



ReDDI+TEZ

REVISTA DE DIFUSIÓN Y DIVULGACIÓN EN
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EMILIANO ZAPATA

IDEAS Y PERSPECTIVAS

HISTORIAS DE CIENTÍFICOS
Y BUENOS PROFESORES

¡ADIÓS! "HOMBRE ARAÑA...!
ADIÓS... "HOMBRE LIBRO" PROFESORES

UNA VISIÓN PERSONAL
DE QUIEN ENSEÑA Y APRENDE

ESTUDIOS Y ENSAYOS

MODELO MATEMÁTICO PARA SISTEMAS
SISO CONTROLADOS POR UN PID

COMPLICACIONES MUSCULOESQUELÉTICAS
Y ARTICULARES DE LA DIABETES
MELLITUS PARTE I

LA RIQUEZA TURÍSTICA DEL PUEBLO
MÁGICO DE XOCHITEPEC MORELOS DESDE
UNA PERSPECTIVA UNIVERSITARIA

¿SABÍAS QUÉ?

El Día Naranja es un recordatorio para prevenir la violencia contra las mujeres y las niñas, que es responsabilidad de todas y todos. Desde 2008, la ONU y sus países asociados la conmemoran los días 25 de cada mes.

#DIA NARANJA

Desde 1999, la ONU decretó oficialmente el 25 de noviembre como el Día Internacional para la Erradicación de la Violencia contra las Mujeres. En Latinoamérica esta fecha se conmemora desde varios años atrás, en 1981, en honor a tres hermanas dominicanas asesinadas el 25 de noviembre de 1960 por orden del dictador Rafael Trujillo, del que eran opositoras. En febrero de 2008, el entonces Secretario General de las Naciones Unidas, Ban Ki-moon, lanzó la campaña Únete para poner fin a la violencia contra las mujeres y niñas, con el objetivo de generar conciencia pública e incrementar la voluntad política y los recursos asignados a prevenir, responder y sancionar la violencia contra las mujeres. Iniciado por la Red Mundial de Jóvenes Únete.



El Día Naranja hace un llamado a activistas, gobiernos y socios de las Naciones Unidas para movilizar a la población y poner de relieve las cuestiones relacionadas con prevenir y poner fin a la violencia contra las mujeres y niñas, no sólo una vez al año - el 25 de noviembre – sino todos los meses.

Publicación cuatrimestral de la
Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos.

Comité Editorial de la UTEZ.

Número 7. Año 3

Septiembre - Diciembre 2024

Índice

IDEAS Y PERSPECTIVAS

- Historias de científicos y buenos profesores 1
- ¡Adiós! “Hombre araña...! adiós... “Hombre libro” 4
- Una visión personal de quien enseña y aprende 6

ESTUDIOS Y ENSAYOS

- Método para la obtención de un modelo matemático alrededor de la vecindad de un punto de operación para una familia de sistemas SISO estocásticos controlados por un PID 10
- Complicaciones Musculoesqueléticas y Articulares de la Diabetes Mellitus Parte I 18
- La riqueza turística del Pueblo Mágico de Xochitepec Morelos desde una perspectiva universitaria 27

ReDDI+TEZ. Revista de Difusión y Divulgación en Innovación Tecnológica Emiliano Zapata. Año 3. Número 7, septiembre - diciembre 2024, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos. Av. Universidad Tecnológica #1. Col. Palo Escrito. Emiliano Zapata, Mor. C.P. 62765. Tel. 7773681165 ext. 275. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2023-062914362800-102, ISSN 2992-8206, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Comité Editorial de la UTEZ, Ofelia Grajeda Santos, Av. Universidad Tecnológica #1, Col. Palo Escrito, Emiliano Zapata, Mor., C.P. 62765, fecha de última modificación, 20 de diciembre de 2024.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EMILIANO ZAPATA DEL ESTADO DE MORELOS

Consejo Editorial

Mtra. Gabriela Navarro Macías
Rectora

Mtro. Angel Estrada Arteaga
Secretario Académico

M. en D. José Valentín Romero Cedillo
Abogado General

C.P. Yaniré Quiroz Salgado
Directora de Administración y Finanzas

Mtro . Alberto Aranda Pastrana
Directora de Planeación y
Servicios Escolares

M.C.C.I. Jonathan Espinoza Mendoza
Director de la División Académica
Económica Administrativa

Dra. Martha Fabiola Wences Díaz
Directora de la División Académica de
Tecnologías de la Información y Diseño

M.C. Iván Alcalá Barojas
Encargado del despacho de la División
Académica de Mecánica Industrial

**M.M.F. y R. Dennice Jaqueline García
Mendoza**
Directora de la División Académica de
Terapia Física

Comité Editorial

M.T.I. Martha Elena Luna Ortiz
Editora de la ReDDI+TEZ

Mtra. Claudia Ornelas Salas
Mtra. Elizabeth Nayelli García Gamboa
Corrección de Estilo

M.M.D. Ofelia Grajeda Santos
Coordinadora del Comité Editorial

M.M.D. Rafael Alberto Zamudio Hernández
M.A. y E.V. Alejandro Mora Silva
Diseño Gráfico

I.T.I. Marco Antonio Segovia Arreguin
Soporte Técnico

Comité Científico

Mtro. Jorge Alemán Andrés
Dra. Manuela Calixto Rodríguez
Mtro. Miguel Rosenberg Del Pilar Degante
Med. Ped. Ma. Guadalupe Ortiz Martínez

Mtra. Jessica Puig Brito
Dr. Guillermo Ramírez Zúñiga
Dr. Oscar Hilario Salinas Avilés
Dra. Estela Sarmiento Bustos

Dr. Jorge Salvador Valdéz Martínez

EDITORIAL

En esta séptima edición de la Revista REDDI+TEZ, reafirmamos nuestro compromiso con la divulgación científica y el desarrollo tecnológico como un pilar fundamental en la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata. A través de artículos de investigación, proyectos innovadores y reflexiones académicas, esta publicación busca inspirar y fortalecer la cultura de generación de conocimiento dentro de nuestra comunidad universitaria y más allá. En este número nos es grato incluir aportaciones muy valiosas de nuestros colaboradores y amigos y con ello cerramos otro año de actividades.

En la sección de Ideas y Perspectivas nos presentan cómo la ciencia tiene que ver con hombres que no cejan en su intento por tratar de explicar el mundo que nos rodea, enseñando a sus discípulos y, muchas veces, siendo superados por ellos; además, nos adentramos en el mundo del genoma humano, pudiendo advertir que tenemos mucha similitud con otras especies y nos dejan pensando ¿en qué somos diferentes?. Además, en esta sección, les queremos dejar una importante reflexión, presentándoles un artículo que nos ayuda a identificar la forma en que vemos el proceso de enseñanza – aprendizaje y cómo evoluciona de acuerdo a los cambios que vive la sociedad y su manera de relacionarse con el mundo.

Sin duda, tendremos nuevas perspectivas de la ciencia y la educación, que seguramente nos enriquecerán mucho.

En la sección de Estudios y ensayos, comenzamos con un estudio que presenta una propuesta de sistemas de controladores automáticos, que sin duda permiten la automatización de una serie de cosas en este mundo que hoy nos facilita la vida.

También encontramos un ensayo que nos habla de las complicaciones musculo esqueléticas que se presentan en enfermos de diabetes, con lo que podemos entender un poco más sobre la importancia de prevenir este tipo de enfermedades degenerativas.

Por último, el estudio sobre la riqueza turística del pueblo mágico de Xochitepec, nos muestra las cualidades que los visitantes buscan cuando eligen este tipo de destinos turísticos, apoyados por una investigación realizada por estudiantes de Desarrollo de Negocios y estructurada por su docentes.

Cada página de esta edición representa el esfuerzo colectivo de profesores, investigadores y estudiantes que, con dedicación, contribuyen al avance de las disciplinas tecnológicas y científicas. Los trabajos aquí presentados no solo muestran resultados, sino que también abren camino a nuevas preguntas y desafíos, consolidando la misión de transformar ideas en soluciones concretas para la sociedad.

Agradecemos a quienes participan en esta edición y alentamos a nuestra comunidad a continuar impulsando la investigación, la innovación y la divulgación como elementos clave del desarrollo académico y social. Como Revista, buscamos forjar el camino para nuevos retos y explorar nuevos horizontes en pro de nuestro territorio de calidad.

No me queda más que desearles felices fiestas y aquí nos leemos en nuestro próximo número de la ReDDI+TEZ.

M.T.J. Martha Elena Luna Ortiz

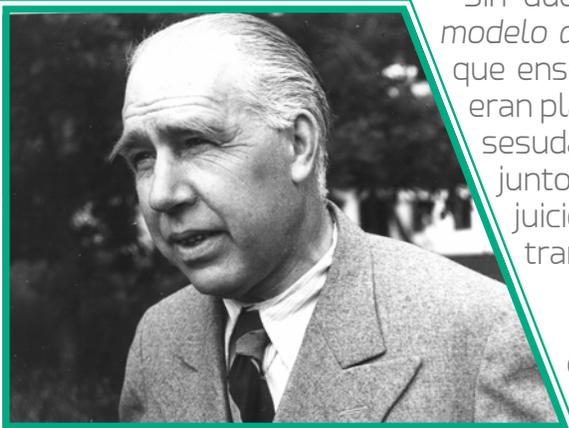


Ideas y Perspectivas

HISTORIAS DE CIENTÍFICOS Y BUENOS PROFESORES

Oscar Rodríguez Sánchez
oscar@ccg.unam.mx

La historia está plagada de excelentes científicos, que eran pésimos como maestros. Pero no me refiero a maestros como los clásicos profesores en el aula, sino maestros tanto dentro como fuera de la escuela, en estrecha relación con los alumnos, en los paseos, bares, reuniones.



Sin duda, uno de los más destacados fue Niels Bohr (*el del modelo atómico*); él gustaba mucho más del discurso en privado, que enseñar en clases. Generalmente el estudiante llegaba y le eran planteadas preguntas sobre su investigación, en torno a una sesuda, pero animada conversación. Se reunían, para aprender juntos. Si alguien le presentaba un nuevo trabajo, su primer juicio solía ser: "**¡Magnífico!**", pero sólo los novatos caían en la trampa y creían triunfar demasiado pronto.

Si Bohr pronunciaba algo como "**very, very interesting**" con una ligera sonrisa -*como de disculpa* - después de la conferencia de un joven discípulo; en realidad, era un juicio sumamente negativo.

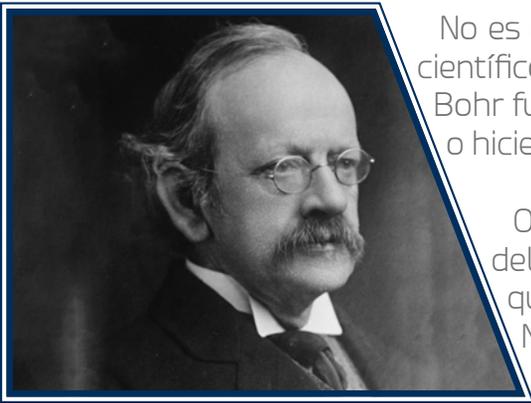
Preguntando, hablando sólo a ratos o callando algunos minutos; Niels conseguía que el joven físico, llegara por sí mismo a darse cuenta que quizá en efecto su trabajo, no estaba bien meditado. Una conversación de este tipo podía durar horas y prolongarse hasta bien entrada la noche. Generalmente con alguna "**botana**" y desde luego dotación de cerillos, para que el maestro pudiera encender su pipa que se estaba apagando constantemente.

Bohr siempre tenía una pipa que eternamente procuraba mantener encendida. Le era imposible hablar y al mismo tiempo volverla a encender. Se pasaba buena parte del tiempo teniendo en la mano un cerillo que se iba consumiendo hasta los dedos y en el instante justo, era arrojado de la mano. Quienes hablaban con él, miraban fascinados todo ese espectáculo (*al lado del asiento de Bohr se amontonaban los cerillos y al acabar, el gran hombre se ponía a gatas y recogía todo aquello*).



El discípulo empezaba no sólo a descubrir las faltas de su trabajo, sino incluso a criticarlas duramente. Entonces Bohr le frenaba advirtiéndole que no lo desechara todo; porque incluso en el error, siempre hay algo aprovechable - se dice que los progresos de Bohr eran obtenidos **"cometiendo todos los errores posibles"**; el punto decisivo, era cometerlos rápidamente y aprender gracias a ellos - .

Uno de sus alumnos (Léon Rosenfeld (1904-1974), quien acuñó la palabra leptón) dijo una vez: **"Vienen buscando al científico y encuentran al hombre, en el pleno sentido de la palabra"**.



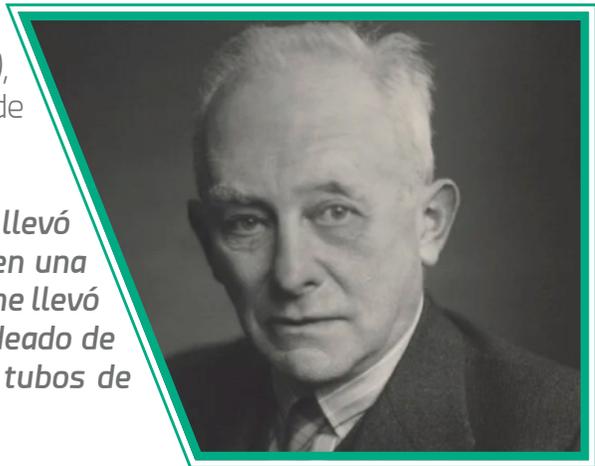
No es de extrañar que de su círculo salieran tantos y tan grandes científicos. Casi todos los discípulos que pasaron por las manos de Bohr fueron Premios Nobel, directores de importantes instituciones o hicieron grandes contribuciones a la ciencia.

Otro gran físico y gran maestro, fue J.J. Thomson, descubridor del electrón y premio Nobel de Física en 1906. Siete físicos que fueron ayudantes suyos recibieron posteriormente un Nobel, incluido su hijo G.J. Thomson. Fue muy apreciado como maestro, guía y director de departamento.

El avance de la ciencia es curioso, ya que J.J. (*el padre*) recibiera el premio Nobel por probar que el electrón era una partícula y 31 años después, G.J. (*el hijo*), recibiera el mismo premio por demostrar que el electrón era una onda.

Uno de sus estudiantes, Max Born (1882-1970), premio Nobel de Física en 1954 y catedrático de Física de Edimburgo, a la muerte de J.J., recordaba:

"Fue el nombre del profesor J.J. Thomson el que me llevó a Cambridge en 1906 (...). Más de quince años después, en una visita a Cambridge me encontré al hijo de Thomson, que me llevó al Cavendish, al sótano, donde J.J. estaba trabajando rodeado de las habituales y complicadas estructuras de aparatos, tubos de vidrio y cables. Fui presentado:



Padre, aquí está un antiguo discípulo tuyo que estudió contigo hace años ...

La cabeza gris, inclinada sobre un tubo de vacío que brillaba, se levantó durante un minuto:

¡Qué tal! Ahora, mire aquí, este es el espectro de ...

Y al momento estábamos inmersos en el ámbito de la investigación, olvidando el abismo de años, guerra y posguerra, que había entre este reencuentro y la época en que nos conocimos por primera vez. Así era Thomson en el Cavendish: la ciencia personificada.



Incluso Rutherford, que no era precisamente un ejemplo de modestia, le tenía muchísimo respeto, tanto al padre como al hijo”.

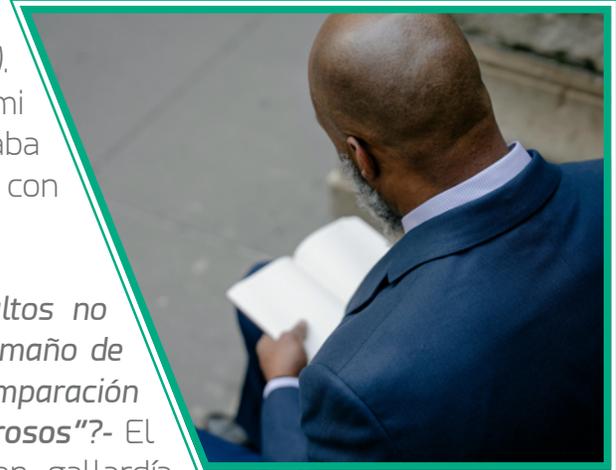
Del genio Bohr, guardo muchas anécdotas semejantes, que como discípulo, viví con el Dr. Guillermo Dávila, con quién compartí el placer de la ciencia y la amistad desde hace más de 40 años. En lugar de pipa, siempre han sido cigarrillos y en lugar de física; han sido la genética, biología molecular y genómica.

CON AMISTAD Y RESPETO PARA TI MEMO.

¡ADIÓS! "HOMBRE ARAÑA...! ADIÓS... "HOMBRE LIBRO" -LA SIMILITUD DEL GENOMA HUMANO CON ALGUNAS ESPECIES Y SUS RESPECTIVOS GENOMAS-

Por Oscar Rodríguez Sánchez
oscar@ccg.unam.mx

La curiosidad científica es intrínseca a la naturaleza humana y más cuando se es niño (o se sigue siendo niño). Me encontraba como cualquier ciudadano en espera de mi transporte con un libro en mi mano. Una mujer arrebolaba en bello rebozo a su crío y de su mano un pequeño que con presuroso paso le seguía.

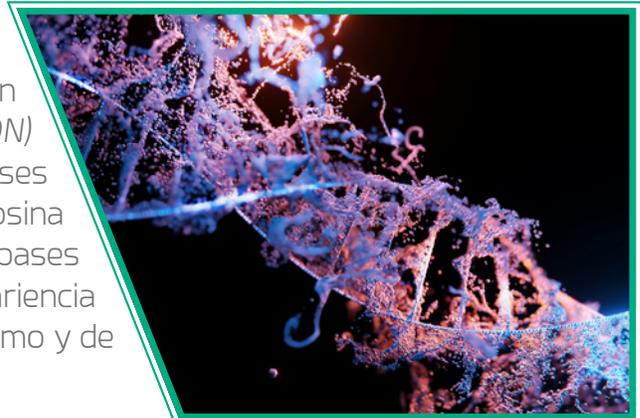


-¿Por qué los adultos no se dan cuenta del tamaño de su zancada en comparación de "pasitos presurosos"?- El pequeño con gran gallardía lucía su disfraz de "Hombre araña" y me orillo al arroyo para permitir su paso y sonriendo le espeté "Adiós Hombre araña". Siguieron su camino y el pequeño pregunta a su mami ¿que le había dicho? De pronto detiene su andar y regresa a mi encuentro escudriñando mi aspecto... ¡Adiós "Hombre libro"! (ello fue lo que llamó su atención para describirme).



Llego al escritorio de mi oficina y encuentro en la computadora un correo electrónico de parte del Comité Editorial de la UTEZ con una invitación para colaborar con algún artículo de divulgación científica. Así que usurpando mi cotidiano; utilizo la anterior anécdota para hacer la pregunta ¿Qué tan parecidos somos genómicamente los humanos a otras especies? – Todo por ello de "Hombre araña"-.

El genoma de un organismo, es la información genética codificada en la macromolécula de DNA (ADN) que sólo incluye la combinación y posición de cuatro bases nitrogenadas: Adenina (A), Timina (T), Guanina (G) y Citosina (C). Es decir, la combinación y posición de estas bases nitrogenadas, son las responsables de nuestra apariencia física (fenotipo) lo que es visible en cualquier organismo y de lo que no vemos; nuestros genes (genotipo).





Al comparar el genoma humano con otras especies; encontramos que el parecido genómico entre un hombre u otro, es mayor a 99.8 % (El **"racismo"** resulta incongruente). Tenemos ancestro común con los primates (tal como lo propuso Darwin) ya que nos parecemos 98.9% al chimpancé. Más aún; compartimos 70% con una rata, 23% con un gusano y 60% con una mosca.

*"En un divertimento en clase; proponía a mis alumnos que si observáramos algunos **"comportamientos"** podríamos emular conductas con base a su porcentaje de similitud a otras especies – esto no es cierto, pura diversión- de quienes quieren imponerse físicamente (chimpancés); los que piden un **"trabajo extra"**, trabajar más nocturnamente (rata); los que jamás preguntan u opinan (gusanos) y los que dan **"lata aquí o allá"** y no paran de improperiar (moscas)".*

Así como Jean Pierre Champollion con la llamada **"piedra rosseta"** (monolito que contenía los jeroglíficos egipcios) pudo descifrar el lenguaje. Para un genómico, obtener la secuencia completa de un organismo es tener la **"piedra rosseta"** pero de la vida. Es decir, ahí está el lenguaje de la vida; ahora tenemos que comprenderlo.

Actualmente; sólo conocemos el 30% de lo que codifica un genoma.



Aquí en nuestra querida Cuernavaca, se secuenció el primer genoma en México. Se trata de la bacteria *Rhizobium etli* (*Rhizobium*; el que vive en la raíz y *etli*: del náhuatl **"etl"**: frijol) que es capaz de respirar el nitrógeno del aire y convertirlo en nitrógeno aprovechable por la planta de frijol (Ello evita el uso de fertilizantes nitrogenados; ya que con esta simbiosis la planta se desarrolla perfectamente).

Honrado estoy de ser co-autor de ese gran esfuerzo y trabajo en el entonces Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno (CIFN-UNAM) – que fue el primer centro de investigación de la UNAM en Morelos- y que actualmente se llama: Centro de Ciencias Genómicas (CCG-UNAM).



Ideas y Perspectivas

UNA VISIÓN PERSONAL DE QUIEN ENSEÑA Y APRENDE

Por Mtra. Laura Patricia García Cervantes
lauragarcia@utez.edu.mx

Nadie educa a nadie
- *Nadie se educa a si mismo* -,
los hombres se educan entre
si con la mediación del mundo.

Paulo Freire.

Tras mis conocimientos y experiencia sobre la transformación de la educación, desde sus inicios a la actualidad, quisiera compartir lo fascinante de aquello que considero un arte y una vocación del alma, a la que muchos denominan "**Educación**".

Para la siguiente reflexión me remonto al planteamiento realizado por Platón (388 – 385 a.c.), el cual considera a la educación como el perfeccionamiento del alma y la dirige hasta lo que hoy se denomina como inteligencia artificial generativa aplicada a la educación. Por lo anterior, en este escrito les comparto un recorrido de transición entre la vieja y la nueva escuela mexicana, así como las tendencias que sugieren hacia donde se dirige la misma.

Actualmente, el objetivo planteado por la UNESCO va dirigido a que todas y todos debemos trabajar bajo un enfoque de la IA centrado en el ser humano, como una solución a las desigualdades actuales en materia de acceso a la educación, el conocimiento, la investigación y la diversidad de las expresiones culturales; generando así un enfoque de diseño universal que se suma al proceso de enseñanza-aprendizaje, sin olvidar que este debe ir acompañado por el principio fundamental de la ética. (<https://www.unesco.org/es/digital-education/artificial-intelligence>, 2023).

Entender las aportaciones que la educación como ciencia me ha brindado en medio de una diversidad de contextos específicos, los cuales van desde los propuestos por la sociedad misma, en los distintos momentos en los que he practicado la docencia, la cual con el tiempo se ha alimentado desde la cosmovisión, la cultura, la idiosincrasia, la religión, la economía, las formas de gobierno e incluso la tecnología y que de manera paralela han sido enriquecedoras y fascinantes a mi persona, confirmo el amor que tengo por el arte de enseñar.

Por lo antes mencionado quisiera retomar la mirada de (Dilthey, 1949:69) quien menciona: **"La educación es un sistema cultural, pero también medios, los cuales se hallan al servicio de los fines directos de la vida social"** punto que comparto desde mi visión de vida, donde creo que mi función como docente es, ha sido y espero siga siendo la de una transformadora social de mentes, de contextos, de sistemas e incluso de la vida misma de quienes estoy educando y al mismo tiempo, me están educando en el acontecer del día a día; es entonces donde puedo reafirmar lo citado al inicio de este artículo: **"Nadie educa a nadie sino que la humanidad se educa entre sí con la mediación del mundo"** (Paulo Freire).



Por tanto, la educación como un sistema cultural, considera que los medios y avances tecnológicos aportan y fortalecen esos conocimientos primarios provenientes de nuestros ancestros, esos observadores y estudiosos de los fenómenos naturales y sociales, que transmitieron sus conocimientos de generación en generación; legados llenos de riqueza y sabiduría que desde su cosmovisión tenían como finalidad alimentar el alma y el pensamiento de muchas culturas; sin imaginar que hoy en día, las nuevas generaciones, pueden consultarlo todo a través de un link; con solo echar mano de las tecnologías actuales.



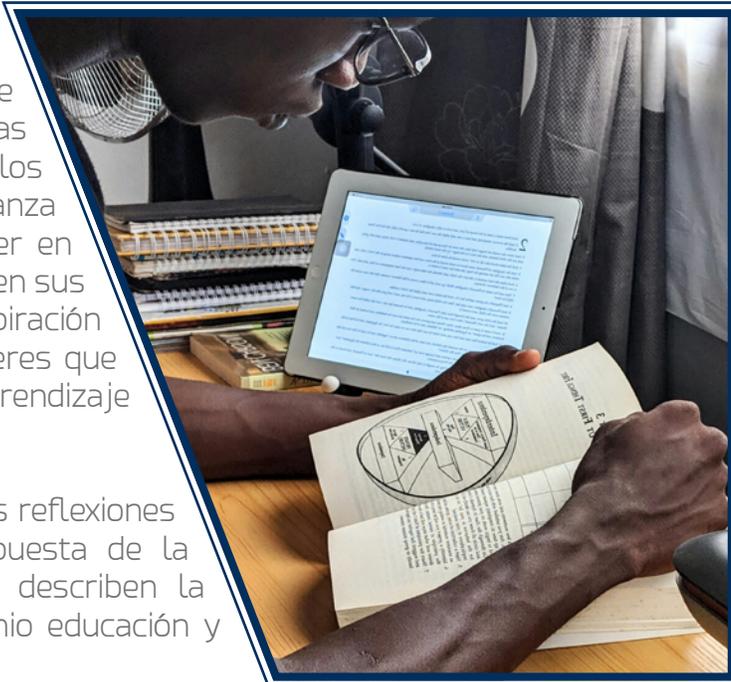
En este punto me es importante destacar que durante mi labor docente he desarrollado cierta habilidad hacia la pedagogía, misma que me ha ayudado a desaprender patrones y conductas; construyendo diversos conocimientos, además de generar pensamientos críticos sobre mis actúares y mi ideología; mismos que con el tiempo me han permitido poder incursionar en el mundo de la tecnología y la inteligencia artificial, herramientas que hoy por hoy son parte de mi labor docente.

Una característica que me identifica como miembro de la generación "X" es la ruptura; este proceso a través del cual pretendo cuestionar, transformar y romper paradigmas vigentes con la intención de reconstruirlos desde otra perspectiva, pues a esto yo lo llamo transformación.

Por otro lado, las implementaciones de estrategias pedagógicas me han ayudado en las distintas labores y prácticas educativas reforzando mis fortalezas ante la diversidad de individuos con los que he interactuado, así como con cada una de las disciplinas que he impartido. Todos estos factores me han llevado a tener un pensamiento multicultural e incluso atemporal; tomando al pasado como el origen del conocimiento, a la historia como la evolución de los saberes, a la cultura como la riqueza del alma y a la tecnología como uno de los transformadores emergentes de la educación actual.

Considero entonces que la pedagogía ha sido, una serie de medios, métodos y procedimientos que están en constante cambio generando una serie de herramientas y estrategias que fortalecen y transforman los ámbitos y escenarios del proceder en la enseñanza y que todo docente debe considerar y poner en práctica en su día a día en el aula, generando en sus estudiantes, un pensamiento crítico, una inspiración a la investigación, una suma de nuevos saberes que englobados, podríamos resumir en un aprendizaje significativo.

Por lo anterior concluyo con las siguientes reflexiones que, por momentos, coinciden con la propuesta de la pedagogía como ciencia de Dilthey y que describen la percepción actual que poseo sobre el binomio educación y pedagogía:



"La educación es una ciencia que ha evolucionado y que continúa en transformación de acuerdo al contexto cultural histórico de las distintas sociedades a través del tiempo, la cual se ha alimentado de los saberes y conocimientos de aquellos que los quieren compartir con otros; entonces, educar no solo es la esencia del ser, sino para muchos el sistema cultural que ayuda a formar la perfección del alma, que considera al impulso como una necesidad, a los sentimientos como una reacción, al pensamiento como parte de la razón y a la inteligencia artificial como un nuevo desafío".

"La pedagogía entonces, son las distintas propuestas y metodologías que se aplican en los distintos contextos educativos, acompañadas de una serie de herramientas e instrumentos que facilitan el proceder de aquel que enseña para generar en los otros el aprendizaje significativo".

REFERENCIAS

Freire, Paulo, Faundez, Antonio, (1918) "Por una pedagogía de la pregunta", Ed. Siglo XXI, Editores.S.A.

Dilthey, Wilhelm (1949) "Introducción a las ciencias del espíritu", Segunda edición, Trad. Eugenio Imaz, México. FCE

(<https://www.unesco.org/es/digital-education/artificial-intelligence>, 2023)

Renato Huarte Cuellar (2018) "La Filosofía de la educación desde los linderos" Pensadores en torno a la educación en los siglos XIX y XX, NEWTON. Edición y Tecnología Educativa.



ReDDI+TEZ

REVISTA DE DIFUSIÓN Y DIVULGACIÓN EN
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EMILIANO ZAPATA



ESTUDIOS Y ENSAYOS

MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO ALREDEDOR DE LA VECINDAD DE UN PUNTO DE OPERACIÓN PARA UNA FAMILIA DE SISTEMAS SISO ESTOCÁSTICOS CONTROLADOS POR UN PID.

LUIS JAIME LÓPEZ VEGA

UTEZ

DIVISIÓN ACADÉMICA DE MECÁNICA INDUSTRIAL (DAMI)

NO. ORCID: 0000-0002-7304-2354

JORGE SALVADOR VALDEZ MARTÍNEZ

UTEZ

DIVISIÓN ACADÉMICA DE MECÁNICA INDUSTRIAL (DAMI)

NO. ORCID: 0000-0002-0136-9497

ABRAHAM LEYVA MANCILLA

UTEZ

DIVISIÓN ACADÉMICA DE MECÁNICA INDUSTRIAL (DAMI)

NO. ORCID: 0009-0006-9869-2237

ENRIQUE CONTRERAS CALDERÓN

UTEZ

DIVISIÓN ACADÉMICA DE MECÁNICA INDUSTRIAL (DAMI)

NO. ORCID: 0000-0001-7296-5088

IVÁN ALCALÁ BAROJAS

UTEZ

DIVISIÓN ACADÉMICA DE MECÁNICA INDUSTRIAL (DAMI)

NO. ORCID: 0000-0001-5133-8069

RESUMEN

En este escrito se presenta el método para la obtención de un modelo matemático alrededor de la vecindad de un punto de operación para una familia de sistemas de una entrada una salida (SISO, por sus siglas en inglés) estocásticos (levitador neumático), mediante el procesamiento matemático de su señal de entrada y de salida, logrando así conocer el orden y características dinámicas del sistema, mediante su representación en función de transferencia, y de esta manera implementar y facilitar el diseño del controlador. Se lleva a cabo el análisis de robustez de la familia de sistemas SISO estocásticos controlados, mediante el Lugar Geométrico de las Raíces (LGR), asegurando la dinámica deseada del sistema en régimen transitorio y en régimen permanente.

PALABRAS CLAVE

Sistema SISO estocástico, controlador, LGR, levitador neumático.

Abstract- This manuscript presents the method for obtaining a mathematical model around the neighborhood of an operating point for a family of stochastic Single Input Single Output (SISO) systems (pneumatic levitator), through the mathematical processing of its input and output signal, thus achieving to know the order and dynamic characteristics of the system, by means of its representation in transfer function, and in this way to implement and facilitate the design of the controller. The robustness analysis of the family of controlled stochastic SISO systems is carried out, by means of the Locus of roots, ensuring the desired dynamics of the system in transitory and permanent regime.

KEYWORDS:

Stochastic SISO system, Controller, Locus of roots, Pneumatic levitator.

INTRODUCCIÓN

En control automático, se usan controladores para llevar a la variable de salida de un sistema de una entrada una salida (*SISO, por sus siglas en inglés*) al comportamiento deseado. Actualmente, el trabajo de un ingeniero consiste en realizar modelos matemáticos de los procesos estudiados (*Ljung, 1994, pág. 83*). Sin embargo, modelar matemáticamente un sistema industrial, no es fácil, ya que involucra componentes de varias disciplinas de la ingeniería (*Brogan, 1991, pág. 3*), requiriendo conocimientos en áreas como la mecánica, eléctrica, electrónica, mecatrónica, hidráulica, neumática, térmica, química, entre otras; haciendo del modelado matemático una labor compleja. Para diseñar un controlador, se requiere un modelo que caracterice el comportamiento dinámico del sistema, que permita validar que los parámetros del controlador, satisfagan las especificaciones de diseño (*López, 2017, pág. 148*).

El modelado matemático de sistemas dinámicos es muy importante en la ingeniería de control, especialmente cuando se trata de sistemas estocásticos. Los sistemas de una entrada, una salida (*SISO, por sus siglas en inglés*) controlados por controladores PID son ampliamente utilizados debido a su simplicidad y efectividad en una variedad de aplicaciones. Sin embargo, la caracterización matemática de estos sistemas en presencia de perturbaciones estocásticas representa un problema muy grande, ya que implica considerar tanto las variaciones aleatorias de los parámetros como las interacciones no lineales y los efectos de los controladores. Los métodos tradicionales de modelado no siempre permiten una representación adecuada de la dinámica en régimen transitorio y permanente de los sistemas estocásticos controlados por PID. Por esta razón, en este trabajo, se muestra un método para obtener un modelo matemático para una familia de sistemas estocásticos SISO, alrededor de la vecindad de un punto de operación, mediante el procesamiento de señales. Para ello, se realizará el diseño del controlador, con el fin de mostrar los resultados del análisis de robustez de la familia de sistemas controlados, mediante el método del Lugar Geométrico de las Raíces (*LGR*) y de esa forma, asegurar la dinámica deseada del sistema en régimen transitorio y en régimen permanente.

La importancia de mostrar esta alternativa, es la de tratar de desarrollar un método que no solo proporcione una forma efectiva de obtener modelos matemáticos para sistemas SISO estocásticos cerca de un punto de operación, sino que también permita diseñar controladores PID robustos que aseguren el cumplimiento de las especificaciones deseadas en términos de estabilidad y desempeño. Al integrar el procesamiento de señales para la identificación de modelos y utilizar herramientas avanzadas de análisis como el Lugar Geométrico de las Raíces, el método propuesto no solo contribuirá a una mejor comprensión de la dinámica de estos sistemas, sino que también proporcionará una solución práctica para mejorar el diseño y control de sistemas en entornos estocásticos.

DESARROLLO

Enseguida se presenta el método para la obtención de un modelo matemático alrededor de la vecindad de un punto de operación para una familia de sistemas SISO estocásticos.

A. Sistema SISO estocástico

El sistema SISO estocástico bajo estudio corresponde a un prototipo de un levitador neumático mostrado en la Figura 1.

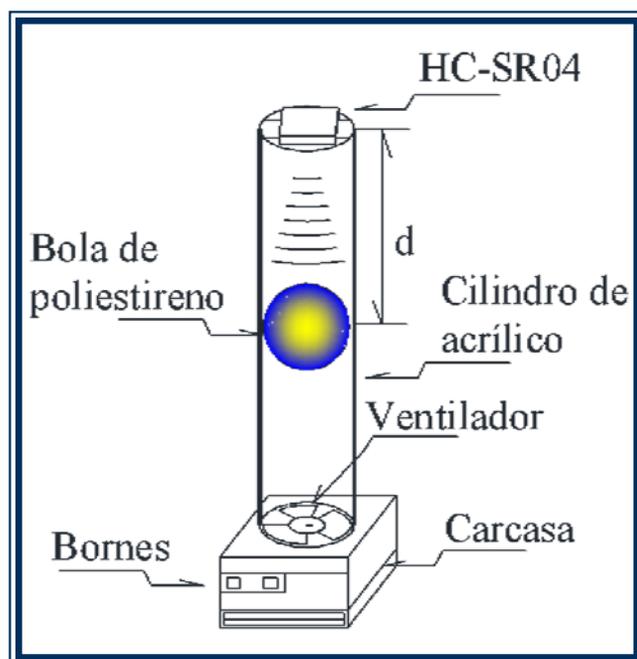


Fig. 1. Imagen del levitador neumático

Este prototipo, consta de una carcasa, en la que se encuentra un ventilador de CD (*Corriente Directa*), en la parte superior hay un orificio por donde sale el aire que impulsa a una bola, de tal forma que la hace levitar dentro de un cilindro de acrílico incorporado a la carcasa. En el extremo superior del cilindro de acrílico se cuenta con un sensor ultrasónico HC-SR04 (*HC-SR04, 2021, pág. 1*), programado para convertir la distancia medida en una señal de tensión de CD y bornes de conexión.

Para cada una de las n posiciones posibles de la bola, existe un modelo matemático que representa la dinámica del sistema. En consecuencia, habría n modelos matemáticos diferentes, lo que exigiría el diseño de n controladores PID, uno para cada modelo. Sin embargo, desde el punto de vista práctico, esto no es factible debido al alto costo económico que implicaría implementar tantos controladores. Además, teóricamente, este enfoque requeriría un gran número de horas dedicadas a realizar complejos cálculos matemáticos. Por lo tanto, se hace necesario desarrollar un único modelo matemático que pueda representar de manera eficiente a las n familias de sistemas, optimizando así tanto el diseño como la implementación del controlador.

B. Método para la obtención de un modelo matemático correspondiente al sistema SISO estocástico (levitador neumático).

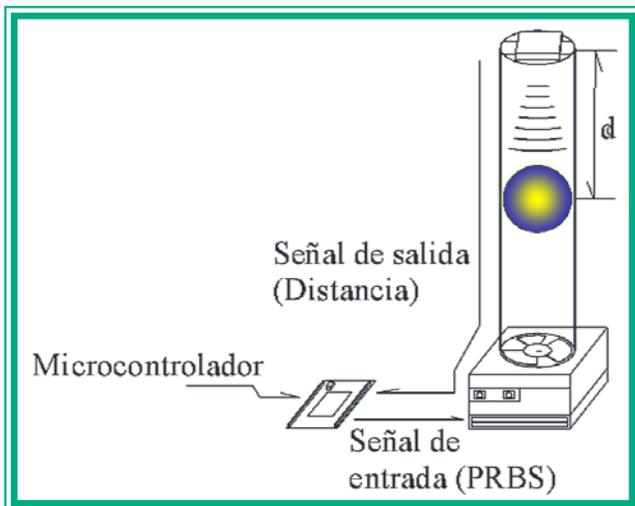


Fig. 2. Imagen del levitador neumático.

El método para obtener el modelo del sistema bajo estudio, consiste en aplicar una señal de entrada al sistema y registrar tanto la señal de entrada como la de salida (*Ver Fig. 2*).

En este caso, se emplea una señal PRBS (*Pseudo-Random Binary Signal*), una secuencia binaria pseudoaleatoria que ayuda a excitar el sistema de manera controlada. Estas señales, se registran en vectores con un período de muestreo fijo de 0.1 segundos. Luego, estos vectores, obtenidos en el dominio del tiempo, se utilizan para modelar el sistema en función de transferencia en tiempo discreto. Este modelo puede transformarse posteriormente al dominio continuo, permitiendo así el diseño de un controlador adecuado para el sistema en estudio.

Para realizar la identificación del sistema de levitación neumática, se diseñó una señal PRBS. Esta señal es determinista y periódica, con propiedades similares a las del ruido blanco, lo que facilita una excitación adecuada del sistema. La PRBS es generada mediante la ecuación en diferencias mostrada en (1) y (2), las que permiten obtener una secuencia de valores pseudoaleatorios necesarios para el proceso de modelado y análisis (*Ljung, 1999*):

$$u(t) = \text{rem}(A(q)u(t), 2) \quad (1)$$

$$u(t) = \text{rem}(a_1 u(t-1) + \dots + a_n u(t-n), 2) \quad (2)$$

Para lograr un ajuste (*fit*) más preciso en el modelo, primero se debe excitar al sistema hasta que alcance su estado de régimen permanente, es decir, hasta que la respuesta del sistema se estabilice. Luego, se aplica una señal PRBS (*Pseudo-Random Binary Signal*) para generar una respuesta dinámica. La señal de salida del sistema, bajo la excitación de la PRBS, debe mostrar una variación aproximada del 30% en relación con el valor alcanzado en régimen permanente. Esto permite capturar mejor las características del sistema. La Fig. 3 muestra la señal de salida resultante del sistema bajo estas condiciones.

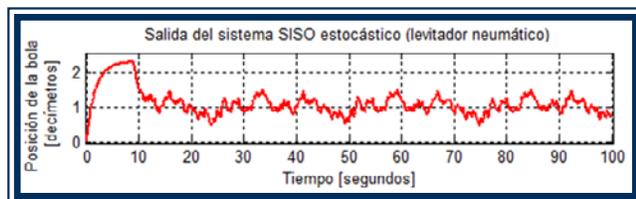


Fig. 3. Señal de salida del sistema SISO estocástico (levitador neumático).

La PRBS fue la señal de excitación de entrada al sistema, su comportamiento se puede observar en la Fig. 4. Una vez que la bola del levitador neumático alcanzó la estabilidad comenzó a aplicarse la PRBS con lo que el sistema dejó una "huella" (señal de salida mostrada en la Fig. 3), misma que se utilizará para obtener el modelo del sistema.

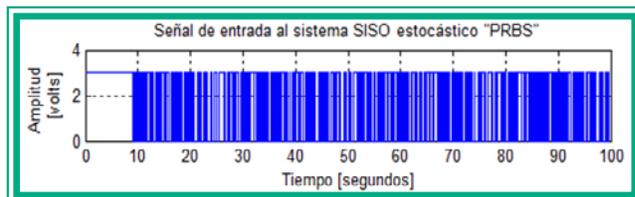


Fig. 4. Señal de excitación de entrada PRBS.

El procedimiento que se sigue con el fin de obtener la mejor estimación del modelado del sistema SISO estocástico, se puede observar en la figura 5.

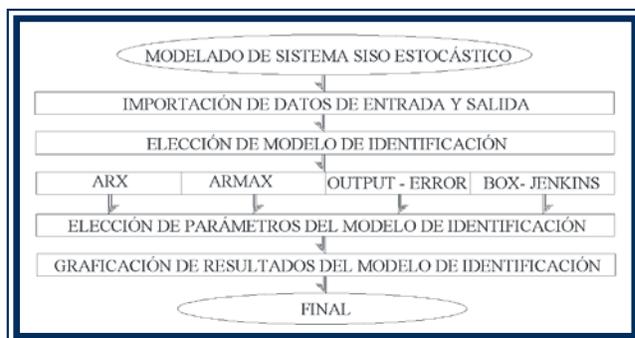


Fig. 5. Procedimiento de estimación de modelado del sistema en estudio.

Para lograr la estimación, inicialmente se importan los datos de entrada y salida. Después de ello, se elige el modelo de identificación más adecuado (el cual puede ser el modelo de autoregresión con variables exógenas ARX), el modelo del promedio móvil autorregresivo con entrada exógena (ARMAX), modelo de salida - error (OE), modelo de Box - Jenkins (BJ), así como sus parámetros; con base en una serie de gráficas obtenidas se elige la mejor identificación.

En este caso, en la Fig. 6, se ven las gráficas para la estructura del modelo ARMAX, con un orden de 1, para el parámetro k, 3 para el polinomio A y B y 2 para el C. Enseguida se presenta el modelo matemático obtenido para el sistema.

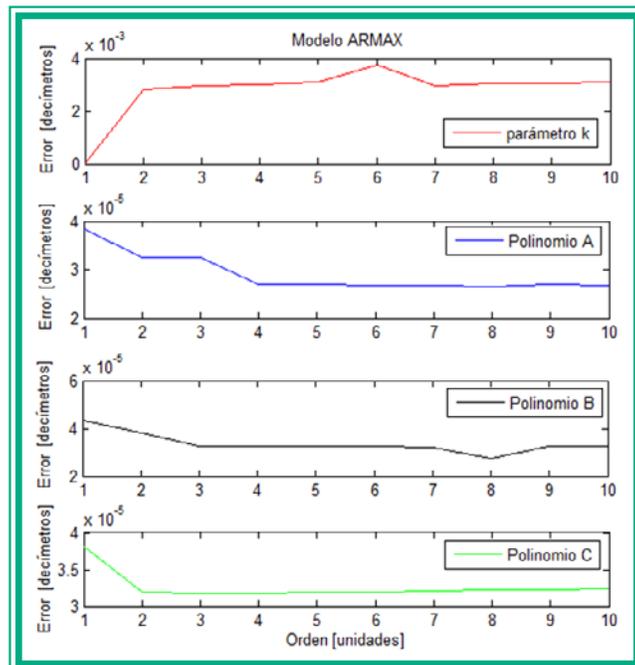


Fig. 6. Gráficas para la estructura del modelo ARMAX.

C) Modelo matemático correspondiente al sistema SISO estocástico (levitador neumático) alrededor de un punto de operación.

El modelo matemático del sistema alrededor de la vecindad de un punto de operación, se muestra en la ecuación (3):

$$G(z) = \frac{0.03564z^2 - 0.02254z - 0.01289}{z^3 - 1.946z^2 + 0.9552z - 0.009232} \quad (3)$$

En la ecuación (4) se muestra la función de transferencia en tiempo continuo, usando un retenedor de orden cero en la entrada (Mathworks, 2021, pág.1), con un periodo de muestreo T=0.1s:

$$G(s) = \frac{-0.1519s^2 + 23.37s + 1.033}{s^3 + 46.85s^2 + 30.54s + 1.473} \quad (4)$$

Para determinar el método empleado al diseñar el controlador PID, se necesita conocer la señal de salida del sistema descrito en la ecuación (4), ante una entrada de tipo escalón unitario, la cual se muestra en la Fig. 7:

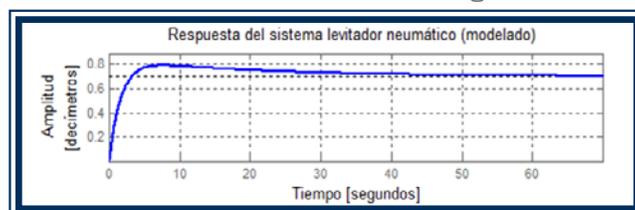


Fig. 7. Respuesta del sistema levitador neumático, ante una entrada de tipo escalón unitario

En la Fig. 8, se aprecia un acercamiento a los primeros 0.2 segundos de la gráfica de la Fig. 6 muestra que la salida del sistema, presenta un retardo (respuesta en forma de "S"). Para diseñar el PID, se aplicó el primer método de Ziegler – Nichols (Ogata, 2010, 569), obteniendo los siguientes valores para L y T:

$$L=0.0253 \quad (5)$$

$$T=1.5742 \quad (6)$$

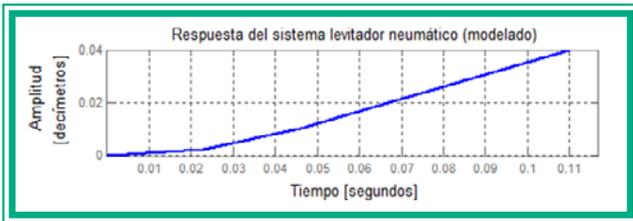


Fig. 8. Acercamiento a la respuesta del sistema levitador neumático, ante una entrada de tipo escalón unitario

Con base en la Tabla 1 propuesta por Ziegler – Nichols (Ogata, 2010, pág. 579), se proponen las ganancias para el PID, las cuales se muestran en (7):

Tabla 1. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
PID	$\frac{1.2T}{L}$	$2L$	$0.5L$

$$K_p=74.6656, K_d=0.9445, K_i=1475.6047 \quad (7)$$

Así la función de transferencia del PID en tiempo continuo es como en (8) y la de la trayectoria directa, es como se muestra en (9):

$$C(s)=\frac{0.9445s^2+74.6656s+1475.6047}{s} \quad (8)$$

$$D(s)=\frac{K_p(T_d s^2+s+(1/T))(-0.1519s^2+23.37s+1.033)}{s^4+46.85s^3+30.54s^2+1.473s} \quad (9)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Enseguida se presentan los resultados obtenidos después de aplicar el método para la obtención de un modelo matemático alrededor de la vecindad de un punto de operación para una familia de sistemas SISO estocásticos controlados por un PID.

A. Resultados del análisis de robustez de la familia de sistemas SISO estocásticos controlados, mediante el método del Lugar Geométrico de las Raíces (LGR) asegurando la dinámica del sistema en régimen transitorio y en régimen permanente.

Físicamente el sistema se puede considerar como un sistema no lineal, por lo que obtener el modelo matemático para la familia de sistemas SISO estocásticos fue un gran resultado. La Fig. 9, muestra la respuesta del sistema SISO estocástico levitador neumático modelado (de aquí en adelante se le llamará sistema modelado) ante una entrada de tipo escalón unitario. La salida del sistema modelado no alcanza la señal de referencia (escalón de tipo unitario) y es lento relativamente hablando ya que alcanza el régimen permanente en aproximadamente 60 segundos, por lo anterior resulta imprescindible el diseño de un controlador de tipo PID.



Fig. 9. Respuesta del sistema levitador neumático (modelado) en lazo cerrado controlado por un PID.

Con el modelo matemático obtenido, representado mediante función de transferencia en tiempo continuo (ver ecuación (4)), se diseñó un controlador de tipo PID (ver ecuación (8)). En la Fig. 9, se muestra la dinámica en lazo cerrado, que exhibe la señal de salida del sistema modelado, ante una entrada de tipo escalón, cuando este se encuentra controlado por un PID y se puede observar que alcanza el régimen permanente en un tiempo de 0.26 segundos aproximadamente, es decir, aproximadamente 230 veces más rápido de lo que el sistema lo hacía en lazo abierto (ver Fig. 6 y 7). En la Fig. 10, la señal de salida del sistema modelado, exhibe un sobreimpulso de 45% aproximadamente, por ello se realizó el análisis del LGR, y se ajustó la ganancia K_p para reducir el máximo sobreimpulso M_p y el tiempo de asentamiento t_s .

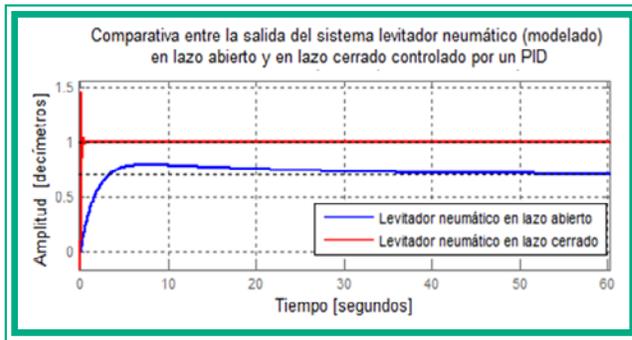


Fig. 10. Comparativa de la salida del sistema levitador neumático (modelado) en lazo abierto vs lazo cerrado controlado por un PID.

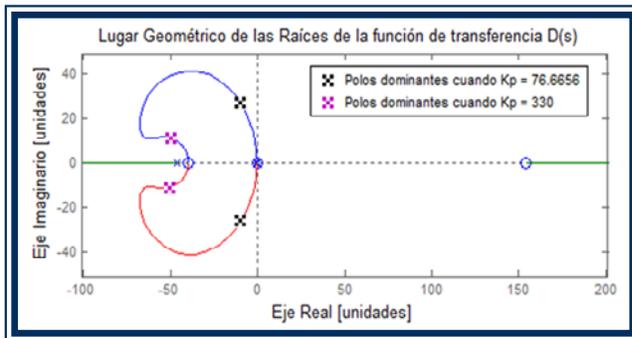


Fig. 11. Comparativo del LGR cuando $K_p=76.6656$ vs $K_p=330$

Ajustado el valor de $K_p=330$, se volvió a graficar la señal de salida del sistema modelado, para verificar la mejora del máximo sobreimpulso M_p y el tiempo de asentamiento t_s , y se observa que el máximo sobreimpulso M_p pasó de ser de un 45% a un 31.2% y el tiempo de asentamiento t_s pasó de ser de 356mS a solo 75.5mS, en la Fig. 12, se puede verificar lo escrito en este párrafo.

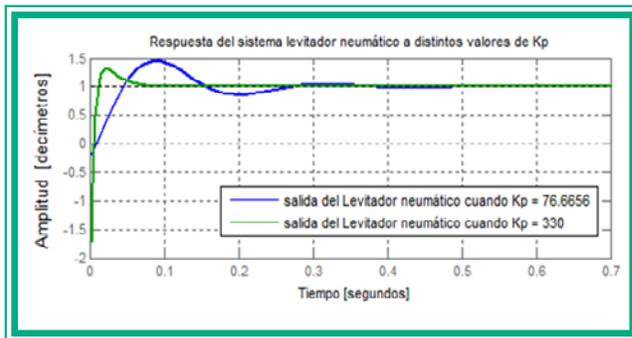


Fig. 12. Comparativa de la salida del sistema levitador neumático (modelado) a distintos valores de K_p .

Existe un detalle y este es que cuando $K_p=330$, la salida del sistema modelado baja a -175%, sin embargo, físicamente no es posible, ya que por construcción la bola no puede pasar debajo del ventilador. Es importante mencionar

que para $330 < K_p < 520.4173$, el sistema levitador presenta oscilaciones considerables en su señal de salida, lo más grave es que para valores numéricos de $K_p \geq 520.4173$, el sistema levitador neumático se vuelve inestable, ya que uno de sus polos en lazo cerrado se encuentra del lado derecho del plano complejo. Lo anterior pone en evidencia que es muy importante el valor numérico que se le da a la ganancia K_p , ya que esta puede optimizar el funcionamiento del sistema levitador o inestabilizarlo.

B. Aportaciones del método presentado

El método presentado en este documento para llevar a cabo el modelado del sistema SISO estocástico levitador neumático, aporta un gráfico (ver Fig. 13) con el **fit** de la respuesta del modelo ante una entrada escalón, frente a una entrada impulso, la respuesta en frecuencia, función de correlación de residuos y predicción del error, zona de confianza al 99% y parámetro de comparación fit de la estructura elegida para el modelado de la dinámica del levitador neumático correspondiente a una familia de sistemas SISO estocásticos.

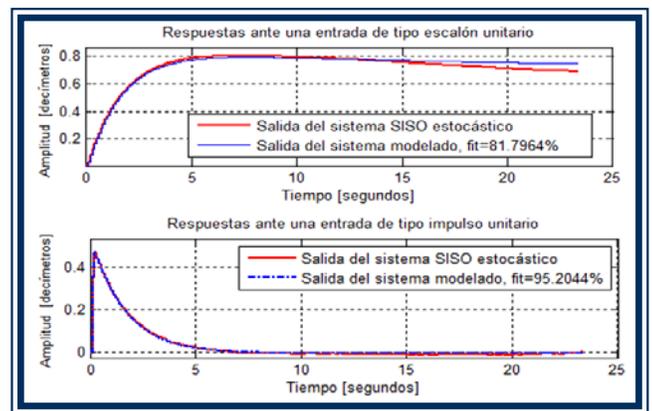


Fig. 13. Respuestas del sistema ante una entrada tipo escalón e impulso unitario.

En la Fig. 13 se puede observar la comparación de la salida del sistema SISO estocástico vs el modelo de identificación elegido, así como el porcentaje de seguimiento, determinado por el parámetro **fit**, del 81.7984 % para la salida ante una entrada tipo escalón unitario y del 95.2044 % para la salida ante una entrada tipo rampa. En la Fig. 14 se aprecia que el sistema modelado es capaz de seguir adecuadamente el comportamiento en frecuencia del sistema SISO.

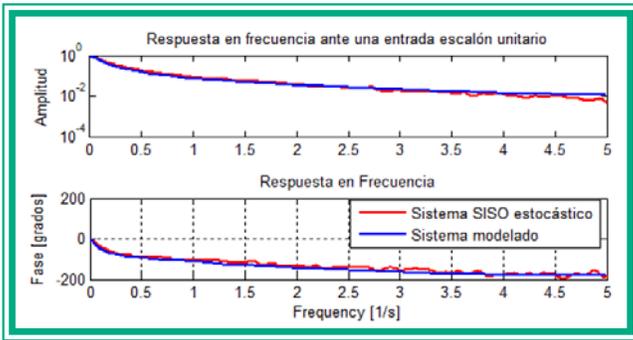


Fig. 14. Respuesta en frecuencia del sistema ante una entrada escalón: amplitud y fase.

En la Fig. 15 se puede ver que la respuesta está contenida en la región del intervalo de confianza del 99% y se deduce que el procedimiento para obtener un modelo identificado y la elección del modelo ARMAX fue correcto, puesto que, los errores no dependen de los datos, ni de las entradas pasadas.

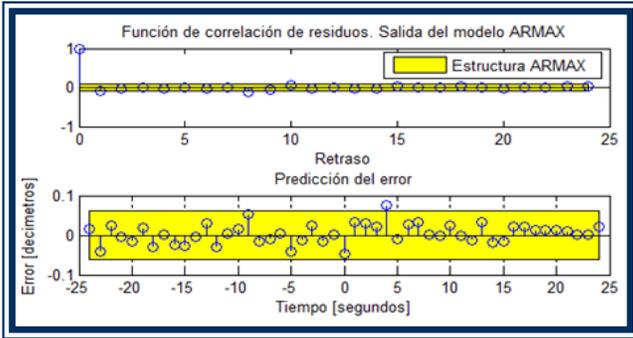


Fig. 15. Función de correlación de residuos usando el modelo ARMAX.

En la Fig. 16 se puede ver un buen seguimiento a bajas frecuencias, puesto que la respuesta en frecuencia de esta estimación no rebasa los intervalos de confianza del 99% (zona en color amarillo).

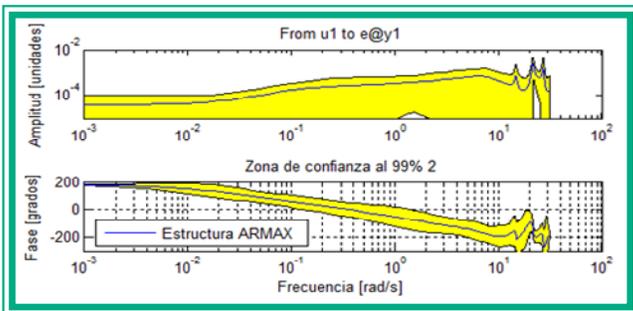


Fig. 16. Respuesta en frecuencia de la estimación realizada con el Modelo ARMAX.

En la Fig. 17, se puede ver la respuesta de la variable de salida del sistema SISO estocástico y la salida del modelo de identificación seleccionado (ARMAX), que representa al

levitador neumático con un parámetro de comparación *fit* del 95.6%. Es importante resaltar que, ante la presencia de perturbaciones en el sistema SISO estocástico, el modelo de identificación seleccionado (ARMAX) que representa al levitador neumático, realiza un buen seguimiento de la salida del sistema SISO estocástico bajo estudio.

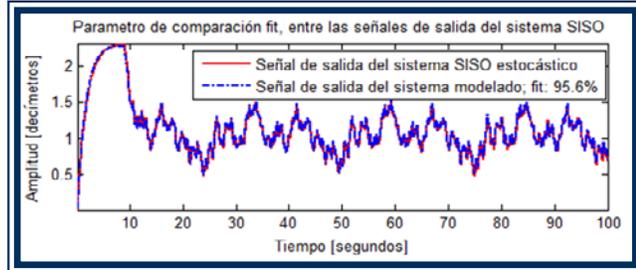


Fig. 17. Parámetro de comparación fit entre señales.

CONCLUSIONES

El método presentado permitió obtener un solo modelo matemático para el levitador neumático, en función de transferencia en tiempo continuo y en tiempo discreto, que representa a las n familias de sistemas SISO estocásticos alrededor de la vecindad de un punto de operación, con esto se evitó tener n modelos y el tener que diseñar un controlador PID para cada uno de ellos. Logrando un ahorro económico y de tiempo al momento de diseñar un solo controlador, en lugar de n controladores PID.

El método descrito para modelar el sistema SISO estocástico del levitador neumático, se evaluó a partir de la comparación entre la respuesta del modelo y la del sistema real ante entradas tipo escalón e impulso. El ajuste del modelo, permitió obtener el 81.8% para el escalón unitario y del 95.2% para la entrada impulso.

Con respecto a la respuesta en frecuencia, se observó que el modelo sigue adecuadamente la amplitud y fase del sistema real en distintas frecuencias. Y la respuesta del modelo ARMAX se mantiene dentro del intervalo de confianza al 99% en bajas frecuencias, lo cual respalda la precisión del modelo en ese rango. En tanto que la función de correlación de residuos confirma que los errores del modelo ARMAX no dependen de datos pasados ni de las entradas, validando la adecuación del modelo con un intervalo de confianza del 99%.

Con respecto a respuesta ante perturbaciones, se muestra un ajuste del 95.6%, lo que indica que el modelo ARMAX sigue bien la dinámica del levitador neumático bajo condiciones estocásticas. Lo que confirma la precisión y la capacidad del modelo para representar el comportamiento del levitador neumático. En forma adicional, el análisis de robustez permitió asegurar la dinámica deseada del sistema en régimen transitorio y en régimen permanente, mediante la obtención de la ganancia K_p , optimizando el comportamiento del sistema y evitando que se inestabilice o presente oscilaciones permanentes.

REFERENCIAS

- Brogan, W. L. Modern control theory, 3ra ed., Prentice Hall, USA, 1991.
- HC-SR04, sensor ultrasónico. Disponible en línea: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf> (Consultado el 07 de julio de 2021).
- Ljung L. and Glad, T. Modelling of dynamic system, 1st ed., Prentice Hall, USA, 1994.
- Ljung, L. System Identification. Theory for the User, 2da ed., Prentice Hall Information and System Sciences Series, 1999, pp. 418.
- López, L., Rumbo, J., Anaya, J., Beltrán, A., Alcalá, I., and Contreras, E. "Identificación de un servomotor, a través de un algoritmo conformado por los modelos (ARX, ARMAX, Output-error y Box-Jenkins) y control mediante un PID,". Innovación Tecnológica en Ingeniería Electromecánica, vol. 2. pp. 148, Julio 2017.
- Mathworks. Convert model from discrete to continuous time, 2021. Disponible en línea: https://la.mathworks.com/help/control/ref/ltid2c.html?s_tid=srchtitle (Consultado el 07 de julio de 2021).
- Ogata K. Ingeniería de control Moderna, 5ta ed., Pearson Educación S.A., Madrid, 2010, pp. 569 – 570.
- System Identification Toolbox, 2021. Disponible en línea: <https://la.mathworks.com/products/sysid.html> (Consultado el 07 de julio de 2021)

COMPLICACIONES MUSCULOESQUELÉTICAS Y ARTICULARES DE LA DIABETES MELLITUS PARTE I

**HERRERA GÓMEZ LUIS EDUARDO
UTEZ**

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE TERAPIA FÍSICA
(DATEFI)**

NO. ORCID: 0009-0008-9153-568X

RESUMEN:

La Diabetes Mellitus (DM) es una enfermedad degenerativa que desarrolla ciertas complicaciones generales, tanto musculoesqueléticas como articulares. Las afectaciones que ocasiona en el bienestar de los enfermos de DM son evidentes, pero aún falta información, sobre los procesos etiopatogénicos de daño.

Este artículo contiene una clasificación, aunque no se considera completa, permite diferenciar cuáles son las consecuencias propias de la DM y cuáles se asocian con otras enfermedades.

También es posible notar la acción devastadora de la hiperglucemia en la etiopatogenia, por ello, es necesario conocer el espectro de alteraciones, esto es clave, porque ayudará a esclarecer clínicamente el diagnóstico temprano y a estimar la posible mortalidad asociada.

PALABRAS CLAVE:

Diabetes, Complicaciones Musculoesqueléticas, Glucocilación, Microangiopatía.

Abstract- Diabetes mellitus (DM) develops certain general complications, as well as musculoskeletal and joint complications. Its impact on the well-being of DM patients is evident, but there is still a lack of information on the etiopathogenic processes of damage. A classification is shown, but it is not considered complete, although it allows us to differentiate which ones are specific to DM and which are associated with other diseases. It is also possible to note the devastating action of hyperglycemia in the etiopathogenesis,

therefore knowing the spectrum of alterations is key, because it will help to clinically clarify the early diagnosis and estimate the possible associated mortality.

KEYWORDS:

Diabetes, Musculoskeletal Complications, Glycocylation, Microangiopathy

INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus (DM) es un padecimiento que ha tomado relevancia en las últimas décadas, no solo por los avances médicos o científicos, sino por las severas repercusiones que ocasiona en el paciente, en la salud, el bienestar, la economía y el alto índice de mortalidad.

La American Diabetes Association Professional Practice Committee (American Diabetes Association Professional Practice Committee, 2024) define a la diabetes de la siguiente manera: "**La diabetes mellitus (DM) es un grupo de alteraciones del metabolismo de los carbohidratos en el cual la glucosa es sub utilizada como fuente de energía y sobre producida debido a gluconeogénesis inapropiada o glucogenólisis, resultando en hiperglucemia**" (p. 20). Sin embargo, no se puede asumir que la hiperglucemia se trata de un problema metabólico ocasionado, como tal, por un solo factor.

La diabetes puede desarrollarse por diversas condiciones y, con base en el origen que tiene, se clasifica en varias categorías (*diabetes tipo 1, diabetes tipo 2, diabetes mellitus gestacional, entre otros tipos*).

También existen los derivados de otras situaciones (*causas genéticas, otras enfermedades, alteraciones del páncreas exocrino y medicamentos*) en las que los

fenómenos fisiopatológicos varían, provocando que el origen de la diabetes tenga múltiples aristas y requiera una evaluación profunda, para encontrar el verdadero origen (*American Diabetes Association Professional Practice Committee, 2024, Págs. 22-36*).

EPIDEMIOLOGÍA DE LA DIABETES MELLITUS

Desde hace varios años las estadísticas reportan a nivel mundial un incremento importante de enfermos de DM. Actualmente se considera una de las principales causas de muerte y discapacidad. **"Se considera que el 10.5% de la población mundial (536 millones) padece diabetes y se estima que este número puede aumentar a 12.2% (783 millones) en 2045"**.

"En México, en 2018, se reportó que la prevalencia de diabetes fue del 16.8%, lo que la coloca como la segunda causa de muerte y la primera de discapacidad en el país" (*Basto-Abreu & Cols. 2023. P.p. 164-165*).

Por otra parte, se ha reportado que el perfil de la diabetes ha cambiado, comparando 2012 con 2016, de acuerdo a la ENSANUT (*Encuesta Nacional de Salud y Nutrición*), los adultos con diagnóstico previo de diabetes, aumentó de 9.2 a 9.4%. Y el Instituto Mexicano del Seguro Social, menciona que México es uno de los países con mayor incidencia de diabetes en el mundo; según la Federación Internacional de Diabetes (*FID*) hasta el 18% de los adultos mexicanos tienen diabetes y se espera que para el año 2030 ocupe el séptimo lugar a nivel mundial con el mayor número de casos (*Cruz, A.M. & cols. 2019, p 30-34*).

ETIOPATOGENIA DE LAS COMPLICACIONES MUSCULOESQUELÉTICAS Y ARTICULARES DE LA DIABETES MELLITUS

Se reconoce que la hiperglucemia es la expresión de la enfermedad y condicionante del daño tisular, por tanto, los tratamientos disponibles han sido dirigidos al control de ésta, considerando que la meta final es evitar las complicaciones. Por ello se disponen de hipoglucemiantes orales, inyectables e insulina, que se administran solos o combinados, siendo

una intervención en la que no solo se busca un control glucémico, sino un control metabólico y con ello lograr evitar las complicaciones, **"aunque dicho control es muy difícil de obtener, ya que se ha reportado que tan solo el 25 % de los pacientes lo alcanzan (HbA1c < 7 % [53 mmol/mol])"** y no lo hacen de una manera sostenida (*Cruz, A.M. & Cols. 2019, pág. 31*).

Los criterios de un control metabólico apropiado implican una serie de mediciones que permiten establecer la frecuencia, niveles y situaciones que los provocan. Éstos se han modificado con el paso del tiempo, para llevar un mejor control. Los parámetros anteriores eran los siguientes: glucemia basal <110 mg/dL, glucemia postprandial 130-180 mg/dL, hemoglobina glucosilada < de 7%, presión arterial sistólica/diastólica <130/<80 mmHg, colesterol total <185 mg/dL, HDL-colesterol >40 mg/dL, LDL-colesterol <100 mg/dL, triglicéridos <150 mg/dL (*Domínguez Sánchez-Migallón, 2011, pág. 33*).

Sin embargo, debieron modificarse los estándares debido a que se considera que estos niveles permiten el desarrollo de las complicaciones. Los valores recientes son los siguientes; glucemia basal preprandial entre 80-130 mg/dL, glucosa plasmática postprandial pico < 180 mg/dl (<10.0 mg/dL, hemoglobina glucosilada <7.0% (<53 mmol/mol) colesterol total <180 mg/dL, HDL-colesterol >40 mg/dl, LDL-colesterol <70 mg/dl, triglicéridos <150 mg/dl (*American Diabetes Association Professional Practice Committee. 2024, P.p. 111-125*).

Por otra parte, se han considerado otros factores de riesgo que promueven el desarrollo y progresión de las complicaciones crónicas, como son la edad, el sexo, el tiempo de evolución de la enfermedad, obesidad, los antecedentes familiares de DM, tabaquismo, sedentarismo, hipertensión arterial, dislipidemia, que favorecen un inadecuado control metabólico. Se ha establecido que hay una relación directa del mal control metabólico, medido por la hemoglobina glucosilada, con la presentación y progresión de las complicaciones crónicas (*Zafra, 2000, pág. 529*).

Las complicaciones principalmente provienen de las alteraciones vasculares, causando daño microvascular y macrovascular.

La mayoría de los reportes se centran en estas alteraciones, debido a la repercusión que tienen en la generación de incapacidad y la mortalidad asociada, entre los sujetos que padecen diabetes y que han tenido un control glucémico deficiente (Zafra, 2000, P.p. 529-534).

En el IMSS, se reporta que en esa institución, la diabetes es la segunda causa de mortalidad, de años perdidos por muerte prematura, de años vividos con discapacidad y años de vida saludable perdidos, haciendo de esta enfermedad, una de costos totales muy elevados. Por ello es catalogada como la patología de mayor carga de enfermedad, con complicaciones crónicas, que generan discapacidad y deterioro de la calidad de vida (Instituto Mexicano del Seguro Social. 2022, pág. 1).

COMPLICACIONES MUSCULOESQUELÉTICAS Y ARTICULARES DE LA DIABETES MELLITUS

La DM tiene serias complicaciones en el cuerpo humano, puede afectar varios órganos (riñones, ojos, presión arterial, etc.). En este estudio se destacarán aspectos que se pasan por alto o que los autores no les han dado la debida importancia, se trata de las alteraciones musculoesqueléticas y articulares, debido a que no son tan estudiadas y los reportes principalmente reportan alteraciones específicas de un segmento corporal, por ello lo que existe publicado no son reportes completos (Muller MJ & Coles 2026, P.p. 1861-1864).

Las complicaciones crónicas, finalmente son el resultado de un descontrol glucémico intenso y prolongado, asociado a otros factores (Medavilla Bravo, J.J. 2001, P.p. 132-145).

Es importante identificar, que una complicación crónica de la diabetes mellitus, corresponde a la presencia de alteraciones físicas, estructurales, químicas y funcionales de las diversas células y tejidos que conforman los órganos y sistemas, las cuales tiene diferentes grados de afectación y unos pueden ser preponderantes sobre otros, de forma variable e individual, pero todas obedecen a que el sujeto

afectado ha tenido hiperglucemia, de grado variable de intensidad y que ocurrió de forma sostenida a lo largo del tiempo.

En general se ha establecido que las lesiones resultantes de la hiperglucemia crónica se clasifican en tres rubros:

- a) Macrovasculares (equivalente a arteriosclerosis).
- b) Microvasculares.
- c) Pie diabético.

Éste último es la consecuencia de neuropatía y/o afección vascular de origen macroangiopático. En la Tabla 1, se observan las complicaciones y la expresión clínica de las mismas (Medavilla Bravo, J.J. 2001, P.p. 132-145).

Tabla 1. Clasificación de las complicaciones de la diabetes mellitus
I. Complicaciones microvasculares
<ol style="list-style-type: none"> a) <i>Retinopatía diabética</i> b) <i>Nefropatía diabética</i> c) <i>Neuropatía diabética</i>
II. Complicaciones macrovasculares
<ol style="list-style-type: none"> a) <i>Cardiopatía isquémica</i> b) <i>Arteriopatía periférica</i> c) <i>Enfermedad cerebrovascular</i> d) <i>Estenosis de la arteria renal y aneurisma de la aorta abdominal</i>
III. Formas mixtas.
<ol style="list-style-type: none"> a) <i>Pie diabético</i>
IV. Otras Complicaciones
<ol style="list-style-type: none"> a) <i>Piel</i> b) <i>Boca</i>
<i>Es importante mencionar que solo se mencionan algunos ejemplos de cada grupo.</i>
<i>Medavilla Bravo, J.J. 2001, P.p. 132-1451</i>

Como ya se destacó, la importancia del estudio de la DM radica en que las complicaciones macrovasculares presentan un incremento 3 o 4 veces mayor a diferencia de otras patologías y es causa de la morbimortalidad cardiovascular. En cambio, las complicaciones microvasculares y del pie, conducen a deterioro importante de

la calidad de vida y ocasionan un incremento importante de incapacidad (Medavilla Bravo, J.J. 2001, P.p. 132-145).

Para el IMSS, en 2018 se reportó que el pie diabético era la complicación microvascular más frecuente, con una prevalencia del 17%, para la enfermedad renal crónica del 7.7% y 4.4% para la retinopatía diabética. Estas tres complicaciones son importantes porque se han convertido en una emergencia sanitaria (Cruz, A.M. & Cols., 2019, P.p 30-38).

En el caso de las complicaciones musculoesqueléticas y articulares, las alteraciones se gestan de la misma forma y también se originan a partir de la hiperglucemia crónica.

Sin embargo, existen mecanismos base de daño que se comparten con otras complicaciones, pero algunos son específicos, debido a la naturaleza de los sitios afectados, es decir dependiendo del tejido alterado.

De acuerdo con los diversos datos reportados, los mecanismos básicos comunes de daño son:

1. *Glucosilación no enzimática*
2. *Lesiones primarias: alteraciones microvasculares o, menos frecuentes, alteraciones macrovasculares*
3. *Lesiones secundarias: neuropatía o isquemia, movilidad articular limitada, entre otras.*

1. Glucosilación no enzimática

La glucosilación es un proceso en el cual la glucosa se une mediante un modo no enzimático, a proteínas o lípidos: al ser no enzimático, la unión se hace reversible en las primeras etapas, sin embargo, en cuestión de meses ésta se hace irreversible, causando la glucosilación de una proteína que cambiará su constitución por ese carbohidrato unido y pasado el tiempo la hará débil y poco útil, pero no podrá ser reemplazada por los mecanismos fisiológicos, lo que traerá como consecuencia que los tejidos sean ineficientes y puedan terminar por ser destruidos.

Las modificaciones ocurren en las proteínas del plasma, proteínas estructurales y otras macromoléculas, las cuáles se incrementan en la DM, como consecuencia del aumento de la glucosilación (*secundaria a la hiperglucemia*) y quizás debido, en parte, también al incremento del estrés oxidativo. Esta reacción ocurre sobre todo en proteínas de vida media prolongada como el colágeno, la elastina y la mioglobina, entre otras, aunque ha podido comprobarse también en la hemoglobina y en otros compuestos aminados como, la fosfatidiletanolamina, lípido presente en las lipoproteínas de baja densidad (LDL) (Cruz Hernández, J. 2010, pág. 224).

Finalmente, estos cambios hacen que se formen productos avanzados de la glucosilación y que lleven a cambiar las propiedades de las proteínas, por ejemplo, del colágeno y que éstas no puedan ser reemplazadas de forma natural lo que lleva a alteraciones estructurales.

El mecanismo adicional es el estrés oxidativo que se produce como un desequilibrio en que aumentan y predominan los agentes oxidantes y disminución de los antioxidantes. Esto origina especies reactivas al oxígeno (ROS) que se incrementan con el tiempo, porque hay una capacidad limitada del organismo para eliminarlos. Esto ocurre en la diabetes porque hay una producción incrementada, ya que la hiperglucemia reduce los antioxidantes de defensa responsables de la eliminación de los radicales libres. Las especies reactivas al oxígeno (ROS) generan un ambiente oxidativo, denominado estrés oxidativo (EO) responsable de las complicaciones.

Los radicales atacan proteínas y los dobles enlaces de los ácidos grasos poliinsaturados induciendo la lipoperoxidación, la cual puede producir un mayor daño celular oxidativo (Montier Iglesias, A. & Cols, 2015, P.p 973-985) (Calderón Salinas, J.V. & Cols 2013, P.p. 53-66) (Hernández García, F. 2017, P.p. 169-185) (Cruz Hernández, J. 2011, P.p. 4-15) (Montier Iglesias, A. & Cols. 2015, P.p.973-985).

2. Lesiones primarias: alteraciones microvasculares

Las complicaciones microvasculares son aquellas derivadas de la afectación vascular

de tamaño pequeño en los pacientes con diabetes mellitus tipo 1 y 2. Se localizan fundamentalmente en todos los territorios que tienen vasos capilares, predominando en la retina, el riñón y a nivel del sistema nervioso periférico (García-Ocaña, P. & Col. 2020, pág. 901).

La pared vascular, está conformada por una capa de células que llamada endotelio, al tener cambios por la hiperglucemia, se altera su producción y esto origina una sustancia vasodilatadora llamada óxido nítrico que causa el endurecimiento de la pared vascular.

Después habrá acumulación de productos grasos en la pared, que serán devorados por células que están debajo del endotelio, llamados monocitos, que, debido al exceso de depósito de grasa, se han convertido en macrófagos; éstas se transformarán en unas células con contenido de gotas lipídicas, por lo que se llaman células espumosas, y que con el paso del tiempo formarán la placa aterosclerótica y cuando ésta se rompe puede causar obstrucción del vaso. Sin embargo, este mecanismo es más de las alteraciones macrovasculares.

En la vasculatura de vasos pequeños, pueden perderse las células de la pared o lesiones minúsculas que causan cierre de los vasos sanguíneos, sin llegar a la formación de las placas de ateroma, pero sí comprometiendo la circulación sanguínea, el intercambio gaseoso y, en consecuencia, asociarse a lesiones por isquemia tisular. Esta última es más común en las lesiones de la retina, la nefropatía y la neuropatía. Adicionalmente **"el estrés oxidativo"** a cargo de las especies reactivas de oxígeno, secundario a la hiperglucemia constante que dispara diversas vías metabólicas: la vía de los polioles, la formación de productos finales de glicosilación avanzada, la activación de la diacilglicerol-proteína cinasa C (DAG-PKC) y la vía de la hexosamina. Estas vías son activadas una vez que la vía glucolítica y la vía de las pentosas se encuentran saturadas (estas son las vías normales del metabolismo de la glucosa), pero se alteran durante la hiperglucemia (Pita Ortiz, I.Y. 2021).

También se ha mencionado que los factores base, influyen en la microangiopatía, se dice

que **"la extensión y el índice de progresión de la enfermedad microvascular, correlaciona fuertemente tanto con la duración como con la magnitud de la hiperglucemia, aunque los factores genéticos son determinantes de la respuesta tisular al daño por hiperglucemia e hipertensión y claramente influyen en el curso clínico"**.

Quizá aquí debe puntualizarse que mientras existan más factores, incluyendo el genético, mayor será la probabilidad de desencadenar la microangiopatía y posteriormente desarrollar una complicación (Brownlee, M. 1992, pág. 1836).

3. Lesiones secundarias: neuropatía o isquemia, movilidad articular limitada.

Las lesiones de la microvasculatura que ocasionan la isquemia, causan lesiones de los axones de los nervios y con ello trastornos en la circulación de los vasa-vasorum esto trae como consecuencia la neuropatía, lesiones por isquemia como es el infarto muscular o la debilidad, además de otras afectaciones.

La morbilidad asociada con el daño microvascular, incluyendo la neuropatía, retinopatía, nefropatía y la isquemia de extremidades inferiores ha mostrado un incremento importante en los últimos años. Los mecanismos que llevan al daño vascular son múltiples e implican diversas alteraciones metabólicas y estructurales como la producción de productos finales de la glicosilación avanzada, activación anormal de cascada de señales, (tales como la proteína quinasa C), mayor estrés oxidativo y la consiguiente disfunción endotelial (Isea, J. & Cols. 2012, P.p. 6-110).

Estos mecanismos de daño se presentan en las tres partes importantes, el músculo, el hueso y el tejido articular (tendones y cartílago). A partir de éstas se generan las zonas dañadas y aparecen ciertos diagnósticos que se consideran propios de las manifestaciones musculoesqueléticas y articulares de la diabetes mellitus.

La duración, así como la gravedad de la diabetes a menudo se ha relacionado con

aumento de la aparición y gravedad de enfermedades musculoesqueléticas.

La complicación de la diabetes.

En este capítulo se hace una revisión de las complicaciones musculoesqueléticas importantes derivadas del padecimiento de la DM, destacando su fisiopatología, modalidades de tratamiento, y resultados (*Tabla 1*) (*Singla, R. 2019, pág. 873*).

La glucosilación y la oxidación de las proteínas, contribuyen al desarrollo de las complicaciones micro y macro vasculares (*Cruz Hernández, J. & Col. 2010, P.p. 223-255*).

Las manifestaciones músculo esqueléticas se pueden dividir en gran medida en tres categorías (*Singla, R. 2019, pág. 874*):

1. ***Efectos óseos de la diabetes.***
2. ***Efectos musculares de la diabetes.***
3. ***Efectos de la diabetes en las articulaciones y el tejido conectivo.***

1. Efectos óseos (Densidad ósea)

Los efectos varían de acuerdo con el tipo al que corresponde, si es 1 y 2 de la diabetes mellitus e influye también en dónde se localiza en el sistema esquelético.

La DMT-1, se asocia con una menor densidad ósea. Un índice de masa corporal bajo y una masa magra más baja contribuyen a una menor Densidad Mineral Ósea. La causa de una disminución de la densidad ósea en la DMT-1, es la falta de insulina, la cual actúa como un agente anabólico para el hueso. La resultante hiperglucemia no controlada, también deteriora la calidad ósea por formación de entrecruzamientos de colágeno que se han glucosilado no enzimáticamente, los cuáles son mucho más débiles, que los entrecruzamientos usuales.

En la DMT-2, varía la densidad mineral ósea, puede estar elevada, estar sin cambio o estar baja. Se considera que el aumento del índice

de masa corporal, tiene un efecto trófico en la densidad mineral ósea, sin embargo, se debe remarcar que aún en esos pacientes, las fracturas están consistentemente incrementadas. Esto se atribuye a la mala calidad ósea en estos pacientes, secundaria a la glucosilación de la matriz ósea y a la hiperglucemia persistente.

Se ha observado en una cohorte de pacientes con DMT-2, que la masa magra es la que tiene el máximo impacto en la salud ósea en la diabetes. Una mayor masa magra conduce a una mayor carga dinámica de los huesos, lo que tiene un efecto trófico sobre el estado de salud y la densidad ósea. La sarcopenia por cualquier causa se asocia con una baja densidad ósea en la diabetes.

Adicionalmente a la debilidad del hueso, la acumulación de productos avanzados de la glucosilación (AGEs) en la matriz orgánica ósea por glucosilación no enzimática, interfiere con el desarrollo de osteoblastos normales, función y aproximación a la matriz de colágeno. Además, se ha observado un efecto diferencial entre los tipos de hueso, la masa ósea trabecular está preservada, pero la cortical está disminuida. Por ello el mayor índice de fracturas ocurre en los sitios donde hay hueso cortical. También se deben considerar las complicaciones microvasculares especialmente, neuropatía y retinopatía), así como las complicaciones macrovasculares y la debilidad muscular. La existencia de enfermedades inflamatorias asociadas con diabetes, como la artropatía inflamatoria, causante de que haya una peor densidad mineral ósea y, en consecuencia, un empeoramiento de la salud ósea (*Singla, R. 2019, pág. 874*).

2. Efectos musculares de la diabetes en el músculo

Los músculos captan glucosa mediada por insulina.

Frente a la resistencia a la insulina en al DMT-2, los estudios proteómicos han revelado una flexibilidad metabólica debilitada, es decir, dificultad para cambiar entre el metabolismo de la glucosa y la utilización de ácidos grasos, con

un cambio preferencial de oxidativo a glucolítico. Hay una función mitocondrial alterada, la oxidación de lípidos es reducida, con una mayor respuesta al estrés celular y mecanismos de desintoxicación mejorados.

Todos estos cambios metabólicos, cambian las proteínas contráctiles y proteínas citoesqueléticas que están alteradas. Todas estas variaciones metabólicas ocasionan en el paciente una sensación de fatiga y cansancio.

Las neuropatías agudas y crónicas asociadas con la diabetes pueden provocar atrofia y debilidad muscular. Por ejemplo, el síndrome del túnel carpiano (*que se analiza en las secciones siguientes*) puede provocar atrofia de los músculos de la mano y la polineuropatía distal, la cual facilita la pérdida de músculos pequeños del pie. Las enfermedades primarias de los músculos observadas en los diabéticos incluyen la mionecrosis y la amiotrofia diabética (Singla, R. 2019, pág. 874).

Una entidad común de daño muscular es la mionecrosis diabética. Ésta se debe a un infarto del músculo, la fisiopatología no es clara, pero se considera que hay un proceso isquémico sin un ateroembolismo obvio o una oclusión vascular de cualquier arteria mayor. Es común en pacientes con DMT-1 que ya tienen complicaciones microvasculares (Singla, R. 2019, pág. 875).

Otra entidad reconocida es la amiotrofia diabética o plexopatía lumbosacra diabética, clínicamente se presenta, como la mionecrosis diabética. La fisiopatología subyacente no está clara (*quizá es isquémica, metabólica y/o inflamatoria*), aunque se sospecha que es isquémica, debido a microvasculitis no sistémica. Las anomalías se localizan en el plexo lumbosacro y los nervios periféricos de las extremidades inferiores.

Ocurre principalmente en pacientes con DMT-2, que están bastante controlados o que han sido diagnosticados recientemente (Singla, R. 2019, pág. 875).

3. Efectos de la diabetes en las articulaciones y el tejido conectivo

Se ha propuesto como posible mecanismo patogénico la acumulación de productos finales de glicación avanzada (AGE) con entrecruzamiento de colágeno y otras macromoléculas.

Es probable que un control glucémico deficiente a lo largo del tiempo, con la consiguiente formación de AGE, influya en el desarrollo de problemas en manos y hombros entre pacientes con DM (Singla, R. 2019, pág. 875).

Finalmente se describen, después de puntualizar los mecanismos de daño, las siguientes complicaciones óseas, musculares y articulares, las cuales se muestran en la Tabla 2, en sujetos con diabetes, y en la Tabla 3, sin diabetes.

Tabla 2. Prevalencia de la enfermedad articular y del tejido conectivo en sujetos con y sin diabetes

Alteraciones Musculoesqueléticas	Con Diabetes (%)	Sin Diabetes (%)
Capsulitis del Hombro	11-30	2-10
Movilidad Articular Limitada	8-50	0-26
Enfermedad de Dupuytren	20-63	5-10
Síndrome del Túnel del Carpo	11-16	2-5
Tenosinovitis Estenosante del Flexor	10-12	<1
Hiperostosis Esquelética Difusa Idiopática	13-50	2-15

Tabla obtenida del trabajo original - Singla, R. 2019, pág. 875.

Las condiciones reportadas como complicaciones de la Diabetes Mellitus

Tabla 3. Involucramiento musculoesquelético de la Diabetes Mellitus

1. Condiciones que ocurren más frecuentemente en la Diabetes mellitus Capsulitis del hombro Movilidad articular limitada Enfermedad de Dupuytren Tenosinovitis estenosante del flexor (dedo en gatillo) Artropatía de Charcot neuropática Periartritis calcificante del hombro Síndrome del túnel del carpo
2. Condiciones únicas de la Diabetes Mellitus Infarto del músculo diabético
3. Condición que comparte factores de riesgo del Síndrome Metabólico o de la Diabetes Mellitus. Hiperostosis esquelética difusa idiopática Artritis inducida por cristales Osteoartritis
4. Misceláneos. Salud ósea y osteoporosis

Tabla obtenida del trabajo original por Singla, R. 2019, pág. 873.

En esta tabla se consideran algunas de las complicaciones más frecuentes ocasionadas por la DM, también se identifican si son condiciones únicas de la diabetes o si corresponden a una condición que comparte factores de riesgo con algún síndrome metabólico o de la diabetes mellitus o, en su defecto si se trata de una condición miscelánea.

Esto trata de dibujar de una manera amplia y sencilla el espectro de complicaciones dando a conocer, indirectamente, la dificultad para diagnosticar y en su caso manejar dichas anomalías, ya que requieren un abordaje multidisciplinario.

CONCLUSIONES

Las complicaciones músculo esqueléticas de la DM, básicamente son originadas en la siguiente secuencia; ocurre un trastorno que genera la alteración de la glucosa, con cambios en el nivel de insulina y obviamente en la glucemia. Estas alteraciones llevan a un nivel de glucosa alta; se desarrollan alteraciones vasculares (*desarrollo de alteraciones micro o macrovasculares*) y fenómenos de glucosilación de proteínas, en las que se afectan proteínas como el colágeno, generando cambios en las estructuras óseas, musculares y articulares.

Las complicaciones inician afectando la calidad de vida por dolor articular y muscular, posteriormente algunas pueden evolucionar a discapacidad en alguna forma, en el uso de la mano, de una extremidad, de un grupo de extremidades, y al parecer no se contabiliza una mortalidad asociada, por lo menos, no por la complicación. Sin embargo, el tener una complicación podría denotar la presencia de otros daños corporales, como son la retinopatía, la insuficiencia renal o cardiovascular, entre otras. Se considera que es importante realizar investigaciones complementarias, incluyendo la población mexicana

BIBLIOGRAFÍA

Organización Panamericana para la Salud. (2020). Diagnóstico y manejo de la diabetes

de tipo 2 (HEARTS-D). 2020. © Organización Panamericana de la Salud. Washington, D.C. 2020. P.p.9-39. <http://iris.paho.org>.

American Diabetes Association Professional Practice Committee Diabetes: 2. Diagnosis and Classification of Diabetes: Standards of Care in Diabetes—2024. (2024). *Diabetes Care*; P.p. 20–42, <https://doi.org/10.2337/dc24-pág.002>

Basto-Abreu, A. López-Olmedo, N. Rojas-Martínez, R. Aguilar-Salinas, C.A. Moreno-Banda, G.L. Carnalla, M. Rivera, J.A. Romero-Martínez, M. Barquera, S. & Barrientos-Gutiérrez, T. Prevalencia de prediabetes y diabetes en México: Ensanut 2022. (2023). *Salud Pública Mex.* P.p.163-168. <https://doi.org/10.21149/14832>

Cruz, A.M. Salinas-Martínez, M. Garza-Sagástegui, M.G. Hernández-Rubí, J. González-Hermosillo, A. Vargas-Sánchez, H.R. Reyes, M. Borja-Aburto, V.H. & Wachter N.H. (2019) Prevalencia de complicaciones de la diabetes y comorbilidades asociadas en medicina familiar del Instituto Mexicano del Seguro Social. *Gac Med Mex.* P.p.155:30-38 DOI: 10.24875/GMM.18004486

Domínguez Sánchez-Migallón, P. García Cervigón, F.A. Camacho Sánchez-Migallón, J. Fernández Simancas, A. García García, R. V. Garrido Garrancho, R. López-Peláez Borja, J. Maeso González, J. Medina de la Casa, R. Morillo Castro, R. Pérez Martín, S. Román Ruiz del Moral, A.M. Sanabria Moreno, M. Sánchez Barrancos. I.M. Vázquez Gallego. F. & Zamora Martín, D. (2011). Control Metabólico en Pacientes Diabéticos Tipo 2: grado de Control y nivel de Conocimientos (Estudio Azuer Rev Clín Med Fam. 4(1) P.p.32-41.

American Diabetes Association Professional Practice Committee Chapter 6. Glycemic Goals and Hypoglycemia: Standards of Care in Diabetes—2024 (2024). *Diabetes Care.* 47(Supplement-1): P.p.111–125 <https://doi.org/10.2337/dc24-S006>

Zafra Mezcuca J.A. Méndez Segovia, J.C. Novalbos Ruiz, J.P. Costa Alonso, M.J. & Faílde Martínez, I. (2000). Complicaciones crónicas en los pacientes con diabetes mellitus tipo 2 atendidos en un centro de salud. *Atención Primaria.* P.p. 529-535.

Instituto Mexicano del Seguro Social. (2022).

- Protocolos de Atención integral - Diabetes mellitus tipo 2 Complicaciones Crónicas. P.p. 1-86.
- Mueller MJ. Musculoskeletal impairments are often unrecognized and underappreciated complications from diabetes. (2016) American Physical Therapy Association. Physical Therapy. P.p. 1861-1864.
- Mediavilla Bravo, JJ. (2001). Complicaciones de la diabetes mellitus. Diagnóstico y tratamiento. SEMERGEN. P.p. 132-145.
- Cruz Hernández, J. & Licea Puig, M.E. (2010). Glucosilación no enzimática y complicaciones crónicas de la diabetes mellitus. Revista Cubana de Endocrinología. P.p. 223-255.
- Montier Iglesias, A. Ramos Arencibia, A.L. Gómez García, ML. Pérez Cardoso J.J. & Quintana Pérez, Q. (2015). Estrés oxidativo en la diabetes mellitus papel de la vitamina E y antioxidantes endógenos. Rev. Ciencias Médicas. P.p. 973-985.
- Calderón Salinas, J.V. Muñoz Reyes, E.G. & Quintanar Escorza, M.A. (2013). Estrés Oxidativo y Diabetes Mellitus. Rev. Educ. Bioquím P.p. 53-66.
- Hernández García, F. Robaina Castillo, JI & Vázquez Almoguera, E. (2017). Estrés oxidativo y diabetes mellitus, un acercamiento al tema. Revista Universidad Médica Pinareña. P.p. 169-185.
- Cruz Hernández, J. Licea Puig, M.E. Hernández García, P. Abraham Marcel, E.A. & Yanes Quesada, M. (2011). Estrés oxidativo y diabetes mellitus. Rev Mex Patol Clin. P.p. 4-15.
- García-Ocaña, P. Cobos-Palacios, L. & Caballero-Martínez, L.F. (2020). Complicaciones microvasculares de la diabetes. Medicine. P.p. 900-10. Doi: <https://10.1016/j.med.2020.09.012>
- Pita Ortiz, I.Y. (2021). Las Microangiopatías en la Diabetes Mellitus. Recuperado el 27-10.-2024. de <https://www.iapb.org/news/las-microangiopatias-en-la-diabetes-mellitus/>
- Brownlee, M. (1992). Glycation Products and the Pathogenesis of Diabetic Complications Diabetes Care. P.p. 1835-1843.
- Isea, J. Vilorio, J.L. Ponte N, C.I. & Gómez M, J.R. (2012). Complicaciones Macrovasculares de la Diabetes Mellitus: Cardíacas, Vásculocerebrales y Enfermedad Arterial Periférica. Revista Venezolana de Endocrinología y Metabolismo. Suplemento P.p.96-110.
- Singla, R. Dutta, D. Sharma, M. & Sharma, Aarti. Del capítulo 6 (2019). Musculoskeletal Complications of Diabetes Mellitus. En Rodríguez-Saldana, J. (ed.), The Diabetes Textbook (P.p. 873-881). Switzerland AG. © Springer Nature
https://doi.org/10.1007/978-3-030-11815-0_56.

LA RIQUEZA TURÍSTICA DEL PUEBLO MÁGICO DE XOCHITEPEC MORELOS DESDE UNA PERSPECTIVA UNIVERSITARIA

**MIGUEL ÁNGEL RAMÍREZ
GUERRERO**

UTEZ

**DIVISIÓN ACADÉMICA ECONOMICA -
ADMINISTRATIVA (DACEA)**

NO. ORCID: 0009-0007-0889-4589

FABIOLA BARRERA HERNÁNDEZ

UTEZ

**DIVISIÓN ACADÉMICA ECONOMICA -
ADMINISTRATIVA (DACEA)**

NO. ORCID: 0000-0001-7990-2055

YOLANDA CARRILLO MARTELL

UTEZ

**DIVISIÓN ACADÉMICA ECONOMICA -
ADMINISTRATIVA (DACEA)**

NO. ORCID: 0009-0005-5031-0554

**ELIZABETH GARRIDO
RODRÍGUEZ**

UTEZ

**DIVISIÓN ACADÉMICA ECONOMICA -
ADMINISTRATIVA (DACEA)**

NO. ORCID: 00009-0005-9346-5564

**CARLOS ALFONSO MONTOYA
JAIMES**

UTEZ

**DIVISIÓN ACADÉMICA ECONOMICA -
ADMINISTRATIVA (DACEA)**

NO. ORCID: 0009-0002-4257-4400

RESUMEN

El presente trabajo de investigación surge como respuesta a una inquietud generada al interior de la División Académica Económico Administrativa de la UTEZ. Un grupo integrado por docentes y alumnos entusiastas, decidieron poner en práctica lo aprendido en la asignatura Sistema de investigación de mercados I que forma parte del plan de estudios de la carrera de Desarrollo de Negocios, Área Mercadotecnia. Para esta actividad decidieron tomar como ejemplo el municipio de Xochitepec, Morelos, con el propósito de sustentar y difundir con mayor precisión los motivos por los cuales dicho lugar ha sido reconocido con el distintivo de Pueblo Mágico.

El estudio se concentra en tres áreas de investigación: Turismo de salud y bienestar, Servicios de hotelería y gastronomía, y Cultura y deportes. La investigación es de tipo mixto y la metodología utilizada corresponde a un estudio de mercado. En este estudio se usa la encuesta como una herramienta para conocer las opiniones, gustos, hábitos y costumbres de un segmento de mercado en específico, con el fin de identificar sus gustos y preferencias, ya sea sobre un producto o un servicio. Los resultados recabados son muy útiles para analizarlos en la UTEZ.

PALABRAS CLAVE

Pueblo mágico, Investigación de mercados, Turismo, segmento de mercado, encuesta.

ABSTRACT- This research work represents the initiative that arose within the Economic-Administrative Academic Division of the UTEZ by a group of teachers and students, who, as part of their professional training within the Business Development, Marketing Area, were pleased to carry out a study practice within the subject of Market Research Systems I in the municipality of Xochitepec, Morelos with the purpose of substantiating and disseminating with

greater precision the reasons why said place has been considered with the distinctive Pueblo Magical.

The study is based particularly on three research areas: Health and Wellness Tourism, Hotel and Gastronomy Services, and Culture and Sports. The research is considered mixed type and the methodology used was a market study, which consists of a tool to know the opinions, tastes, habits and customs of a specific market segment, whether about a product or a service, Therefore, the survey technique, as a quantitative research instrument, was extremely enriching.

KEYWORDS

Magical town, Market research, Tourism, market segment, survey.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación desarrolla un análisis y reflexión sobre la diversidad de atracciones que llevaron al municipio de Xochitepec, Morelos, a ser catalogado como un pueblo mágico. Este distintivo lo otorga el gobierno federal a aquellas localidades que poseen atributos simbólicos, históricos, culturales, gastronómicos y son atractivos turísticos porque han sido y son escenarios de hechos relevantes para nuestro país: lugares que muestran la identidad nacional en cada uno de sus rincones y que son particularmente atractivos para los turistas nacionales e internacionales.

Es en las aulas universitarias donde surgió la iniciativa y la necesidad de poner en práctica los saberes adquiridos por los alumnos en la asignatura de Investigación de mercados I, ellos vieron, junto con sus docentes que al conjugar los conocimientos teóricos y prácticos tendrían un aprendizaje más significativo. Por ello, profesores y alumnos de la carrera de Desarrollo de Negocios área Mercadotecnia de la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del estado de Morelos conjuntaron la experiencia, los conocimientos y el entusiasmo para lograr este proyecto.

Para iniciar los trabajos seleccionaron el municipio de Xochitepec, que recientemente

fue nombrado pueblo mágico. La intención era identificar y reforzar la percepción del turista y/o poblador nativo del pueblo mágico de Xochitepec con respecto a los atractivos turísticos del lugar.

Para lograr los propósitos se decidió realizar una investigación de carácter mixto para determinar el interés de la población, tanto en sus aspectos cualitativos como cuantitativos. Se optó por un estudio de mercado dividido en tres rubros para conocer los gustos y necesidades de los visitantes a través de la técnica de la encuesta.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos y que, seguramente serán de mucha ayuda para contribuir a un mejor y mayor conocimientos de Xochitepec como pueblo mágico, al tiempo que se proporcionan una serie de recomendaciones para un desarrollo más sustentable de dicho lugar.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Planteamiento del problema

Enclavado al poniente del Estado de Morelos y con una extensión territorial de 93.2 Km², Xochitepec, Morelos, es uno de los municipios del Estado ya citado que a través de los años ha ido surgiendo como uno de los atractivos turísticos más importantes de la región. Sin embargo y, a pesar de la gran afluencia de turismo local y regional, la difusión de sus recursos naturales, históricos, culturales, gastronómicos, y de salud y bienestar no han encontrado eco ni la trascendencia que deberían tener.

Después de que en el 2023 fue declarado como pueblo mágico, Xochitepec, Morelos, sigue padeciendo de una falta de promoción e incentivos que le ayuden a reactivarse, sobre todo después de los efectos devastadores de la pandemia por Covid 19 en el 2022. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020, el municipio cuenta con una población de 73,539 habitantes, cifra que representa 3.7% de la población de la entidad. Del total de habitantes, 36,629 son mujeres y 36,910 son hombres, representando 49.8% y 50.2% de la población total, respectivamente.

A pesar de que existen las condiciones necesarias para potencializar sus atractivos de salud y bienestar, sus condiciones de hospedaje y su riqueza gastronómica, así como su riqueza cultural y las excelentes condiciones para la práctica del deporte, el municipio sigue requiriendo de la difusión de sus atractivos.

¿Cuál va a ser el principal problema?, ¿La falta de difusión?, ¿La carencia de medios para tal propósito?, ¿El desconocimiento de su riqueza turística?, ¿La carencia de programas oficiales para su difusión?; éstas y otras preguntas más pretenden ser resueltas en el presente estudio.

Marco Referencial

El programa de pueblos mágicos fue creado por iniciativa del gobierno federal en el año 2001, éste busca, a través de la Secretaría de Turismo (Sectur), que se brinde una orientación sobre la oferta turística del país. La intención es que complementa, difunda y canalice la riqueza de la diversidad de expresiones de nuestro país, centrándose fundamentalmente en los atributos naturales, históricos, patrimoniales y culturales de comunidades específicas que se distinguen por la atracción que generan a sus visitantes (Diario Oficial de la Federación, DOF, 2014).

La SECTUR (2014), describe el programa de política turística conocido como **pueblos mágicos**, que es una estrategia del Gobierno Federal para incentivar el turismo nacional e internacional, la importancia de este tema es porque ahí se encuentra incluido el municipio de Xochitepec, Morelos:

"Son localidades que requieren orientarse para fortalecer y optimizar el aprovechamiento racional de sus recursos y atractivos naturales y culturales, fortalecer su infraestructura, la calidad de los servicios, la innovación y desarrollo de sus productos turísticos, el marketing y la tecnificación, en suma, acciones que contribuirán a detonar el crecimiento del mercado turístico" (Pág. 3).

Con base en lo establecido por la SECTUR, docentes y alumnos de la UTEZ decidieron hacer prácticas de campo y realizar un estudio

de mercado aplicando encuestas a un segmento de la población de Xochitepec, Morelos, para identificar qué tan atractivo es el municipio. Rosendo Ríos (2018), destaca que este tipo de estudios son "una herramienta fundamental para la toma de decisiones estratégicas de marketing de toda empresa. Ésta contribuye a conocer qué piensa, siente, y motiva al consumidor a decidirse por una marca o por la de la competencia". De ahí la importancia de conocer los lugares, gastronomía, cultura, eventos importantes y sitios históricos para poder hacer una promoción del lugar.

Cabe destacar que en junio de 2023 el municipio citado fue declarado pueblo mágico por la riqueza y variedad de sus atractivos turísticos, aunque cuenta con esta denominación y el apoyo del gobierno federal le ha faltado consolidarse como un lugar turístico atractivo para los visitantes y que, además sea visto como una fuente generadora de empleo para sus habitantes.

Metodología

Tomando en consideración que la presente investigación comprende datos tanto cualitativos como cuantitativos, se clasifica como mixta, lo cual en palabras de Sampieri (2014), **"representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio"** (Pág. 536).

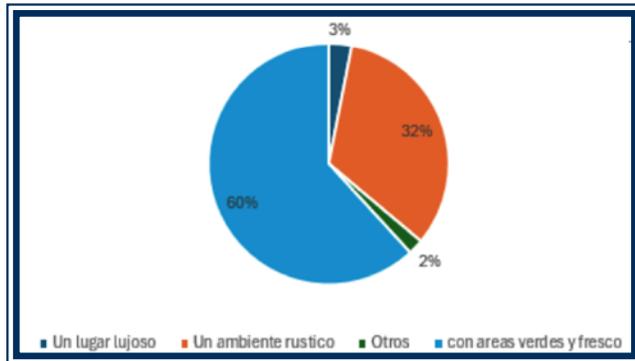
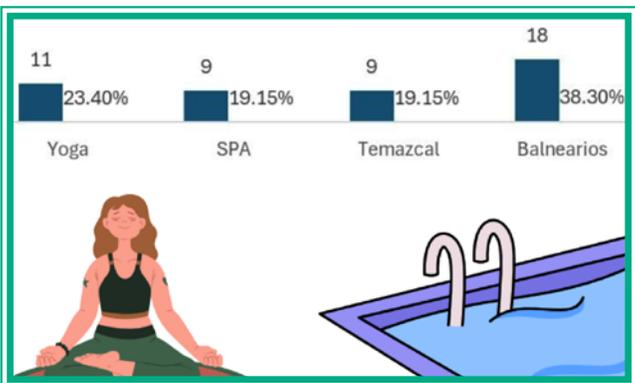
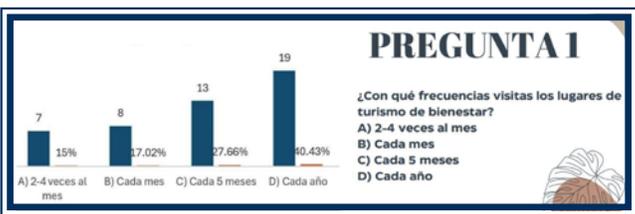
Como primer paso se estableció una estrategia de trabajo, para ello se dividió en tres equipos a un grupo de tercer cuatrimestre de la carrera de Desarrollos de Negocios Área Mercadotecnia, a quienes previamente se les había instruido acerca de la temática propuesta. Se conversó con el H. Ayuntamiento municipal y se acordaron los permisos y la dinámica de trabajo del lugar ya citado. Se hizo un recorrido aleatorio por la misma localidad para aplicar tres encuestas divididas en los rubros Turismo de salud y bienestar, Servicios de hotelería y gastronomía, y Cultura y deportes.

Por lo que respecta a la segmentación de la población, que de acuerdo con Lamb (1998, cit. en Fernández Rubín y Aqueveque Torres, 2001) **consiste en "el proceso de dividir un mercado en segmentos o grupos identificables, más o menos similares y significativos, con el propósito de que el mercadólogo ajuste las mezclas de mercadotecnia a la medida de las necesidades de uno o más segmentos específicos"**.

Se realizó un recorrido por el zócalo y calles aledañas al centro del municipio y se aplicaron las encuestas de manera aleatoria tanto a los ciudadanos nativos como a los visitantes que se fueron encontrando.

Los equipos que hicieron entrevistas para el estudio de caso se enfocaron en tres rubros: Turismo de salud y bienestar, Servicios de hotelería y gastronomía y, cultura y deportes. De manera conjunta docentes y estudiantes fueron definiendo la forma de proceder para su realización y establecieron como instrumento principal la técnica de la encuesta, misma que, en palabras de Rojas Soriano (2015), puede definirse como **"la aplicación de un procedimiento estandarizado para recabar información oral o escrita de una muestra amplia de sujetos. Es condición esencial que la muestra sea representativa de la población de interés"** (Pág. 156)

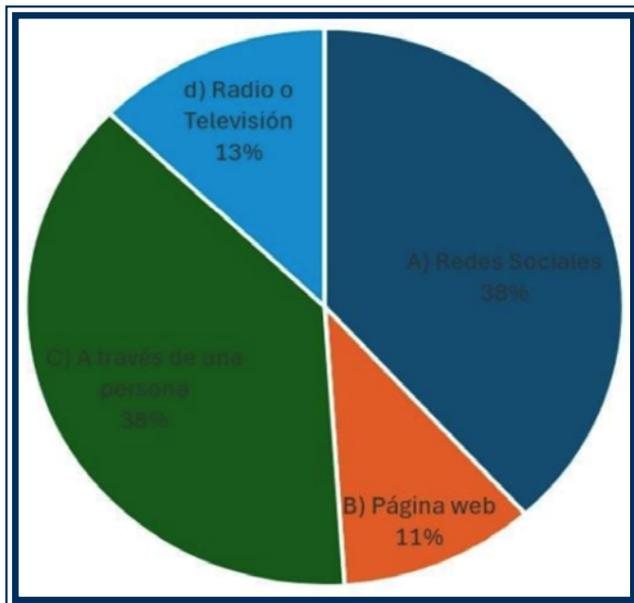
En primera instancia se presenta una muestra de la encuesta referente al rubro turismo de salud y bienestar:



Pregunta: ¿Qué lugar o práctica prefiere para vacacionar y en qué condiciones?

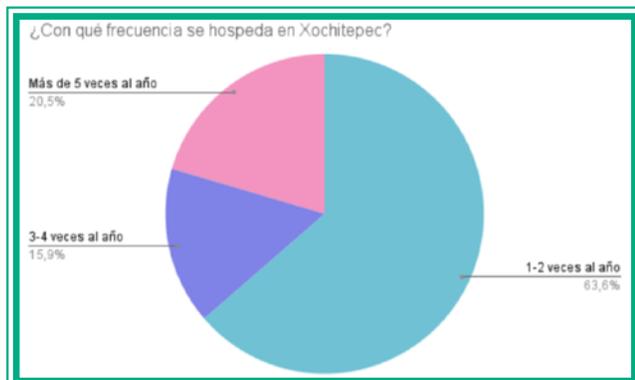


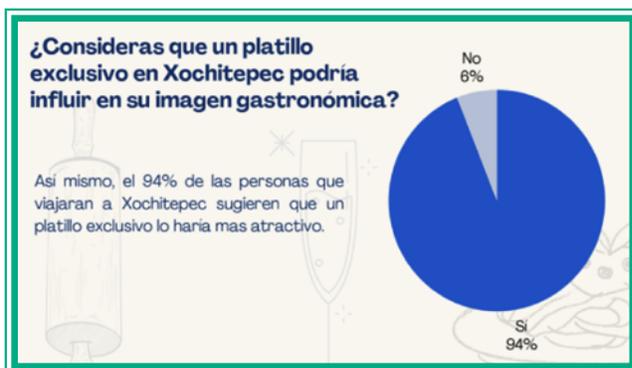
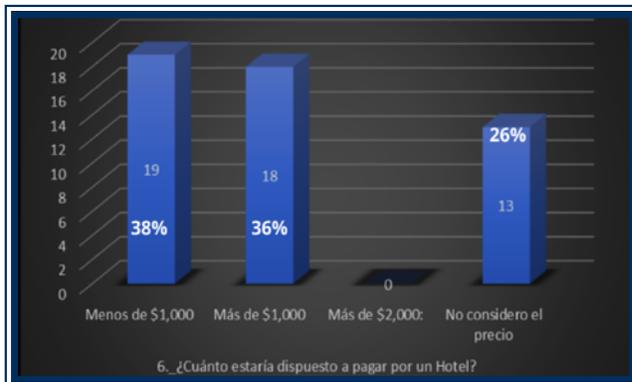
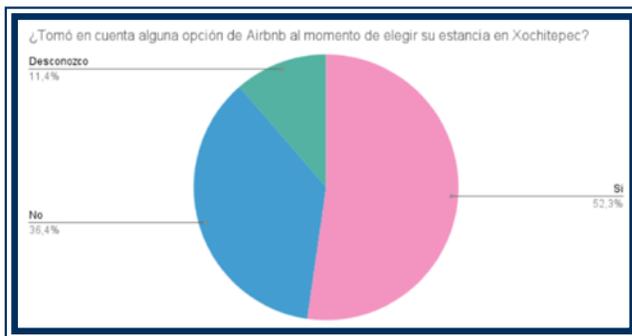
Pregunta: ¿Cuánto está usted dispuesto a pagar por los servicios?



Pregunta: ¿Cómo se enteró de los servicios que ofrece Xochitepec "Pueblo Mágico"?

Referente a la línea de investigación Servicios de hotelería y gastronomía, se presenta la siguiente muestra:

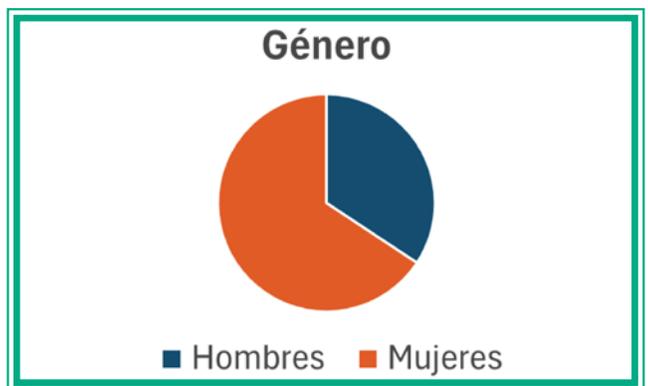


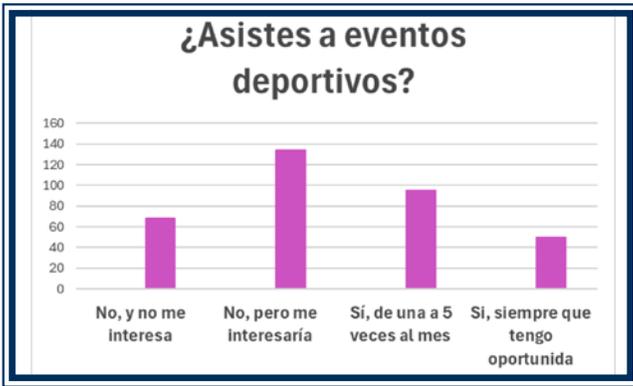


Atendiendo al orden ya citado anteriormente, del rubro Cultura y deportes, es importante señalar que el huésped que se desplaza para participar activa o pasivamente en cualquier tipo de disciplina deportiva forma parte del turismo deportivo.

La actividad puede ser competitiva o recreativa, aprovechando la infraestructura turística, deportiva y cultural con la que cuenta la ciudad sede, de tal manera que a continuación se presenta la siguiente muestra.

Se aplicaron un total de 347 encuestas, de las cuales:





RESULTADOS

La importancia de los resultados en la investigación radica en que ayudan a comprender lo que los números nos están indicando.

Turismo de salud y bienestar

1. Un 40% de los encuestados asisten cada año a lugares que ofrecen servicios de turismo de bienestar, mientras que un 15% acuden de 2 a 45 veces al mes.
2. Un 38% busca los balnearios, un 23% prefiere un lugar para practicar yoga,

mientras que un 19% busca un spa o un temazcal.

3. El 50% de los encuestados prefieren que el spa sea un lugar fresco y que cuente con áreas verdes.
4. Al preguntarles sobre cuánto estarían dispuestos a pagar por un servicio de spa el rango va de los \$200 a los \$800 pesos.
5. El 30% de los encuestados comentan que se enteran de los spas en Xochitepec por la publicidad de boca en boca o bien por medio de las redes sociales, pero mencionan que no han visto anuncios espectaculares o alguna campaña publicitaria.

Servicios de hotelería y gastronomía

1. Un 63% de los encuestados se hospedan en Xochitepec de 1 a 2 veces al año, otro 20% lo hace más de 5 veces al año y un 15% de 3 a 4 veces al año y un 52% de las personas buscan la opción de Airbnb.
2. La temporada en que más visitan Xochitepec es en primavera con un 38% mientras que en el verano lo hacen un 29%.
3. Un 38% pagaría menos de mil pesos por hospedarse en un hotel de Xochitepec, otro 36% más de mil pesos y un 26% no considera el precio.
4. Un 94% de los encuestados comentaron que si Xochitepec tuviera un platillo exclusivo, podría ser un atractivo turístico gastronómico y un 72% estaría dispuesto a viajar al municipio tan solo por probar ese platillo.
5. El 36% de los encuestados comentó que cuando va a Xochitepec, prefiere la comida mexicana.
6. Uno de los factores que más influyen a la hora de elegir un restaurante es la calidad, por encima del precio

Cultura y deportes

1. De las 347 encuestas realizadas 159 personas dijeron que su principal propósito era referente al turismo gastronómico.

2. De las 347 encuestas realizadas 134 personas dijeron que no asisten, pero que les gustaría.
3. De las 347 encuestas realizadas 147 personas dijeron que por disfrute personal seguido de salud y bienestar.
4. De las 347 encuestas realizadas 138 personas dijeron que canchas de fútbol y sin duda, piscinas.

CONCLUSIONES

Por lo anterior, se puede concluir que con base en la investigación de mercados realizada el pasado 05 de abril del 2024, refiriéndose al ámbito deportivo el tipo de consumidor que visita Xochitepec es:

- En su mayoría son mujeres de entre 35 y 40 años.
- Que no participan en eventos deportivos pero que les gustaría.
- Que un 35.4 % de las y los encuestados no se enteran de las actividades que se realizan en Xochitepec.
- Que un 36.6 % no se entera de las actividades que se realizan en Xochitepec.
- Un 28.1 % asisten por recomendación de un amigo o familiar
- El 44.4% dice que hace falta infraestructura para dar acceso a todo tipo de personas a los espacios deportivos.
- El 30.9% opina que todos pueden acceder a los espacios deportivos.
- El 24.7% Opina que tal vez.

RECOMENDACIONES

El turismo de salud y bienestar es un sector poco explotado en el municipio, éste sería un atractivo importante de mercado, debido a que se pueden abrir más servicios de estos y lograr que Xochitepec empiece a tener un posicionamiento y sea reconocido como un lugar para el descanso y el bienestar. Se pueden utilizar los recursos que tiene la Universidad, ya que se cuenta con estudiantes de la carrera de Turismo de Salud y Bienestar.

A Xochitepec ya lo ubican en el ámbito gastronómico por su pozole, pero se tiene el dato que es el único lugar donde elaboran un pozole negro, lo cual podría convertirse en ese platillo exclusivo que buscan los turistas e incluso se pudiera considerar como parte de la identidad del pueblo mágico, lo cual haría que se incrementara el número de turistas en el municipio. Partiendo de esto se podría realizar una campaña publicitaria, este proyecto se podría trabajar con los estudiantes del TSU de Desarrollo de Negocios y de Licenciatura en Innovación de Negocios y Mercadotecnia.

La propuesta para complementar la investigación realizada pretende implementar técnicas proyectivas, sesiones de grupo y encuestas en línea, que permitan conocer las motivaciones, percepciones, preferencias, creencias y actitudes de los turistas que visitan o pretenden visitar el municipio de Xochitepec, a través de una investigación cualitativa que esté conformada por: un resumen ejecutivo, con el título de "Propuesta de Proyección Nacional" (Branding, Experiencia del Turistas, Posicionamiento, Lovemarks)

REFERENCIAS

- Diario Oficial de la Federación, DOF, (2014). México
- Fernández Robín, Cristóbal; Aqueveque Torres, Claudio (2001). Segmentación de Mercados: buscando la correlación entre variables psicológicas y demográficas Revista Colombiana de Marketing, vol. 2, núm. 2. Universidad Autónoma de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia.
- Hernández Sampieri, Pedro. (2014) Metodología de la Investigación. McGRAW-HILL 5ª. Edición. México.
- Rosendo Ríos, Verónica. (2018). Investigación de Mercados. ESIC Editorial. Madrid.
- Rojas Soriano Raúl et al. (2015). Investigación educativa. CLACSO. Montevideo.
- SECTUR (2014). Guía de incorporación y permanencia. Pueblos Mágicos



MURAL "MESTIZAJE DE CULTURAS"

ELABORADO POR EL ARTISTA PLÁSTICO DE ORIGEN OAXAQUEÑO, IRVING CANO, EGRESADO DE LA UTEZ.
INAUGURADO EN EL AÑO 2016

PUBLICACIÓN CUATRIMESTRAL DE LA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EMILIANO ZAPATA
DEL ESTADO DE MORELOS

comiteeditorial@utez.edu.mx
777 368 1165 EXT. 275

Territorio de Calidad®

