entonces $||x(t) - x_e|| < \epsilon$ para todo $t > 0$. En otras palabras, las soluciones que comienzan cerca del equilibrio permanecerán cercanas a él.

La estabilidad asintótica en el sentido de Lyapunov es una extensión de este concepto, no solo el sistema permanece cercano al equilibrio, sino que las soluciones convergen asintóticamente hacia él cuando $t \to \infty$. Es decir, existe una $\delta > 0$ tal que, si $||x(0) - x_e|| < \delta$, entonces $\lim_{t\to\infty} x(t) = x_e$. Para demostrar estabilidad mediante el método de Lyapunov, se usa una función candidata de Lyapunov $V(x)$ que cumple ciertas condiciones.

1. $V(x)$ es definida positiva, es decir, $V(x) > 0$ para toda $x \neq x_e$ y $V(x_e) = 0$ (equilibrio en el origen).
2. La derivada de $V(x)$ respecto al tiempo $V(x)$, es semidefinida o definida negativa en la vecindad del equilibrio.

Si $V(x) \leq 0$, el sistema es estable, y si $V(x) < 0$ en una vecindad del equilibrio, el sistema es estable asintóticamente. La clave del método de Lyapunov es encontrar una función candidata de Lyapunov adecuada. Esta función actúa como una medida de "energía" o "distancia" en el sistema, y su elección determina si es posible demostrar la estabilidad del sistema, si no se encuentra esto no significa que el sistema no pueda ser estable.

Diseño de control en modo corriente basado en Lyapunov

Uno de los objetivos en el control de convertidores DC-DC es seguir una referencia de voltaje de salida, esto implica que el objetivo es estabilizar la salida de voltaje, hacer que sea estable en ese punto. El modelo dinámico del convertidor reductor mostrado en (14) y (15), muestra que la variable de control $d(t)$ solo esta presente en la dinámica del inductor y que la dinámica del voltaje en el capacitor depende de la solución de la dinámica de la corriente del inductor, por lo que el ciclo de trabajo actúa directamente en la corriente del inductor y la corriente del inductor actúa en el voltaje del capacitor, este tiene la forma de un sistema sub actuado, en el cual la variable de control se encuentra solo en un estado y con este se controla el siguiente estado.

En general en los CEP´s es conveniente controlar primero la corriente del inductor y sobre este controlar el voltaje en el capacitor, a esta forma se le conoce como control en modo corriente (básicamente un control en cascada).

El primer paso es estabilizar la corriente del inductor para ello hay que analizar el lazo de corriente, esto implica encontrar una ley de control para $d(t)$ que estabilice en un punto deseado. Es de interés seguir una referencia constante lo que implica que debemos obtener una dinámica de error en la corriente del inductor, el error de la corriente es $x_1 = i_L(t) - I_{Lr}$, donde I_{Lr} es la corriente de referencia, por lo que $i_L(t) = x_1 - I_{Lr}$, el control en modo corriente implica que la I_{Lr} viene dada por el lazo de control del voltaje, por lo que esa referencia depende de la dinámica del control de voltaje (lazo que se analiza después). La dinámica del error de corriente resulta en (16), en donde el termino I_L es la dinámica de la referencia que está dada por el control de voltaje,

$$\dot{x}_1 = \frac{di_L(t)}{dt} - I_{Lr}, \qquad (16)$$

sustituyendo (14) en (16), la dinámica del error resulta en (17). Cuando se analiza el error de los estados se espera siempre que el error se cero, ya que de esta forma la corriente $i_L(t)$ alcanza la referencia I_L,

$$\dot{x}_1 = \frac{1}{L}(Ed(t) - v_C(t)) - I_{Lr}. \qquad (17)$$

Teniendo la dinámica del error, se propone alguna ley de control que estabilice la corriente del inductor. Una forma es asegurar que el error tienda a ser cero, de forma que el punto de equilibrio del error sea estable en el origen, para ello se propone una función candidata de Lyapunov para el error de corriente como en (18), la cual tiene una forma particular de función de energía ya que se tiene el elemento que almacena la energía L y el cuadrado del error de corriente, además, cumple las condiciones de función candidata de Lyapunov,

$$V_L(x_1) = \frac{1}{2}Lx_1^2, \qquad (18)$$

la derivada de la función de Lyapunov, resulta en (19),

$$\dot{V}_L(x_1) = Lx_1\dot{x}_1 = Lx_1\left(\frac{1}{L}(Ed(t) - v_C(t)) - I_{Lr}\right), \qquad (19)$$

Para asegurar que $\dot{V}_L$, sea definida negativa, la variable de control debe actuar para que esto se cumpla, teniendo en cuenta lo anterior, se propone una la ley de control (20),

$$d(t) = \left(\frac{v_c(t) + LI_L}{E} - k_1x_1\right), \qquad (20)$$

Sustituyendo esta ley de control en (19), obtiene (21), la cual es dependiendo del valor de k_1 el termino puede ser negativo o positivo, en este caso si $k_1 > 0$, $\dot{V}_L \leq 0$ para toda $x_1 \geq 0$,

$$\dot{V}_L(x_1) = -k_1x_1^2, \qquad (21)$$

de esta manera se estabiliza el error en la corriente utilizando únicamente una ganancia k_1 que multiplica al error, esto es una acción proporcional del error.

Para el lazo de voltaje en el capacitor, se debe obtener el error de voltaje $x_2 = v_c(t) - V_{Cr}$, donde V_{Cr} es el voltaje de referencia constante que se desea a la salida y el control tiene que ser capaz de regular a este voltaje. Además, se tiene que agregar un estado más que integre el error de voltaje, para asegurar que el error alcance a ser cero, de lo contrario se tendría un error de estado estable, por lo que $x_3 = \alpha \int x_2$, de esta manera con la acción integral tenemos una "memoria" del error para mejorar el control. Las dinámicas de estos últimos estados resultan en (22) y (23),

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{C}\left(I_{Lr} - \frac{x_2}{R}\right), \qquad (22)$$

$$\dot{x}_3 = \alpha x_2, \qquad (23)$$

en este escenario I_{Lr} es nuestra variable de control, ya que en particular en control en modo corriente es con la que se controla el voltaje en el capacitor, por lo que se tendrá que seleccionar

una corriente de referencia que haga que el punto de equilibrio los errores en el origen sean estable. Proponiendo una función candidata de Lyapunov adecuada para el control del voltaje $V_{VC}(x_2, x_3)$ se puede obtener una corriente de referencia que estabilice el error. La función candidata de Lyapunov para el voltaje se expresa en (24),

$$V_{VC}(x_2, x_3) = \frac{1}{2}Cx_2^2 + \frac{1}{2}x_3^2, \qquad (24)$$

la derivada de la función resulta en,

$$\dot{V}_{VC}(x_2, x_3) = Cx_2\dot{x}_2 + x_3\dot{x}_2 = I_{Lr}x_2 - \frac{x_2^2}{R} + \alpha x_3 x_2, \qquad (25)$$

para garantizar la estabilidad de la derivada de la función de Lyapunov $\dot{V}_{VC}(x_2, x_3) = I_{Lr}x_2 - \frac{x_2^2}{R} + \alpha x_3 x_2$ propuesta, es fundamental que esta derivada sea negativa o, idealmente, negativa definida en la región de interés del sistema. El termino $-\frac{x_2^2}{R}$ siempre será negativo para toda x_2^2, en este sentido este término tiene que ser mayor que los otros términos que pueden hacer positiva a $\dot{V}_{VC}$. Se seleccionará una corriente de referencia como en (26) para balancear los términos cruzados.

$$I_{Lr} = -k_2 x_3, \qquad (26)$$

de esta manera la derivada de la función resulta en (27),

$$\dot{V}_{VC}(x_2, x_3) = -\frac{x_2^2}{R} - (k_2 - \alpha)x_2 x_3, \qquad (27)$$

de esta manera el termino $(k_2 - \alpha)x_2 x_3$ dependiendo de la diferencia de los coeficientes, puede tener una mayor contribución a que el sistema sea estable o inestable. El coeficiente $k_2 > 0$ es una constante de proporcionalidad que nos ayuda a estabilizar el sistema, el coeficiente α multiplica a la integral del error y es un coeficiente que nos ayuda a la rapidez de la respuesta de la integral. La idea es que la selección de estos coeficientes haga que el sistema sea estable para estos parámetros. También es necesaria la dinámica de la corriente de referencia para (20), dado que la selección de la corriente de referencia se da en (26), la dinámica I_{Lr} se da en (28),

$$\dot{I}_{Lr} = -k_2\dot{x}_3 = -k_2\alpha x_2, \qquad (28)$$

todos los términos son perfectamente medibles por lo cual se pueden implementar para su control, una vez teniendo la corriente de referencia se sustituye en (20) y la ley de control para el convertidor reductor resulta en (29),

$$d(t) = \left(\frac{v_c(t) - Lk_2\alpha x_2}{E} - k_1 x_1\right). \qquad (29)$$

Esta ley de control $d(t)$ es una estrategia efectiva para gestionar el comportamiento dinámico del convertidor reductor, utilizando retroalimentación de los estados y el error. La clave para su efectividad está en la elección adecuada de k_1, k_2 y α, de forma que se logre una respuesta rápida y estable, minimizando el error sin comprometer la estabilidad. Esta forma de control está dentro de los controles no lineales, ya que en ningún momento se aproxima el sistema a un punto de operación (comportamiento lineal) para diseñar un control en un punto de operación. Con el diseño del control basado en Lyapunov se puede observar que, con las ganancias se puede demostrar estabilidad en el control del convertidor.

Caso de estudio y resultados de simulación

Para los resultados de simulación del control propuesto, se implementó el convertidor reductor en el software de *Matlab Simulink*. La figura 5 muestra un diagrama a bloques general del convertidor y el control implementado.

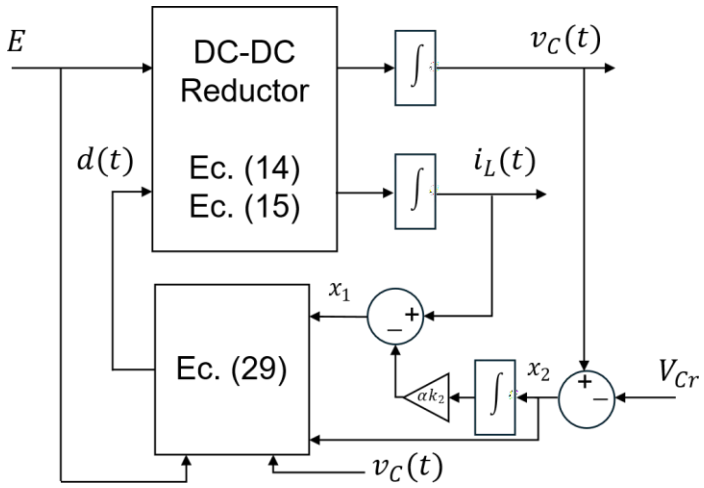


Figura 5. Esquema diagrama a bloques de la implementación del control y el convertidor.

El caso de estudio se muestra para distintas cargas en el convertidor y cambios en el voltaje de referencia, las ganancias que se seleccionaron para el caso de estudio son, $k_1 = 50$, $k_2 = 50$ y $\alpha = 49.5$, de esta forma nos aseguramos una respuesta proporcional e integral relativamente rápida, además de que diferencia entre k_2 y α no es tan grande. La tabla 1 muestra los parámetros para el caso de estudio del sistema.

Tabla 1. Parámetros para el caso de estudio.

Parámetros	**Magnitudes**
Voltaje de entrada E	20 V
Voltaje de salida deseado V_{Cr}	10 V
Potencia de salida P	50 W
Resistencia de carga R	$2\ \Omega$
Inductancia L	$100\ \mu H$
Capacitancia C	$1.25\ \mu f$

Fuente: Elaboración propia.

El caso de estudio que se propone presenta cambios en el voltaje de referencia de $10\,V$ a $15V$, en $0.5\ s$, y un aumento de carga (una reducción de la resistencia $R = 1.4\ \Omega$) en $1\ s$. La figura 6 muestra los cambios en el voltaje del capacitor y la corriente del inductor.

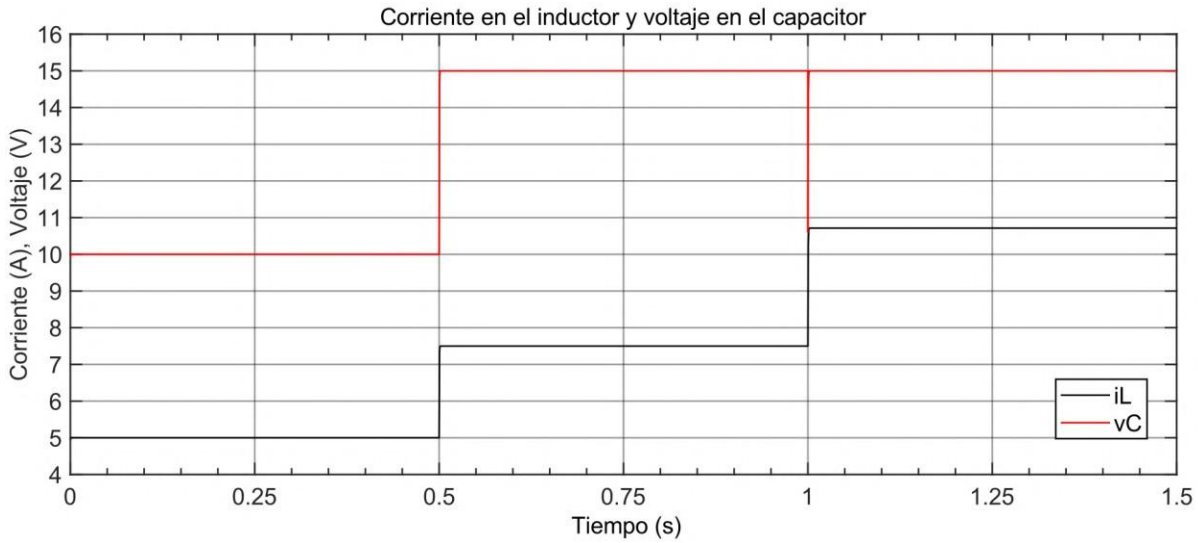


Figura 6. Voltaje de salida (rojo) y corriente en el inductor (negro).

La figura 6 muestra como el voltaje de salida se mantiene en los valores deseados y la corriente en el inductor es la que varía para equilibrar los cambios de potencia. La figura 7 muestra el cambio en la potencia de salida del convertidor.

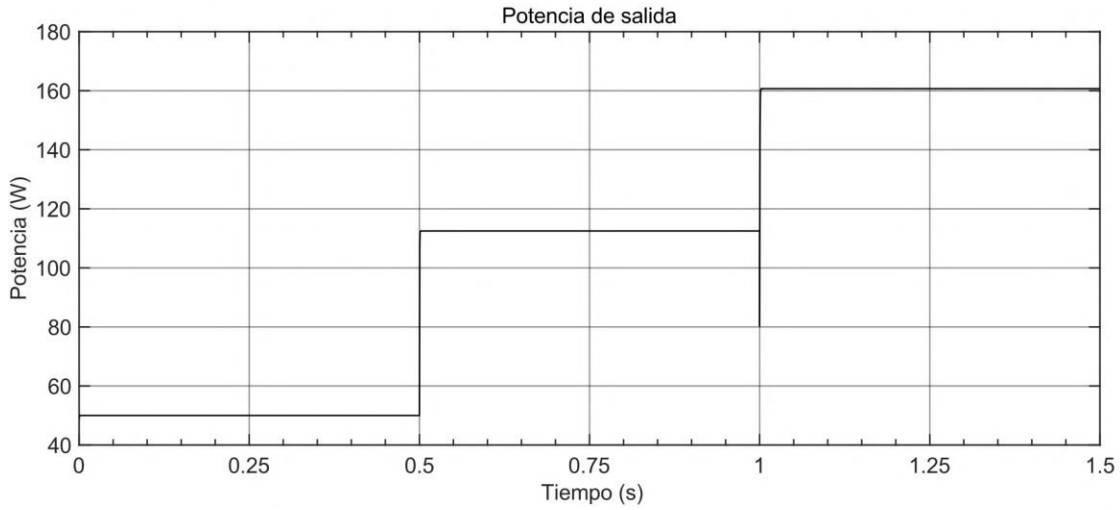


Figura 7. Potencia de salida en el convertidor reductor para el primer caso de estudio.

La figura 8 muestra los cambios en el ciclo de trabajo (la variable de control) para seguir la referencia de voltaje deseado.

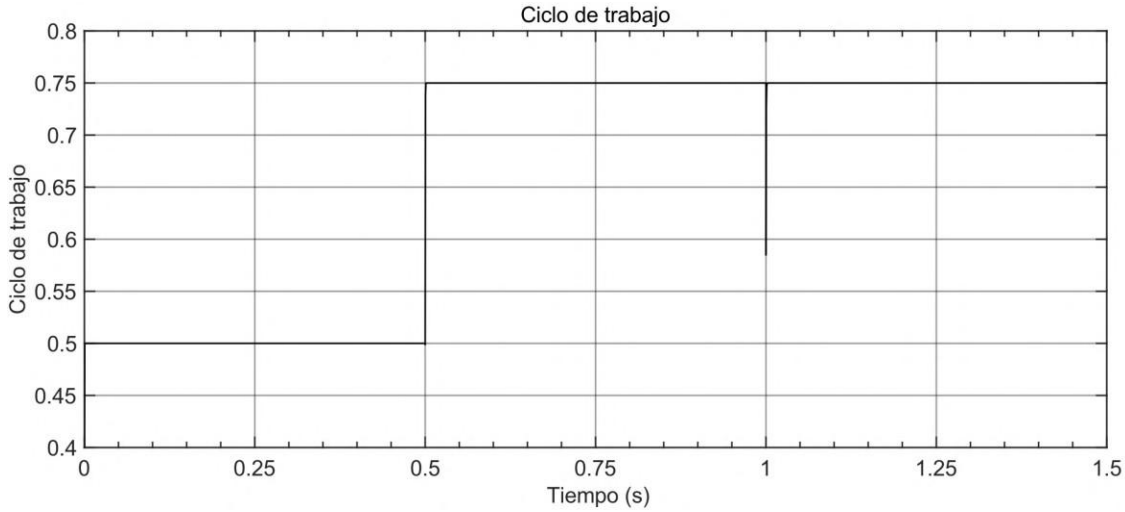


Figura 8. Cambios en el ciclo de trabajo para el caso de estudio.

Por último, se muestra los errores de corriente y voltaje ante este escenario, la figura 9 muestra la evolución de los errores. El esquema de control implementado para el convertidor reductor muestra un comportamiento adecuado bajo distintas condiciones de operación. En la gráfica de la figura 7, se puede ver claramente cómo la potencia se ajusta en función de las condiciones de carga. A $t = 1\ s$, cuando la resistencia de carga se reduce, la potencia de salida aumenta en correspondencia con el aumento de la demanda de energía, manteniendo así la estabilidad del

sistema sin afectaciones visibles en el voltaje de salida. Este comportamiento refuerza la eficiencia del controlador para mantener la estabilidad de la potencia ante variaciones en la carga.

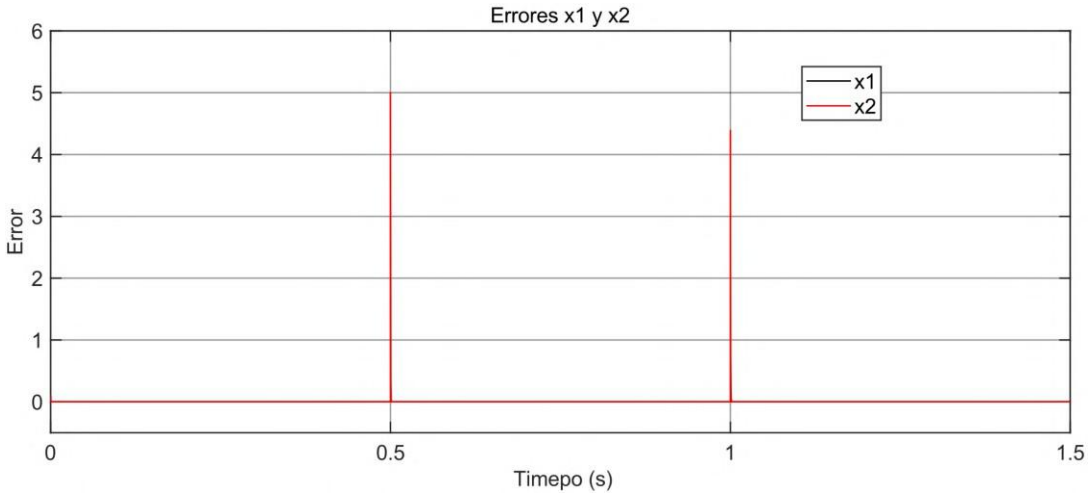


Figura 9. Transitorios del error de la corriente (negro) y error del voltaje (rojo).

En cuanto al ciclo de trabajo, la gráfica muestra cómo la señal de control se ajusta a lo largo del tiempo para seguir las variaciones de referencia y las demandas de carga. Al incrementarse el voltaje de referencia, el ciclo de trabajo también aumenta progresivamente desde un valor cercano a 0.5 hasta aproximadamente 0.75, ajustando el tiempo en que el interruptor permanece cerrado para cumplir con la demanda de energía adicional. Esto demuestra la capacidad del controlador para adaptarse en tiempo real a las necesidades del sistema.

Finalmente, la evolución de los errores en el voltaje y la corriente muestra una corrección rápida ante los cambios de referencia y de carga. El error en el voltaje (rojo) y en la corriente (negro) presenta una rápida disminución tras las perturbaciones en $t = 0.5\ s$ y $t = 1\ s$, lo cual sugiere que el diseño del controlador es efectivo para minimizar el error en régimen transitorio y llevar el sistema rápidamente a su estado estacionario sin afectar el desempeño general.

Conclusiones

El esquema de control basado en Lyapunov implementado en el convertidor reductor ha demostrado ser efectivo para mantener la estabilidad y seguir una referencia de voltaje bajo diferentes condiciones de operación. Los resultados de simulación han mostrado que el sistema es capaz de ajustarse rápidamente ante variaciones en la carga y cambios en la referencia de voltaje, minimizando los errores de voltaje y corriente. El ciclo de trabajo se adapta en tiempo

real, asegurando que el voltaje de salida se mantenga en los niveles deseados. Además, el control en modo corriente permite una regulación robusta de la corriente en el inductor, lo cual resulta en una respuesta estable del voltaje en el capacitor. Este enfoque no lineal, al no requerir la linealización del modelo, representa una estrategia eficiente para aplicaciones en sistemas de potencia, asegurando una operación estable y precisa del convertidor reductor bajo condiciones de trabajo variadas.

Referencias

Erickson, R. W., & Maksimovic, D. (2001). *Fundamentals of Power Electronics* (2nd ed.). Kluwer Academic Publishers.

Lopa, S. A., Hossain, S., Hasan, M. K., & Chakraborty, T. K. (2016). *Design and simulation of DC-DC converters*. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, *3*(01), 63-70.

Nizami, T. K., & Mahanta, C. (2016). *An intelligent adaptive control of DC–DC buck converters*. *Journal of the Franklin Institute, 353*(12), 2588-2613.

Mohammadpour Shotorbani, A., & Babaei, E. (2016). *Robust nonlinear controller based on control*

Lyapunov function and terminal sliding mode for buck converter. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, 29*(6), 1055-1069.

Sira-Ramirez, H., & Oliver-Salazar, M. A. (2012). *On the robust control of buck-converter DC-motor combinations*. *IEEE Transactions on Power Electronics, 28*(8), 3912-3922.

Khalil, H. K. (2002). *Nonlinear Systems* (3rd ed.). Prentice Hall.

Komurcugil, H., Bayhan, S., Guzman, R., Malinowski, M., & Abu-Rub, H. (2023). *Advanced Control of Power Converters: Techniques and Matlab/Simulink Implementation*. John Wiley & Sons.

Cómputo Cuántico y su Desarrollo Actual

José Ruiz-Ayala[1]
Tecnológico Nacional de México /
Instituto Tecnológico de la Laguna
Blvd..Revolución y Calz. Tecnológico S/N
Torreón, Coah.. México, C.P. 27000
jdruiza@lalaguna.tecnm.mx

Ruth de la Peña - Martínez[2]
Tecnológico Nacional de México /
Instituto Tecnológico de la Laguna
Blvd. Revolución y Calz. Tecnológico S/N
Torreón, Coah.. México, C.P. 27000
rdelapenam@lalaguna.tecnm.mx

Resumen: El propósito del presente estudio, es revisar el estado actual del desarrollo del cómputo cuántico en general, y particularmente en México. El principal problema que se presentó es el alto costo de los productos o prototipos que ya existen en el mercado, invertir USD $ 10,000,000 no es algo sencillo; nos limitamos a las opiniones de los fabricantes como D-Wave e IBM, pero para equilibrar la opinión de dos proveedores, se hizo un recorrido sobre el tema, recabando información de expertos en el tema, incluso detractores sobre este tópico, e incluyendo algunas opiniones de quienes han invertido en esta tecnología. Los resultados son complicados de asimilar, porque no solo es pensar en tener los recursos para invertir, sino que es toda una tecnología que requiere profundos conocimientos de la física y la mecánica cuánticas, la ventaja es que hay tiempo para ir tomando cartas en el asunto. Un hallazgo importante es el hecho de que sí se están haciendo esfuerzos en México, y otro es que el riesgo de la seguridad ante estos nuevos equipos, no es cómo algunos autores han planteado, habrá soluciones acordes con la situación. Se concluye que, aunque los primeros prototipos de tuvieron desde 2010, es una tecnología todavía en desarrollo, y que van a pasar años para que sea de uso generalizado, tiempo en el cuál las instituciones de educación superior podrán ir capacitando a sus plantas docentes de Tecnologías de Información.

Palabras Clave: Cómputo Cuántico, Criptografía Cuántica, Algoritmos Cuánticos.

Abstract: The purpose of this study is to review the current state of quantum computing development in general, and particularly in Mexico. The main problem that was presented is the high cost of products or prototypes that already exist in the market; investing USD $10,000,000 is not easy; we limited ourselves to the opinions of manufacturers such as D-Wave and IBM, but to balance the opinion of two suppliers, a review was made on the subject, gathering information from experts on the subject, including detractors on this topic, and including some opinions of those who have invested in this technology. The results are difficult to assimilate, because it is not

only about having the resources to invest, but it is a whole technology that requires deep knowledge of physics and quantum mechanics; the advantage is that there is time to take action on the matter. An important finding is the fact that efforts are being made in Mexico, and another is that the security risk with these new devices is not as some authors have suggested, there will be solutions in accordance with the situation. It is concluded that, although the first prototypes were created in 2010, it is a technology still in development, and that it will take years for it to be in widespread use, during which time higher education institutions will be able to train their teaching staff in Information Technology.

Key words: Quantum Computing, Quantum Cryptography, Quantum Algorithms.

Introducción

Desde mediados del siglo pasado, y principalmente a partir de los años 80´s, con la aparición de las microcomputadoras, ha habido una especie de revolución en el campo de las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC), apareciendo una gran cantidad de productos o desarrollos a la medida, para resolver todo tipo de problema. Eso ha generado una espiral creciente de mayores requerimientos en la capacidad de cómputo. Ese aspecto ha sido apoyado por el gran desarrollo tecnológico en la miniaturización de los microprocesadores, pero eso parece tender a llegar a su límite.

Hace cuatro décadas toma forma la aplicación de teorías cuánticas, en la construcción de compuertas electrónicas, que además de procesar información mucho más rápido, permita aplicar algoritmos más avanzados que no se pueden implementar en una computadora convencional. Los prototipos que se han construido hasta hoy en día, han dado solución a problemas muy específicos, pero están lejos de ser una computadora de uso general, otros aspectos son su sensibilidad al medio ambiente, ruidos eléctricos, magnéticos, o ambientales. Pero el problema central es su costo, si no llega a ser posible construir un equipo cuántico a un costo asequible para las empresas o instituciones, no entrará en auge esta tecnología.

De cualquier manera, hay que ir dándole seguimiento al desarrollo cuántico, para preparar en la medida de lo posible a las generaciones futuras, que seguramente verán florecer este tipo de computadoras. Revisaremos algunos conceptos básicos para tener una idea de la arquitectura cuántica, e imaginar cuán potente puede llegar a ser. Luego veremos a grandes rasgos la evolución tanto de los equipos de D-Wave como de IBM, para evaluar que logros han tenido, los retos que enfrentan, al menos saber qué y quienes están trabajando en esta tecnología, en el ámbito internacional y finalmente en México.

Cabe aclarar como parte del mencionado seguimiento a esa tecnología, como siempre, tenemos la parte de software y la de hardware, que van y seguirán de la mano. Se incluyen las opiniones de algunos críticos, como parte del análisis de la situación, pero en opinión de quienes esto escriben, así como en 1945 solo se tenía una gran computadora en IBM, y que no se pensaba que pudiera haber más de cinco de ellas en el mundo, cambiando todo a partir de 1980, cuando vino el boom de las microcomputadoras y de servidores de buena capacidad y accesibles en precio, llegará el tiempo de que nuestras portátiles y computadoras de escritorio, sean computadoras cuánticas. De inicio, en 2023 la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), adquirió dos computadoras cuánticas para la Facultad de Ingeniería, a la cual le acondicionaron acceso remoto, para estudiantes y profesores (Milenio, 2023).

Si bien el cómputo cuántico es un cambio paradigmático más grande que cuando pasamos de la programación funcional a la programación en objetos, hay que considerar que bajo la óptica de la compañía D-Wave, una computadora cuántica (CC) opera bajo las órdenes de una consola que es una computadora convencional, donde tenemos lenguajes como C++, Java y Python, por el lado de la programación quedan por aprender o conocer los algoritmos cuánticos ya desarrollados. Esto sería muy transparente, pero no así en el caso del hardware, que empezando con el hecho de que requiere las condiciones para operar cerca de los cero ^{o}K, para aprovechar las propiedades de los superconductores, no va a ser fácil tener un equipo portátil en esas condiciones.

Se agrega la sección de los críticos o detractores, para enfatizar los retos que se han tenido o que todavía se tienen, de tal suerte que esta tecnología sigue en desarrollo. Se hace hincapié en el hecho de que las CC actuales son de uso específico, para entender sí las críticas son legítimas, y demeritan a los equipos en funciones, o simplemente su diseño no contempla lo que se señala, aspecto que de antemano se sabe deberá quedar resuelto cuando ya tengamos CC de uso general.

Metodología.

Se aplicó un método cualitativo, para conocer el estado del arte en el desarrollo del cómputo cuántico. Por medio de la Investigación descriptiva, se analizó el contexto internacional y nacional, sobre los elementos básicos del software y hardware cuánticos, para contextualizar la investigación. La técnica de recolección y análisis de datos cualitativos fue la revisión de material de bibliografías, documentos y registros, analizando los datos a través de organización y

transcripción de material, utilizando bitácoras para documentar el proceso, dando como resultado un panorama respecto a los sucesos de las computadoras cuánticas.

Fundamentos de las computadoras cuánticas (CC).

Primero veamos la diferencia básica de un bit que puede tomar dos valores, cero o uno, esto en la computación convencional. En las CC el equivalente al bit es el cúbit o bit cuántico, que es un vector tridimensional, con diferentes magnitudes y diferentes direcciones, representando ceros y unos para cada octante (Figura 1.). Luego empiezan las grandes diferencias con las propiedades de los cúbits (Nowak, 2024):

(a) Superposición. Significa que un cúbit pueda estar en varios estados al mismo tiempo, como si un bit convencional estuviera en cualquier lugar de la esfera de Bloch o bit cuántico. Esta propiedad es la que utiliza el CC para evaluar o procesar al mismo tiempo cada una de las posibles combinaciones de todos los cúbits, dando como resultado un aumento exponencial en la potencia de cálculo para problemas de algún tipo específico.

(b) Entrelazamiento o entramado. Se presenta al relacionar dos o más cúbits, dando como resultado que el estado de uno depende del otro. Así es como un CC procesa cúbits de manera agrupada y coordinadamente, aspecto esencial en el manejo de algoritmos cuánticos. Una aplicación de esto es la criptografía cuántica, ya que al medir un cúbit asociado, se altera el estado del otro, revelando la interferencia.

(c) Interferencia. Proceso que refuerza o cancela estados de los cúbits entre ellos, esto se usa para orientar un algoritmo a la respuesta correcta, eliminando estados que lo conducen a soluciones incorrectas.

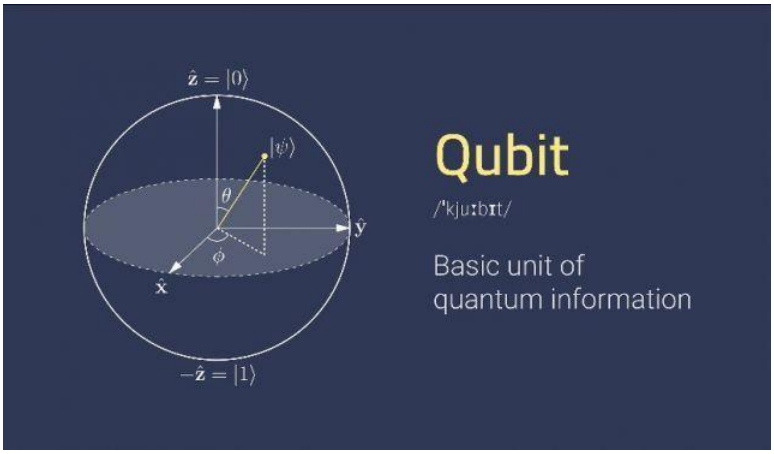


Figura 1. Bit cuántico.
Nota: Obtenido de (TSTC en Vivo, 2024)

(d) Recocido (quantum annealing). Los sistemas D-Wave utilizan este en la búsqueda de soluciones a un problema. Se basa en la tendencia natural del mundo cuántico que busca estados de baja energía. El cálculo empieza poniendo la unidad de procesamiento cuántico (QPU por sus siglas en inglés) en un estado determinado a un problema conocido, aplicando el proceso de quantum annealing, se solucionará el problema de modo que se mantenga un estado de baja energía durante todo el proceso. Al final del cálculo, cada qubit termina como 0 o 1. Este estado representa la solución óptima o casi óptima al problema.

En la naturaleza, los sistemas físicos tienden a cambiar hacia un estado de energía más baja: los objetos se deslizan cuesta abajo, las cosas calientes tienden a enfriarse y así sucesivamente. Este comportamiento es la premisa que determina el comportamiento de los sistemas cuánticos. Una analogía, es imaginar un viajero que busca como la mejor solución, encontrar el valle más bajo en el paisaje energético que representa el problema. Los algoritmos típicos buscan el valle más bajo poniendo al viajero en algún punto del entorno y dejan al viajero moverse localmente. Por lo regular es más eficiente ir cuesta abajo y evitar subir colinas altas, en estos algoritmos clásicos es común llevar al viajero a valles cercanos que tal vez no sean el mínimo de todo el contexto. Por medio de muchos ensayos, con muchos viajeros que comienzan sus viajes desde diferentes puntos.

En cambio, el quantum annealing da inicio con el viajero colocado al mismo tiempo en muchas coordenadas usando al fenómeno cuántico de la superposición. La probabilidad de estar en cualquier coordenada determinada avanza suavemente con el progreso del método, con esto tiene la probabilidad de aumentar su cercanía alrededor de los valles profundos. La Tunelización cuántica permite al viajero pasar por las colinas, en lugar de tener que escalarlas, lo que minimiza la posibilidad de quedarse atrapado en valles que no son el mínimo contextual. El entrelazamiento cuántico mejora aún más el proceso dejando al viajero encontrar relaciones entre los puntos que conducen a valles profundos.

Pasar de un solo cúbit a un QPU multi- cúbit requiere que los cúbit estén interconectados para intercambiar información. Los cúbit se conectan mediante acopladores, que también son bucles superconductores. La interconexión de cúbits y acopladores, junto con los circuitos de control para gestionar los campos magnéticos, crea un tejido de dispositivos cuánticos programables. Cuando la QPU llega a una solución de un problema, todos los cúbits se asientan en sus estados finales y los valores que retienen se devuelven al usuario como una cadena de bits. Por ejemplo, el sistema D-Wave 2000Q tiene hasta 2048 cúbits y 6016 acopladores. Para alcanzar esta escala,

utiliza 128,000 uniones Josephson, lo que hace que este computador sea, con mucho, el circuito integrado superconductor más complejo jamás construido (Figuras 2 y 3) (D-Wave, 2018).



Figura 2. CC D-Wave modelo Quantum 512.
Nota: Obtenido de (D-Wave, 2018)



Figura 3. Procesador Quántico.
Nota: Obtenido de (D-Wave, 2018)

Sobre las uniones Josephson, están compuestas por un par de superconductores, separados por un aislante muy delgado. De tal forma que pueden transitar por dicha unión, pares de electrones prácticamente sin resistencia, fenómeno conocido como túnel cuántico. Es así como disponiendo

los superconductores bastante cercanos, se permite que pasen por la barrera que los aísla, pares de electrones que generan una corriente eléctrica sin pérdida de energía (Modern Physics, 2024).

Empresas que están impulsando la tecnología de CC.

Primero veamos algunos detalles adicionales a la ya mencionada D-Wave y luego otras como IBM, IonQ, Quantinuum, Atom Computing y Quera (Millán, 2023).

(a) D-Wave. En 2010 vendió sus primeras computadoras de 512 cúbits a la NASA, Lockheed Martin, Google, Volkswagen, entre otros. Este año anunció su prototipo Advantage2 con 1,200 cúbits, y el doble de acopladores que su versión anterior, con lo que se espera un rendimiento del 20% más que la Advantage1 (DCD, 2024).

(b) IBM Quantum. En su hoja de ruta marca 2033 como el año en que lanzará su primer CC de propósito general. A la fecha ha ofrecido soluciones para el sector farmacéutico, Química, e Inteligencia Artificial, específicamente en Aprendizaje Máquina o Machine Learning. La plataforma de desarrollo de software es el Quantum Qiskit, que es una plataforma de pila completa Figura 4 (Schneider & Smalley, 2024).

(c) IonQ. Empresa muy fuerte en la comercialización, después de firmar contratos con AWS de Amazon, y Azure de Microsoft, cotiza en la bolsa de valores de New York.

(d) Quantinuum. Producto de la fusión de la empresa Honeywell y un equipo universitario, el Cambridge Quantum Computing en el año de 2021. Si bien solo cuenta con 450 empleados, su modelo H2, basado en trampa de iones, tiene una capacidad de 32 cúbits.

(e) Google. Con su modelo Quantum AI, está dirigido al desarrollo de hardware y software pensados para una computadora de uso general, ofrece una solución de pila completa tanto en software como en hardware (Google, 2024).

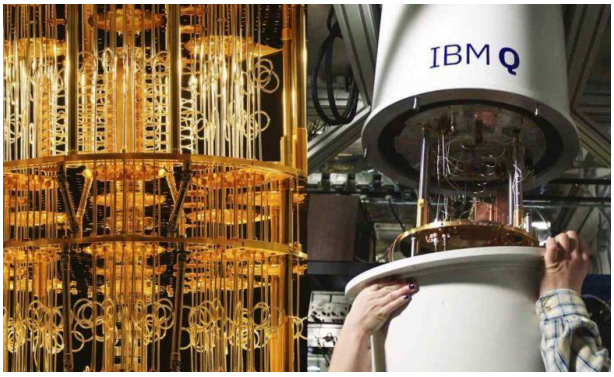


Figura 4. La IBM Quantum.
Nota: Obtenido de (Schneider & Smalley, 2024)

Desafíos del cómputo cuántico.

Como ya se mencionó, hay muchas CC de fines específicos, pero todavía hay bastantes cuestiones que resolver, veamos las más destacadas:

(a) Errores y limitaciones de rendimiento. Como ya se comentó, una CC es muy sensible a cualquier ruido como campos magnéticos, señales de transmisión de comunicaciones, variaciones atmosféricas inclusive. Aunque es el motivo porque se colocan dentro de contenedores que aíslan precisamente ese tipo de factores, de pronto aparecen errores, es probable que dependan de comportamientos erráticos en algún componente, o alguna otra cuestión técnica en el procesador, las compuertas, los acopladores, etc. EL hecho es que esta situación requiere solución, CC libres de errores (Amin, 2015).

(b) Comparación con computadoras cuánticas universales. La mayoría de los modelos son de uso específico, siendo entonces crucial la construcción de equipos de uso general en cualquier marca (King, Raymond, Lanting, Isakov, & Mohseni, 2021).

(c) Competencia de supercomputadoras clásicas. Se ha demostrado que en muchas situaciones las computadoras clásicas han tenido un mejor desempeño al ser más rápidas que alguna CC con la que se haya comparado. Esto produce incertidumbre en el tan esperado mejoramiento espectacular en el rendimiento (McGeoch, 2014).

Características principales de la empresa líder D-Wave.

(a) Enfoque en problemas de optimización. Su diseño está dirigido a la solución de problemas de combinatoria y búsqueda en grandes cantidades de datos, así como su aplicación en logística en la determinación de rutas, problemas financieros y modelado de materiales. Industrialmente hablamos de aeronáutica, automoción y energía.

(b) Comercialización temprana. Como pionero en este tópico, en sus desarrollos específicos para la Volkswagen, Lockheed Martín y la Nasa, logró consolidarse como desarrollador senior en CC.

(c) Accesibilidad a su tecnología. A cambio de lo costoso de sus equipos, el proporcionar laboratorios virtuales, dio acceso a las empresas interesadas y a investigadores de cualquier sector, a construir soluciones cuánticas y probarlas sin tener que comprar el equipo, solo para efectos de evaluación (D-Wave, 2018). Sin embargo, analicemos lo expresado por (Dargan, 2023) y por su parte (Law, 2023), ya que como vemos en la Tabla 1, no aparece D-Wave:

D-Wave es una de las primeras empresas en comercializar computadoras cuánticas, pero su tecnología se basa en un enfoque específico conocido como quantum annealing o recocido cuántico, que es más adecuado para resolver problemas de optimización que para ejecutar algoritmos cuánticos generales como los de IBM o Google. D-Wave ha sido muy relevante en el campo de la computación cuántica desde su fundación, y ha vendido más de 30 sistemas a diferentes instituciones y empresas.

Pero en el contexto reciente de los *jugadores más importantes*, su tecnología (de D-Wave) ha sido algo eclipsada por otras plataformas que utilizan cúbits superconductores o cúbits atrapados, que son más versátiles para el desarrollo de computadoras cuánticas generales. En resumen, mientras D-Wave sigue siendo un actor importante, su nicho especializado en quantum annealing no le permite competir directamente en el mismo campo que las empresas que están desarrollando computadoras cuánticas universales.

Tabla 1. Cinco principales proveedores de computadoras cuánticas, basados en su liderazgo tecnológico y ventas recientes

Proveedor	Ingresos $USD Aproximados últimos 5 años	Cantidad de equipos	Descripción Breve
IBM	Más de $500 millones	Al menos 20 grandes sistemas cuánticos	IBM es líder en el campo, con el lanzamiento de su sistema IBM Quantum One en 2019 y avances como su chip Condor de 1,000 cúbits. Sus planes para 2025 incluyen el desarrollo de sistemas modulares
Google (Alphabet)	Aproximadamente $200 millones	Desconocido	Google Quantum AI ha sido pionero en la creación de procesadores cuánticos y en la investigación de algoritmos de corrección de errores, con el objetivo de construir una computadora cuántica a gran escala
Amazon (AWS Braket)	Más de $100 millones	Acceso en la nube a múltiples sistemas	Amazon ofrece su servicio Braket, que proporciona acceso en la nube a varias plataformas cuánticas, lo que ha democratizado el uso de estas tecnologías
Microsoft	Más de $100 millones	Desconocido	Microsoft está desarrollando su propia computadora cuántica basada en cúbits topológicos y ofrece acceso a sus tecnologías a través de Azure Quantum
Alibaba	Desconocido	Al menos 2 grandes sistemas cuánticos	Alibaba, a través de su Quantum Lab en China, está trabajando en tecnologías superconductoras para computadoras cuánticas

Fuente: (Dargan, 2023; Law, 2023)

Detractores de las CC.

Gil Kalai hace énfasis en el problema de la Decoherencia, que a grandes rasgos es la pérdida de la asociación de dos o más cúbits, perdiendo su propiedad cuántica y exhibiéndose como un bit cuántico convencional, una verdadera tragedia, pero que llega a pasar (Stankevich & Studenikin, 2019). Susskind (2018) más que nada hace una crítica constructiva de los riesgos y dificultades que se presentan en las CC, y los engloba en lo mismo, que no hay mayor rendimiento comparado con el costo, y que hay errores (Susskind, 2018).

Un trabajo sobre análisis de la velocidad de las CC, examina cómo se puede definir y medir la velocidad cuántica, demostrando que muchos de los problemas abordados por D-Wave no necesariamente muestran ventajas cuánticas claras sobre los métodos clásicos (Ronnow, Wang, & Troyer, 2014). Aaronson ha sido crítico del enfoque de D-Wave desde sus primeros días, argumentando que el recocido cuántico no representa un avance significativo en comparación con las técnicas clásicas para ciertos tipos de problemas. Aunque reconoce que D-Wave tiene potencial en algunos casos específicos, ha expresado escepticismo sobre si sus máquinas pueden escalar para resolver problemas de manera más eficiente que los sistemas clásicos (Aaronson, 2015).

Criptografía cuántica.

Es cierto que el desarrollo teórico de la criptografía cuántica ha avanzado más rápidamente que el desarrollo real de las CC. La criptografía cuántica, en particular las técnicas como la distribución de claves cuánticas (QKD, Quantum Key Distribution), ya ha demostrado ser viable en entornos experimentales y comerciales. Estas técnicas ofrecen seguridad basada en principios fundamentales de la física cuántica, lo que hace que sea prácticamente imposible interceptar una clave sin que el emisor o receptor lo detecten (Scarani & Kurtsiefer, 2014). El concepto de distribución de claves cuánticas (QKD) es uno de los avances teóricos más importantes en criptografía cuántica. QKD permite que dos partes compartan una clave secreta de manera segura utilizando las propiedades de la mecánica cuántica, específicamente el principio de superposición y el de entrelazamiento cuántico. Desde 2019, varios estudios y proyectos han demostrado que QKD puede implementarse sobre redes ópticas actuales, como las fibras ópticas e incluso a través de satélites. A pesar de esto, su uso a gran escala aún está limitado por factores prácticos como la distancia y la velocidad de transmisión (Law, 2023).

Las computadoras cuánticas, están avanzando lentamente. Aunque empresas como IBM y Google han hecho progresos significativos, el escalado a sistemas grandes y estables que

puedan superar las capacidades de las computadoras clásicas sigue siendo un desafío. El error de los cúbits y la dificultad para mantener estados cuánticos estables por períodos prolongados limitan su desarrollo práctico, y las computadoras cuánticas actuales solo funcionan bien para casos específicos y pequeños Figura 5 (Yin, Li, & Liao, 2020).

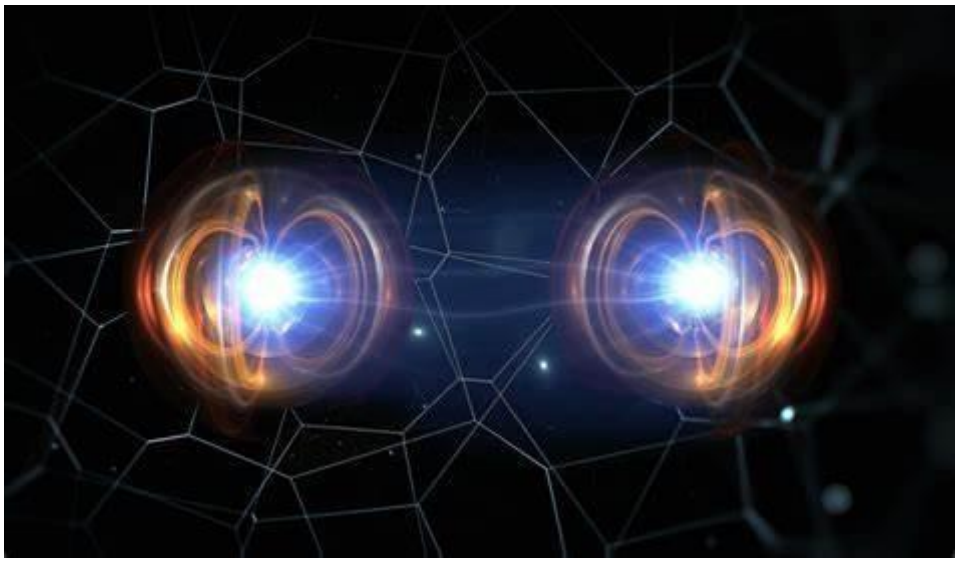


Figura 5. Criptografía Cuántica.
Nota: Obtenido de (Carpineti, 2020).

Los sistemas de cifrado simétrico, como el Estándar de Encriptado Avanzado (AES por sus siglas en inglés), son más resistentes a los ataques cuánticos directos mediante fuerza bruta. El algoritmo de Grover, que es el análogo cuántico a la búsqueda por fuerza bruta, solo ofrece una mejora cuadrática (es decir, reduce el tiempo de búsqueda de (N) a (√N). Esto significa que, aunque la computación cuántica puede acelerar la búsqueda, no sería suficiente para romper de manera práctica cifrados simétricos fuertes, como el AES-256, sin un número masivo de cúbits.

El hecho de que las computadoras cuánticas puedan eventualmente acelerar los cálculos combinatorios, y potencialmente realizar búsquedas exhaustivas mucho más rápido que las computadoras clásicas, es una preocupación legítima. Si las computadoras cuánticas logran superar las limitaciones actuales y llegar a la escala suficiente, podrían romper ciertos cifrados mediante la fuerza bruta. Sin embargo, en la práctica actual, no tenemos computadoras cuánticas suficientemente potentes para ejecutar estos ataques. Los sistemas cuánticos actuales están limitados por la cantidad de cúbits y los errores de decoherencia. Aunque el algoritmo de Shor podría romper algoritmos de llave pública como RSA (Acrónimo de Rivest, Shamir y Adleman), o el de Criptografía de Curva Elíptica (ECC por sus siglas en inglés), necesitaría millones de cúbits

estables para ejecutar estos ataques a gran escala, algo que está muy lejos de las capacidades actuales.

La criptografía post - cuántica está avanzando rápidamente, lo que significa que, para cuando las computadoras cuánticas sean una amenaza real, ya podrían estar disponibles soluciones criptográficas que mitiguen este riesgo. En resumen, mientras las computadoras cuánticas representan una amenaza teórica a largo plazo, en la actualidad aún no tienen la capacidad de romper los cifrados clásicos en un tiempo razonable mediante fuerza bruta. Sin embargo, es crucial que sigan los esfuerzos en la investigación de criptografía resistente a ataques cuánticos para estar preparados para ese futuro (Amit, Shabtai, & Elovici, 2024).

Resultados

Después de la aparición de la computadora D-Wave One en 2010, se pensó que las CC finalmente entraban en escena, sí y no. Sí porque finalmente se ponía en práctica una computadora con bits y compuertas cuánticas, que permitían aplicar algoritmos cuánticos que no se podían procesar en computadoras convencionales. Rápidamente se detectaron dos problemas, su costo del orden de $ USD 10,000,000 y la otra que era de fines muy específicos, como aplicaciones de la combinatoria.

La evolución ha continuado, con muchas esperanzas cifradas en los prototipos de IBM que van encaminados a CC de uso general, la situación es que en cualquier caso se siguen tratando de resolver errores en la ejecución, que computacionalmente no son aceptables. Hay una propuesta muy interesante, pero sigue en etapa experimental, que son las trampas de iones o iones atrapados, que representan cúbits más estables por mayor tiempo, y se espera que se logre con ellos la solución a los errores presentados.

Es tranquilizante saber, que lo que se vislumbra en un corto plazo, es que realmente las CC no representan un problema para los sistemas de criptografía actuales. En adición a esto, previendo un mayor y más rápido desarrollo tecnológico de las CC, paralelamente y de tiempo anterior, se está trabajando en algoritmos de cifrado cuántico, y que se prevé que estarán a la altura llegado el momento.

Hallazgos y/o conclusiones

El primer aspecto a resaltar es que la aparición en el mercado de las CC de D-wave desató el interés por esta tecnología, llevando a otras empresas a incursionar en este segmento del mercado. Esto ha repercutido en los gobiernos, en nuestro caso en México y las Instituciones

Educativas, aspecto esencial, porque este nuevo paradigma, implica especialización de quienes programarán las CC, que requieren conocimientos de física, matemáticas y mecánica cuánticas.

Una grata sorpresa es la adquisición de dos computadoras por la Universidad Nacional de México (UNAM) el año pasado. Este año es probable entonces, que el Instituto Politécnico Nacional (IPN) también adquiera al menos una. Para el sistema del Tecnológico Nacional de México no tenemos noticias, pero esperemos se tengan los recursos para incursionar también en las CC.

Por las proyecciones de las empresas consideradas, se espera para finales de esta década y principios de la siguiente, ya entrar más de lleno a las Tecnología de Información (TI) en equipos cuánticos, primero menos costosos, que cumplan las expectativas de rendimiento y de uso general, y claro confiables, libres de errores. Lo cual nos lleva a incursionar en la investigación de varias especialidades con el apoyo de las tecnologías. A lo anterior agregamos que ya las TI están sometidas a un desarrollo intenso, constante, y muy variado, en todas las áreas de software y hardware, y sub – áreas como Desarrollo Web, Cómputo en la Nube, Big Data, Inteligencia Artificial entre otras.

Resulta entonces prácticamente una revolución tecnológica, mover las TI a un entorno cuántico, con nuevos equipos, nuevas aplicaciones y nuevas estrategias de negocios, porque la visión es que todo va a funcionar de manera más eficiente, pero a un costo mayor, y con una necesidad imperiosa del conocimiento de las bases y todo el soporte de un mundo de TI en el contexto cuántico.

Referencias

Aaronson, S. (15 de enero de 2015). *CERN. Quantum Computing and the Limits of the Efficiently Computable.* Obtenido de https://cds.cern.ch/record/1981892

Amin, M. (19 de noviembre de 2015). *Physical Review. Searching for quantum speedup in quasistatic quantum annealers.* doi:10.1103/PhysRevA.92.042303

Amit, G., Shabtai, A., & Elovici, Y. (2024). *IEEE. A Self-Healing Mechanism for Internet of Things Devices.* Obtenido de https://ieeexplore.ieee.org/document/9187198

Carpineti, A. (22 de diciembre de 2020). *Technology. New Quantum Computing Method Entangles Photons 100 Times More Efficiently Than Before.* Obtenido de https://www.iflscience.com/new-quantum-computing-method-entangles-photons-100-times-more-efficiently-than-before-58130

Dargan, J. (29 de diciembre de 2023). *The Quantum Insider. Quantum Computing Companies: A Full 2024 List.* Obtenido de https://thequantuminsider.com/2023/12/29/quantum-computing-companies/

DCD. (25 de enero de 2024). *Datacenter Dynamics. D-Wave anuncia computadora cuántica de 1.200 qubits.* Obtenido de https://www.datacenterdynamics.com/es/noticias/d-wave-anuncia-computadora-cuantica-de-1200-qubits/

D-Wave. (25 de Enero de 2018). *D-Wave Systems Inc.* Obtenido de https://www.dwavesys.com/sites/default/files/D-Wave%202000Q%20Tech%20Collateral_0718web.pdf

Google. (2024). *Google Quantum AI. Construcción de sistemas cuánticos escalables.* Obtenido de https://quantumai.google/research

King, A., Raymond, J., Lanting, T., Isakov, S., & Mohseni, M. (18 de febreo de 2021). *Nature Comunication. Scaling advantage over path-integral Monte Carlo in quantumsimulation of geometrically frustrated magnets.* Obtenido de https://www.nature.com/articles/s41467-021-20901-5

Law, M. (07 de noviembre de 2023). *Technology Magazine. Top 10: Quantum computing companies.* Obtenido de https://technologymagazine.com/articles/top-10-quantum-computing-companies

McGeoch, C. (2014). *Springer Link. Adiabatic Quantum Computation and Quantum Annealing.* Obtenido de https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-02518-1

Milenio. (06 de 12 de 2023). *UNAM, la primera institución académica en America Latina con computadoras cuánticas.* Obtenido de https://www.milenio.com/tecnologia/unam-adquiere-computadoras-cuanticas-es-la-primera-institucion-en-al

Millán, V. (2023). *ThinkBig Quantum Computing. Radiografía de la computación cuántica en 2024: qué empresas están empujando el próximo gran salto tecnológico.* Obtenido de https://blogthinkbig.com/radiografia-computacion-cuantica

Modern Physics. (2024). *Modern Physics. Uniones Josephson : Tecnología Cuántica, Aplicaciones y Avances.* Obtenido de https://modern-physics.org/uniones-josephson-tecnologia-cuantica-aplicaciones-y-avances/

Nowak, S. (18 de septiembre de 2024). *Nuclio. Computación cuántica: cómo funciona y qué son los ordenadores cuánticos.* Obtenido de https://nuclio.school/blog/computacion-cuantica-como-funciona-y-que-son-los-ordenadores-cuanticos/

Parra, F. (04 de diciembre de 2023). *Gaceta UNAM. Adquiere la Facultad de Ingeniería dos computadoras cuánticas.* Obtenido de https://www.gaceta.unam.mx/adquiere-la-facultad-de-ingenieria-dos-computadoras-cuanticas/

Ronnow, T., Wang, Z., & Troyer, M. (19 de junio de 2014). *Science. Defining and detecting quantum speedup.* doi:10.1126/science.1252319

Scarani, V., & Kurtsiefer, C. (17 de septiembre de 2014). *Inspire. The black paper of quantum cryptography: real implementation problems.* doi:10.1016/j.tcs.2014.09.015

Schneider, J., & Smalley, I. (05 de agosto de 2024). *IBM. What is quantum computing?* Obtenido de https://www.ibm.com/topics/quantum-computing

Stankevich, K., & Studenikin, A. (26 de noviembre de 2019). *Fisical Review. Neutrino quantum decoherence engendered by neutrino radiative decay.* doi:10.1103/PhysRevD.101.056004

Susskind, L. (27 de octubre de 2018). *Three Lectures on Complexity and Black Holes.* Obtenido de https://arxiv.org/pdf/1810.11563

TSTC en Vivo. (2024). *Explicación de la computación cuántica.* Obtenido de https://www.tstc.nl/nieuws/157

Yin, J., Li, Y.-H., & Liao, S.-K. (2020). *Nature. Entanglement-based secure quantum cryptography over 1,120 kilometres.* doi:10.1038/s41586-020-2401-y

Implementación de controles informáticos en Centro de Información del Tecnológico La Laguna

Jesús Fraire Espitia[1]
Instituto Tecnológico de La Laguna
Blvd. Revolución esquina Calzada Instituto Tecnológico de La Laguna
Torreón, Coahuila, México, C.P. 27000
legon1431@gmail.com

María Luisa Marín Monreal[3]
Instituto Tecnológico de La Laguna
Blvd. Revolución esquina Calzada Instituto Tecnológico de La Laguna
Torreón, Coahuila, México, C.P. 27000
marialuisa_monreal@hotmail.com

Iscander Armando Ramírez Castañeda[2]
Instituto Tecnológico de La Laguna
Blvd. Revolución esquina Calzada Instituto Tecnológico de La Laguna
Torreón, Coahuila, México, C.P. 27000
ixcander@gmail.com

Claudio César Pedroza Sifuentes[4]
Instituto Tecnológico de La Laguna
Blvd. Revolución esquina Calzada Instituto Tecnológico de La Laguna
Torreón, Coahuila, México, C.P. 27000
ccpedroza27@gmail.com

Armando Ruiz Arroyo[5]
Instituto Tecnológico de La Laguna
Blvd. Revolución esquina Calzada Instituto Tecnológico de La Laguna
Torreón, Coahuila, México, C.P. 27000
armando.ruiz.arroyo@gmail.com

Resumen

Frente a la necesidad de estandarizar actividades en un área administrativa, además de garantizar que el personal involucrado en los servicios a usuarios en el Centro de Información del Instituto Tecnológico de La Laguna obtenga información oportuna y adecuada, se propuso crear, diseñar e implementar un sistema con la herramienta informática Excel, para mejorar los controles y registros diarios de la biblioteca de la institución. Como resultado de la implementación, hubo una disminución de los tiempos para el manejo de los datos de los usuarios, dado que los registros, consultas y estadísticas se actualizaban desde el momento en que se ingresaba un dato; lo anterior, también permitió que el personal implicado mejorara la calidad de atención en sus servicios. Dicho proyecto se centró en las tareas de la Oficina de Servicios a Usuarios, impactando de manera directa en dos de sus responsabilidades, referidas al diseño y aplicación de mecanismos de préstamos y recuperación del material bibliográfico, así como el implementar y mantener actualizados sistemas para el control de los materiales existentes. La limitación más recurrente, fue del tipo tecnológica, ya que, al trabajar con equipos de cómputo de características diferentes, variaron el correcto funcionamiento en la implementación del sistema informático. Otra implicación tuvo que ver con la actualización en licencia o versiones de software, lo que influyó en la utilización adecuada de lo trabajado. La realización de este proyecto significó para el personal del Centro de Información, la obtención de mejores resultados al contar con controles y

datos estadísticos más eficientes en la operación diaria de la información, concluyendo que dio paso a mejorar la toma de decisiones estratégicas en beneficio de toda un área administrativa de servicios. Finalmente, hay que mencionar que la metodología utilizada fue la de fases de la gestión de proyectos de la guía Cuerpo de Conocimiento de Gestión de Proyectos (Project Management Body of Knowledge, PMBOK) del Project Management Institute (PMI).

Palabras Clave: sistema, controles, registros, estadísticas, gestión de la información, herramienta informática, estandarización.

Abstract

Faced with the need to standardize activities in an administrative area, in addition to ensuring that the personnel involved in user services at the Information Center of the Technological Institute of La Laguna obtain timely and adequate information, it was proposed to create, design and implement a system with the Excel computer tool, to improve the daily controls and records of the institution's library. As a result of the implementation, there was a decrease in the time for handling user data, since the records, queries and statistics were updated from the moment the data was entered; this also allowed the personnel involved to improve the quality of attention in their services. This project focused on the tasks of the User Services Office, directly impacting two of its responsibilities, referring to the design and application of loan and recovery mechanisms for bibliographic material, as well as the implementation and maintenance of updated systems for the control of existing materials. The most recurrent limitation was technological, since, when working with computer equipment with different characteristics, the correct functioning of the implementation of the computer system varied. Another implication had to do with the updating of licenses or software versions, which influenced the proper use of the work done. For the Information Center staff, the completion of this project meant obtaining better results by having more efficient controls and statistical data in the daily operation of the information, concluding that it led to improved strategic decision-making for the benefit of an entire administrative service area. Finally, it should be mentioned that the methodology used was that of the project management phases of the Project Management Body of Knowledge (PMBOK) guide of the Project Management Institute (PMI).

Keywords: system, controls, records, statistics, information management, computer tool, standardization.

Introducción

El presente proyecto titulado “Implementación de controles en Centro de Información del Tecnológico de La Laguna"**,** fue realizado considerando la problemática relacionada con los bajos controles en el registro y manejo de los datos de los usuarios, se detectó también que la forma de capturar la información no estaba estandarizada, implicando que se generaran inconsistencias en los registros capturados, derivando a su vez en tardanza en generar cifras de control a las diferentes autoridades institucionales. Si bien es cierto, los registros se controlaban en Excel, estos no se encontraban automatizados; identificándose así las áreas de oportunidad para desarrollar el proyecto, siendo el objetivo general el diseño e implementación de controles administrativos informáticos en el Centro de Información del Instituto Tecnológico de La Laguna.

La justificación del proyecto se generó ante la necesidad de innovación y mejora en las actividades y procesos en los que se observó la problemática, siendo necesario el diseño, elaboración e implementación de sistemas informáticos basados en Excel de Windows 365 (Ms Office) y que, una vez probado su funcionamiento, es que se agiliza y simplifican los procesos.

Para el diseño de los diferentes sistemas, se tomó en cuenta la experiencia, puntos de vista y sugerencias del personal operativo que interviene en los procesos, mediante reuniones periódicas. Se consideró homologar la captura de datos, mediante el diseño de los nombres de campos y formato de celdas, con la finalidad de que todo el personal estuviera familiarizado.

Para evitar inconsistencias, se tomó en cuenta la validación de datos mediante listas, en las cuales aparecen los nombres por ejemplo de la carrera y el mes, donde solo se selecciona la opción y se captura el campo; estas dos condiciones en el diseño de estructura de los sistemas fueron cruciales en todos los procesos desarrollados.

Descripción del problema

En el entorno laboral actual, las organizaciones buscan constantemente formas de mejorar el control de sus recursos materiales, financieros, humanos y sobre todo de la información que sustenta las mismas. Un factor que ha ganado atención en los últimos años es el uso de las herramientas informáticas en el lugar de trabajo. Sin embargo, una gran cantidad de entornos laborales en México aún no dan ese salto hacia el uso de los diversos recursos informáticos.

Muchas empresas mexicanas limitan el uso a la diversidad de recursos informáticos actuales, basándose en suposiciones sin fundamento científico de que estos solo son factores para la distracción e ineficiencia operativa. Esta prohibición podría estar privando a los trabajadores de una herramienta potencialmente valiosa para mejorar su rendimiento laboral.

La falta de estudios contextualizados en la realidad laboral mexicana dificulta que las organizaciones tomen decisiones informadas sobre la implementación de políticas relacionadas con el uso racional de recursos informáticos y de internet al interior de los trabajos. Además, el desconocimiento de las potencialidades específicas de recursos informáticos en diferentes tipos de tareas y entornos laborales impide su uso estratégico para incrementar sus beneficios.

Esta investigación busca demostrar que el uso adecuado de alguno de estos recursos informáticos en un área administrativa mejorará significativamente el desempeño laboral de sus participantes. Se pretende proporcionar evidencia científica que pueda orientar a las instituciones educativas en la toma de decisiones sobre el uso racional de herramientas ofimáticas como recurso para mejorar la productividad y el bienestar de los empleados.

Al comprender mejor cómo las herramientas ofimáticas afectan factores como la automatización y el rendimiento en diferentes tipos de tareas, este estudio podría sentar las bases para el desarrollo de futuras estrategias para la implementación de más controles operativos en los Centro de Información pertenecientes al Tecnológico Nacional de México.

Propósito

El objetivo del proyecto del cual habla el presente artículo, es la implementación de un sistema informático basado en hojas de cálculo y utilizando macros, con el fin de automatizar y optimizar la administración de los procesos y los servicios que se ofrecen en el Centro de Información, reduciendo los tiempos de espera en la atención hacia los usuarios ya que directamente se estarían simplificando y agilizando las actividades del personal operativo, así como la obtención oportuna de los controles que sirvan de base para los procesos que dicha área de servicios tiene que reportar hacia instancias externas.

Limitaciones del estudio

A pesar de la relevancia e impacto de esta investigación sobre el uso de recursos informáticos en un área de servicios, es necesario reconocer ciertas limitaciones inherentes al estudio:

Limitaciones tecnológicas: Debido a que, al interior del Centro de Información, se trabaja con diverso equipo computacional y, por ende, las características de desempeño y rendimiento varían en el correcto funcionamiento en la implementación del sistema informático.

Actualizaciones: De igual manera, cada cierto tiempo, los diversos equipos computacionales necesitan instalar una actualización de software, por lo que en ocasiones es común que la licencia del Office necesite volver a activarse, repercutiendo en la utilización adecuada de lo trabajado.

Antecedentes

Derivado de la suspensión de actividades generalizada en las instituciones educativas de todos los niveles académicos originado por la pandemia del virus Covid-19, y según datos recabados por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), fue en el mes de abril 2020 que más del 90 % de los estudiantes en modalidad presencial a nivel mundial se vieron afectados por la suspensión. Esta drástica medida generó la necesidad de que todos los involucrados, incluyendo directivos, docentes y estudiantes, buscaran y se adaptaran a nuevas alternativas para los procesos tradicionales de enseñanza, lo que obligó a transitar hacia una modalidad virtual apoyada en herramientas y plataformas de educación a distancia, transición que impactó en todos los sistemas educativos a nivel mundial (IESALC-UNESCO, 2020).

La modalidad académica en línea durante la crisis sanitaria se desarrolló a través de los medios digitales, quienes tuvieron un papel trascendental. Este cambio, por supuesto, exigió el esfuerzo de los profesores y trabajadores para adaptar programas, metodologías e instrumentos de evaluación, lo que también demandó un proceso constante de reflexión sobre los aspectos académicos y los recursos tecnológicos disponibles en cada contexto (García Aretio, 2021).

Para Elbashir & Hamza (2022), la tecnología ha cambiado la forma de vivir de las personas, así como su comportamiento. Por ende, en el contexto educativo, se ha dado la evolución de nuevos modelos de trabajo en estos entornos y que siguen integrando a la tecnología en su interacción.

En este sentido, el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TICs) y las herramientas virtuales en la educación benefician la generación de conocimientos en entornos y en aplicaciones para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, causando un impacto importante en el aprendizaje y la calidad de la educación (Milá et al., 2022).

Considerando que, dentro del proyecto, una de las ideas principales, es automatizar los procesos que forman parte de los servicios que se ofrecen en el Centro de Información; es importante conocer los diferentes conceptos que intervienen en el presente trabajo, tales como base de datos, hoja de cálculo, macro, eficiencia y estandarización.

Para Pérez & Merino (2022), la Automatización se refiere al uso de sistemas o controladores para operar y controlar diferentes procesos con mínima intervención humana, en otras palabras, la automatización busca aumentar la eficiencia, la productividad y la calidad al reducir errores y tiempos de ejecución.

Según López (2021), una base de datos es un software informático que permite almacenar grandes cantidades de información, esto lo hace de una forma organizada y accesible para su

futuro uso, es decir, que la información esté al alcance de la persona y de igual forma se encuentre ordenada. Este sistema de almacenamiento de datos permite realizar búsquedas o ingresar nueva información de una manera sencilla y rápida desde un ordenador.

Respecto a lo que es una hoja de cálculo, la Editorial Etecé (2023) la cataloga como una herramienta electrónica que ayuda a manejar datos numéricos, así como darles operaciones o usos lógicos y que está compuesto por filas y columnas en una tabla, comúnmente operada desde la aplicación ofimática de Excel.

Respecto a lo que es una Macro, ésta se define como una serie de instrucciones que se almacenan para que se puedan ejecutar de manera secuencial mediante una sola llamada u orden de ejecución." (Human Capital Site, 2020, párr 1).

Según Cárdenas (2023), la eficiencia es la capacidad que tiene una persona o alguna herramienta de lograr los objetivos marcados y dar más de lo necesario; sería como cumplir la ley de oro de la administración "máxima calidad mínimo esfuerzo" por lo que se resumiría como hacer más producto con menos material.

Según la Secretaría de Economía, "la estandarización es la que permite la creación de normas o estándares que establecen las características comunes con las que deben cumplir los productos y que son respetadas en diferentes partes del mundo." (Gobierno de México. 2015, párr 1).

Desarrollo

El presente estudio se basa en una investigación con un propósito aplicativo, al diseñar e implementar un sistema funcional para atender las necesidades detectadas. La investigación realizada fue de campo, debido a la información proveniente de las entrevistas y observaciones emitidas por las personas que laboran en el Centro de Información. De las 11 personas que laboran en el mismo, solo participaron 8 personas en el proceso indagatorio: 7 de la oficina de servicios a usuarios y 1 de la oficina de servicios especializados.

La metodología para la dirección de este proyecto de mejora fue dividida según la implementación de las fases de la gestión de proyectos de la guía Cuerpo de Conocimiento de Gestión de Proyectos (Project Management Body of Knowledge, PMBOK) del Project Management Institute (PMI), las cuales incluyeron: Inicio del proyecto, Planificación del proyecto, Ejecución del proyecto, Seguimiento y control, y Cierre del proyecto.

En la primera fase, que es el Inicio, se definieron los requisitos generales de funcionalidad para las diversas operaciones a diseñar; en la segunda fase, la de planificación, se definieron las

sesiones para definir lo que debería contener cada módulo a desarrollarse; en la tercera fase, la de ejecución, se diseñaron las diversas interfaces junto con sus funcionalidades; en la cuarta fase, la de seguimiento y control, se hicieron pruebas y ajustes según las observaciones que detectó el personal operativo; en la quinta fase, la de cierre del proyecto, se distribuyó cada una de las interfaces finales a los equipos de cómputo en donde estaría operando.

El sistema desarrollado aportará un mejor control de usuarios, además del registro de los vales emitidos en el Centro de Información, por los conceptos de donación de tesis, aportación de libro de titulación y no adeudo, desarrollados bajo el ambiente de trabajo del programa de Excel.

Considerando los controles que antes se llevaban manualmente, se analizó cómo mejorar los procesos y contar con datos estadísticos y gráficos; este estudio de la problemática se realizó en conjunto con el personal operativo, de lo cual se determinó, tomando en cuenta su experiencia en la actividad, diseño, elaboración e implementación del sistema. De lo anterior se desprende que, en el semestre julio - diciembre de 2023, se elaboró un sistema en Excel, que contenía una hoja por cada uno de los tres conceptos, por cada mes; lo que hacía 18 hojas de trabajo, más una hoja que contenía los concentrados y gráficos.

Control de vales, inicia con una hoja donde se diseñó una interfaz para facilitar la navegación entre las diferentes opciones, se diseñaron botones de control a los que se les asignaron vínculos, que llevan a navegar de forma ágil y sencilla a las diferentes hojas de trabajo por cada mes. Para procesar los registros, cifras y gráficos, se detectó que había inconsistencia en la forma de captura de los datos, siendo abreviada, con y sin acentos o iniciales de carrera; por lo que, al realizar alguna operación con fórmulas para los resúmenes y gráficos, la contabilización de los valores no se realizaba de forma correcta, ya que los registros de referencia en las fórmulas condicionadas no eran considerados por Excel, por no haber coincidencia, afectando la certeza de la información acumulada y a su vez concentrada en los diversos informes.

En base a lo anterior, se consideró en el diseño de la hoja de cálculo, que, en los campos es necesario capturar información específica, se validaran los datos con una lista desplegable, en el campo Concepto y en el de Especialidad; de esta forma, el campo no permite capturar datos que no coincidan con la lista de la validación, eliminando la problemática que se presentaba.

A fin de contar con mejor acceso en la consulta de los diferentes registros y a diferencia en la forma de realizarlo anteriormente con una hoja de trabajo por cada concepto, ya fuera vale de no adeudo, donación de tesis y aportación de libro de titulación; con tres consultas diferentes, se incluyó en la base de datos única por mes, un filtro en el control que, al momento de la consulta de un nombre o apellido, devuelve los registros capturados. En este sistema se adiciona un

recuadro, en el cual se muestran las cifras acumuladas, desde el momento en que se captura un registro, agregando a la administración de la información de forma oportuna.

Sistema de control de acceso a usuarios.

En una primera hoja, se puede mostrar la interfaz de control, por medio de la cual se puede acceder a todas las opciones de trabajo de cada uno de los meses del año 2024, así como a los datos estadísticos por cada uno de los semestres enero – junio y julio – diciembre; también contiene un acumulado del año.

En la hoja de registro de usuarios que acuden al Centro de Información con la finalidad de hacer uso de los servicios y sus instalaciones, se registran:

- ✓ **Género:** Se captura el género del usuario.
- ✓ **No de Control:** Captura el número de control del usuario, estudiante de Instituto Tecnológico de La Laguna, en su caso los de la identificación que presente. INE de preferencia.
- ✓ **Carrera:** A fin de evitar inconsistencias en la captura del nombre de la carrera, este campo se valida con una lista de datos y que contiene las diferentes opciones de carrera, maestría y doctorado; de esta manera, se elimina la posibilidad de capturar datos distintos.
- ✓ **Fecha:** Aquí se detalla el día del mes en curso.
- ✓ **Locker No.:** En este campo, se registra el No. de la llave que se entrega al usuario y corresponde al locker que utilizará para guarda de sus pertenencias.

Cuenta con un botón “Registra”, con una macro asignada, misma que realiza una rutina de adicionar a la base de datos el registro del usuario en proceso de captura. En la misma opción, se encuentran ya reflejados los datos acumulados del mes, mostrando un recuadro en el que se concentra el resumen de los usuarios registrados por género, un desglose y gráfico por carrera.

Sistema de control de acceso a salas de estudio

El sistema referido, cuenta con una interfaz amigable para navegar por las diferentes opciones. Debido a los procesos automatizados que se incorporan, es que desde el momento que se concluye con el registro de un usuario, los controles se actualizan.

Lo anterior, refleja un impacto en la mejora en la administración del proceso y en la oportunidad de contar con datos estadísticos, ya que antes de que se diseñara e implementara el presente sistema, el proceso de consolidación de datos se llevaba a cabo de forma manual siendo más significativo el tiempo necesario para llevarla a cabo.

En el proceso de registro de los usuarios que solicitan acceso a salas de estudio, en los campos de captura de datos, se indica la **fecha**, misma que se diseñó con un formato que incluye la fecha y hora de entrada, todos los usuarios se registran, siendo esta una constante que toma el valor de otra celda con el formato especial, por lo que no hay necesidad de capturar ningún dato.

A continuación, el **nombre** del usuario, con sus datos personales; en seguida el **género**; posteriormente **No. de control** del estudiante que solicita el servicio; **Carrera,** este es un dato importante y es validado con una lista. Posteriormente, se registra el número de la **sala** que solicitan o se encuentre disponible para su uso; **Mes** de proceso, también dato importante ya que los procesos automatizados de Excel se condicionan, ya sea por género, carrera y el propio mes.

En la parte baja de la hoja, se encuentra la base datos donde se acumulan los registros de los usuarios que acceden al servicio y son el pilar para construir la información acumulada.

Control de préstamo de libros.

Al igual que los otros sistemas de control, el de Control de libros, se diseñó con botones a los que se les asignó vínculos, que permiten al usuario navegar por las diferentes opciones de forma ágil.

Captura registros, en la hoja de trabajo, se encuentran las celdas de captura del registro, con los siguientes campos: **Fecha préstamo**, aquí, mediante el formato que incluye la hora, misma que se refleja de otra celda mediante una fórmula, siendo la hora del sistema y que se actualiza cada ocasión que se adiciona a la base de datos un registro, se modifica la hoja de trabajo o el propio libro de Excel.

Los datos personales del usuario que solicita el préstamo, tales como su **Nombre, Género y No. de Control. Especialidad o carrera,** este campo permite cuantificar la información que a su vez genera los gráficos que reflejan el comportamiento por carrera cual es la que solicita más préstamos.

Los datos específicos del título como **Nombre** y **Autor** permiten identificar el ejemplar otorgado en préstamo que se comprueban al momento de la devolución. **Fecha devolución,** en esta celda se registra el día en que es devuelto el libro y en su caso determinar si ha excedido el plazo que se otorga. **Adeudo importe,** una vez evaluada la fecha de devolución y si se determina haber excedido la fecha, se hace el cálculo según los días y registra el importe.

Se cuenta con un botón **Registra,** que adiciona el registro a la base datos mediante una macro, tales registros sirven de antecedente para consolidar los datos y generar gráficos.

Consulta, la base de datos cuenta con un filtro, que sirve de herramienta de consulta, pudiendo elegir el campo que se desee, un ejemplo es, por número de control, al hacerlo, la consulta,

despliega todos los registros que contengan el campo consultado, lo cual es muy útil, ya que se visualiza todo, pudiendo analizar la información; a diferencia de utilizar la función Control + B, ya que esta devuelve solo un registro y hay que ir avanzando al siguiente registro, pulsando “siguiente”, por lo que puede no ser la más apropiada para la actividad.

En el apartado de estadísticas, es posible consultar los datos agrupados por género, resumen y gráfico, permitiendo el análisis de la información obtenida.

En la sección estadística, se muestra el resumen de usuarios por carrera, los totales acumulados en el semestre, así como los gráficos correspondientes, donde se aprecian los datos más representativos, llamando la atención los casos donde los préstamos presentan niveles mínimos.

En el sistema se puede ubicar al navegar, una hoja de trabajo para el semestre julio – diciembre, incluyéndola, a fin de contar con las cifras y gráficos del año 2024 y se pueda estar en posibilidad de analizarla, comparar o contrastar de la forma que se desee y así, sirva de herramienta para la toma de decisiones, planeación estratégica, financiera, etc.

Controles de usuarios de locker de moneda

En la sección donde se administra el control de usuarios de locker de moneda, se diseñó e implemento a fin de considerar a los usuarios que prefieren esta opción.

Como en los diversos sistemas de control, es posible trasladarse a las diferentes opciones mediante vínculos siendo amigable para el usuario.

Captura de usuarios

En esta instancia, se incluyen también los campos de **Género** y **Carrera** se optó como en los diversos controles, validalo con una lista que contiene la relación de las diferentes carreras, de donde se selecciona una opción.

El proceso de captura de un **registro** se realiza mediante el botón Registra**,** por medio de una *macro* que lleva a cabo el proceso de adicionar los campos a la base de datos.

En la hoja de trabajo se puede apreciar los datos desglosados y el total por género en el semestre. Se encuentra también la información al detalle por carrera; reflejando ambos datos el comportamiento de la asistencia, se muestra los datos graficados por carrera, lo que permite con otra visión dimensionar y analizar los datos obtenidos.

Sistema de encuesta de evaluación préstamo de libros.

Para estar en condiciones de evaluar la calidad en la prestación de servicios y atención a usuarios, una herramienta para determinar los conceptos, son las encuestas de salida; por lo que

el Centro de Información del Instituto Tecnológico de La Laguna cuenta con formatos institucionales diseñados para tal efecto.

Es relevante, estar en condiciones de conocer cómo es que un usuario evalúa el servicio que recibe, por lo que es importante recabar la información que permita medir los alcances del servicio prestado; una herramienta importante son las ***encuestas***, siendo las de ***salida*** una de las más significativas; estos mismos datos sirven de base para la toma de decisiones y considerar llevar a cabo un proceso de mejora continua.

Para el Centro de Información es importante conocer el sentir de todos los usuarios que acuden a utilizar los diversos servicios. Es por eso que, desde semestres anteriores, se diseñó una encuesta relacionada para el préstamo externo de libros por medio de una papeleta que contiene 6 preguntas con 4 opciones de respuesta; para el análisis de la información contenida en la encuesta, el conteo se hacía de forma manual, lo que hacía que el proceso se extendiera.

Por lo anterior, se analizó el proceso, la forma de llevarlo a cabo, las preguntas, la información que se obtiene, el cómo consolidarla y graficarla; se diseñó, elaboró e implementó un sistema para la captura de la información, buscando simplificar y agilizar el proceso, con oportunidad en la obtención de datos y gráficos desde el momento en que se captura un registro. En la interfaz de control de opciones, se muestran los iconos para acceder a capturar datos de las encuestas recibidas para cada uno de los semestres ya sea enero – junio, así como julio – diciembre 2024.

Captura de campos

Aquí se muestra de inicio, la captura de carrera, la que se valida con una lista de datos, donde aparecen las diferentes opciones, no permitiendo la celda capturar datos diferentes, evitando generar inconsistencias. En la lista de validación se incluye la nueva oferta académica para el semestre julio – diciembre de 2024 que es la de Ingeniería en Semiconductores. También cuenta con dos iconos, el primero, con dos manos y el símbolo de una base de datos, contiene la macro que ejecuta una serie de instrucciones que permiten adicionar el registro a la base de datos y devuelve el cursor al campo de carrera para iniciar captura de valores de otra encuesta.

Captura de respuestas

En esta opción se muestra la carátula de captura de respuestas con las cuatro opciones posibles, mismas que se despliegan y validan con una lista de datos, lo que hace que la celda no acepte respuestas diferentes, este proceso permite llevar a cabo el conteo de las respuestas y a su vez generar los gráficos, sin posibilidad de que se excluya una respuesta.

Este proceso es amigable tanto para el usuario que responde una encuesta, como para quien recaba la información; como en anteriores sistemas, la información que se procesa es automatizada y, por tanto, como ya se mencionó, solo hace falta capturar un registro y enseguida se actualiza toda la información, solo es necesario ir a la sección correspondiente, recabar los productos y entregarlos en el momento que se solicite por la autoridad que lo requiera.

Resumen y gráficos enero – junio y agosto – diciembre 2024

En estas opciones, se consolidan los datos del total de los registros que incluye las opciones de las seis preguntas que contiene la encuesta, de manera visual, numérica o un gráfico. Además, es posible analizar la información e identificar las áreas de oportunidad que los usuarios proporcionan con sus valoraciones en la encuesta de salida.

Ventajas de los Sistema de vales

Este formato resulta práctico al ya no tener necesidad de elaborar una hoja de cálculo por cada concepto de vale, además de que al contar con un estudiante que tenga ya capturados los tres conceptos y al detallarse los tres o tal vez más, si hubiera una duplicidad o inconsistencia en la captura; al llevar a cabo la consulta, el sistema nos devuelve la oportunidad de detectar la o las inconsistencias y corregirlas. En el recuadro de Resumen, refleja la cantidad de vales extendidos por cada concepto, contiene un gráfico con los datos acumulados, en este proceso de gráfico de barras, refleja un comportamiento de la actividad; se diseñó y pensó en incluir uno, ya que proyectarlo o presentarlo en impresión, es mayor el impacto visual para comparar o dimensionar la actividad.

Filtro por No. de control

El control de los datos mediante filtros se convierte en una herramienta importante que agiliza la consulta, disminuyendo el tiempo del proceso y agregando calidad en el servicio. En la administración de la información cualquier campo puede ser instrumento de consulta, la diferencia es que, unos son en forma generalizada y otros como en *número de control* es único, por lo que se sugiere que sea este el campo de referencia para efecto de una consulta.

Desglose de información

Considerando que los datos administrados de forma institucional en el Tecnológico Nacional de México, así como en el Instituto Tecnológico de La Laguna**,** son manejados de forma bimestral; es así el porqué, todos los sistemas de control se diseñaron en semestre por separado, cada uno con sus datos estadísticos, adicionando a estos, un acumulado anual por el año 2024; sirve para

contrastar el comportamiento a lo largo de los dos semestres; pudiendo analizar la información, por mes, bimestre o semestralmente; donde se encuentran las crestas y valles de los datos.

Botón de Inicio

En todos los sistemas y en cada una de las hojas de trabajo, se incluye este botón que permite al usuario, mediante un vínculo, regresar a la interfaz de control donde se encuentran las diversas opciones facilitando la navegación para la administración y análisis de la información.

Resultados

El presente estudio, sirvió como herramienta para la toma de decisiones en la operatividad del área de servicios como lo es el Centro de Información institucional. Una vez que se diseñó, elaboró, instaló y se probaron los sistemas en los diferentes procesos, tomando en cuenta que los procesos se automatizaron, las actividades se simplificaron y se hicieron más eficaces, como ejemplo tenemos la captura, consultas, cifras y gráficos.

Como resultados directos obtenidos del proyecto, se puede destacar lo siguiente:

- ✓ Mejor control en el registro de los usuarios que acuden al Centro de Información a utilizar sus servicios, reduciendo los tiempos de espera y otorgando calidad en el servicio. En este sentido, se aprecia de una mejor manera los resúmenes numéricos por género, así como los acumulados y totales por carrera; además, se logró reducir las hojas de trabajo, de seis a solo una por semestre, reduciendo los tiempos de espera en un 60%; siendo el beneficio más significativo la obtención de información en tiempo real, que en contraste a controles anteriores requería de dos jornadas laborales en promedio.



Figura 1. Sistema de Control de Acceso a Usuarios. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Acumulado y totalizado por mes y semestre. Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Mejoría en el Control de Vales usados en el Centro de Información, ya que este proceso tiene una parte fundamental en vías de los periodos de titulación de los egresados.

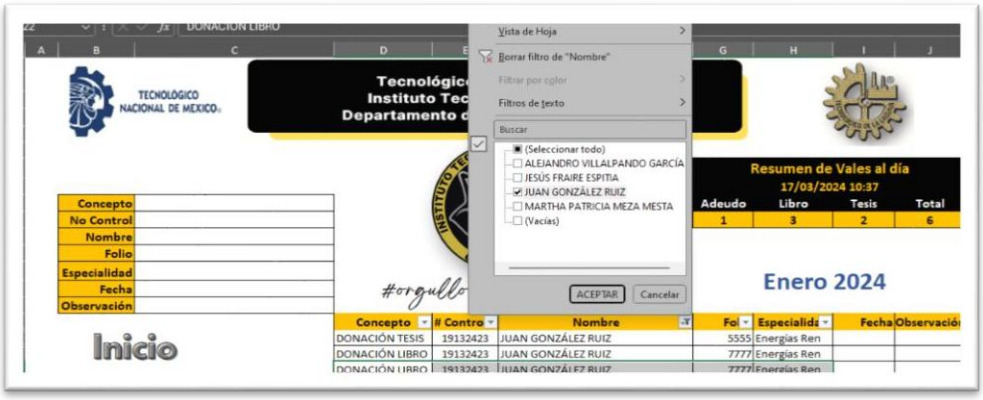


Figura 3. Interfaz de la operación en sistema de Control Estadístico de Vales. Fuente: Elaboración propia.

```
=CONTAR.SI($D$16:$D$411,"Donación Tesis")
```

Figura 4. Fórmula 1. Fuente: Elaboración propia.

```
=CONTAR.SI($D$16:$D$411,"No Adeudo")
```

Figura 5. Fórmula 2. Fuente: Elaboración propia.

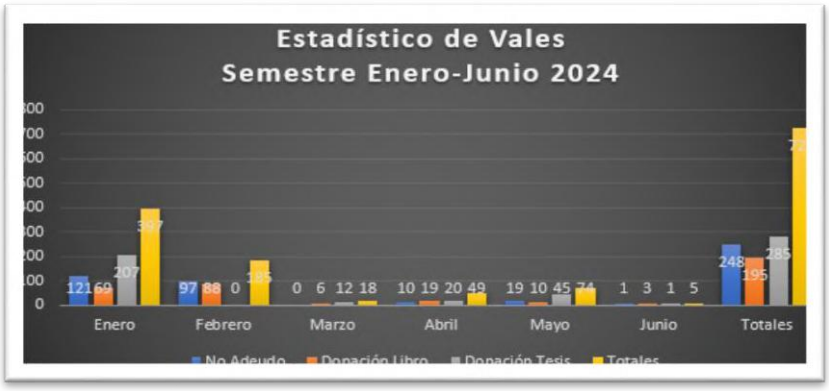


Figura 6. Control del uso de vales. Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Control en relación a los locker de moneda utilizados al interior del Centro de Información, y con ello, un mejor manejo de la logística y datos capturados por el personal administrativo.



Figura 7. Control y estadísticas de usuarios locker de moneda. Fuente: Elaboración propia.

- ✓ En cuanto al control de las salas de estudio, con el sistema ahora se puede medir la frecuencia de uso de cada una de ellas.

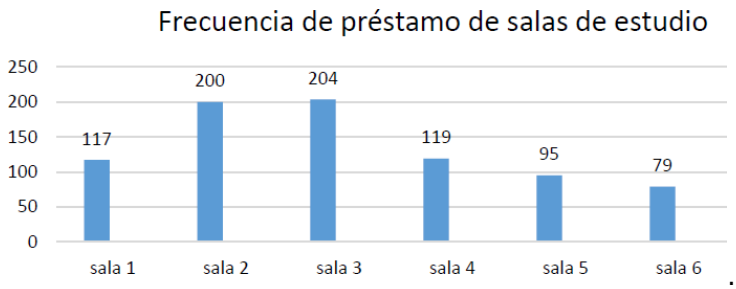


Figura 8. Ejemplo de medición de uso del control de salas de estudio. Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Respecto al servicio y evaluación de préstamos de libros, se tiene una mejoría en si visualización y control.



Figura 9. Interfaz de encuesta de servicio para estudiantes. Fuente: Elaboración propia.

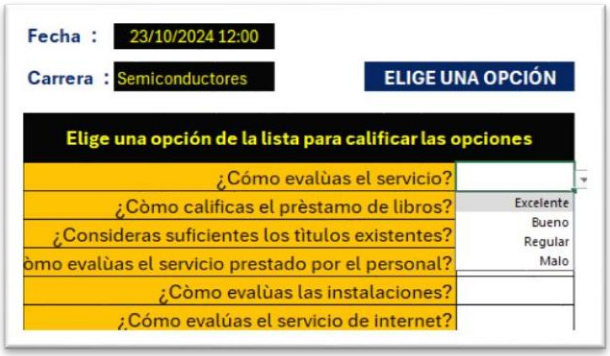


Figura 10. Cuestionario de la encuesta de servicio. Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Control estadístico de encuestas después de un préstamo de libro. Fuente: Elaboración propia

Finalmente hay que mencionar que el diseñó realizado para cada interfaz, genera estadísticas al momento en que se captura un registro. Con esta nueva forma de ver los datos, se pueden tomar mejores decisiones estratégicas para intervenir a tiempo en resolver un procedimiento al interior del Centro de Información y, según sea el caso, con apoyo de otras áreas, incrementar el número

de usuarios ya sea mediante la planeación de algún foro académico o de vinculación para así permitir incrementar la formación integral de la comunidad estudiantil.

Conclusiones

De manera general, una vez implementado cada uno de los sistemas para atender los procesos al interior del Centro de Información, quedó comprobado que se mejoró la calidad en la prestación de los servicios, así como la obtención de productos que resumen los datos estadísticos y gráficos de la actividad de usuarios en el Centro de Información, sirviendo así a la oportuna toma de decisiones. Como se menciona en el apartado Resultados, se redujo el tiempo de espera para los usuarios, pero sobre todo se destaca que, para la consulta de nueva información, se reduce el tiempo invertido, de dos jornadas de trabajo a menos de dos minutos, ya que antes se contabilizaban manualmente los registros en cada procedimiento y ahora el nuevo sistema lo calcula automáticamente y sin errores humanos, quedando resuelta la inconsistencia de tener diferentes tipos de datos capturados y que no eran contabilizados para los registros. Debido a esto, el personal termina rápidamente con los datos y puede dedicarse a otras actividades administrativas; así mismo, es el mismo estudiante quien observa el rápido servicio que se le brinda al interior del Centro de Información.

El uso de las fórmulas y macros permitió automatizar y estandarizar la administración de los procesos internos del área de atención y servicio a usuarios; por lo que la contribución del trabajo para esta implementación de herramientas ofimáticas, contribuye a alcanzar esa innovación tecnológica y mejorar la imagen que requería el desempeño al interior del Centro de Información, dando pie a seguir observando, proponiendo y mejorando aquellas áreas de oportunidad que se vuelvan a presentar con el fin de hacer reingeniería nuevamente para mejorar la forma de administrar y controlar la información pertinente para seguir dando un servicio de calidad.

Referencias

Cárdenas, F. (2023, 20 de enero). Eficiencia y eficacia: diferencia y ejemplos de aplicación. Recuperado e 23 de octubre de 2024. https://blog.hubspot.es/sales/eficiencia-y-eficacia

Editorial Etecé.(2023, 19 de noviembre) Hoja de cálculo. Recuperado el 22 de octubre de 2024. https://concepto.de/hoja-de-calculo/

Elbashir, R. M., & Hamza, S. M. A. (2022). The impact of virtual tools on EFL learners' performance in Grammar at the times of COVID 19 Pandemic. *Journal of University Teaching and Learning Practice*, *19*(3).

García Aretio, L. (2021). COVID-19 y educación a distancia digital: preconfinamiento, confinamiento y posconfinamiento. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia, 24*(1), 09-32. https://doi.org/10.5944/ried.24.1.28080

Human Capital Site. (2020, 11 de agosto). ¿Qué es un macro? Recuperado el 23 de octubre del 2024. https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-una-macro-human-capital-site-soluciones-integrales-en-rh-it

IESALC-UNESCO. (2020). *COVID-19 y educación superior. De los efectos inmediatos al día después. Análisis de impacto, respuestas políticas y recomendaciones*. Documentos de trabajo. https://www.iesalc.unesco.org/wp-content/uploads/2020/04/COVID-19-070420-ES-2-1.pdf

López, M. (2021, 07 de octubre). Base de datos ¿Qué es y para qué sirve? Recuperado el 22 de octubre del 2024. https://immune.institute/blog/base-de-datos-que-es-usos/

Milá Pascual, M. de la C., Torres Milá, I., & Aties López, L. (s. f.). La utilización de herramientas virtuales y su relación con el proceso educativo. *XIX Congreso de la Sociedad Cubana de Enfermería 2022*

Pérez, J. & Merino, M, (2022, 25 de mayo). “Automatización - Qué es, definición, surgimiento y ventajas”. Actualizado el 25 de mayo de 2022. https://definicion.de/automatizacion/

Secretaría de Economía. (2015, 30 de diciembre) ¿Qué es la estandarización? Recuperado el 23 de octubre del 2024. https://www.gob.mx/se/articulos/que-es-la-estandarizacion

Modelo Preventivo para Reducir Niveles de Ansiedad y Depresión en Estudiantes

Meré Juárez José Ángel [1]
Instituto Tecnológico de la Laguna
Torreón, Coahuila, México, C.P. 2700
angelmere18@hotmail.com

Resumen:

En este artículo se propone un modelo preventivo basado en el desarrollo humano para reducir niveles de ansiedad y depresión en estudiantes. Los estudiantes muestran mejoras en el bienestar emocional, lo cual refleja una disminución significativa en sus niveles de ansiedad y depresión. Es necesario contar con un equipo de apoyo multidisciplinario para implementar este modelo en contextos más amplios. Este enfoque preventivo integra el desarrollo humano con la intervención psicológica temprana. Los resultados indican que el modelo contribuye a mejorar el bienestar integral de los estudiantes y es aplicable en contextos similares.

Palabras clave: Desarrollo humano, ansiedad, depresión, modelo preventivo, salud mental, bienestar estudiantil, intervención temprana.

Abstract:

This article proposes a preventive model based on human development to reduce levels of anxiety and depression in students. Students show improvements in emotional well-being, reflecting a significant decrease in their levels of anxiety and depression. A multidisciplinary support team is needed to implement this model in broader contexts. This preventive approach integrates human development with early psychological intervention. The results indicate that the model contributes to improving the overall well-being of students and is applicable in similar contexts.

Keywords: human development, anxiety, depression, preventive model, mental health, student well-being, early intervention

Introducción

La ansiedad y la depresión son problemas crecientes entre estudiantes universitarios, afectando su bienestar emocional y rendimiento académico. Marian Rojas Estapé sostiene que "*la salud mental depende, en gran medida, de la gestión de nuestras emociones y el autocuidado*" (Estapé, 2018). En este contexto, el enfoque del desarrollo humano se convierte en una herramienta eficaz para prevenir y mitigar estos trastornos, promoviendo un equilibrio integral en los estudiantes.

La presente investigación pretende dar a conocer la importancia del Desarrollo Humano como modelo Preventivo para reducir niveles de ansiedad y depresión en un grupo de estudiantes del Tecnológico de La Laguna de la ciudad de Torreón, Coahuila. Las habilidades blandas son un grupo de competencias y destrezas relacionadas con la inteligencia emocional que facilitan una interacción más efectiva entre las personas y, en el contexto universitario, potencian el rendimiento académico. Estas habilidades blandas se desarrollan mediante el acompañamiento o tutoría en proyectos o estrategias que implican colaboración, trabajo en equipo, toma de decisiones para la resolución de problemas, así como las actividades extracurriculares que contribuyen al desarrollo de habilidades como la comunicación, la gestión del tiempo y el estrés.

Factores de riesgo

Los factores de riesgo en los estudiantes son violencia, ansiedad, depresión, adicciones y suicidio. En la figura 1 se representa el caso de una persona con ansiedad y en la figura 2 a una persona con adicción.

Factores de protección

La relevancia de la educación, la formación integral, el arte y el desarrollo humano radica en su capacidad para prevenir la ansiedad. Estos elementos favorecen la creación de mecanismos y hábitos que integran la inteligencia, la motivación y la acción. Además, se centran en el disfrute individual y en las relaciones interpersonales; promueven el esfuerzo tanto personal como grupal para alcanzar objetivos; entrenan en el aplazamiento de gratificaciones asimismo contribuye a interiorizar la existencia de normas. De esta forma, fomentan competencias personales y morales caracterizadas por una mayor autoestima, que se reflejan en una mayor autoconfianza y un ajuste más positivo. Esto contribuye a desarrollar competencias esenciales para la vida personal y profesional.



Figura1. Dibujo de la a persona con ansiedad



Figura2. Dibujo de persona con adicción.

Metodología

Se empleó una metodología enfocada en el desarrollo de habilidades personales:

1. Talleres de autoconocimiento y manejo del estrés permiten a los estudiantes fortalecer su autoconfianza y enfrentarse a los desafíos académicos con mayor resiliencia.
2. Técnicas de gestión y regulación emocional. El Dr. David Hawkins destaca que "*la elevación de nuestra conciencia emocional puede llevarnos a un estado de paz y salud mental*" (Hawkins, 2004).
3. Se utilizan herramientas psicométricas para evaluar los niveles de ansiedad, depresión y autoestima:

    - **Inventario de Ansiedad y Depresión de Beck**

    Los inventarios de ansiedad y depresión de Aaron Beck son herramientas ampliamente utilizadas en el ámbito de la salud mental. A continuación, se describen ambos instrumentos, incluyendo su propósito, estructura, puntajes, y unidades de medida.

Caso de Estudio: Desarrollo de Habilidades Blandas en Estudiantes de Energías Renovables

El grupo que participó en esta investigación está conformado por 30 estudiantes de la carrera de Energías Renovables, de los cuales 9 son mujeres y 21 hombres, con edades comprendidas entre los 18 y 21 años. Los estudiantes de este grupo se muestran en la Figura 1.



Figura 1. Grupo de la carrera de Ingeniería en Energías Renovables.

Se realizaron diferentes actividades recreativas como la asistencia al Jardín Etnobiológico en Viesca, Coahuila (Figura 2).



Figura 2. Visita al Jardín Etnobiológico en Viesca, Coahuila.

Así mismo, los alumnos del taller participan en las actividades deportivas de voleibol y básquetbol obteniendo el primer lugar en ambas competiciones, quedando bicampeones (Figuras 3 y 4).



Figura 3. Campeones en voleibol



Figura 4. Campeones en básquetbol

También participaron en un taller de yoga, con el fin de desarrollar la habilidad de mantener un balance entre el bienestar físico y emocional, así como a relajarse y disminuir el estrés.



Figura 5. Sesión de meditación y yoga en el Bosque Venustiano Carranza.

Además, asistieron a talleres especiales como platica con la Sexóloga Valeria Salazar (Figura 6) y al taller Implementación de habilidades enfocadas al éxito académico y personal (Figura 7).



Figura 6. Terminando sesión con la Sexóloga Valeria Salazar en el Centro de Información del Tec Laguna.



Figura 7. Estudiantes de la carrera de Energías Renovables en el Taller "Implementación de habilidades enfocadas al éxito académico y personal".

Durante el semestre se le dio seguimiento al nivel de ansiedad y depresión aplicando el Inventario de Beck (1961), así como al nivel de autoestima aplicando la Escala de Autoestima de Rosenberg (1965).

Inventario de Depresión de Beck (BDI)

Se basa en la teoría cognitiva de la depresión, que establece que los pensamientos negativos y las interpretaciones distorsionadas de la realidad contribuyen a la aparición y mantenimiento de este trastorno. Consta de 21 ítems, cada uno relacionado con un síntoma específico de la

depresión, como el estado de ánimo triste, la pérdida de interés, los sentimientos de culpa, la dificultad para dormir, entre otros.

Puntaje: Cada ítem tiene un rango de respuestas de 0 a 3, donde el puntaje total varía entre 0 y 63. A mayor puntaje, mayor es la gravedad de los síntomas depresivos.

Interpretación de puntajes:

0-13: Mínima depresión

14-19: Depresión leve

20-28: Depresión moderada

29-63: Depresión severa

Unidad de medida: Se utiliza una escala ordinal en la que cada rango refleja la intensidad de los síntomas en base a la autopercepción del paciente. Este puntaje se convierte en un indicador de la severidad de la depresión.

Inventario de Ansiedad de Beck (BAI)

Evalúa la severidad de los síntomas de ansiedad. Está diseñado para diferenciar entre síntomas de ansiedad y de depresión, aunque ambos puedan coexistir. La ansiedad en el contexto de esta prueba se define como un estado de intensa inquietud y malestar.

Estructura: Consiste en 21 ítems que describen síntomas comunes de ansiedad, como temblores, palpitaciones, sudoración, miedo a perder el control, entre otros.

Puntaje: Cada ítem se califica de 0 a 3, lo que lleva a un puntaje total entre 0 y 63.

Interpretación de puntajes:

0-7: Ansiedad mínima

8-15: Ansiedad leve

16-25: Ansiedad moderada

26-63: Ansiedad severa

Unidad de medida: Al igual que en el BDI, se utiliza una escala ordinal, lo que permite valorar la intensidad de los síntomas según la percepción subjetiva del paciente.

Los resultados son interpretados por un profesional de la salud mental, quien, además de considerar los puntajes, toma en cuenta otros factores del historial clínico del paciente.

Escala de Autoestima de Rosenberg:

La Escala de Autoestima de Rosenberg es una herramienta de evaluación psicológica utilizada para medir la autoestima global de un individuo, entendida como la percepción general que una persona tiene de su propio valor.

Puntaje: La escala total va de 10 a 40 puntos. Para las afirmaciones negativas (ítems 3, 5, 8, 9 y 10), la puntuación se invierte, ya que una respuesta de "Muy de acuerdo" en estas afirmaciones indicaría una baja autoestima. Al sumar todas las respuestas, se obtiene un puntaje total que permite evaluar la autoestima global del individuo.

Interpretación de puntajes:

10-15: Baja autoestima

16-25: Autoestima moderada

26-40: Alta autoestima

La escala utiliza una medida ordinal que da un puntaje total interpretado en categorías, lo que permite comprender el nivel de autoestima global en función de la autopercepción de la persona. Se anexa el test en el anexo A.

Rueda de la Vida: Visualiza la satisfacción en áreas vitales, identificando desequilibrios emocionales. Como se observa en el Anexo B

Resultados

Los participantes en este estudio fueron 30 alumnos de la carrera de Energías Renovables, de los cuales 9 son mujeres y 21 hombres; El rango de edad estuvo comprendido de 18 a 21 años. Se utilizó una metodología basada en desarrollar habilidades personales.

Al aplicar el Inventario de Ansiedad de Beck (Beck, 1961) se encontró que los resultados de **Ansiedad** por grupo en el mes de agosto fueron de 461 puntos psicométricos y disminuyó en octubre a 420, dejando una diferencia de 41 puntos y en diciembre, vuelve a subir debido a que en el cierre de semestre entregaron trabajos finales, exámenes, exposiciones en una feria científica 448 (Figura 8). En la figura 9 se puede apreciar mejor este comportamiento.

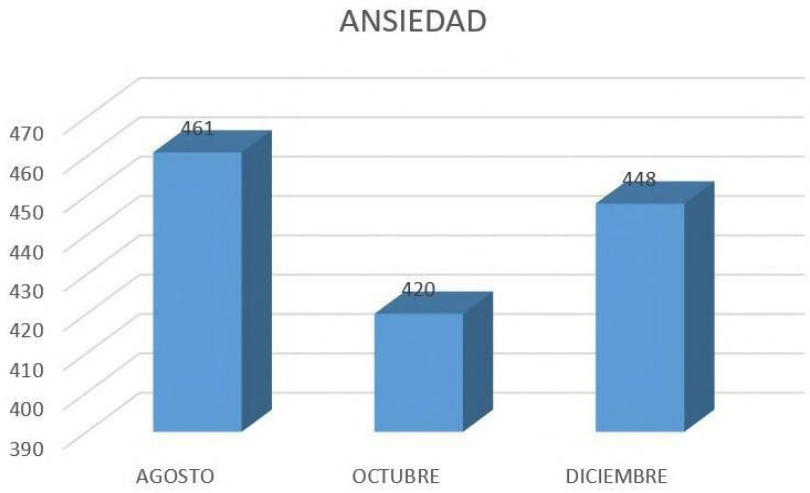


Figura 8. Resultados por grupo de los meses agosto, octubre y diciembre 2023 del Inventario de Ansiedad de Beck

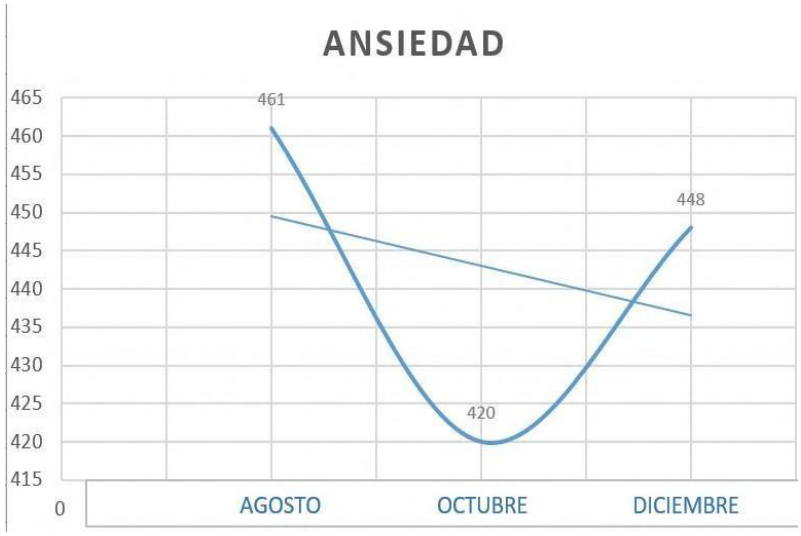


Figura 9. Resultados del Inventario de Ansiedad de Beck

En lo que se refiere a los resultados de Inventario de **Depresión** de Beck, se observa una tendencia a la baja o disminución del nivel de depresión, el grupo se encuentra en un valor de

417 puntos psicométricos en agosto y va disminuyendo hasta llegar a 203 en diciembre (Figura 10).

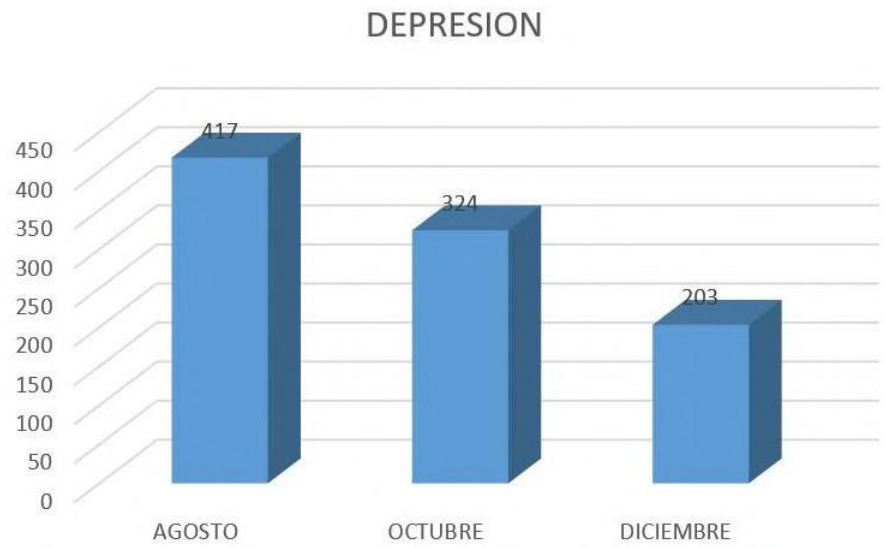


Figura 10. Resultados del Inventario de Depresión de Beck semestre agosto – diciembre 2023.

Los resultados sobre la **Autoestima** indican un mayor crecimiento, empezando en agosto con un nivel de 566 puntos y llegando hasta 890 en diciembre (Figura 11).

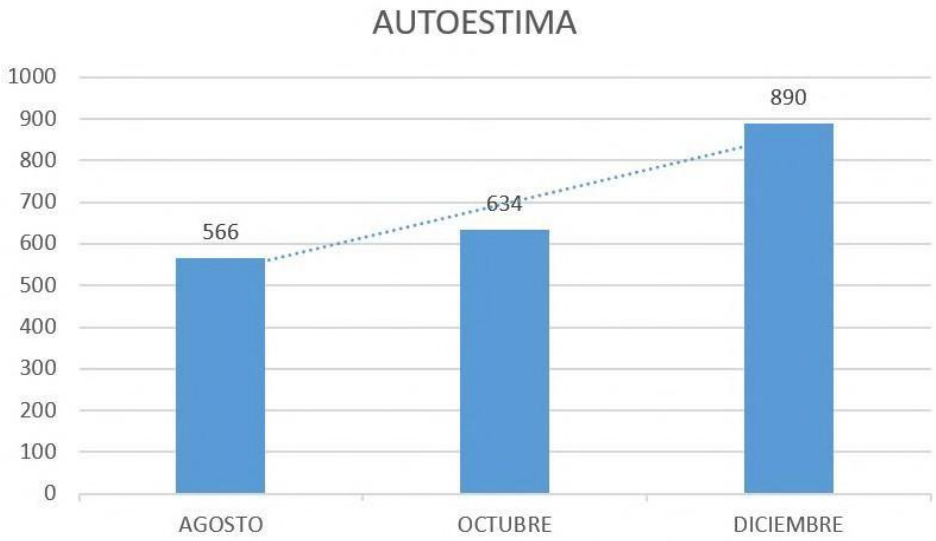


Figura 11. Resultados del Inventario de Autoestima de Beck durante el semestre agosto–diciembre 2023.

La implementación del modelo preventivo en el Instituto Tecnológico de La Laguna mostró una reducción significativa en los niveles de ansiedad y depresión de los estudiantes. Las pruebas psicométricas aplicadas permitieron identificar a aquellos que requerían intervención temprana, logrando así prevenir el agravamiento de los síntomas.

El modelo incluyó sesiones con especialistas, tales como Sexualidad Responsable con Valeria Salazar, charlas de motivación con Daniel Noriega campeón boxeador, prácticas de yoga, meditación y respiración consciente además de actividades deportivas. Estas intervenciones crearon un entorno favorable para el bienestar y el crecimiento personal de los estudiantes.

Hallazgos y/o conclusiones

Este modelo preventivo basado en el desarrollo humano ha demostrado ser efectivo en la reducción de niveles de ansiedad y depresión entre los estudiantes universitarios. Promoviendo un desarrollo integral y habilidades emocionales, los estudiantes mejoraron su bienestar general y enfrentan los retos académicos con mayor confianza.

Los estudiantes de Ingeniería expuestos a múltiples factores de riesgo están aprendiendo técnicas que les permiten manejar sus emociones y relacionarse con los demás. Ellos mismos mejoran la convivencia, reducen sus niveles de estrés, logran más motivación por el aprendizaje, mayor optimismo y unión con el compañero. Al final, retoman la escuela con objetivos claros, su gusto por aprender, por hacer las cosas que son importantes, aprenden que ellos tienen el enfoque suficiente para reponerse a los problemas que tienen en su desarrollo, cualquiera que sea. Mediante la participación en el taller y las sesiones enfocadas en Desarrollo humano, se logró reducir los niveles de ansiedad y depresión durante el semestre, se continuará valorando y capacitando a este grupo. La autoestima se elevó de manera significativa en la mayoría de los evaluados.

Por lo anterior podemos concluir que el desarrollo de habilidades blandas es muy importante para un buen rendimiento académico en los estudiantes universitarios y nos permite identificar tareas importantes en la aplicación de métodos y enfoques para propiciar dichas habilidades como lo son: actividades extracurriculares tanto deportivas como culturales, programa de tutorías, seminarios y talleres, aprendizaje basado en proyectos reales que contribuirán a formar personas y profesionistas de éxito dado que fomentan su desarrollo en su autoestima y autoconfianza.

Anexos

Anexo A. Escala de autoestima de Rosemberg (1965).

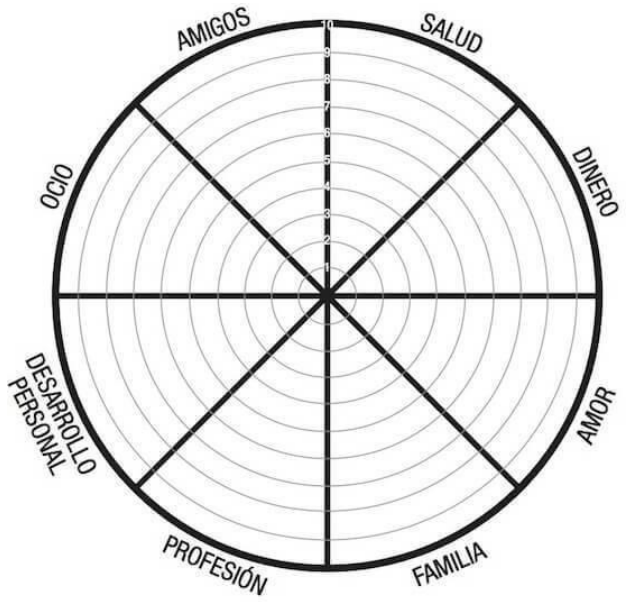
Por favor, lee las frases que figuran a continuación y señala el nivel de acuerdo o desacuerdo que tienes con cada una de ellas, marcando con un aspa la alternativa elegida.

1	2	3	4
Muy en desacuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo

1	Me siento una persona tan valiosa como las otras	1	2	3	4
2	Casi siempre pienso que soy un fracaso	1	2	3	4
3	Creo que tengo algunas cualidades buenas	1	2	3	4
4	Soy capaz de hacer las cosas tan bien como los demás	1	2	3	4
5	Pienso que no tengo mucho de lo que estar orgulloso	1	2	3	4
6	Tengo una actitud positiva hacia mí mismo	1	2	3	4
7	Casi siempre me siento bien conmigo mismo	1	2	3	4
8*	Me gustaría tener más respeto por mí mismo	1	2	3	4
9	Realmente me siento inútil en algunas ocasiones	1	2	3	4
10	A veces pienso que no sirvo para nada	1	2	3	4

Nota: * = Retirar ítem

Anexo B. Rueda de las dimensiones del Desarrollo humano (io-social,1 de febrero 2021).



Citas y referencias

Beck, A. T. (1961). *An Inventory for Measuring Depression*. Archives of General Psychiatry, 4, 561-571.

Beck, A. T. (1976*). Cognitive Therapy and the Emotional Disorders*. International Universities Press.

Dispenza, J. (2017). *Becoming Supernatural: How Common People Are Doing the Uncommon*. Hay House.

Erikson, E. H. (1963). *Childhood and Society*. W. W. Norton & Company.

Estapé, M. R. (2018). *Cómo hacer que te pasen cosas buenas: Entiende tu cerebro, gestiona tus emociones, mejora tu vida*. Espasa.

Hawkins, D. (2004*). Power vs. Force: The Hidden Determinants of Human Behavior.* Hay House.

io-social. (1 de febrero 2021). *La rueda de la vida: Técnicas de Trabajo*. Instituto Online de Intervención Social. https://www.io-social.es/la-rueda-de-la-vida/

Rosenberg, M. (1965). *Society and the Adolescent Self-Image*. Princeton University Press.

Comparativo de Técnicas de Reestructuración Cognitiva: Beck y Ellis

Lina Ernestina Arias Hernández[1]
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de La Laguna
Boulevard Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna S/N
Torreón, Coahuila, México, C.P. 27000
leariash@correo.itlalaguna.edu.mx

Ana Lilia Urbina Amador[2]
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de La Laguna
Boulevard Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna S/N
Torreón, Coahuila, México, C.P. 27000
alurbinaa@correo.itlalaguna.edu.mx

Raquel Adriana Ulloa Hurtado[3]
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de La Laguna
Boulevard Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna S/N
Torreón, Coahuila, México, C.P. 27000
raulloah@lalaguna.tecnm.mx

Resumen: La reestructuración cognitiva es una técnica en la terapia cognitivo-conductual que se utiliza para detectar y cambiar pensamientos negativos o disfuncionales, y modificar creencias centrales que generan incomodidad o angustia (Poza, 2024). La terapia cognitivo-conductual ha demostrado ser efectiva en el tratamiento de diversos trastornos psicológicos (Beck, 2011). El modelo cognitivo sugiere que los pensamientos disfuncionales, que afectan el estado de ánimo y el comportamiento, son un elemento común en todos los trastornos psicológicos. Cuando las personas comienzan a evaluar sus pensamientos de forma más realista y adaptativa, experimentan mejoras tanto en su estado emocional como en su comportamiento. Dos destacados expertos en este ámbito son Aaron Beck y Albert Ellis, creadores de la terapia cognitiva (TC) y la terapia racional emotiva conductual (TREC), respectivamente. Este artículo analiza y contrasta los métodos de reestructuración cognitiva propuestos por ambos, resaltando tanto sus semejanzas como sus diferencias.

Palabras Clave: reestructuración cognitiva, terapia cognitiva, terapia racional.

Abstract: Cognitive restructuring is a technique in cognitive-behavioral therapy that is used to detect and change negative or dysfunctional thoughts and modify core beliefs that generate discomfort or distress (Poza, 2024). Cognitive-behavioral therapy has been shown to be effective

in the treatment of various psychological disorders (Beck, 2011). The cognitive model suggests that dysfunctional thoughts, which affect mood and behavior, are a common element in all psychological disorders. When people begin to evaluate their thoughts more realistically and adaptively, they experience improvements in both their emotional state and behavior. Two leading experts in this field are Aaron Beck and Albert Ellis, creators of cognitive therapy (CT) and rational emotive behavioral therapy (REBT), respectively. This article analyzes and contrasts the methods of cognitive restructuring proposed by both, highlighting both their similarities and their differences.

Keywords: cognitive restructuring, cognitive therapy, rational therapy.

Introducción

La reestructuración cognitiva (RC) es una técnica en la terapia cognitivo-conductual que se utiliza para detectar y cambiar pensamientos negativos o disfuncionales (trastornos psicológicos), permitiendo al psicólogo y al paciente trabajar juntos para explorar otras perspectivas y modificar creencias centrales que generan incomodidad o angustia, pero que suelen pasar desapercibidas a nivel consciente (Poza, 2024).

El trastorno psicológico está asociado con alteraciones que se manifiestan como un deterioro cognitivo (Wells, 2000, p. 31).

La Reestructuración Cognitiva (RC) se basa en algunos principios teóricos clave (Bados y García, 2010):

a) *La forma en que las personas organizan mentalmente sus experiencias tiene un impacto decisivo en sus emociones, comportamientos y reacciones físicas*. En otras palabras, como se reacciona ante una situación, depende en gran medida de la percepción, atención, valoración e interpretación de esta, así como de las atribuciones y expectativas que se generan. Por ejemplo, si se espera a una persona nueva y esta llega tarde, la reacción cambiará según la interpretación: si se piensa que no le interesa, es probable que cause tristeza y se evite futuros contactos; en cambio, si se cree que se debe a un imprevisto o a un malentendido con la hora, las emociones y conductas serán muy diferentes. Además, afecto, conducta y reacciones físicas se influyen mutuamente y ayudan a mantener las cogniciones.

b) *Las cogniciones de una persona pueden identificarse mediante métodos como entrevistas, cuestionarios y autorregistros.* Muchas de estas cogniciones son conscientes, mientras que otras son preconscientes, aunque el individuo es capaz de acceder a ellas.

c) *Las cogniciones pueden ser modificadas*, y esta alteración puede usarse para facilitar cambios terapéuticos.

En la tabla 1, se muestran algunos de los trastornos tratados con éxito mediante terapia cognitiva conductual.

Tabla 1. Lista parcial de trastornos tratados con éxito mediante terapia cognitiva conductual.

Desordenes psiquiátricos	Trastorno depresivo mayor Depresión geriátrica Trastorno de ansiedad generalizada Ansiedad geriátrica Trastorno de pánico Agorafobia Fobia social Trastorno obsesivo-compulsivo Trastorno de conducta Abuso de sustancias	Trastorno por déficit de atención e hiperactividad Ansiedad por la salud Trastorno dismórfico corporal Trastornos alimentarios Trastornos de la personalidad Delincuentes sexuales Trastornos de hábitos Trastorno bipolar (con medicación) Esquizofrenia (con medicación)
Problemas psicológicos	Problemas de pareja Problemas familiares Luchadora patológica	Duelo complicado Angustia del cuidador Ira y hostilidad
Problemas médicos con componentes psicológicos	Dolor de espalda crónico Dolor de anemia falciforme Cefaleas migrañosas Acúfenos Dolor por cáncer Trastornos somatoformes Síndrome del intestino irritable Trastornos Síndrome de fatiga	Dolor por enfermedad reumática Disfunción eréctil Insomnio Obesidad Vulvodinia Hipertensión Síndrome de la Guerra del Golfo

Fuente: (Beck, 2011, p. 4)

Metodología

El objetivo principal de esta revisión bibliográfica es comparar la efectividad y las aplicaciones de dos técnicas de reestructuración cognitivas: la reestructuración cognitiva de Aaron Beck y la terapia racional emotiva conductual de Albert Ellis.

La investigación es de tipo documental ya que implica una revisión de artículos científicos, tesis, otros documentos relevantes y libros. La información recopilada se utiliza para realizar un análisis comparativo, contrastando los resultados obtenidos en diferentes estudios para identificar similitudes y diferencias de las técnicas. Finalmente, se sintetiza la información para llegar a una conclusión sobre las diferencias y similitudes entre las técnicas.

Aaron Beck: La Terapia Cognitiva

Aaron Beck desarrolló la terapia cognitiva (TC) en la década de 1960, basándose en la premisa de que las distorsiones cognitivas son la raíz de la angustia emocional. Beck identificó varias distorsiones cognitivas, como la generalización excesiva, el pensamiento polarizado y el razonamiento emocional. Su método se basa en experiencias de aprendizaje muy concretas que buscan enseñar al paciente las siguientes habilidades: (1) gestionar los pensamientos automáticos negativos; (2) reconocer cómo se relacionan los pensamientos, emociones y comportamientos; (3) analizar la evidencia a favor y en contra de sus pensamientos distorsionados; (4) reemplazar estas ideas erróneas con interpretaciones más realistas; y (5) aprender a detectar y modificar las creencias falsas que lo predisponen a interpretar sus experiencias de forma distorsionada (Beck et al., 1979, como se citó en Viso, 2010, p. 14).

Beck y sus colegas realizaron estudios profundos que respaldan la eficacia de la terapia cognitiva en el tratamiento de la depresión. Afirman que, si un paciente se siente mejor después de expresar su sentimiento, aumenta su motivación, fortalece su ánimo y sigue cooperando en la terapia (Beck et al., 1979, como se citó en Viso, 2010, p. 50).

Aaron Beck identificó varias distorsiones cognitivas, entre las cuales destacan (Beck et al., 1979, como se citó en Viso, 2010).:

1. *Generalización excesiva*: sacar conclusiones amplias a partir de un solo evento.
2. *Pensamiento polarizado:* ver las cosas en blanco y negro, sin matices.
3. *Filtro mental:* centrarse en los aspectos negativos de una situación, excluyendo los positivos.
4. *Descalificación de lo positivo*: rechazar las experiencias positivas insistiendo en que no cuentan.
5. *Sacar conclusiones precipitadas:*
    - Lectura de la mente: asumir que se conoce lo que otros piensan.
    - Adivinación del futuro: predecir que las cosas saldrán mal.
6. *Magnificación y minimización*: exagerar los errores y minimizar los logros.
7. *Razonamiento emocional*: pensar que los sentimientos negativos reflejan la realidad.
8. *Enunciados "debería"*: imponerse reglas rígidas sobre cómo uno y los demás deben actuar.
9. *Etiquetación y mala etiquetación*: asignarse etiquetas negativas a uno mismo o a los demás.
10. *Personalización:* asumir responsabilidad por eventos fuera del control personal.

Estas distorsiones son claves en la terapia cognitiva y pueden ser modificadas a través de la reconstrucción cognitiva (Beck, 211).

Albert Ellis: La Terapia Racional Emotiva Conductual (TREC)

Albert Ellis desarrolló la TREC en 1955, centrándose en la identificación y modificación de pensamientos irracionales que causan emociones disfuncionales. Ellis propuso el modelo ABC, que describe (Ellis y Harper, 1975, p. 46).:

1. Cómo los eventos Activadores (A)
2. Desencadenan Creencias (B)
3. Que conducen a Consecuencias emocionales y conductuales (C).

Su método de reestructuración cognitiva incluye desafiar y reemplazar creencias irracionales con creencias racionales y basadas en evidencia.

Según Luque (2020), las creencias irracionales más comunes incluyen:

- Necesito que ciertas personas me quieran.
- Debo ser completamente competente y eficaz en todo.
- Algunas personas merecen ser castigadas por sus acciones.
- Es terrible cuando las cosas no salen como espero o necesito.
- No tengo control sobre mis emociones o reacciones negativas.
- Preocuparme constantemente es la única manera de resolver mis problemas.
- Es mejor evitar las dificultades que enfrentarlas.
- Necesito a los demás.
- Mi pasado determina y afectará siempre mi presente.
- Es necesario preocuparse intensamente por los demás.
- Debe existir una solución perfecta para cualquier problema.

Ellis (1979/1999) identifica tres filosofías básicas de afrontamiento racional:

1. Autoaceptación incondicional (AI) en lugar de autoestima condicional (AC).
2. Autoaceptación incondicional del otro (AIO).
3. Autoaceptación incondicional de la vis (AIV).

Asimismo, destacó la importancia de la autoayuda, enseñando a los pacientes a identificar su sistema de creencias, debatirlas y cambiar sus propios pensamientos irracionales, mediante métodos cognitivos, emocionales y conductuales.

La TREC se ha demostrado efectiva en el tratamiento de una variedad de trastornos psicológicos, incluida la ansiedad y la depresión (Ellis, 1979/1999).

Crítica del Enfoque de Beck

La terapia cognitiva de Beck ha sido ampliamente reconocida y respaldada por evidencia empírica, mostrando su efectividad en el tratamiento de la depresión, la ansiedad y otros trastornos psicológicos (Beck et al., 1979, citado en Viso, 2010; Beck, 2011).

La terapia de Beck ofrece una comprensión clínica de las emociones y ha demostrado ser eficaz en la práctica (Beck, 2011). Sin embargo, Wells (2020) sugiere que podría mejorar si se tienen en cuenta los distintos niveles y tipos de cognición, así como los mecanismos de control metacognitivo en el procesamiento.

Aunque la TC de Beck ha mostrado buenos resultados para muchos pacientes, su estructura rígida, su énfasis en los aspectos cognitivos y los requerimientos intelectuales pueden limitar su aplicación en algunos casos. Estas limitaciones subrayan la importancia de un enfoque más flexible y adaptable que pueda combinarse con otras técnicas, haciendo la TC más accesible y efectiva.

Crítica del Enfoque de Ellis

Por otro lado, la terapia racional emotiva conductual de Ellis se distingue por su enfoque directo y confrontativo, lo que puede ser muy efectivo para pacientes que responden bien a este estilo de terapia. La TREC promueve la autoayuda y la independencia del paciente, permitiendo a los individuos tomar un papel activo en su propio proceso de cambio (Ellis y Harper, 1975; Ellis, 1999). Sin embargo, el estilo confrontativo de Ellis puede no ser adecuado para todos los pacientes.

Algunas personas pueden encontrar este enfoque demasiado agresivo, lo que podría llevar a la resistencia y la alienación (Ellis y Harper, 1975).

La TREC de Ellis aporta valor gracias a su claridad y orientación hacia resultados, pero su estilo confrontativo, su fuerte enfoque en la racionalidad y su estructura rígida pueden no ser adecuados

para todos los pacientes. Estas limitaciones sugieren la necesidad de un enfoque más adaptable y sensible al contexto, lo que podría hacerla más efectiva para distintos perfiles de pacientes.

Comparación de Enfoques

El contraste entre la Terapia Cognitiva de Beck y la Terapia Racional Emotiva Conductual (TREC) de Ellis muestra tanto similitudes como diferencias fundamentales en sus aproximaciones terapéuticas.

Entre sus puntos de convergencia se pueden mencionar (Beck et al., 1979; Ellis y Harper, 1975):

- **Enfoque en la conexión entre pensamientos, emociones y comportamientos:** Beck y Ellis fundamentaron sus modelos en la idea de que las cogniciones afectan directamente tanto a las emociones como a los comportamientos. En ambas terapias, se considera que las creencias irracionales o poco funcionales son la raíz de muchos problemas emocionales y conductuales.
- **Su objetivo es identificar y transformar pensamientos poco funcionales:** Tanto la Terapia Cognitiva de Beck como la Terapia Racional Emotiva Conductual (TREC) de Ellis se enfocan en reconocer pensamientos automáticos o creencias irracionales que causan malestar. Ambos métodos emplean cuestionamientos estructurados para desafiar estos pensamientos y sustituirlos por otros más racionales y constructivos.
- **Implementación de técnicas estructuradas y prácticas:** Las dos terapias proponen métodos estructurados durante las sesiones, incluyendo ejercicios para realizar fuera de la terapia, como registros de pensamientos y cuestionarios, además de técnicas de reestructuración cognitiva para ayudar al paciente a modificar sus patrones de pensamiento.
- **Importancia de la autoayuda y aprendizaje de habilidades:** Beck y Ellis valoran que los pacientes adquieran habilidades para gestionar sus pensamientos y emociones de manera autónoma, fomentando así la autosuficiencia y la autogestión. Ambos enfoques invitan a los pacientes a participar activamente en su proceso terapéutico.
- **Búsqueda de un cambio profundo y sostenible:** Las dos terapias no solo se enfocan en el alivio de síntomas inmediatos, sino en promover una transformación significativa en la forma de pensar e interpretar las situaciones, con el objetivo de alcanzar un bienestar emocional más duradero.}

Las diferencias principales de las terapias de Ellis y Beck son (Beck et al., 1979; Ellis y Harper, 1975):

- **Origen de las creencias disfuncionales:** Beck se enfoca en los pensamientos automáticos y en distorsiones específicas que las personas experimentan en situaciones determinadas. Considera que estos pensamientos se desarrollan a partir de la experiencia y dependen del contexto. Por otro lado, Ellis orienta su terapia hacia creencias irracionales de carácter general y amplio que una persona puede tener sobre sí misma, el entorno y otros. Cree que estas creencias son absolutas, expresadas con palabras como “debo” o “necesito”.
- **Método de cuestionamiento:** Beck plantea preguntas abiertas que permiten al paciente reflexionar y llegar a sus propias conclusiones sobre sus pensamientos automáticos, fomentando el descubrimiento de nuevas perspectivas. Ellis es más directo y desafiante para probar las creencias irracionales, poniendo en duda su lógica y racionalidad de forma activa, emplea un estilo más confrontativo.
- **Enfoques: Adaptativo / Racional:** En la terapia de Beck, la meta es que los pensamientos sean más adaptativos, lo cual ayuda a la persona a responder mejor a su entorno y a mejorar su bienestar emocional y comportamiento. Para Ellis, lo principal es que los pensamientos sean racionales; su enfoque se centra en eliminar creencias que él considera ilógicas o absolutistas, sin importar el contexto.
- **Técnicas para trabajar las emociones:** Beck le da prioridad a los aspectos cognitivos y conductuales, trabajando poco con las emociones de forma directa, ya que espera que el cambio en los pensamientos y conductas impacte positivamente en las emociones. Ellis, sin embargo, incluye técnicas específicas para manejar las emociones, como visualizaciones y afirmaciones, para que los pacientes experimenten cambios emocionales mientras desafían sus creencias irracionales.
- **Origen de la distorsión del pensamiento:** Beck tiene una perspectiva basada en la evidencia, considerando la disfunción cognitiva como resultado de experiencias de aprendizaje o influencias del entorno. Ellis cree que todos los seres humanos tienden a mantener creencias irracionales y que es necesario un esfuerzo constante para desarrollar y mantener una visión racional de la vida.

Estas diferencias muestran cómo Beck y Ellis abordan la terapia desde distintos ángulos, aunque ambos comparten el objetivo de mejorar el bienestar psicológico a través del cambio en el

pensamiento (Beck et al., 1979; Ellis y Harper, 1975). A continuación, en la tabla 2 se presenta una breve comparación entre la Terapia Cognitiva (TC) de Aaron Beck y la Terapia Racional Emotiva Conductual (TREC) de Albert Ellis.

No obstante, la Terapia Cognitiva de Beck se centra en identificar y corregir distorsiones cognitivas específicas, fomentando una reestructuración cognitiva a nivel individual (Beck, 2011). En cambio, la TREC de Ellis se focaliza en desafiar y reemplazar creencias irracionales, subrayando la responsabilidad personal en la regulación de emociones (Ellis, 1979/1999).

Tabla 2. Comparativa: Terapia Cognitiva vs Terapia Racional Emotiva Conductual.

Aspecto	**Terapia Cognitiva (Beck)**	**Terapia Racional Emotiva Conductual (Ellis)**
Fundador	Aaron Beck	Albert Ellis
Enfoque Principal	Cognitivo, centrado en el pensamiento y la interpretación de eventos. Pensamientos disfuncionales.	Emotivo y racional, centrado en las emociones y creencias. Creencias irracionales
Método Principal	Reestructuración cognitiva, autoevaluación	Desafío de creencias, reestructuración emocional
Duración del Tratamiento	Corto plazo	Variable, puede ser corto o largo plazo
Aplicación	Ansiedad, depresión, trastornos de la personalidad.	Ansiedad, depresión, problemas de relaciones.
Estructura	Estructurada y sistemática	Directa y confrontativa
Objetivo	Modificar pensamientos y conductas disfuncionales	Cambiar creencias irracionales y conductas asociadas por creencias más racionales.

Fuente: (Beck et al., 1979; Ellis y Harper, 1975).

Conclusiones

Aunque ambos métodos comparten el objetivo de modificar pensamientos disfuncionales, difieren en su enfoque. La terapia cognitiva (TC) de Beck se centra en las distorsiones cognitivas

específicas y utiliza un enfoque más estructurado y gradual (Beck, 2011). Por otro lado, la TREC de Ellis es más directa en desafiar las creencias irracionales y promueve una participación del paciente en el proceso terapéutico (Ellis y Harper, 1975).

1. **Reflexión sobre la Aplicabilidad y Adaptabilidad**

   Una reflexión importante sobre ambos enfoques es la necesidad de adaptabilidad y personalización en la terapia. Tanto la terapia cognitiva de Beck como la TREC de Ellis han demostrado ser altamente efectivas en una variedad de contextos clínicos (David et al., 2018; Dobson y Dozois, 2019). Sin embargo, es importante que los terapeutas consideren las características individuales de cada paciente y adapten sus métodos en consecuencia. La efectividad de cualquier enfoque terapéutico depende en gran medida de la capacidad del terapeuta para personalizar la intervención y responder a las necesidades específicas del paciente (Kazdin, 2000).

2. **Integración de Enfoques**

   Una tendencia reciente en la psicoterapia es la integración de diferentes enfoques terapéuticos (Norcross y Golfried,2019) para crear tratamientos más completos y holísticos. La combinación de técnicas de Beck y Ellis puede proporcionar un enfoque terapéutico más equilibrado y flexible. Por ejemplo, el enfoque estructurado y gradual de Beck puede complementarse con la confrontación directa y el énfasis en la autoayuda de Ellis, ofreciendo una gama más amplia de herramientas para abordar los pensamientos disfuncionales y adaptarse mejor a la diversidad de experiencias humanas (David et al., 2018; Dobson y Dozois, 2019).

3. **Investigación y Evolución Continuas**

   Finalmente, es esencial destacar la importancia de la investigación continua y la evolución en el campo de la psicoterapia. Las técnicas desarrolladas por Beck y Ellis han sentado las bases para muchos de los enfoques actuales en la reestructuración cognitiva. Sin embargo, la psicoterapia debe evolucionar continuamente para integrar nuevos conocimientos y adaptarse a los cambios en la comprensión de la mente humana. La investigación actual en neurociencia, por ejemplo, está proporcionando nuevas perspectivas sobre cómo los pensamientos y emociones están interrelacionados, lo que podría informar futuros desarrollos en la terapia cognitiva y la TREC (Hofmann et al., 2012).

Este estudio, de carácter documental, presenta una revisión de las técnicas de ambos enfoques y una reflexión sobre su aplicabilidad en diferentes contextos clínicos. Además, se destaca la tendencia a integrar métodos de Beck y Ellis para ofrecer tratamientos más completos y personalizados.

Aunque las dos metodologías proporcionan herramientas efectivas para tratar problemas emocionales y conductuales, la elección entre ellas puede depender de las necesidades particulares del paciente y del estilo del terapeuta. La combinación de técnicas de ambas terapias también puede ser beneficiosa, ofreciendo un enfoque más holístico y flexible que se adapte a la diversidad de experiencias humana (Norcross y Golfried, 2019; David et al. 2018; Dobson y Dozois, 2019).

Considerando los resultados de este comparativo de técnicas de reestructuración cognitiva de Beck y Ellis se identifica la pertinencia de su aplicación en el estudiantado que cursa programas educativos de educación superior, como una estrategia que contribuiría a atender los efectos de la pandemia en México, etapa que marcó grandes cambios, cognitivos, afectivos y socioeconómicos en ellos. Dado que dichas terapias tratan trastornos psicológicos comunes como estrés académico, ansiedad, depresión, principales causas del bajo rendimiento y deserción escolar (Bautista et al., 2023).

La terapia cognitiva de Beck aplicada al contexto de educación superior puede detectar cuales son los pensamientos negativos que tienen el estudiantado, por los cuales desarrollan emociones disfuncionales que afectan su comportamiento, por ende, su trayectoria escolar. Mediante ejercicios terapéuticos, este modelo, puede llevarlos al cuestionamiento para reevaluar sus creencias disfuncionales, como la necesidad de ser aprobado por los demás, generando pensamientos positivos y saludables. Además, cuando el estudiante esté en equilibrio será una persona con autoestima, quién tendrá la fortaleza para enfrentar, disminuir o no enrolarse en situaciones que le producen estrés y ansiedad (Bautista et al., 2023).

En cuanto a la terapia racional emotiva conductual de Ellis se propone realizar programas enfocados al bienestar, que ofrezcan terapias tanto individuales como grupales al estudiantado, con el objetivo de proporcionarles herramientas y técnicas para enfrentar las diversas problemáticas que les impiden desarrollarse plenamente en el ámbito personal y académico (Cheme y Giniebra, 2022).

Por lo anterior, se destaca que la implementación de estas terapias en el ámbito educativo superior podría generar un impacto considerable, al utilizarse como estrategia para abordar la

deserción y mejorar el rendimiento académico. Además, fomentan en los jóvenes el desarrollo de habilidades blandas clave, como la comunicación, la capacidad de resolver problemas y la adaptabilidad, fundamentales para enfrentar los retos presentes y futuros (Cheme y Giniebra, 2022).

Referencias Bibliográficas.

Bados, A. y García, E. (2010). *La Técnica de la Reestructuración cognitiva*. Departamento de personalidad, evaluación y tratamiento psicológicos. Facultad de psicología, Universidad de Barcelona. https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/12302/1/Reestructuraci%C3%B3n.pdf.

Bautista, A., Quintana, M., Vázquez, M. y González, D. (2023). Ansiedad, estrés y calidad de sueño asociados a COVID-19 en universitarios del noroeste de México*. Horizonte Sanitario, Volumen 2 (número 2).* https://doi.org/10.19136/hs.a22n2.5322.

Beck, A. T., Rush, A. J., Shaw, B. F., y Emery, G (1979). *Cognitive Therapy Of Depression*. Viso, S. (Trad.). 2010. Terapia Cognitiva de la Depresión. Editorial Desclée De Brower, S.A.

Beck, J. S. (2011). *Cognitive Behavior Therapy. Basics and Beyond.* The Guilford Press.

Bellido, J. C. y Lendínez, J. F. (2010). *Proceso Enfermero desde el modelo de cuidados de Virginia Henderson y los Lenguajes NNN.* Ilustre Colegio Oficial de Enfermería de Jaén. https://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0714.pdf.

Cheme, M. y Giniebra, R. (2022). Eficacia y eficiencia de la terapia racional emotiva para afrontamiento de riesgos psicosociales por teletrabajo. *Revista Científica Arbitrada en Investigaciones de la Salud "GESTAR", Volumen 5 (número 9)*. https://doi.org/10.46296/gt.v5i9edespmar.0052.

David, D., Cristea, I., y Hofmann, S. G. (2018). *Why cognitive behavioral therapy is the current gold standard of psychotherapy*. Frontiers in Psychiatry, 9, 4.

Dobson, K. S., y Dozois, D. J. A. (2019). *Handbook of Cognitive-Behavioral Therapies* (4th ed.). The Guilford Press.

Ellis, A. (1999). *Usted puede ser feliz: Terapia racional emotiva conductual para superar la ansiedad y la depression* (Trad. Y. Gómez). Titivillus. (Trabajo original publicado en 1979). https://www.academia.edu/41931555/Usted_puede_ser_feliz_Albert_Ellis

Ellis, A., y Harper, R. A. (1975). *A New Guide to Rational Living*. (M. Powers, Ed.). Wilshire

Hofmann, S. G., Asnaani, A., Vonk, I. J., Sawyer, A. T., y Fang, A. (2012). The Efficacy of Cognitive Behavioral Therapy: A Review of Meta-analyses. *Cognitive Therapy and Research, 36*(5), 427-440. https://link.springer.com/article/10.1007/s10608-012-9476-1

Kazdin, A. E. (2000). *Psychotherapy for Children and Adolescents: Directions for Research and Practice*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.54.101601.145105.

Luque, Z. (12 agosto 2020). Terapias y técnicas de intervención de Psicología: Terapia racional emotiva conductual: qué es, características, técnicas y ejemplos. Psicología-Online. https://www.psicologia-online.com/terapia-racional-emotiva-conductual-que-es-caracteristicas-tecnicas-y-ejemplos-5187.html

Norcross, J. C., y Goldfried, M. R. (2019). *Handbook of Psychotherapy Integration* (3rd ed.). Oxford University Press

Poza, U. A. (22 de enero de 2024). *Métodos de reestructuración cognitiva: ¿cuáles son y cómo funcionan? Analizamos en qué consisten estos métodos y qué teorías lo avalan*. Psicología y Mente. https://psicologiaymente.com/clinica/metodos-reestructuracion-cognitiva.

Wells, A. (2000). *Emotional Disorders and Metacognition: Innovative Cognitive Therapy*. John Wiley & Sons.














PULSOTEC

Artículos científicos que contribuyen a la innovación e investigación, a través de las aproximaciones interdisciplinarias:

- Ingeniería Química y Bioquímica
- Ingeniería Industrial
- Sistemas Computacionales y Tecnologías de la Información
- Ingeniería en Gestión Empresarial
- Ingeniería Eléctrica y Electrónica
- Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
- Ingeniería en Energías Renovables
- Ingeniería en Semiconductores
- Administración
- Investigación Educativa