



CIENCIAUANL

Revista de divulgación científica y tecnológica
de la Universidad Autónoma de Nuevo León

septiembre - octubre 2024



- **Burbujas, ciencia y belleza efímera**
- **Uso de Apps en la actividad física**
- **Ecuación algebraica de Riccati**
- **Mecatrónica como formación multidisciplinar**



Año 27,
Número 127
septiembre - octubre 2024

Año 27, número 127



Una publicación bimestral de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Dr. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Juan Paura García
Secretario general

Dr. Juan Manuel Alcocer González
Secretario de investigación científica y desarrollo tecnológico

Dr. Guillermo Elizondo Riojas
Director Ciencia UANL

Melissa del Carmen Martínez Torres
Editora

Consejo Editorial

Dr. Sergio Estrada Parra (Instituto Politécnico Nacional, México) /
Dr. Miguel José Yacamán (Universidad de Texas, EUA) / Dr. Juan Manuel Alcocer González (Universidad Autónoma de Nuevo León, México) /
Dr. Bruno A. Escalante Acosta (Instituto Politécnico Nacional, México)

Redes y publicidad: Jessica Martínez Flores
Diseño: Orlando Javier Izaguirre González
Corrector de inglés: Alejandro César Argueta Paz
Corrección: Luis Enrique Gómez Vanegas
Asistente administrativo: Claudia Moreno Alcocer
Portada: Francisco Barragán Codina
Webmaster: Mayra Silva Almanza
Servicio social: Sheila Montserrat Nava Guerrero

Ciencia UANL Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Año 27, N° 127, septiembre-octubre de 2024. Es una publicación bimestral, editada y distribuida por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Dirección de Investigación. Domicilio de la publicación: Av. Manuel L. Barragán 4904, Campus Ciudad Universitaria, Monterrey, N.L., México, C.P. 64290. Teléfono: + 52 81 83294236, <https://cienciauanl.uanl.mx>, revista.ciencia@uanl.mx. Editora responsable: Melissa del Carmen Martínez Torres. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2021-060322550000-102, Licitud de Título y Contenido: 14914, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor; ISSN-E: en trámite. Registro de marca ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial: 1437043. Responsable de la última actualización de este número: Melissa del Carmen Martínez Torres. Impresa por: Serna Impresos, S.A. de C.V., Vallarta 345 sur, Centro, C.P. 64000, Monterrey, Nuevo León, México. Fecha de terminación de impresión: 02 de septiembre de 2024, tiraje: 1,400 ejemplares. Fecha de última modificación: 02 de septiembre de 2024.

Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Prohibida su reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, del contenido editorial de este número.

Publicación indexada al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, LATINDEX, CUIDEN, PERIÓDICA, Actualidad Iberoamericana, Biblat.

Impreso en México
Todos los derechos reservados
© Copyright 2024

Ciencia UANL

COMITÉ ACADÉMICO

CIENCIAS DE LA SALUD

Dra. Lourdes Garza Ocañas
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS EXACTAS

Dra. Ma. Aracelia Alcorta García
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dra. María Julia Verde Star
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS NATURALES

Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS SOCIALES

Dra. Veronika Sieglin Suetterlin
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Dra. María Idalia del Consuelo Gómez de la Fuente
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS DE LA TIERRA

Dr. Carlos Gilberto Aguilar Madera
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

COMITÉ DE DIVULGACIÓN

CIENCIAS DE LA SALUD

Dra. Gloria María González González
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS EXACTAS

Dra. Nora Elizondo Villarreal
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dr. Hugo Bernal Barragán
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS NATURALES

Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS SOCIALES

Dra. Blanca Mirthala Taméz Valdés
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Dra. Yolanda Peña Méndez
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

CIENCIAS DE LA TIERRA

Dr. Héctor de León Gómez
(Universidad Autónoma de Nuevo León, México)

ÍNDICE

6 EDITORIAL

8 CIENCIA Y SOCIEDAD



Uso de aplicaciones móviles en la actividad física: teoría de la tecnología persuasiva
Claudia Selene Cuevas-Castro, Teresita Valencia-Falcón,
Blanca Rocío Rangel-Colmenero

16 OPINIÓN



La mecatrónica como formación multidisciplinar, un impulso al desarrollo tecnológico nacional
Diana Ivette Montejo Arroyo, José Alejandro Vásquez Santacruz

24 EJES



Los desafíos en las pruebas automáticas de las interfaces gráficas de usuario
David Maloof Flores, Olanda Prieto Ordaz, Miguel Ángel López Santillán

34 SECCIÓN ACADÉMICA

35

Burbujas, la ciencia detrás de su belleza efímera
Enrique Cuauhtémoc Sámano Tirado, Jorge Miguel Martínez Rodríguez,
Juan Pablo Rocha López

41

Solución de la ecuación algebraica de Riccati
María Aracelia Alcorta García, Juan Carlos Hernández Medellín

49

Realidad aumentada como herramienta para el aprendizaje de estructuras de datos
Janitzín Cárdenas Castellanos, Jazmín Pérez Méndez, Nadia Teresa Adaile Benítez

56

Monitoreo y control en LabView de un exoesqueleto de aumento de fuerza en la articulación del codo
Fermín Castillo-Anaya, Manuel Jimenez-Lizarraga, Antonio Osorio-Cordero

62 CIENCIA DE FRONTERA



Formación y difusión como estrategia para vincular las matemáticas a los problemas sociales: la UNAM en la vida de María de la Luz de Teresa de Oteyza
María Josefa Santos-Corral

72 SUSTENTABILIDAD



Pertinencia de la sustentabilidad
Pedro César Cantú-Martínez

80 COLABORADORES

127

EDITORIAL

María Aracelia Alcorta García*

En este número 127, septiembre-octubre 2024, encontramos artículos enfocados a las ciencias exactas: física y matemáticas aplicadas a la ingeniería y a la tecnología, cuyos desarrollos sustentan múltiples aplicaciones en nuestra vida diaria. Tenemos un trabajo, por ejemplo, acerca de la mecatrónica como base para el desarrollo tecnológico, cuatro artículos académicos, uno de ciencia de frontera que contiene estrategias de difusión de las matemáticas y uno más de sustentabilidad ecológica.

En lo referente a las aplicaciones de la ciencia en la sociedad, coincidimos en que cada vez es más común ver a personas practicando deporte mientras utilizan sus dispositivos móviles para medir su rendimiento o simplemente por el hecho de estar usando una app lúdica que requiere el desplazamiento. Así, en Ciencia y Sociedad Claudia Selene Cuevas Castro, Teresita Valencia Falcón y Blanca Rocío Rangel Colmenero explican el "Uso de aplicaciones móviles en la actividad física: teoría de la tecnología persuasiva".

En Opinión contamos con el interesante trabajo presentado por Diana Ivette Montejo Arroyo y José Alejandro Vásquez Santacruz, "La mecatrónica como formación multidisciplinar, un impulso al desarrollo tecnológico nacional". En éste se describe cómo la mecatrónica, que incorpora elementos de la electrónica, la mecánica, la robótica, sistemas de computación, estudio de sensores y el funcionamiento de máquinas industriales participa en el desarrollo tecnológico nacional, diseñando las nuevas tecnologías en nuestro país.

A pesar de la automatización, lo cual ofrece ventajas de tiempo y eficiencia, surgen nuevos retos para resolver. "Los desafíos en las pruebas automáticas de las interfaces gráficas de usuario" son mostrados por David Maloof Flores, Olanda Prieto Ordaz y Miguel Ángel López Santillán en la sección de Ejes.

En la sección Académica tenemos cuatro investigaciones, la primera es presentada por Enrique Cuauhtémoc Sámano Tirado, Jorge Miguel Mar-

tínez Rodríguez y Juan Pablo Rocha López, quienes nos transportan al fascinante mundo de las "Burbujas, la ciencia detrás de su belleza efímera", en la que resaltan la importancia de las burbujas, así como la comprensión de los aspectos científicos que entran en juego y que nos ayudan a entender otros fenómenos de la naturaleza.

En la segunda, "Solución de la ecuación algebraica de Riccati", realizada por María Aracelia Alcorta García y Juan Carlos Hernández Medellín, se revela la solución de la ecuación de Riccati, la cual toma relevancia, entre otras, en el área de control automático. Por ser cuadrática, se asumen dos soluciones y por ser un caso especial de la ecuación de Bernoulli, se obtiene la segunda solución partiendo de la primera. En esta propuesta se llega a la solución, para algunos casos específicos, sin conocer alguno de los resultados.

La tecnología de la realidad aumentada (RA) en nuestros días, se aplica de forma intensiva en algunas áreas (arquitectura, medicina, videojuegos, deportes, turismo, moda, belleza, publicidad, entre otras). "Realidad Aumentada como herramienta para el aprendizaje de estructuras de datos" es el tercer trabajo de la sección Académica, presentado por Janitzín Cárdenas Castellanos, Jazmín Pérez Méndez y Nadia Teresa Adaile Benítez. En éste se destaca la importancia del uso de la realidad aumentada en la enseñanza, ya que sumerge a los estudiantes en entornos interactivos que les permiten explorar conceptos relacionados con estructuras de datos de manera tangible, logrando que la experiencia de aprendizaje sea dinámica y atractiva.

Para terminar la sección, pero sin restarle importancia, la evidencia y el avance de la tecnología al servicio del ser humano es presentada por Fermín Castillo Anaya, Manuel Jiménez Lizárraga y Antonio Osorio Cordero en el interesante artículo titulado "Monitoreo y control en LabView de un exoesqueleto de aumento de fuerza en la articulación del codo", en el cual se describe la programación, los controles utilizados y la manera en que LabView actúa como interface en este proceso y los resultados obtenidos.

Finalmente, Pedro César Cantú Martínez nos habla acerca de la "Pertinencia de la sustentabilidad", mientras que en Ciencia de Frontera, María Josefa Santos Corral nos expone el trabajo titulado: "Formación y difusión como estrategia para vincular las matemáticas a los problemas sociales: la UNAM en la vida de María de la Luz de Teresa de Oteyza", destacada matemática mexicana dedicada a la investigación en el área de teoría de control de ecuaciones diferenciales parciales parabólicas.

Descarga aquí nuestra versión digital.



* Universidad Autónoma de Nuevo León,
San Nicolás de los Garza, N. L., México.
Contacto: maria.alcortagr@uanl.edu.mx

Uso de aplicaciones móviles en la actividad física: teoría de la tecnología persuasiva

10 KM
EN 1 HORA



Claudia Selene Cuevas-Castro*
ORCID: 0000-0002-3220-3916

Teresita Valencia-Falcón**
ORCID: 0000-0002-8012-6767

Blanca Rocío Rangel-Colmenero*
ORCID 0000-0001-5209-772X

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.127-1>

* Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México.

** Universidad Estatal de Sonora, Sonora, México.

Contacto: claudia.cuevas@ues.mx

Hoy en día, las personas en la sociedad son cada vez más conscientes de la importancia de tener un óptimo estado de salud. Es por eso que inician un programa de actividad física (AF), ya sea de manera formal o informal. Numerosos estudios han investigado y reportado la estrecha relación entre los niveles de AF y la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (Earnest *et al.*, 2013). Por el contrario, el sedentarismo, definido como el tiempo que pasamos inactivos en el día, se asocia con la presencia de éstas (Brickwood *et al.*, 2019). El sedentarismo ha aumentado, a pesar de que se tiene mayor acceso a información sobre los beneficios de una vida activa (Ortega *et al.*, 2008).

En México, de 2012 a 2018, el sedentarismo ha aumentado de manera considerable, según lo reporta la encuesta nacional de salud y nutrición (Ensanut, 2018). En estudios realizados en Estados Unidos, se ha observado que se requiere cumplir con las recomendaciones mínimas de AF para disminuir la prevalencia de males cardiovasculares y aumentar el promedio de vida de la población. Se recomiendan de 150 a 300 minutos de AF de moderada a vigorosa por semana, según lo establecen los lineamientos del Reporte del comité consultor de AF 2008 (2008 Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report). Llevar un estilo de vida que cumpla con estas recomendaciones se ve reflejado en reducción de sobrepeso y obesidad en diferentes poblaciones (Powell *et al.*, 2019).

Una de las teorías que se han abordado al promover la AF es la de las tecnologías persuasivas (TP), definidas como un sistema interactivo que ayuda a las personas a adoptar comportamientos saludables y evitar los dañinos. La teoría de la tecnología persuasiva sostiene que las aplicaciones móviles pueden diseñarse para cambiar las actitudes y comportamientos de los usuarios a través de la persuasión e influencia social y no por coerción (Azar *et al.*, 2013). Esta tecnología generalmente se divide en dos categorías: manejo de enfermedades y promoción de la salud (Orji y Mandryk, 2014). En la segunda, la TP se dirige a los comportamientos iniciados por las personas con el objetivo de prevenir padecimientos, detectar síntomas tempranos y mantener el bienestar general (Orji, Vasileva y Mandryk, 2014).

La AF es uno de los dominios que se han beneficiado de la alta utilización de la TP. Estas intervenciones utilizan una amplia gama de tecnologías (por ejemplo, apps basadas en la web y teléfonos inteligentes). Los desarrollos tecnológicos en los teléfonos inteligentes y su naturaleza ubicua ofrecen oportunidades ilimitadas para diseñar intervenciones móviles que promuevan la AF. Por ejemplo, la TP puede aprovechar los sensores incorporados de los teléfonos inteligentes y realizar un seguimiento de la AF, proporcionar sugerencias en el momento justo y motivar a las personas a ser más activas físicamente (Al Ayubi *et al.*, 2014).



Dentro del concepto de TP se encuentra la salud móvil (mHealth), definida como el uso de dispositivos inalámbricos que apoyan la práctica médica y de salud pública (Davies y Mueller, 2020). El uso de mHealth es un enfoque de rápido crecimiento en el manejo y la prevención de padecimientos crónicos (Sieverdes *et al.* 2013, Treiber y Jenkins, 2013); asimismo, ha demostrado potencial al involucrar a las personas en el autocontrol continuo de los comportamientos de AF prescritos para el control y la prevención de enfermedades (Sieverdes, *et al.*, 2013, Treiber y Jenkins, 2013). En el ámbito clínico, la evidencia muestra que mHealth puede ayudar a un cambio de comportamiento que redunde en mejores resultados, por una mayor adherencia al tratamiento (Handel, 2011; Free *et al.*, 2013; Marcolino *et al.*, 2018).



Uno de los intereses de las investigaciones científicas son los factores psicológicos relacionados con la promoción de la práctica de la actividad física, como la competencia motora, motivación y afectos positivos (Cairney *et al.*, 2019). La teoría que sostiene que las intervenciones con aplicaciones móviles elevan positivamente los niveles de AF y cambia actitudes de los usuarios hacia los hábitos saludables es la teoría de la tecnología persuasiva. Ésta se basa en seis aspectos principales: autocontrol, sugerencia, recompensa, cooperación, rol social e influencia normativa (Azar *et al.*, 2013). Además, se fundamenta en el uso de técnicas de cambio de comportamiento que, se piensa, mejora el nivel de cumplimiento a la prescripción de un programa de AF (Höshmann *et al.*, 2018).

Hoy en día, el uso de teléfonos inteligentes está muy extendido entre jóvenes universitarios, prácticamente todos cuentan con uno y acceden a Internet constantemente o varias veces al día (Sánchez y Calderón, 2021). Con el rápido desarrollo de la información y la tecnología inteligente, ha aumentado la demanda de mHealth que utiliza las aplicaciones en la prevención y mejora de la salud (Kim *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019). mHealth aprovecha la disponibilidad de innovaciones tecnológicas, software, sensores biológicos, servicio de mensajes cortos (SMS), sistema de posicionamiento global y acelerometría, lo suficientemente pequeños como para integrarse en dispositivos portátiles y teléfonos inteligentes. Además, ofrece modalidades fácilmente accesibles y de bajo costo en su implementación, lo que permite un alcance potencial a través de gradientes socioeconómicos y en poblaciones de difícil ac-

ceso (Hswen y Viswanath, 2015). Se ha sugerido que los dispositivos tienen la capacidad de ofrecer intervenciones de cambio de comportamiento multifacéticas utilizando apps médicas (Abroms *et al.*, 2011; Pagoto *et al.*, 2013).

Por el uso generalizado de teléfonos inteligentes, recientemente se ha presentado en el mundo la creación de aplicaciones que promueven la actividad física, equipadas con funciones de información básica como conteo de pasos por acelerometría. Rápidamente han ido evolucionando, ofreciendo información muy precisa de retroalimentación inmediata a un bajo costo y de manera accesible (Cleghorn *et al.*, 2019). Anteriormente, esa información se podía obtener con equipos muy sofisticados y costosos, en muchas ocasiones sólo en áreas médicas. Esto ha motivado a los investigadores a comprobar la efectividad de esta tecnología en la mejora de la práctica de la

AF y, por ende, cómo puede verse reflejada ésta en la prevención y disminución de enfermedades crónicas no transmisibles. Lo anterior puede tener un efecto positivo en los sistemas de salud, que se ven sobrepasados por los altos índices de malestares relacionados con el sedentarismo y la mala alimentación.

Un aspecto que puede ser una limitación al llevar a cabo investigaciones sobre el uso de aplicaciones móviles es el acceso de la población a un teléfono inteligente. Sin embargo, al analizar lo que reporta el Instituto Federal de Telecomunicaciones (2020), en México existen 86.5 millones de usuarios del total de 126.2 millones de personas de la población. El alto número de usuarios indica que es fácil el acceso a un teléfono inteligente en la población en general, por lo que parece factible llevar a cabo intervenciones con estas características.

Se ha manifestado que las aplicaciones de teléfonos móviles son una herramienta accesible para intervenciones de salud de manera remota, ya que representan un método factible de otorgar asesoría relacionada (Payne *et al.*, 2015). A este fenómeno se le conoce como mHealth, es decir, la "comunicación con dispositivos móviles, que incluye la retroalimentación respecto a temas de salud, servicios y programas que desarrollan estilos de vida saludables" (Telfer *et al.*, 2020). Las tecnologías mHealth son cada vez más utilizadas, y es considerada una herramienta eficaz al aumentar la interacción efectiva con hábitos y maneras de vivir sanamente (Lee *et al.*, 2019).

Existen diferentes tipos de aplicaciones y su calidad es diversa. Por lo que, dependiendo de su contenido y confiabilidad, se definirá la satisfacción de los usuarios de un servicio remoto de



ma de AF existe abandono a partir de las ocho semanas. Lo anterior puede deberse a que no cumplen con las expectativas de sus usuarios o por la dificultad que representa adecuarse a las nuevas tecnologías que no están acostumbrados a usar, sobre todo los de mayor edad (Huh *et al.*, 2019).

Por el contrario, en jóvenes universitarios no parece haber problema (Lee *et al.*, 2020). Esto sugiere que, en edades infantiles, adolescentes o jóvenes, se pueden utilizar aplicaciones de tipo "Exergames", es decir, juegos basados en tecnología, donde a través de un teléfono inteligente, la práctica te mantiene en constante actividad física sin ser obligada (Broom *et al.*, 2019). Dichos juegos se desarrollan con base en la preferencia de los usuarios. Sin embargo, son pocas las apps de condición física de los teléfonos inteligentes que se basen en características especiales de la población, como el hecho de que son personas adultas o con prevalencia de enfermedades (Khaghani-Far *et al.*, 2016).

Las aplicaciones móviles hacen uso de los avances tecnológicos desarrollados en nuestra actualidad. Transforman la capacidad de alma-

cnar datos en campo, ahorrando tiempo, reduciendo costos de equipo especializado y permiten a los profesionales de la salud o de la AF dar seguimiento oportuno a los clientes o pacientes (Peart, Balsalobre-Fernández y Shaw, 2019; Bromilow, Stanton y Humphries, 2020). Esto agrega la posibilidad de usar un programa mHealth, integral, multidisciplinar sumando la nutrición, manejo del estrés, análisis de calidad de sueño y actividad física como hoy en día lo ofrecen diferentes aplicaciones.

CONCLUSIONES

Es una realidad que hoy en día los teléfonos inteligentes facilitan el acceso a redes sociales que representan un riesgo de adicción, lo que impacta directamente en el aumento del sedentarismo. Sin embargo, existe la posibilidad de contrarrestar este fenómeno, apoyándose en la misma tecnología por medio del uso de aplicaciones de promoción de actividad física basadas en la teoría de la tecnología persuasiva.



mHealth. Éste es un factor determinante para que los pacientes continúen usando el servicio que proporciona (Kim *et al.*, 2019). En el ámbito de la salud se ha observado que las prescripciones son más efectivas en la motivación de los pacientes y alcanzan los objetivos de rehabilitación cuando el personal médico utiliza apps que contienen técnicas de persuasión, retroalimentación del estado de salud y objetivos específicos de algún tipo de enfermedad crónica no transmisible. Además, estas mejoras aumentan la percepción de calidad de vida (Sankaran *et al.*, 2019, Dendale y Coninx, 2019).

El uso de las aplicaciones de actividad física de teléfonos celulares inteligentes es una alternativa prometedora al llegar a un mayor número de personas y que éstas inicien programas de entrenamiento en casa, sin tener que asistir a lugares especializados (Khaghani-Far *et al.*, 2016). Sin embargo, diversos estudios resaltan que posterior a la prescripción de un progra-



El uso de tecnología móvil parece ser una herramienta prometedora para llevar a cabo intervenciones usando aplicaciones de AF que incluyan técnicas de cambio de comportamiento con la intención de promover la adquisición de hábitos saludables. Implementar intervenciones con base en esta teoría aparenta tener el potencial de aumentar los niveles de actividad física, lo que se ha demostrado deriva en resultados positivos en diversos indicadores de salud. Por su posible impacto a la sociedad, es necesario promover investigaciones que aborden las diferentes maneras en que la tecnología persuasiva pueda servir como factor positivo a favor de la actividad física y a la conservación de la salud.



REFERENCIAS

- Abroms, L.C., *et al.* (2011). iPhone apps for smoking cessation: A content analysis, *American Journal of Preventive Medicine*, 40(3), 279-285, <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2010.10.032>
- Al Ayubi, S.U., *et al.* (2014). A persuasive and social mhealth application for physical activity: A usability and feasibility study, *JMIR mHealth and uHealth*, 2(2), <https://doi.org/10.2196/mhealth.2902>
- Azar, K.M.J., *et al.* (2013). Mobile applications for weight management: Theory-based content analysis, *American Journal of Preventive Medicine*, 45(5), 583-589, <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2013.07.005>
- Brickwood, K.J., *et al.* (2019). Consumer-based wearable activity trackers increase physical activity participation: Systematic review and meta-analysis, *Journal of Medical Internet Research Mhealth and Uhealth*, 7(4), e11819, <https://doi.org/10.2196/11819>
- Bromilow, L., Stanton, R., y Humphries, B. (2020). A Structured E-Investigation Into the Prevalence and Acceptance of Smartphone Applications by Exercise Professionals, *Journal of strength and conditioning research*, 34(5), 1330-1339, <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003301>
- Broom, D. R., *et al.* (2019). Gotta catch "em all or not enough time: Users motivations for playing pokémon Go" and non-users reasons for not installing, *Health Psychology Research*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.4081/hpr.2019.7714>
- Cairney, J. *et al.* (2019). Physical Literacy, Physical Activity and Health: Toward an Evidence-Informed Conceptual Model, *Sports Medicine, Springer International Publishing*, 49(3), 371-383. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01063-3>
- Cleghorn, C. *et al.* (2019). Health benefits and cost-effectiveness from promoting smartphone apps for weight loss: Multistate life table modeling, *JMIR mHealth and uHealth*, 7(1), e11118, <https://doi.org/10.2196/11118>
- Davies, A., y Mueller, J. (2020). Developing Medical Apps and mHealth Interventions. A Guide for Researchers, *Physicians and Informaticians*. Edited by Springer. Cham, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-47499-7>
- Earnest, C.P., *et al.* (2013). Maximal estimated cardiorespiratory fitness, cardiometabolic risk factors, and metabolic syndrome in the aerobics center longitudinal study, *Mayo Clinic Proceedings, Mayo Foundation for Medical Education and Research*, 88(3), 259-270, <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2012.11.006>
- Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. (2018). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición*, https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf
- Free, C., *et al.* (2013). The Effectiveness of Mobile-Health Technology-Based Health Behaviour Change or Disease Management Interventions for Health Care Consumers: A Systematic Review, *PLoS Medicine*, 10(1), 1-45, <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001362>
- Handel, M.J. (2011). MHealth (mobile health)-Using Apps for health and wellness, *Explore: The Journal of Science and Healing*, 7(4), 256-261, <https://doi.org/10.1016/j.explore.2011.04.011>
- Hswen, Y., y Viswanath, K. (2015). Beyond the Hype: Mobile Technologies and Opportunities to Address Health Disparities, *Journal of Mobile Technology in Medicine*, 4(1), 39-40, <https://doi.org/10.7309/jmtm.4.1.9>
- Instituto Federal de Telecomunicaciones, G. de M. (2020). *Usuarios de internet y telefonía celular en México*, Página principal de Comunicación y Medios, <http://www.ift.org.mx/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/en-mexico-hay-806-millones-de-usuarios-de-internet-y-865-millones-de-usuarios-de-telefonos-celulares>
- Khaghani-Far, I., *et al.* (2016). Fitness Applications for Home-Based Training, *IEEE Pervasive Computing*, 15(4), 56-65, <https://doi.org/10.1109/MPRV.2016.76>
- Kim, H., *et al.* (2018). Self-management of chronic diseases among older korean adults: An mHealth training, protocol, and feasibility study, *JMIR mHealth and uHealth*, 6(6), 1-11, <https://doi.org/10.2196/mhealth.9988>
- Kim, K.H., *et al.* (2019). Identification of critical quality dimensions for continuance intention in mHealth services: Case study of onecare service, *International Journal of Information Management*, 46(1), 187-197, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.12.008>
- Lee, A.M., *et al.* (2019). Efficacy and effectiveness of mobile health technologies for facilitating physical activity in adolescents: Scoping review, *JMIR mHealth and uHealth*, 7(2), 1-14, <https://doi.org/10.2196/11847>
- Marcolino, M.S., *et al.* (2018). The impact of mHealth interventions: Systematic review of systematic reviews, *JMIR mHealth and uHealth*, 6(1), 1-11, <https://doi.org/10.2196/mhealth.8873>
- Orji, R., y Mandryk, R.L. (2014). Developing culturally relevant design guidelines for encouraging healthy eating behavior, *International Journal of Human Computer Studies*, 72(2), 207-223, <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2013.08.012>
- Orji, R., Vassileva, J., y Mandryk, R.L. (2014). Modeling the efficacy of persuasive strategies for different gamer types in serious games for health, *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 24(5), 453-498, <https://doi.org/10.1007/s11257-014-9149-8>
- Pagoto, S., *et al.* (2013). Evidence-based strategies in weight-loss mobile apps, *American Journal of Preventive Medicine*, 45(5), 576-582, <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2013.04.025>
- Payne, H.E., *et al.* (2015). Behavioral Functionality of Mobile Apps in Health Interventions: A Systematic Review of the Literature, *JMIR mHealth and uHealth*, 3(1), e20, <https://doi.org/10.2196/mhealth.3335>
- Peart, D.J., Balsalobre-Fernández, C., y Shaw, M.P. (2019). Use of mobile applications to collect data in sport, health, and exercise science: a narrative review, *Journal of strength and conditioning research*, 33(4), 1167-1177, <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002344>
- Powell, K.E., *et al.* (2019). The scientific foundation for the physical activity guidelines for Americans, *Journal of Physical Activity and Health*, 16(1), 1-11, <https://doi.org/10.1123/jpah.2018-0618>
- Sánchez, P., y Calderón, G.Y. (2021). Diferencias en el uso del dispositivo móvil entre estudiantes de secundaria y universidad en México, *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(22), 1-16, <https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.932>
- Sankaran, S., Dendale, P., y Coninx, K. (2019). Evaluating the impact of the hearthab app on motivation, physical activity, quality of life, and risk factors of coronary artery disease patients: Multidisciplinary crossover study, *Journal of Medical Internet Research*, 21(4), e10874, <https://doi.org/10.2196/10874>
- Sieverdes, J.C., Treiber, F., Jenkins, C. (2013). Improving diabetes management with mobile health technology, *American Journal of the Medical Sciences*, 345(4), 289-295, <https://doi.org/10.1097/MAJ.0b013e3182896cee>
- Telfer, K., *et al.* (2020). *Technical report for BODE3 intervention parameter selection: mobile health for physical activity*, University of Otago, Wellington, https://www.otago.ac.nz/_data/assets/pdf_file/0026/331748/technical-report-for-bode-intervention-parameter-selection-mobile-health-for-physical-activity-740534.pdf
- Zhang, L., *et al.* (2019). Effectiveness of smartphone app-based interactive management on glycemic control in Chinese patients with poorly controlled diabetes: Randomized controlled trial, *Journal of Medical Internet Research*, 21(12), 1-10, <https://doi.org/10.2196/15401>

Recibido: 05/12/2022
Aceptado: 13/11/2023

Descarga aquí nuestra versión digital.





La mecatrónica

como formación multidisciplinar,
un impulso al desarrollo
tecnológico nacional

Diana Ivette Montejo-Arroyo*
ORCID: 0000-0002-1576-6653

José Alejandro Vásquez-Santacruz*
ORCID: 0000-0003-3848-623X

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.127-2>

*Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
Contacto: dmontejo@uv.mx, alejanvasquez@uv.mx

El diseño de productos o sistemas en respuesta a una necesidad de mercado, históricamente ha sido marcado por una diversidad de conclusiones entre las que destacan aquellas innovaciones que, además de resolver una determinada situación eficientemente, son accesibles al usuario en un contexto global. Artículos tecnológicos comunes en la vida cotidiana son resultado de un avance metodológico cuyos requerimientos han considerado, junto a su naturaleza técnica, el canal necesario para poder acceder a los mismos en respuesta a una problemática manifestada.

En este sentido, teléfonos inteligentes, computadoras portátiles, juguetes sofisticados, son algunos productos de ingeniería con alcance masivo en la sociedad, caracterizados por un diseño y manufactura compleja que generalmente provienen de otro país. Si bien estamos familiarizados con aparatos dotados de tecnologías modernas, históricamente la innovación de sistemas complejos en el mundo no necesariamente ha estado asociada con tecnologías de última generación, sino con características de confort al usuario o de alcance accesible en el mercado, por ejemplo, estructuras de uso doméstico: sillas plegables, productos sostenibles, electrodomésticos, entre otros. Por lo tanto, puede inferirse que la innovación está asociada con la satisfacción de tres principales líneas de cobertura: una solución infalible desde el punto de vista de ingeniería, condiciones adaptables al usuario que le motiven a su uso y accesibilidad bajo criterios de suministro y economía. Como sociedad no es difícil identificar artefactos que satisfagan estas tres características: automóviles, celulares, computadoras, *gadgets*, etcétera.

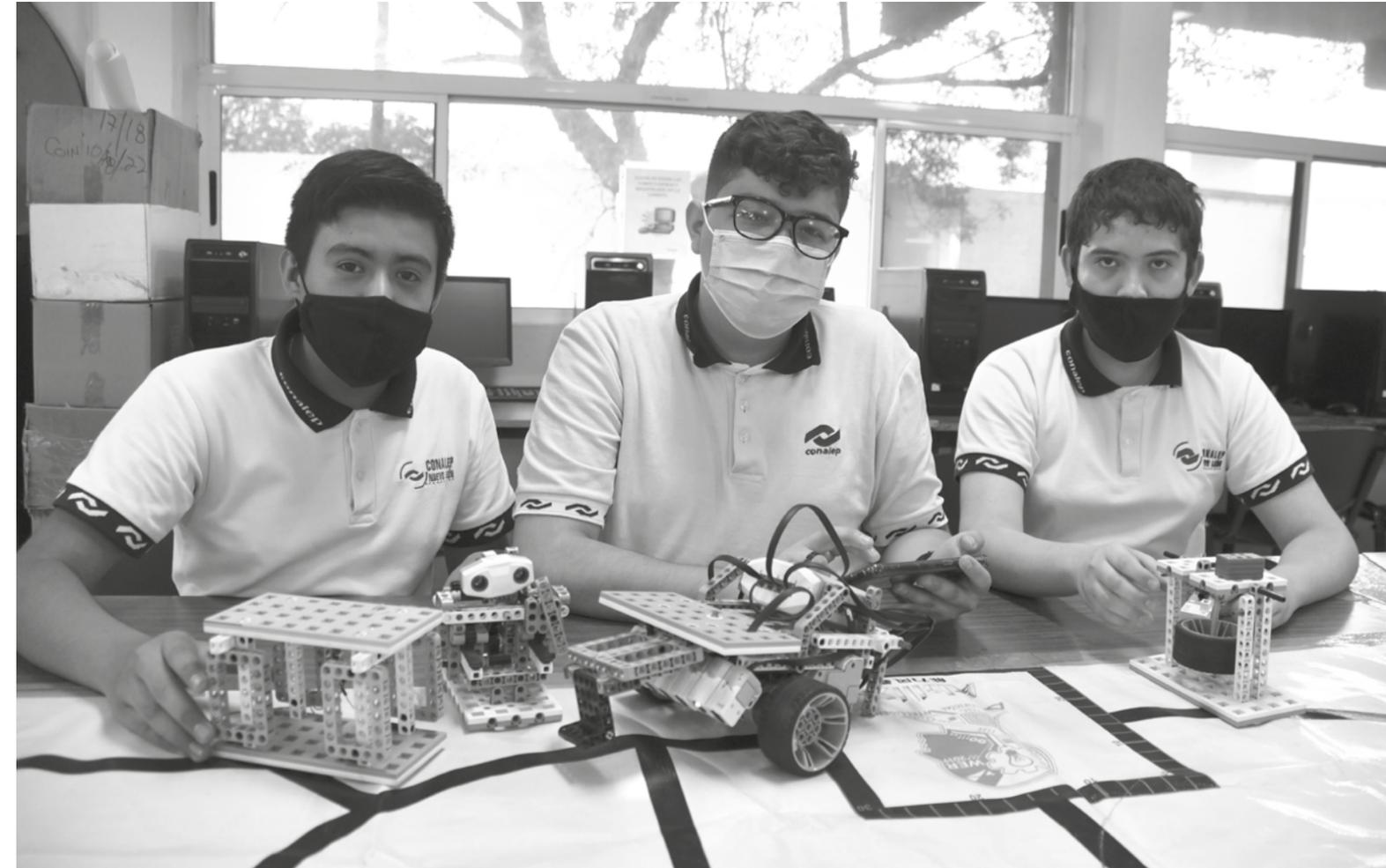
Ante este escenario se genera la interrogante: ¿existe en el mundo algún dispositivo de origen mexicano que haya tenido un impacto similar? Más allá de la TV a color en los años cuarenta (Camarena, 1942), la lluvia sólida a inicio de siglo (Caballero y Del Cerro, 2022), cuya repercusión global aún no es la esperada, al igual que, desde 2015, el generador de hidrógeno para reducir emisiones; son pocos los ingenios con futuro prometedor.

EL DISEÑO METODOLÓGICO COMO SOPORTE DEL DESARROLLO DE TECNOLOGÍA INNOVADORA

Diversos factores han determinado este escenario, pero sin duda la incorporación de metodologías que incluyan características estrictas tanto técnicas como de usabilidad y acceso al mercado, basadas en métodos y herramientas apropiadas en la generación y gestión de información, son determinantes y representan un área de oportunidad en el sistema educativo nacional que forma especialistas capaces de innovar. Las múltiples y diferentes áreas de conocimiento, así como los enfoques en los productos o sistemas, normalmente representan un reto en su integración e intercambio eficiente de información con objetivos comunes. Resulta preciso un escenario metodológico que se pueda adaptar a los diferentes perfiles profesionales de los ingenieros de diseño y de los recursos disponibles.

Una motivación adicional e imperante bajo esta expectativa, es que los procesos metodológicos deben ser, además, escalables para ser interpretados por diferentes niveles de formación, desde ambientes estudiantiles hasta profesionales en las grandes industrias y corporativos. Sin embargo, la realidad es que, en México, el rigor y el seguimiento estricto de normas dentro de metodologías que puedan garantizar resultados innovadores, no han tenido ese impacto como desarrollo tecnológico nacional; esto conlleva a procesos no estandarizados que se reflejan en un resultado a corto plazo, pero que no necesariamente brinda garantía de calidad.

En el progreso de la ingeniería de sistemas complejos, en este caso los mecatrónicos que, en los últimos años han evolucionado con la incorporación de tecnologías recientes (tecnologías de la información o los sistemas ciberfísicos), es de suma importancia saber cómo integrarlas de tal modo que los efectos sinérgicos determinen una solución de alto valor agregado y eficiente. Esta tendencia a la multidisciplinariedad representa el reto más relevante hoy en día, y la naturaleza de la mecatrónica exige la formación de expertos con amplia perspectiva y conocimiento técnico que les permitan establecer directrices que faciliten el despliegue de sistemas complejos.



DISEÑADORES DESDE LAS AULAS

El contexto educativo debe ser la base para la generación de estos expertos. Fue en los noventa cuando la mecatrónica emerge a nivel licenciatura en México (CIMA, 2012), seguido de un crecimiento exponencial de su oferta a partir de 2000, produciendo un numeroso recurso humano con mínimos desarrollos tecnológicos relevantes, aunque cabe destacar algunas pequeñas empresas y productos promisorios (Expansión, 2018), por parte de profesionales con una visión emprendedora, normalmente egresados de instituciones privadas.

En México, en especial a nivel superior, las respuestas a diversos problemas suelen ser de carácter exclusivamente académico, basadas en una funcionalidad temporal bajo criterios limitados en cuanto a repetibilidad y eficiencia; difícilmente el rigor de una metodología es de apego por lo que los sistemas realizados tienen un alcance en el mercado

limitado o nulo. Aunque a la fecha existen múltiples centros con una formación mecatrónica a nivel de ingeniería, e incluso posgrado, que buscan promoverla con un carácter multidisciplinar, la realidad es que, a más de 30 años de la primera institución en ofrecerla en el país, el impacto en los diferentes aspectos de un ingeniero diseñador no es del todo visibles. La situación se complementa con la capacitación docente que en muchos casos es parcial y hace al educador incapaz de sembrar la semilla con una visión multidisciplinar y de impacto tecnológico en las capacidades del educando, en parte por la propia falta de visión debido a un aprendizaje similar (Muñoz-Rivas *et al.*, 2023).

Adicionalmente, las propias condiciones socioeconómicas de los alumnos suelen ser un factor relevante. La visión de avance tecnológico puede estar limitada por prioridades derivadas de necesidades laborales para favorecer condiciones personales inmediatas antes de una de innovación y de impacto a futuro, forjando así una tendencia ideológica en un sector amplio en la sociedad mexicana con fines de alcance inmediato y de satisfacción de carestías personales antes que tecnológicas (Inegi, 2023).

Generalmente, éstas son situaciones que hacen parte de un contexto social y que van más allá de la necesidad de realizar metodologías hacia una solución innovadora de un problema real. Si bien contribuyen a una situación actual, el contexto global implica la puesta en marcha de políticas ajenas a un paradigma de diseño eficiente, pero desde una trinchera representada por el interior de un aula, resulta fuera de alcance.

¿Qué dirección tomar entonces? A la fecha se dispone de un gran número de recurso humano en las aulas, considerando que, en la década anterior, la demanda de espacios para estudiar esta carrera mostraba su auge y que actualmente marca una tendencia a una sobreoferta hacia el mercado laboral (Fiidem, 2018). Desde la perspectiva académica, con el objeto de generar y transmitir conocimiento que nutra la educación multidisciplinar hacia la respuesta a problemas que proyecten un desarrollo tecnológico, es imperativo concebir los objetivos académicos más allá de la acreditación de asignaturas y programas de manera cuantitativa.

Si los objetos de aprendizaje se orientan a la resolución de problemas considerando la naturaleza propia de una necesidad y el adecuado uso de he-

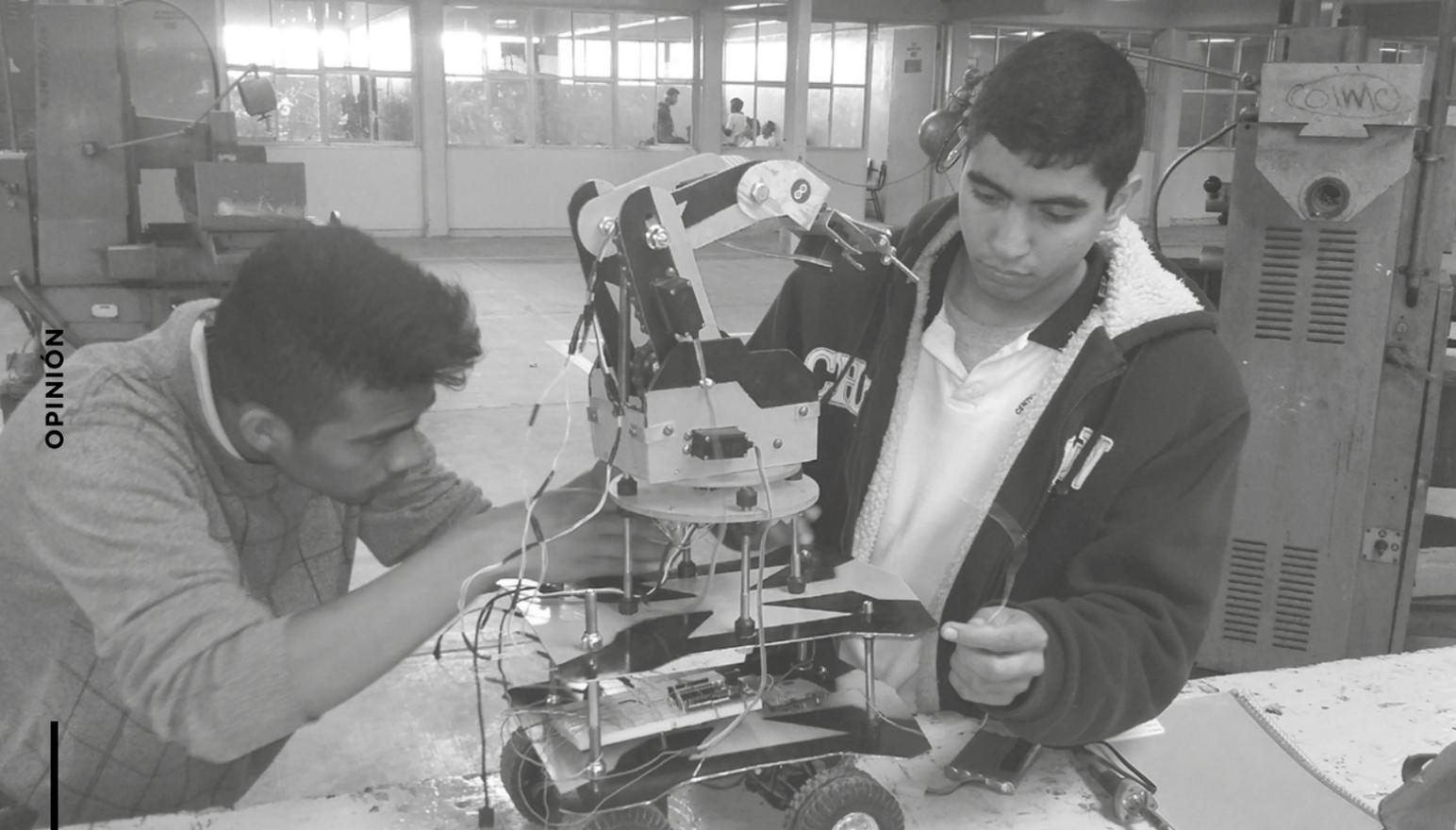


rramientas para proponer y validar soluciones, debería ser inminente la necesidad y seguimiento de estructuras metodológicas de diseño efectivas cuyo objetivo final sea la culminación del problema y en las que el estudiante se vuelve parte de un grupo de desarrollo multidisciplinar. En este sentido, los proyectos entonces deben estar basados en requerimientos sólidos: delimitación del problema, costos, efectividad, repetibilidad, seguridad, usabilidad, entre otros, factores indispensables en cualquier solución. El conocimiento preciso de estos requerimientos reflejará el entendimiento del problema y representa, de entrada, un gran avance.

Un aprendizaje con esta perspectiva nutre incluso la manera de pensar de un especialista, le dota de una visión más allá de lo inmediato de tal modo que previene diferentes escenarios: uso de sistemas fuera de lo estándar, ambientes adversos y agresivos, extensión de vida útil, escalamiento, etcétera. Una visión que no sólo comprende un enriquecimiento profesional y personal, sino que se refleja como un pilar en el desarrollo tecnológico en la contraparte del sector productivo al contar con gente capacitada y visión de independencia tecnológica. Los beneficios, personales y colectivos, serán consecuencia e innumerables: bajos costos de importación, mejor calidad en productos nacional, tecnologías propias, crecimiento económico, empleos, etcétera.

El paradigma de pensamiento con esta perspectiva exige, por su parte, el manejo de herramientas especializadas que eventualmente podría reflejar un obstáculo adicional, sin embargo, el conocimiento de éstas debería ser una pieza del propio modelo de enseñanza de un ingeniero mecatrónico. Herramientas de CAD/CAM, gestión de datos, programación, manufactura, simulación, así como el conocimiento de normas y estándares son sólo algunos de los escenarios en los que el estudiante ha de involucrarse.

A su vez, una tendencia en el diseño de sistemas multidisciplinarios consiste en la incorporación de modelos centralizados en los que todo el proceso fluye con intercambio de información continuo y en un escenario concurrente; un paradigma que produce metodologías con una gestión de datos eficiente y que permite el uso de múltiples herramientas para diseño y validación (Henderson *et al.*, 2024). Sin embargo, se imponen retos adicionales como la propia estructuración del modelo, con características de interoperabilidad que faciliten la interacción de



grupos heterogéneos mediante un lenguaje estándar. Retos que siguen vigentes, pero no abandonados, desarrollos sobre la integración multidisciplinaria con capacidades de interoperabilidad han dado resultados y grandes corporaciones en el mundo las adoptan (Accenture, 2022).

Entonces, ¿cómo la multidisciplinaria en las soluciones de ingeniería permea a nivel académico? Definitivamente un aula y un laboratorio no bastan. La integración de instituciones educativas con una realidad social en México es un factor relevante en la generación de tecnología innovadora y con impacto global. Los programas de vinculación al interior de las instituciones han de ser significativos en el progreso de una sociedad, por lo que los estudiantes requieren conocer las necesidades que motiven propuestas realistas, que respondan al entorno y que demanden una formación profesional suficiente para hacerles frente.

La misma sociedad es un repositorio de necesidades en espera de satisfacción, y una respuesta mecatrónica, aludiendo al hecho de que integra múltiples disciplinas adaptables a cada situación, responde de manera natural. Positivamente, muchos programas de ingeniería en México incorpo-

ran, dentro de sus planes de estudio, experiencias educativas que buscan fortalecer el vínculo con la sociedad (Didou-Aupetit, 2023) y con entidades del sector productivo (Sandoval-García, 2023), que nutran los planteamientos sociales a partir de la ingeniería y, aunque es un esfuerzo a considerar, quizás el objeto de la vinculación deba ser parte de un programa de aplicaciones reales donde fomentar el conocimiento y fortalecer lo visto en el aula con experiencia en campo, de la mano con la instrucción académica y profesional proveniente, en complemento, de otras instituciones educativas y del sector productivo.



Considerando que la ingeniería multidisciplinaria es la base de respuestas integrales con alto nivel de eficiencia a problemas específicos, la discusión del presente trabajo plantea la necesidad del ingeniero como portador de una flexibilidad cognitiva que le permita abordar desarrollos tecnológicos desde una perspectiva natural con el objetivo de resolverlos. Sin embargo, la comple-

jididad esperada de una conclusión de dicha naturaleza exige a su vez un cúmulo de habilidades técnicas para el manejo de herramientas que, si bien tienen su base en el contexto formativo, sin duda la experiencia profesional nutre su perfil.

Por otro lado, asumiendo aspectos socioeconómicos y culturales favorables, el rol de la educación superior en México hacia la solución de problemas ha de sentar en sus programas de estudio el avance integral de conocimiento que considere un contexto más allá de un certificado, dotando a los estudiantes de un sentido de responsabilidad tal que el seguimiento de metodologías formales resulte inherente en cualquier situación.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). *Indicadores de ocupación y empleo*, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Muñoz-Rivas, M.A., Rivera-Bravo, E., Hernández-Sierra, M.G., et al. (2023). Desmotivación escolar de los estudiantes de nivel superior: causas y consecuencias. *Ciencia Latina. Revista Multidisciplinaria*, 7(6). Sandoval-García, E.R. (2023). Formación superior complementaria para coadyuvar al perfil laboral de la Industria 4.0 en México, *Revista Educación Superior y Sociedad (ESS)*, 35(1), 471-496.

Recibido: 02/02/2024
Aceptado: 26/03/2024



- Accenture. (2022). *Value Untagged. Accelerating radical growth through interoperability. Growth Markets (Asia-Pacific, Middle East, Africa and Latin America) perspective*, USA: Accenture.
- Caballero, M., y Del Cerro, J. (2022). *México, 10 emprendedores sustentables*. México: LID Editorial Mexicana, SA de CV.
- Camarena, G.G. (1942). *United States, Patent No. US2296019A*.
- Centro de Investigación en Materiales Avanzados. (2012). *Diagnóstico y prospectiva de la mecatrónica en México*, México: FUNTEC-Secretaría de Economía.
- Didou-Aupetit, S. (2023). ¿Hacia dónde va la educación superior en México? *Revista Educación Superior y Sociedad (ESS)*, 35(1), 132-151.
- Expansión. (2018). Los disruptores del año dan el golpe, *Expansión* (14 diciembre 2018).
- Alianza para la Formación e Investigación en Infraestructura para el Desarrollo de México. (2018). *Estudio regionalizado de oferta demanda de las carreras de ingeniería*, México: Alianza FiiDEM.
- Henderson, K., McDermott, T., y Salado, A. (2024). MBSE adoption experiences in organizations: Lessons learned, *Systems Engineering*, 27(1), 214-239.

Descarga aquí nuestra versión digital.





Ejes

EJES

Los desafíos en las pruebas automáticas de las interfaces gráficas de usuario

David Maloof-Flores*
ORCID: 0000-0002-0404-791X

Olanda Prieto-Ordaz*
ORCID: 0000-0002-0023-9535

Miguel Ángel López-Santillán*
ORCID: 0009-0008-2087-1168



La GUI (interfaz gráfica de usuario) es una forma de software que hace uso de las capacidades visuales de la computadora al simplificar la interacción con las aplicaciones que usamos día a día (Yuan, Cohen y Memon, 2010). Las interfaces gráficas ofrecen a los usuarios una amplia variedad de caminos que ayudan a interactuar con el software; a pesar de que hacen que el software sea más amigable y sencillo de manejar, también introducen complejidades en el proceso de desarrollo. A fin de cuentas, es bien sabido que el resultado de tener una bien diseñada GUI atrae la atención de los usuarios en el mercado (Zheng, Hu y Ma, 2019).

Por este motivo, la ejecución de pruebas se efectúa con el objetivo de verificar que la interfaz cumpla con las especificaciones y funcione correctamente. Estas involucran la ejecución de acciones y la comparación de los resultados obtenidos con los anticipados, mediante el uso de lo que se conoce en la ingeniería de software como "casos de prueba". Las verificaciones pueden desarrollarse de forma manual por seres humanos o de manera automatizada. Adicionalmente, la llegada abrupta de herramientas de inteligencia artificial (AI) de generación de código automático ha invadido la web con la finalidad de acelerar el desarrollo de aplicaciones (Ponce, 2023). Es por tal razón que la evaluación del software se ha convertido en una cuestión de gran relevancia.

La etapa de pruebas es una actividad fundamental para asegurar la calidad en el proceso de desarrollo de software. La ingeniería del software sostiene la premisa fundamental desde sus inicios: "la calidad del producto está estrechamente ligada a la del proceso" (Humphrey, 2005). Dicha afirmación resalta la significativa influencia de la etapa de "pruebas" en la culminación de un software de excelencia.

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.127-3>

* Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, México.
Contacto: dmaloof@uach.mx, oordaz@uach.mx, mlopezs@uach.mx

Durante esta fase, se crea y ejecuta un conjunto de casos de ensayo en una aplicación bajo observación. En el transcurso de éstas se emplean "oráculos" (*test oracles*, por su definición en inglés), que no son más que un método cuyo objetivo es comprobar si el sistema evaluado se ha comportado correctamente en una ejecución particular según lo previsto. En pocas palabras, determina si el resultado de correr un programa es acertado. En este sentido, se refiere a expectativa, aceptabilidad y precisión (Monperrus, 2017). Estos oráculos pueden ser automatizados o manuales; en ambos casos, se compara la salida real con una esperada que se considera adecuada.

La proporción de casos destinados a examinar las GUI en una aplicación dependen directamente de la cantidad de código asignado a la interfaz gráfica, donde varían desde un pequeño porcentaje en aplicaciones orientadas a servicios o procesamiento de datos, hasta uno sustancial en aquéllas centradas en la experiencia del usuario, como software de diseño gráfico o videojuegos. En general, la importancia de la interfaz gráfica ha aumentado con el tiempo debido a la creciente atención a la experiencia del usuario, abarcando todos los aspectos de la interacción con un producto (y por ende, su éxito). Su complejidad no puede ser subestimada (Hassenzahl, 2018) y con ello, la necesidad de obtener un funcionamiento libre de errores.

En este contexto, las pruebas manuales son llevadas a cabo por individuos, probadores o desarrolladores, pero presentan vulnerabilidad a errores y la posibilidad de omitir diversos escenarios. Además, consumen una cantidad significativa de tiempo (Retna y Retna, 2012), ya que son repetitivas y susceptibles a errores cuando son realizadas por un evaluador humano. Para abordar estos desafíos, se han propuesto soluciones en forma de automatización, haciendo uso de exámenes unitarios y reproducción de grabaciones, las cuales han demostrado ser exitosas en la práctica. A esto se le llama "pruebas automatizadas de GUI", que consisten en la automatización de tareas que previamente se llevaban a cabo de forma manual, y que generalmente resultan más eficientes, precisas, confiables y rentables (Adamoli *et al.*, 2011).

Indistintamente, en ambos escenarios es necesario contar con un conjunto de casos con directrices y metas detalladas, donde cada uno generalmente incluye una entrada, una salida, un resultado anticipado y uno real. Diversos casos son requeridos en la evaluación de todas las funcionalidades de la GUI.

EL DESARROLLO DE LOS CASOS DE PRUEBA PARA GUI

En la práctica se utilizan distintos enfoques al crear casos de prueba para las GUI, siendo el más popular el "oráculo manual", es decir, un evaluador que interactúa personalmente con la GUI, realizando eventos (acciones llevadas a cabo por el usuario) como hacer clic en un botón o escribir algo en un campo de texto, posteriormente comprobar visualmente si la GUI actuó de manera esperada y documentar los posibles errores. Proporcionar un oráculo de prueba preciso es el principal requisito previo si se desea lograr técnicas y herramientas de evaluación de software robustas y realistas (Valueian *et al.*, 2020).

Las técnicas y herramientas más utilizadas desde hace décadas en el análisis de una interfaz gráfica requieren se modele y segmente la GUI en componentes llamados *widgets*: elementos visuales básicos, con sus respectivas propiedades (Xie y Memon, 2007). También se necesita que los eventos de la GUI sean deterministas con el objetivo de predecir su resultado. Por lo tanto, para proporcionar un enfoque de cómo es el proceso básico de automatización, en este artículo se ejemplifica una subclase particular de GUI, que se define a continuación.

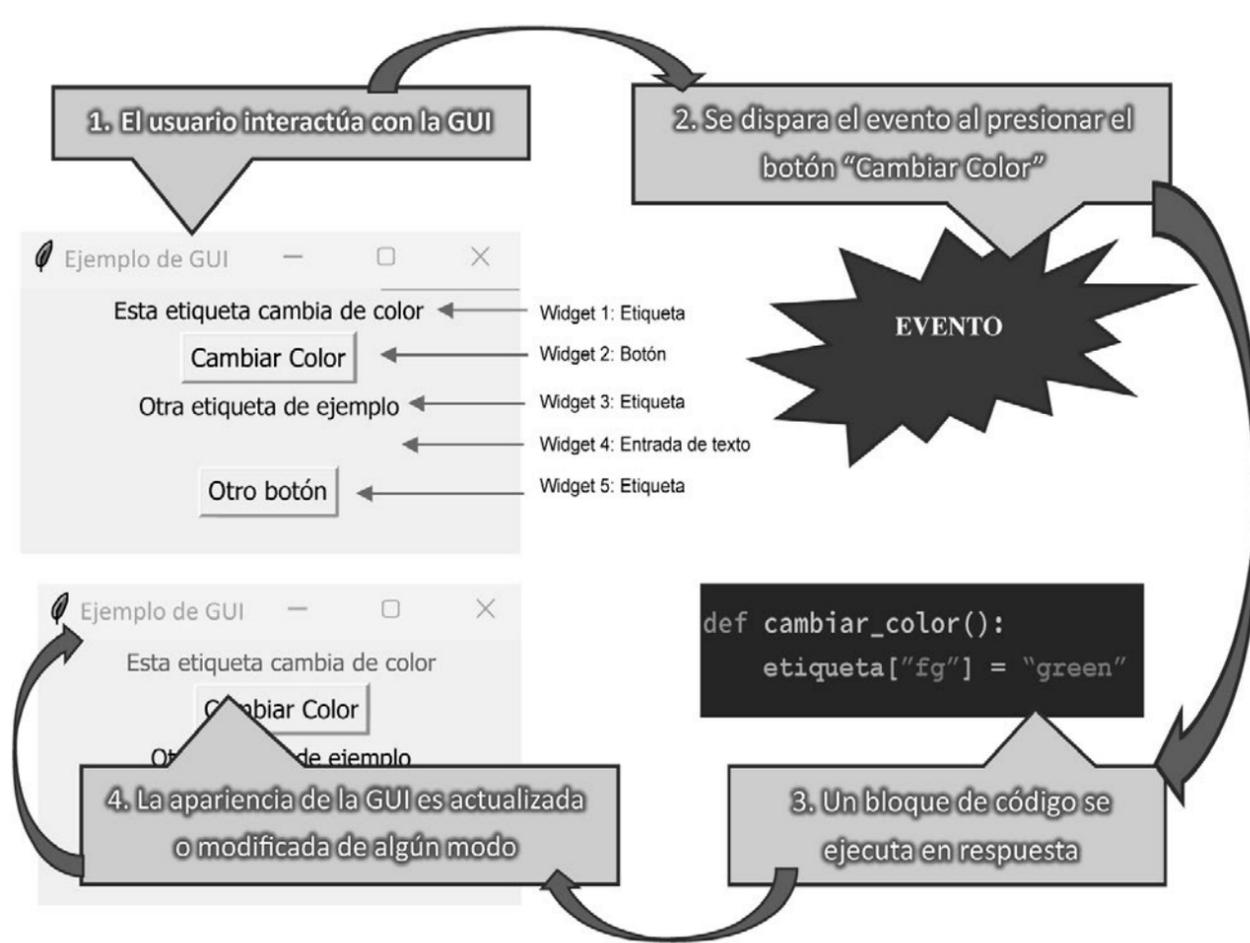


Figura 1. Ejemplo de la ejecución de un evento y descripción de los componentes de una interfaz gráfica de usuario hecha con Tkinter en Python.

Según el diagrama de la figura 1, se presenta una GUI jerárquica de un software que acepta como entrada eventos generados por el usuario y por el sistema, a partir de un conjunto finito de éstos, y produce una salida gráfica determinista. De igual manera, es posible clasificar la interfaz de usuario con los elementos que contiene: los *widgets*. Cada *widget* tiene un conjunto fijo de propiedades. En cualquier momento, durante la ejecución de la GUI, estas propiedades tienen valores discretos, cuyo conjunto constituye el estado de la GUI en un momento determinado y se modela como un conjunto de *widgets* $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ (por ejemplo, botones, campos de texto), uno de sus respectivas propiedades $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$

(color de fondo, tamaño, fuente) y uno de valores asignados a éstas $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ (negro, cursiva, 12pt, etcétera), asociados con las de los mismos elementos. Por lo tanto, la GUI se puede describir completamente en términos de los *widgets* específicos que contiene actualmente y los valores de sus propiedades.

Entonces, el estado de una GUI en un momento particular t es el conjunto S de la terna $\{(w_i, p_j, v_k)\}$, donde $w_i \in W, p_j \in P, v_k \in V$; de igual manera, un conjunto de eventos $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ que representan la función que cambia de un estado a otro a la GUI, pudiendo entonces describir al conjunto de pruebas T como el de pares ordenados $T = \{(S_0, e_1), (S_0, e_2), \dots, (S_n, e_n)\}$. Es así que la descripción del estado completo contendría información sobre todas las propiedades y sus valores en cada uno de esos *widgets*, antes y después de un evento. Los casos de prueba se encargan de comparar el



conjunto de la terna de los elementos de cada *widget*, posterior a la ejecución de un evento, con el conjunto de resultados esperados. Este enfoque presenta ventajas: generación de conjuntos de pruebas que exploran la secuencia de los eventos, además de la capacidad de proporcionar casos viables. Sin embargo, es importante señalar que manualmente no es posible escalarlo a aplicaciones más grandes debido al incremento mayúsculo de estados.

Es aquí donde las herramientas de inteligencia artificial (IA) y de automatización permiten la comprobación automática de las GUI que presenten cantidades inmensas de eventos. Éstas son llamadas "Pruebas de GUI automatizadas". Algunas de estas herramientas utilizan IA para simplificar y mejorarlas. Entre las características y capacidades comunes de éstas resaltan:

1. Grabación y reproducción de acciones del usuario: permiten grabar las acciones del usuario en una GUI y luego reproducirlas automáticamente, lo que facilita la creación rápida de *scripts* de verificación.
2. Reconocimiento de elementos de la GUI: utilizan técnicas de reconocimiento de objetos y patrones que identifican y manipulan elementos de la interfaz gráfica: botones, campos de entrada y menús.
3. Pruebas de rendimiento: pueden evaluar el rendimiento de la GUI, detectando problemas de velocidad y capacidad de respuesta.
4. Generación de datos de prueba: pueden generar automáticamente datos en diferentes escenarios, lo que ayuda a probar una amplia gama de condiciones.
5. Pruebas de compatibilidad de múltiples plataformas: algunas herramientas permiten examinar diversas plataformas y navegadores.

Por mencionar algunas herramientas populares, aunque costosas, que utilizan inteligencia artificial y técnicas avanzadas en las pruebas automáticas de GUI se encuentran:

- Selenium: una de las herramientas más populares y ampliamente utilizadas. Emplea IA y aprendizaje automático para mejorar las pruebas de GUI.
- TestComplete: ofrece detección inteligente de elementos de la interfaz de usuario y la generación de *scripts* de prueba.
- AppliTools: compara y valida visualmente la apariencia de las GUI en diferentes dispositivos y resoluciones.
- Test.ai: utiliza la IA al realizar evaluaciones de GUI en aplicaciones móviles.
- Mabl: emplea técnicas de aprendizaje automático para crear y mantener automáticamente casos de prueba de GUI.

ACTUALIDAD DE LAS PRUEBAS AUTOMÁTICAS

A pesar de buscar que las comprobaciones automatizadas se conviertan en el estándar de la industria para verificar el funcionamiento de las GUI, todavía es común que las manuales sean ejecutadas sin ningún grado de automatización. Esta preferencia sugiere la existencia de obstáculos específicos, observación respaldada en la bibliografía (Nass *et al.*, 2021).

Entre los principales desafíos en la automatización de pruebas GUI que enfrentan las actuales herramientas que se apoyan de la inteligencia artificial se encuentran:

- Elementos gráficos que no tienen un identificador único en todos los lenguajes de programación (por ejemplo, los TextBox, ComboBox, RadioButton, etcétera).
- Elementos gráficos que se encuentran prefijados y diseñados visualmente diferentes en un software en específico.
- Aplicaciones desarrolladas en múltiples idiomas y sistemas operativos.
- Elementos gráficos y controles sin el adecuado orden Z (Z-order: una ordenación de objetos bidimensionales superpuestos, por ejemplo, colocar elementos gráficos que impidan visualizar un botón).
- Problemas de sincronización entre la herramienta que evalúa la GUI y la actualización de la misma al ejecutar eventos.

Estas revisiones bibliográficas también destacan diversos beneficios, como la reducción del esfuerzo humano y una mayor capacidad de detección de fallas. Sin embargo, señalan enfáticamente que la automatización no puede reemplazar por completo las pruebas manuales y advierten sobre la generación de expectativas poco realistas.

CONCLUSIONES

Es escaso el número de publicaciones de investigación pertinentes a este tema en particular, debido a la complejidad que significa evaluar todos los escenarios posibles que se pueden representar en una interfaz gráfica, y aunque son modelos deterministas, manifiestan retos importantes en implementar esquemas de automatización. Abordar esta limitación actual de investigación y bibliografía en el tema exigirá una colaboración estrecha entre la industria y la academia, ya que la demostración empírica es

necesaria si se quiere obtener una comprensión más profunda para conquistar eventualmente los desafíos y restricciones actuales de la automatización de pruebas de GUI. A fin de cuentas, la industria de software será la que tendrá la última palabra en decidir si los análisis automáticos de la GUI representan una verdadera mejora en eficacia y tiempos de producción sobre las pruebas tradicionales hechas por humanos.

Por esta razón resulta relevante mencionar que, aunque los beneficios de utilizar herramientas de automatización de pruebas en las GUI provienen de fuentes de evidencia sólidas (como experimentos y estudios de casos respaldados en la bibliografía), precisamente las desventajas y limitaciones se documentan con mayor frecuencia en los informes de experiencias de la industria al momento de aplicar dichas herramientas en el desarrollo de un software comercial. Esto genera un evidente sesgo en las publicaciones de las desventajas con respecto a los beneficios.

Lo más importante es que persevere la idea de que a pesar de los desafíos aquí mencionados, con el continuo avance de aplicaciones de inteligencia artificial, indudablemente se logre una mayor adopción de esquemas automatizados para verificar el correcto funcionamiento de las interfaces gráficas.

Nass, M., Alégroth, E., y Feldt, R. (2021). Why many challenges with GUI test automation (will) remain, *Information and Software Technology*, 138.

Ponce, R. (03 de agosto de 2023). *Best AI tools of 2023*. Techradar Pro, the Business Technology Experts, <https://www.techradar.com/best/best-ai-tools>

Retna, I., y Retna, E. (2012). Study paper on test case generation for gui based testing, *International Journal of Software Engineering & Applications (IJSEA)*, 3(1), 139-147.

Valueian, M., Attar, N., Haghghi, H., et al. (2020). Constructing automated test oracle for low observable software, *Scientia Iranica, Transactions on Computer Science & Engineering and Electrical Engineering*, 1333-1351.

Xie, Q., y Memon, A.M. (2007). Designing and Comparing Automated Test Oracles for, *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 16(1).

Yuan, X., Cohen, M.B., y Memon, A.M. (2010). GUI Interaction Testing: Incorporating Event Context, *IEEE Transactions on Software Engineering*, 99.

Zheng, S., Hu, Z., y Ma, Y. (2019). Faceoff: Assisting the manifestation design of web graphical user interface, *Proceedings of the Twelfth ACM International Conference on Web Search and Data Mining (774-777)*, Melbourne, VIC, Australia: ACM.

Recibido: 25/01/2024
Aceptado: 24/05/2024

Descarga aquí nuestra versión digital.



REFERENCIAS

Adamoli, A., Zaparanuks, D., Jovic, M., et al. (2011). Automated GUI performance testing, *Software Qual J*, 801-839, doi:10.1007/s11219-011-9135-x

Hassenzahl, M. (2018). The Thing and I: Understanding the Relationship Between User and Product. En M. Blythe y A. Monk, *Funology 2 From Usability to Enjoyment* (301-313). Springer. doi:10.1007/978-3-319-68213-6_19

Humphrey, W.S. (2005). Acquiring Quality Software, *CrossTalk The Journal of Defense Software Engineering*, 18, 19-23.

Monperrus, M. (2017). Automatic Software Repair: a Bibliography, *ACM Computing Surveys*, 51, 1-24. ACM. doi:10.1145/3105906

— ·  · —

SECCIÓN ACADÉMICA

Burbujas, la ciencia detrás de su belleza efímera

Solución de la ecuación algebraica de Riccati

Realidad aumentada como herramienta para el aprendizaje de estructuras de datos

Monitoreo y control en LabView de un exoesqueleto de aumento de fuerza en la articulación del codo

— ·  · —

Burbujas, la ciencia detrás de su belleza efímera

Enrique Cuauhtémoc Sámano-Tirado*
ORCID: 0000-0002-5031-8127

Jorge Miguel Martínez-Rodríguez*

Juan Pablo Rocha-López*

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.127-4>

RESUMEN

El desarrollo de películas delgadas se debe a su diversidad de aplicaciones en la vida cotidiana. El presente trabajo se centra en burbujas de jabón formadas por películas delgadas. Se realizó un experimento para determinar el grosor mínimo de burbujas a base de agua jabonosa y glicerina mediante la reflexión y refracción de la luz en su superficie. El artículo muestra el modelo matemático que determina el grosor mínimo de la película de jabón. Finalmente, se vincula este experimento con aplicaciones en recubrimientos antirreflejantes en ventanas y lentes. Se resalta cómo un fenómeno cotidiano puede relacionarse con aplicaciones tecnológicas.

Palabras clave: Burbuja, óptica, recubrimientos, glicerina, índice de refracción.

ABSTRACT

The development of thin films is due to their diverse applications in everyday life. This work focuses on soap bubbles formed by thin films. An experiment was conducted to determine the minimum thickness of bubbles based on soapy water and glycerin through the reflection and refraction of light on their surface. The article presents a mathematical model to determine the thickness of the soap film. Finally, this experiment is linked to applications such as antireflective coatings in windows and lenses. It highlights how an everyday phenomenon can be related to technological applications.

Keywords: Bubble, optics, coatings, glycerin, refraction index

Desde la infancia, todos nos hemos maravillado al contemplar el efímero y encantador espectáculo de las burbujas de jabón flotando libremente en el aire. Estos delicados esferoides, llenos de vida y color, nos transportan a un mundo mágico invitándonos a reflexionar sobre los secretos que esconden. Por ejemplo, ¿qué son y cómo se forman las burbujas?, ¿por qué son casi esferas perfectas que se desintegran rápidamente?, ¿por qué tienen esos colores iridiscentes? Las burbujas están conformadas por una película delgada de agua jabonosa que encapsula aire u otro gas.

La pared de éstas consiste en dos láminas, o capas, muy delgadas de jabón con agua en su interior. A continuación analizaremos cómo el equilibrio entre tensión superficial, presión y fuerza de gravedad sobre la película jabonosa determina su sutileza y forma geométrica. Es posible mostrar que, para un volumen dado, la esfera es la figura geométrica que minimiza el área de su superficie que, a su vez, conduce a la disminución de la energía en una burbuja. En física y matemáticas se les conoce como "superficies mínimas", una teoría que estudia la manera en cómo se arreglan entre

* Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
Contacto: g10_rocha@ens.cnyn.unam.mx

sí las películas de jabón en diversas formas que hagan minimizar su energía (Castelvecchi, 2019).

En una delgada película jabonosa en reposo, las energías que intervienen son la potencial gravitatoria, la de compresión, que ocurre en cualquier volumen de aire atrapado en su interior, y la superficial. En particular, la energía superficial surge como resultado de las fuerzas atractivas entre moléculas a lo largo de la superficie que delimita la película, ésta se expresa en términos de la tensión superficial (Behrouz, 2010).

Las moléculas de agua son polares, mientras que las de jabón típicamente consisten en largas pero delgadas cadenas de hidrocarburos no-polares con un grupo rico en oxígeno altamente polar sólo en uno de sus extremos (Almgren-Junior y Taylor, 1976). Cuando estos dos tipos de moléculas forman parte de una solución homogénea, el extremo no-polar de las de jabón migra hacia las caras interior y exterior de la película jabonosa, pero el segmento polar se orienta para interactuar por medio de puentes de hidrógeno con las moléculas de agua (figura 1a). La superficie de la película así formada se cubre casi por completo con una capa no-polar, resultando en una disminución de la tensión superficial, y teniendo un grosor mínimo aproximadamente igual a la longitud de dos cadenas de moléculas de jabón.

Sin embargo, estas burbujas no son indestructibles, ya que, eventualmente, la misma gravedad se encarga de drenar el líquido contenido en sus superficies, lo que provoca que terminen reventándose. Con la finalidad de determinar el grosor mínimo de las burbujas de jabón y verificar que es del orden de cientos de nanómetros, se llevó a cabo un experimento.

EXPERIMENTO

Cuando una burbuja es liberada de una varita tradicional, la tensión superficial actúa sobre la delgada película de agua jabonosa que la obliga a adoptar la superficie más pequeña posible y se forma un esferoide. Si la pompa no tuviera aire en su interior, la película de agua con jabón se contraería hasta transformarse en una gota esférica sólida, similar a las gotas de lluvia. Para controlar el tamaño, así como estabilizar y extender la duración de burbujas de jabón, se realizó una mezcla saturada de detergente lavatrastes y glicerina disueltos en agua, y se encontró la proporción adecuada de estas sustancias que incrementa la tensión superficial de las esferas. La durabilidad se debe al aumento de la tensión superficial ya que las moléculas de glicerol se intercalan entre las partículas de jabón en la burbuja (figura 1b), disminuyendo así la evaporación.

Posteriormente, usando una tira de fieltro empapada, se aplica esta mezcla sobre la superficie abierta limitada por el borde de un tazón de vidrio circular, tipo refractario de cocina con un diámetro de alrededor de 25 a 30 cm, al que previamente se le colocó en su interior un trozo de hielo seco sumergido en la misma mezcla. Esto crea una película delgada jabonosa con glicerina que se infla debido al incremento de presión al sublimarse el hielo seco pues el contorno de la película alrededor del borde del tazón funge como sello. Después de unos segundos, la película se hincha hasta formar una gran burbuja hemisférica duradera; es decir, la burbuja no se revienta fácilmente. Por lo tanto, la glicerina en el agua jabonosa hace que se produzcan burbujas de jabón

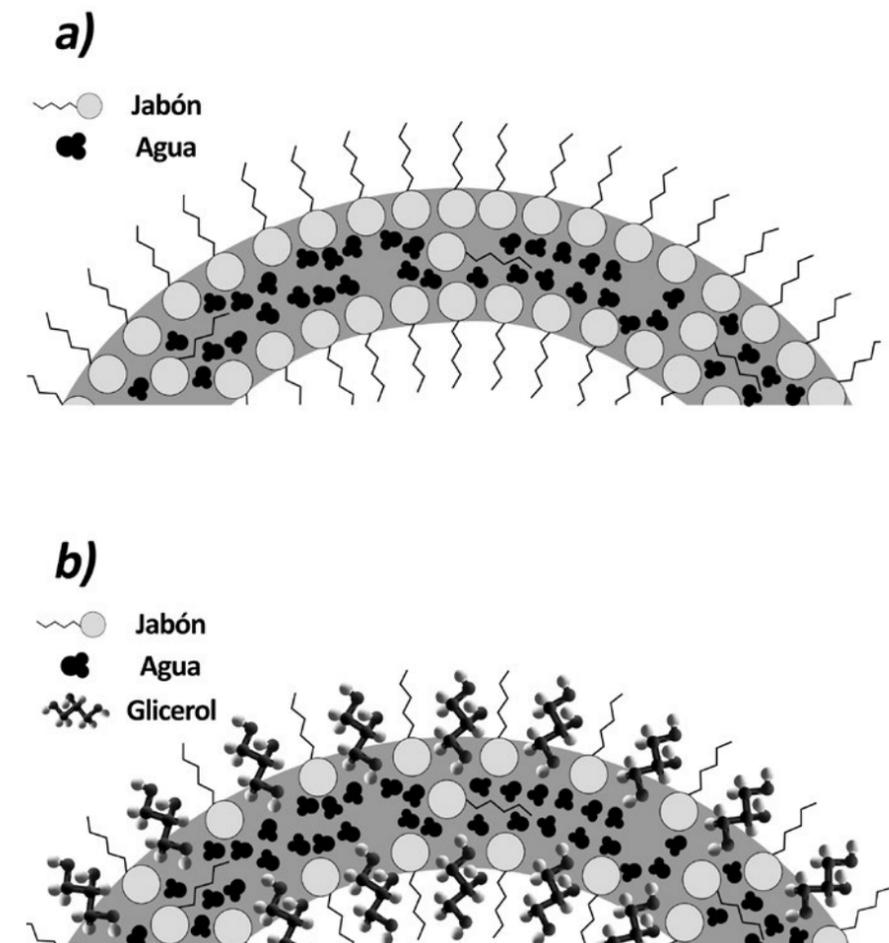


Figura 1. a) Estructura molecular de una burbuja de jabón, y b) al añadir glicerina a la solución.

estables, flexibles, casi estáticas con brillantes franjas de color sobre su superficie para el estudio de interferencia de luz en el visible. Una de las burbujas típicas de este experimento se observa en la imagen de la figura 2.

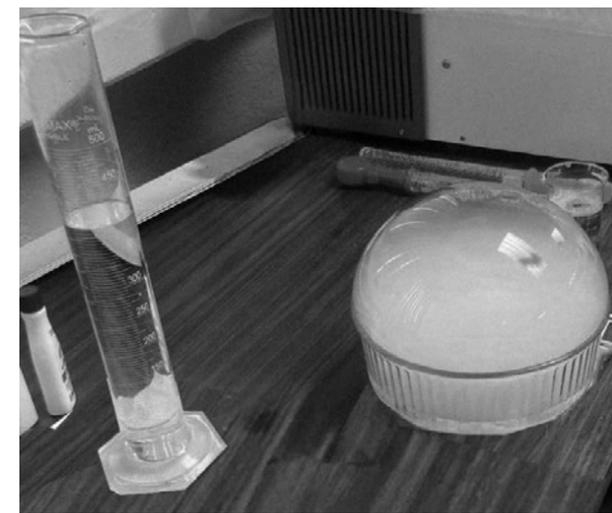


Figura 2. Demostración experimental de la formación de una burbuja de jabón con glicerina.

REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ EN LA SUPERFICIE DE UNA BURBUJA

Los brillantes e iridiscentes colores que se observan cuando los rayos de sol, o luz de una lámpara, inciden sobre burbujas de jabón son causados por la interferencia de ondas de luz en el visible provenientes de las caras anterior y posterior de una delgada película de jabón. Esta sencilla observación permite estimar con precisión el grosor de una película de jabón, y cómo aplicar este fenómeno en recubrimientos antirreflejantes.

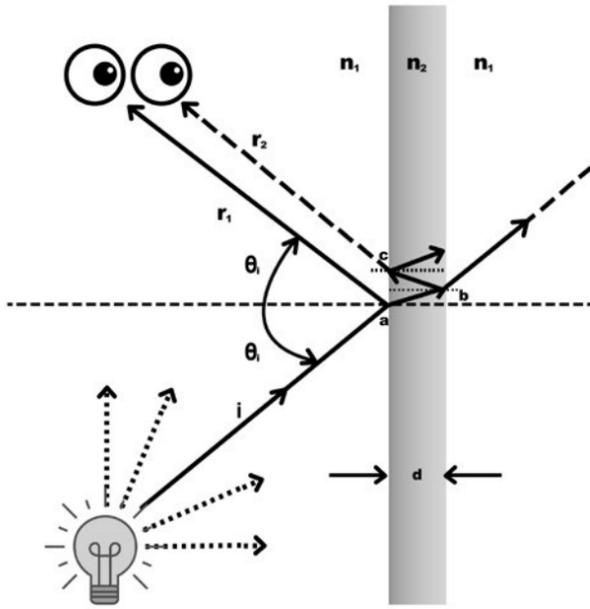


Figura 3. Reflexión y refracción de la luz en la interfaz de una burbuja.

De acuerdo la figura 3, cuando una onda plana viaja en un medio con índice de refracción n_1 e incide, rayo de luz i , sobre la cara anterior de una delgada película de jabón de grosor d ; parte de ese rayo se refleja en a , denotado por r_1 , con un ángulo θ_i , idéntico al ángulo del rayo incidente, medido respecto a la normal a la superficie de la película. A su vez, la otra parte del rayo incidente se refracta dentro de la película jabonosa con índice de refracción n_2 y viaja en su interior. Posteriormente, parte de este rayo refractado se refleja en la cara posterior de la película de jabón en b y otra parte se refracta hacia el medio exterior en que el rayo de luz original incidió en a . Por último, el rayo reflejado en b , viajando dentro de la película jabonosa, se refracta en c , denotado por r_2 , y nuevamente emerge al medio original con índice de refracción n_1 . Es posible demostrar que las franjas de colores en las burbujas de jabón se deben a la diferencia del recorrido óptico por los rayos de luz r_1 y r_2 , y así determinar bajo qué condiciones la interferencia de estos rayos puede ser constructiva o destructiva. Sin pérdida de generalidad al análisis de este problema, una simpli-

ficación razonable es considerar que r_1 incide casi normalmente, $\theta_i \approx 0$. Así la diferencia de la trayectoria entre los rayos r_1 y r_2 , denotada por Δ , se obtiene directamente de la figura 3:

$$\Delta = 2d \quad (1)$$

Por otro lado, ya que se tiene que la luz viaja por dos medios distintos, la velocidad de los rayos r_1 y r_2 en los medios con índices n_1 y n_2 , respectivamente, es

$$v_1 = \frac{c}{n_1} \quad v_2 = \frac{c}{n_2} \quad (2)$$

Otra forma de escribir las velocidades de los rayos en dos medios distintos es a partir de su definición en términos de frecuencia angular ω y longitud λ para una onda:

$$v_1 = \frac{\omega_1 \lambda_1}{2\pi} \quad v_2 = \frac{\omega_2 \lambda_2}{2\pi} \quad (3)$$

La velocidad de la luz es menor a c , 300,000 km/s, cuando un rayo se desplaza en un medio que no sea el aire o el vacío y esto se debe a que la longitud de onda cambia de acuerdo al índice de refracción; pero la frecuencia angular es la misma, $\omega_1 = \omega_2 \equiv \omega$. De aquí que igualando las ecuaciones (2) y (3), y usando las consideraciones mencionadas, se tiene

$$\omega = \left(\frac{2\pi}{\lambda_1}\right) \left(\frac{c}{n_1}\right) = \left(\frac{2\pi}{\lambda_2}\right) \left(\frac{c}{n_2}\right) \quad (4)$$

En este caso, n_2 es el índice de refracción en la película de jabón. Entonces, partiendo de (4) se encuentra la relación entre las longitudes de onda λ_2 , medio jabonoso, con λ_1 , medio exterior,

$$\lambda_2 = \lambda_1 \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \quad (5)$$

Se muestra en cursos de Física que puede o no ocurrir un cambio de fase de una onda cuando incide sobre una interfaz que separa dos medios distintos, de tal manera que parte se refleja y la otra se refracta (Walker, 2011):

I) Refracción. Nunca hay cambio de fase, sin importar los valores de los índices de los medios que separa la interfaz en los que ocurra.

II) Reflexión. Si la onda viaja en un medio n_1 hacia la interfaz que separe a un medio n_2 , tal que $n_1 < n_2$, no hay cambio de fase. Ahora bien, si la onda viaja en un medio n_2 hacia la interfaz que separe a un medio n_1 , tal que $n_1 < n_2$, hay un cambio de fase de 180° ; esto es, media longitud de onda ($\lambda/2$).

En el presente caso, la diferencia de la trayectoria óptica entre los rayos r_1 y r_2 ocurre sólo cuando la luz viaja en el interior de la película de jabón. Durante este recorrido de la luz, la única interfaz que hace que haya un cambio de fase, $\lambda/2$, es cuando la luz se refleja en la cara posterior de la película de jabón en b (figura 3). Por lo tanto, los rayos r_1 y r_2 al reflejarse en a y c , respectivamente, tienen un desfase de $\lambda/2$. Considerando lo anterior, se tiene que la interferencia entre los rayos r_1 y r_2 será destructiva (mínimos) cuando la diferencia de la trayectoria Δ sea

$$\Delta = m\lambda_2, \quad m = 1, 2, \dots \quad (6)$$

y, en consecuencia, la interferencia entre los rayos r_1 y r_2 será constructiva (máximos) cuando Δ sea

$$\Delta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda_2, \quad m = 1, 2, \dots \quad (7)$$

Finalmente, sustituyendo (1) y (5) en (6) y (7) se encuentra que

$$2d = m\lambda_1 \left(\frac{n_1}{n_2}\right), \quad m = 1, 2, \dots \quad (\text{mínimos}) \quad (8)$$

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda_1 \left(\frac{n_1}{n_2}\right), \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (\text{máximos}) \quad (9)$$

En este caso, la mezcla de agua jabonosa ($n = 1.33$) con glicerina ($n = 1.47$), considerando que el volumen de glicerina añadida es 15% del volumen total de la mezcla, resulta en un índice de refracción en la película de $n_2 = 1.35$. Además, la película de grosor d está rodeada de aire; esto es, $n_1 = 1$. La foto en la figura 4 muestra una semiburbuja de jabón con glicerina del experimento ya descrito cuando se iluminó con luz solar. Se observa claramente que los colores reflejados en la burbuja son dos franjas alternas: amarilla-verde (A-V), las más intensas, y violeta. Usando la ecuación (9), es posible determinar el grosor d de la película a partir de los colores, por lo que se conocen los valores de λ_1 , en las franjas de la burbuja y considerando los cantidades de n_1 y n_2 ya dadas. Se tiene que $d (m=1) = 317$ nm y $d (m=2) = 370$ nm, siendo $d \approx 335$ nm el valor promedio, en los colores A-V y violeta, que a su vez se asocian a los máximos de orden $m = 1$ y 2, respectivamente. Por otro lado, si se sustituye $d \approx 335$ nm en (9) tanto para el máximo principal, $m = 0$, como el de orden $m = 3$ se encuentra que $\lambda_1 (m = 0) \approx 1800$ nm y $\lambda_1 (m = 3) \approx 260$ nm, que no se observarían ya que corresponden al infrarrojo (IR) y ultravioleta (UV), respectivamente, fuera del rango visible. Estos resultados se resumen en la tabla I.

Tabla I. Mediciones experimentales del grosor d para una película jabonosa con glicerina.

m	0 (máx)	1 (máx)	2 (máx)	3 (máx)
λ_1 (nm)	1800	570	400	260
Color	IR	A-V	Violeta	UV
d (nm)	~ 335	317	370	~ 335

El uso de recubrimientos antirreflejantes en ventanas y lentes para disminuir la radiación reflejada en ellos está ampliamente extendida, ya que de esta manera se incrementa la intensidad de radiación transmitida a través de la superficie de un vidrio en el rango visible con este recubrimiento. La reducción de la intensidad reflejada se debe al fenómeno de interferencia de radiación electromagnética, como se mostró ya en las burbujas de jabón con glicerina.

A su vez, la intensidad es una función de la longitud de onda de la luz incidente, el ángulo de incidencia y el índice de refracción de los medios en los que viaja; en particular, el correspondiente a la película delgada que recubre al sustrato, usualmente vidrio. Este diseño es posible al depositar una o varias películas delgadas del material con el índice de refracción adecuado sobre vidrio, siendo aire el medio que rodea al lente o ventana con el recubrimiento antirreflejante (Moss-Mattox, 2004). Por ejemplo, es posible demostrar que la reflectancia es mínima cuando una lente o ventana de vidrio es recubierta con una película delgada de MgF_2 si su grosor es aproximadamente igual a un cuarto de la longitud de onda incidente.



Figura 4. Burbuja de solución jabonosa con glicerina destacando las franjas de colores.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un sencillo y divertido experimento, incluyendo un análisis simple pero preciso, para calcular el grosor mínimo de una película de agua jabonosa con glicerina por medio de la observación del patrón de interferencia constructiva de luz en el rango visible. Este estudio nos hace reflexionar que las burbujas no sólo son estéticamente llamativas, si no que pueden ser útiles al entender aplicaciones tan aparentemente disímboles como los recubrimientos antirreflejantes.

REFERENCIAS

- Almgren-Junior, Frederick Justin, y Taylor, Jean Ellen. (1976). The Geometry of Soap Films and Soap Bubbles, *Scientific American*, 235(1), 82-93.
- Behrouz, Fred. (2010). Surface tension in soap films: revisiting a classic Demonstration, *European Journal of Physics*, 31, L31-L35.
- Castelvecchi, Davide. (2019). US mathematician is first woman to win prestigious Abel Prize, *Nature*, 567, 295-296.
- Moss-Mattox, Donald. (2004). Antireflection (AR) Coatings, *Vacuum Technology and Coating*, 5(8), 32-33.
- Walker, Jearl. (2011). *Fundamental of Physics* (Halliday & Resnick), Chapter 35, John Wiley and Sons, 973-980.

Descarga aquí nuestra versión digital.



Recibido: 25/01/2024
Aceptado: 06/05/2024



Solución de la ecuación algebraica de Riccati

María Aracelia Alcorta-García*
ORCID: 0000-0002-9079-27

Juan Carlos Hernández-Medellín*
ORCID: 0000-0002-5191-9514

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.127-5>

RESUMEN

En este trabajo se obtiene un conjunto de soluciones para la ecuación algebraica de Riccati (ARE), la cual es expresada en términos de los coeficientes de la ecuación original sin necesidad de conocer una de las soluciones para, a partir de ésta, obtener la segunda, como se hace en el caso de la ecuación de Bernoulli. Las soluciones son obtenidas partiendo de una matriz simétrica S por bloques, formada con los coeficientes de la ARE. Las soluciones de la ARE son obtenidas partiendo del cálculo de los valores propios de S y aplicando los principios de ortogonalidad en una base de un módulo sobre el anillo $R_{n \times n}$. Este procedimiento supone condiciones de simetría en los coeficientes de la ARE y se considera que la diagonalización de la matriz por bloques S siempre es posible. La metodología propuesta se muestra en dos ejemplos.

Palabras clave: ecuación algebraica de Riccati, matriz por bloques, valores propios, vectores propios, diagonalización.

ABSTRACT

In this work, a set of solutions for the algebraic Riccati equation (ARE) is obtained, which is expressed in terms of the coefficients of the original equation without the need to know one of the solutions in order to obtain the second one, as it is done in the case of the Bernoulli equation. The solutions are obtained starting from a symmetric matrix S , by blocks, formed with the coefficients of the ARE. The solutions of the ARE are obtained by calculating the eigenvalues of S and applying the principles of orthogonality on the basis of a module over the ring $R_{(n \times n)}$. This procedure assumes symmetry conditions in the coefficients of the ARE, and it is considered that the diagonalization of the block matrix S is always possible. Two examples are presented illustrating the proposed methodology.

Keywords: Algebraic Riccati equation, block matrix, eigenvalues, eigenvectors, diagonalization

La ecuación diferencial ordinaria dada por

$$\frac{dy}{dx} = Py^2 + Q + R,$$

donde P , Q y R son matrices cuyos elementos pueden ser funciones de x (o constantes), es llamada ecuación diferencial ordinaria de Riccati (EDOR), en honor al matemático italiano Jacopo Francesco Riccati, nacido en Venecia, República de Venecia, el 28 de mayo de 1676, y falleció en Treviso, Italia, el 15 de abril de 1754.

J.F. Riccati llegó a esta ecuación al analizar la hidrodinámica. En 1724 publicó una investigación multilateral de la ecuación, llamada, por iniciativa de D'Alembert (1769): Ecuación de Riccati. Algunos contemporáneos la analizaron, entre ellos Gottfried Wilhelm von Leibniz, matemático y filósofo alemán; Christian Goldbach, matemático originario de Kaliningrado, Rusia; Johann Bernoulli, matemático, médico y filólogo suizo, y sus hijos Nicolás y Daniel Bernoulli y, posteriormente, el matemático y físico suizo Leonhard Euler. Su trabajo se limitó al análisis de casos particulares de la ecuación.

*Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás delos Garza, México.
Contacto: maria.alcortagr@uanl.edu.mx

Siendo ésta planteada y analizada en la forma que conocemos en los libros de texto (Dennis, 2012; Boyce, 2012) por la familia Bernoulli.

En algunas de las investigaciones se planteó la ecuación especial de Riccati, que sí posee solución en términos finitos en un número limitado de casos, para lo cual se requiere conocer una de las soluciones. Algunos trabajos han presentado soluciones de la ARE (Zoran, 2017), los autores usan un método recursivo de reducción de orden. Ai-Guo Wu, Hui-Jie Sun y Ying Zhang (2020) plantean la solución utilizando dos métodos de iteraciones.

La solución con restricciones más específicas, cuando se trata de un sistema hermitiano estable, se puede ver en Zhang *et al.* (2024). La solución de la ecuación de Riccati no simétrica es planteada por Akbar Shirilord y Mehdi Dehghan (2022). La ecuación de Riccati parametrizada es presentada en Rojas (2021). Nguyen y Gajic (2010) presentan una solución de la ecuación diferencial matricial de Riccati, en este trabajo los autores emplean la solución definida antiestabilizante de la ARE y la solución de la ecuación diferencial matricial de Lyapunov. Hench *et al.* (1998) resuelven una ARE amortiguada y una ecuación degenerada de Riccati obtenida partiendo del problema de los controladores amortiguados.

Carpanese (2000) obtiene una solución de la ecuación en diferencias de Riccati (caso discreto). Adam (2000) verifica la continuidad de la solución de la ecuación diferencial de Riccati (EDR) y la ARE en el caso continuo en el tiempo. Un algoritmo para la solución de sistemas no triviales acoplados de ARE que aparecen en el problema de control Risk-sensitive es presentado por Freiling, Lee y Jank (1998), quienes usan métodos de comparación al obtener condiciones adecuadas de acotación en las soluciones de un problema de valor terminal en los sistemas de EDR acoplados.

Barabanov y Ortega (2004) presentan extensiones ocultas del lema Kalman-Yakubovich-Popov, referente a las condiciones de la solución en la matriz Lur'e-Riccati. Con Jiménez (2015) la EDR se resuelve en una ecuación diferencial de segundo orden, reduciéndola a una ecuación de Riccati, siempre y cuando los coeficientes en la ecuación diferencial estén relacionados de una forma específica, resolviendo posteriormente la ecuación de Riccati sin requerir el conocimiento de una de las soluciones. Una aproximación eficiente en la resolución de la EDR usando derivadas de orden fraccional se presenta en Alam, Ara y Jamil (2011). Cai, Ding y Li (2017) presentan una aplicación de la ecuación de Riccati en el problema de estimación. La continuidad de la solución de la ecuación de Riccati es presentada por Adam (2000).

El objetivo de este trabajo es establecer una metodología que facilite la obtención de la solución de la ARE, sin necesidad de conocer una de las soluciones, considerando los puntos de equilibrio propios del sistema.

Por otro lado, como una aplicación importante, por su participación en el problema de control (donde toma el rol de ecuación de ganancia del control) y programación dinámica (así se puede ver en Reid (1972), Petkov y Konstantinov (1991), Nguyen y Gajic (2010), entre otras publicaciones), retoma importancia el cálculo de los puntos de equilibrio de la misma y su solución, encontrándola asintóticamente estable en los puntos de equilibrio de la misma, logrando así un control eficiente.

Entre las propiedades de la EDOR que facilitan la existencia y obtención de las ecuaciones de control se encuentran la existencia de solución única para condiciones iniciales dadas y condicionando a que la EDOR sea definida positiva se llega al ajuste de la ecuación de control. El trabajo es organizado en la siguiente forma: sección 2 se

presenta el planteamiento del problema, en la sección 3 se encuentra la solución de la ARE, y en la sección 4 se presentan dos ejemplos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La EDR matricial en tiempo continuo, con solución $X(t) \in R_{(n \times n)}$, está dada por

$$\dot{X}(t) = X^T(t)AX(t) + X^T(t)B + B^T X(t) + C, X(0) = X_0, \quad (1)$$

donde $A, B, C \in R_{n \times n}$ son matrices invariantes en el tiempo, A y C son matrices simétricas. Los puntos de equilibrio para la EDR (1), son las soluciones de la ARE, que toma la forma:

$$X^T(t)AX(t) + X^T(t)B + B^T X(t) + C = 0, \quad (2)$$

donde $0 \in R_{n \times n}$.

Partiendo de la ARE (2), se forma la matriz a bloques simétrica (Jiménez, 2015) de dimensión $2n \times 2n$, S :

$$S = \begin{pmatrix} A & B \\ B^T & C \end{pmatrix}$$

Entonces la ARE (2) se puede representar de la siguiente manera:

$$(X^T(t)I_n) \begin{pmatrix} A & B \\ B^T & C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X^T(t) \\ I_n \end{pmatrix} = V^T S V = 0.$$

Donde $V = \begin{pmatrix} X^T(t) \\ I_n \end{pmatrix}$, I_n es la matriz identidad $n \times n$.

Dado que S es simétrica, es diagonalizable ortogonalmente en R , esto implica que existe una matriz $Q \in R_{2n \times 2n}$ ortogonal y una matriz $D \in R_{2n \times 2n}$ diagonal tal que $S = QDQ^T$, como lo plantea Jiménez (2015). Las matrices Q y D pueden ser separadas en bloques tamaño $n \times n$ en la siguiente forma:

$$Q = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{pmatrix}; D = \begin{pmatrix} D_1 & 0_{n \times n} \\ 0_{n \times n} & D_2 \end{pmatrix}$$

Dado que D es diagonal, entonces D_1 y D_2 también lo son. Tomando en cuenta lo anterior es establecido el siguiente lema.

Lema 1

Sean $V_1 = \begin{pmatrix} Q_{11} \\ Q_{21} \end{pmatrix}$ y $V_2 = \begin{pmatrix} Q_{12} \\ Q_{22} \end{pmatrix}$ tales que $Q = (V_1 \ V_2)$. Donde V_1, V_2 son matrices de dimensión $2n \times 2n$.

Entonces, las siguientes igualdades se cumplen

$$i. V_1^T S V_1 = D_1$$

$$ii. V_2^T S V_2 = D_2$$

$$iii. V_2^T S V_1 = V_1^T S V_2 = 0_{n \times n}$$

Demosatración

Partiendo de la definición de V_1 y V_2 , $Q = V_1 \ V_2$.

De la diagonalización de $S, D = Q^T S Q$.

$$D = Q^T S Q = \begin{pmatrix} V_1^T \\ V_2^T \end{pmatrix} S \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} D_1 & 0_{n \times n} \\ 0_{n \times n} & D_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_1^T S V_1 & V_1^T S V_2 \\ V_2^T S V_1 & V_2^T S V_2 \end{pmatrix}$$

Entonces

Los resultados se obtienen de la igualdad de matrices anterior. ■

El lema 1 establece una estructura para matrices de dimensión $2n \times n$ similar en los vectores conjugados en R^2 . Los vectores conjugados en R^2 son linealmente independientes y además forman una base de R^2 . Sin embargo, en esta estructura, la “independencia lineal” tiene además las características dadas por la estructura de módulo sobre un anillo, lo cual se explica en el lema 2.

Lema 2. Estructura de módulo

Sean V_1 y V_2 definidos como en el lema 1, éstos forman una base en $R_{2n \times n}$ en una especie de módulo derecho sobre el anillo de matrices $R_{2n \times n}$.

Esto implica:

i. Para cada $V \in R_{2n \times n}$, existen $K_1, K_2 \in R_{n \times n}$ tales que $V_1 K_1 + V_2 K_2 = V$

ii. $V_1 K_1 + V_2 K_2 = 0_{2n \times n}$, $K_1 = K_2 = 0_{n \times n}$

Demostración

i. Considere el producto

$$Q^T V = \begin{pmatrix} V_1^T \\ V_2^T \end{pmatrix} V = \begin{pmatrix} V_1^T V \\ V_2^T V \end{pmatrix}$$

El cual siempre existe ya que Q es ortogonal.

$$V = Q(Q^T V) = (V_1 \ V_2) \begin{pmatrix} V_1^T V \\ V_2^T V \end{pmatrix}$$

$$V = V_1 V_1^T V + V_2 V_2^T V$$

Si $K_1 = V_1^T V$ y $K_2 = V_2^T V$, que siempre existe, se llega al resultado i .

ii. La demostración de la suficiencia es trivial. Al probar la necesidad, considere $V = 0_{2n \times n}$ y sustituyendo las expresiones para K_1 y K_2 de la demostración de la parte i , se llega a ii . ■

Partiendo de lo planteado en el lema 2, toda matriz $2n \times n$ puede ser escrita como una combinación módulo de V_1 y V_2 . Esta matriz incluye la solución matricial de la ARE (2).

SOLUCIÓN DE LA ARE

Además existen $K_1, K_2 \in R_{n \times n}$ tales que

$$\begin{pmatrix} X \\ I_n \end{pmatrix} = V_1 K_1 + V_2 K_2 = Q \begin{pmatrix} K_1 \\ K_2 \end{pmatrix}$$

Sustituyendo en (3), se obtiene:

$$\begin{aligned} 0_n &= (X^T I_n) S \begin{pmatrix} X \\ I_n \end{pmatrix} \\ &= (V_1 K_1 + V_2 K_2)^T S (V_1 K_1 + V_2 K_2) \end{aligned}$$

Haciendo las operaciones se llega a

$$K_1^T V_1^T S V_1 K_1 + K_1^T V_1^T S V_2 K_2 + K_2^T V_2^T S V_1 K_1 + K_2^T V_2^T S V_2 K_2 = 0_n$$

Usando el lema 1, la expresión anterior se simplifica a:

$$K_1^T D_1 K_1 + K_1^T D_2 K_2 = 0_n$$

Esta ecuación puede ser escrita como

$$+ K_1^T D_2 K_2 = K_1^T (-D_2) K_1 \quad (5)$$

Para satisfacer esta ecuación, son necesarias las siguientes definiciones.

Definición 1. Raíz cuadrada de una matriz simétrica

Dada una matriz simétrica $A \in R_{n \times n}$, su raíz cuadrada es alguna matriz $B \in R_{n \times n}$ tal que $B^T B = A$. Ésta es denotada por $B = \sqrt{A}$.

Definición 2. Raíz cuadrada principal

Dada una matriz diagonal $D = \text{diag}\{d_1, \dots, d_n\} \in R_{n \times n}$ con entradas no negativas, su raíz cuadrada principal es $\text{diag}\{\sqrt{d_1}, \dots, \sqrt{d_n}\}$, donde los elementos de su diagonal son la raíz cuadrada de los elementos de la matriz D .

Proposición 1

La raíz cuadrada de una matriz no es única. Si B es una raíz cuadrada de A , entonces UB , donde $U \in R_{n \times n}$ es ortogonal, es además una raíz cuadrada de A .

Demostración

Dado que $U^T U = I_n$, $B^T B = A$. Entonces $(UB)^T (UB) = B^T U^T U B = B^T B = A$. ■

Proposición 2

Sean $M, N \in R_{n \times n}$ y N simétrica. Entonces \sqrt{NM} es una raíz cuadrada de $M^T N M$.

Demostración

Aplicando la proposición 2 en (5), es posible escribir

$$(\sqrt{D_2} K_2)^T (\sqrt{D_2} K_2) = (-\sqrt{D_1} K_1)^T (\sqrt{D_1} K_1)$$

Aplicando raíz cuadrada en ambos lados de la ecuación anterior, e introduciendo una matriz ortogonal $U \in R_{n \times n}$, se obtiene

$$(\sqrt{D_2} K_2) = U (-\sqrt{D_1} K_1) \quad (6)$$

Proposición 3

Si D es una matriz diagonal no singular, con entradas positivas, entonces \sqrt{D} es también no singular y $\sqrt{D^{-1}} = \sqrt{D}^{-1}$.

Demostración

$D = \text{diag}\{d_1, \dots, d_n\}$. Dado que D es invertible, $d_i > 0, \forall i = 1, \dots, n$. Esto implica que $\sqrt{d_i} > 0 \forall i = 1, \dots, n$, por lo tanto \sqrt{D} es invertible.

Además

$$\begin{aligned} \sqrt{D^{-1}} &= \text{diag}\{\sqrt{d_1^{-1}}, \dots, \sqrt{d_n^{-1}}\}^{-1} \\ &= \text{diag}\{\sqrt{d_1}, \dots, \sqrt{d_n}\} / \\ &= \text{diag}\{\sqrt{d_1^{-1}}, \dots, \sqrt{d_n^{-1}}\} \\ &= \sqrt{\text{diag}\{d_1^{-1}, \dots, d_n^{-1}\}} = \sqrt{D^{-1}}. \blacksquare \end{aligned}$$

Hasta aquí es posible resolver para K_1 o K_2 en (6). Por otro lado, si D_2 es invertible, entonces

$$K_2 = \sqrt{D_2^{-1}} U \sqrt{D_1} K_1$$

Con lo cual

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} X \\ I_n \end{pmatrix} &= V_1 K_1 + V_2 K_2 \\ &= (V_1 + V_2 \sqrt{D_2^{-1}} U \sqrt{D_1}) K_1 \end{aligned}$$

Partiendo de las definiciones de V_1 y V_2 en el lema 1, sustituyendo los resultados anteriores, tenemos:

$$X = (Q_{11} + Q_{12}\sqrt{D_2}^{-1}U\sqrt{D_1})K_1 \quad (7)$$

$$X = (Q_{21} + Q_{22}\sqrt{D_2}^{-1}U\sqrt{D_1})K_1 \quad (8)$$

Si D_1 es invertible, entonces

$$K_1 = \sqrt{D_1}^{-1}U\sqrt{D_2}^{-1}K_2,$$

donde U^T ha sido sustituida por U , ya que U es una matriz ortogonal arbitraria. Entonces

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} X \\ I_n \end{pmatrix} &= V_1 K_1 + V_2 K_2 \\ &= (V_1 \sqrt{D_1}^{-1}U\sqrt{D_2}^{-1} + V_2)K_2 \end{aligned}$$

De donde se obtiene:

$$X = (Q_{11}\sqrt{D_1}^{-1}U\sqrt{D_2}^{-1} + Q_{12})K_2 \quad (9)$$

$$I_n = (Q_{21}\sqrt{D_1}^{-1}U\sqrt{D_2}^{-1} + Q_{22})K_2 \quad (10)$$

Para las ecuaciones (8) y (10) se tiene una solución en K_1 o K_2 , esto es

$$\begin{aligned} K_1 &= Q_{21} + Q_{22}\sqrt{D_2}^{-1}U\sqrt{D_1} \quad \text{ó} \\ K_2 &= Q_{21}\sqrt{D_2}^{-1}U\sqrt{D_1} + Q_{22}. \end{aligned}$$

Éstas deben de ser invertibles ya que son factores de un producto que genera la matriz identidad. Por lo que su determinante no puede ser cero. El resultado anterior nos permite enunciar el siguiente teorema que presenta la solución de la ARE.

Teorema 1. Soluciones de la ARE

Sea la ARE definida como previamente, y sean Q y D las matrices de dimensión $2n \times 2n$ de la descomposición en valores propios de la matriz coeficiente particionada en $n \times n$ bloques. Entonces las soluciones de la CARE, parametrizadas con una matriz ortogonal $U \in R_{n \times n}$ tienen la forma

$$X = (Q_{11} + Q_{12}\sqrt{D_2}^{-1}U\sqrt{D_1})(Q_{21} + Q_{22}\sqrt{D_2}^{-1}U\sqrt{D_1})^{-1} \quad (11)$$

$$X = (Q_{11}\sqrt{D_1}^{-1}U\sqrt{D_2} + Q_{12})(Q_{21}\sqrt{D_1}^{-1}U\sqrt{D_2} + Q_{22})^{-1} \quad (12)$$

Siempre y cuando sea posible calcular las matrices inversas en las expresiones anteriores.

Demostración

Sustituyendo las expresiones en K_1 y K_2 en las ecuaciones (7) y (9) se obtiene el resultado. ■

EJEMPLOS

Ejemplo 1

A continuación se presentan dos ejemplos en los que se aplica la metodología presentada en la solución de la ARE (2). Tomando como coeficientes las siguientes matrices:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; C = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Para éstas, la matriz S toma la forma

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 0 \end{pmatrix}.$$

que tiene la siguiente descomposición

$$Q = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 2 & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix},$$

$$D = \begin{pmatrix} -2 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 0 \end{pmatrix}.$$

Usando la ecuación (11), y tomando la matriz ortogonal U como la matriz identidad I_2 , se obtiene:

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}.$$

una solución de la ecuación de Riccati asociada a las matrices en (13). La solución puede ser verificada al sustituir en (2) y ver que se satisface.

Similarmente, si se sustituye $U = -I_2$, se obtiene:

$$X = \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -2 \end{pmatrix},$$

que también es solución de la CARE (2).

Ejemplo 2

Sea dada la CARE (2), tomando como coeficientes las siguientes matrices:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; C = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Para las cuales, la matriz S toma la forma

$$S = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 0 \end{pmatrix}.$$

Ésta tiene la descomposición

$$Q = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ 2 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}.$$

$$D = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Aplicando la ecuación (11) con $U = I_2$, se obtiene la solución:

$$X = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Note que, en este caso, la matriz D_1 no es invertible, por lo tanto la ecuación (12) no puede ser usada.

REFERENCIAS

Adam, C. (2000). Continuity of the solution of the Riccati equations for continuous time JLQP, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 45(5), 934-937.

Alam, K.N., Ara, A., y Jamil, M. (2011). An efficient approach for solving the Riccati equation with fractional orders, in Elsevier (ed.), *Computers & Mathematics with Applications*, Elsevier, 2683-2689.

Barabanov, N.E., y Ortega R. (2004). On the solvability of extended Riccati equations, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 49(4), 598-602.

Boyce, W.E., DiPrima, R.C. (2012). *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems*, John Wiley & Sons.

Cai, X., Ding, Y. S., y Li, S.Y. (2017). Convergent properties of Riccati equation with application to stability analysis of state estimation, *Hindawi Athemtical Problems in Engineering*, 2017, 1-7.

Carpanese, N. (2000). Periodic Riccati difference equations: Approaching equilibria by implicit systems, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 45(7), 1391-1396.

Dennis, G., y Wright, Zill. (2012). *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems*, John Wiley & Sons.

Freiling, G., Lee, S.R., y Jank, G. (1998). Coupled Matrix Riccati Equations in Minimal Cost Variance Control Problems, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 4(3), 556-560.

Hench, J.J., He, C., Kvučera, V., et al. (1998). Coupled matrix Riccati equations in minimal cost variance control problems, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 44(3), 556-560.

Jiménez, J.A. (2015). La solución de algunas EDO de Riccati, *Revista Digital Matemática, Educación e Internet*, 15(2).

Nguyen, T., y Gajic, Z. (2010). Solving the matrix differential Riccati equation: A Lyapunov equation approach, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 55(1), 191-194. <https://doi.org/10.1109/TAC.2009.2033841>

Petkov, P., Christov, N., y Konstantinov, M. (1991). *Computational Methods for Linear Control Systems*, Prentice, New York.

Rojas, A.J. (2021). Modified Algebraic Riccati Equation Closed-Form Stabilizing Solution, *IEEE Access*, 9, 140667-140675. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3119592>.

Reid, W.T. (1972). *Riccati differential equations*, Academic Press.

Shirilord, Akbar, Dehghan, Mehdi, (2022). Closed-form solution of non-symmetric algebraic Riccati matrix equation, *Applied Mathematics Letters*, 131, <https://doi.org/10.1016/j.aml.2022.108040>

Wu, Ai-Guo, Sun, Hui-Jie, Zhang, Ying, (2020). A novel iterative algorithm for solving coupled Riccati equations, *Applied Mathematics and Computation*, 364, <https://doi.org/10.1016/j.amc.2019.124645>

Zhang, L., Chen, M.Z.Q., Gao, Z., et al. (2024). On the explicit Hermitian solutions of the continuous-time algebraic Riccati matrix equation for controllable systems, *IET Control Theory Appl*, 1-12, <https://doi.org/10.1049/cth2.12618>

Zoran, Gajic, Djordjija, Petkovski, Xuemin, Shen. (2017). *Singularly perturbed and weakly coupled linear control systems, a recursive approach, Technical report*, Springer Nature Switzerland AG.

Descarga aquí nuestra versión digital.



Recibido: 17/10/2022
Aceptado: 07/03/2024



Realidad aumentada como herramienta para el aprendizaje de estructuras de datos

Janitzín Cárdenas-Castellanos*
ORCID: 0000-0002-9893-6653

Jazmín Pérez-Méndez*
ORCID: 0000-0001-9334-9858

Nadia Teresa Adaile-Benítez*
ORCID: 0000-0002-1816-4981

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.127-6>

RESUMEN

La innovación tecnológica en la actualidad es constante. Los métodos pedagógicos han evolucionado, tornándose imperativa la implementación de herramientas modernas para facilitar y mejorar los procesos educativos. Enseguida se documenta la creación de una aplicación móvil mediante la metodología Scrum, utilizando realidad aumentada con códigos QR para la asignatura de Estructura de Datos Aplicadas de la carrera de Tecnologías de la Información de una Universidad Tecnológica. Con la finalidad de complementar el proceso de aprendizaje de los jóvenes, renovando el material didáctico del curso, para hacerlo más atractivo y dinámico, aprovechando los smartphones como herramientas de aprendizaje.

Palabras clave: realidad aumentada, estructuras de datos, código QR, tecnología educativa, smartphone como herramienta de aprendizaje.

ABSTRACT

Technological innovation today is constant. Pedagogical methods have evolved, making it imperative to implement modern tools to facilitate and improve the educational processes. Next, the creation of a mobile application is documented through the Scrum method, using augmented reality with QR codes for the subject of Applied Data Structure in the Information Technology career of Technological Universities. In order to complement the learning process of young people, while we renew the didactic material for the course at the same time, making it more attractive and dynamic, benefiting from smartphones as learning tools.

Keywords: augmented reality, data structures, QR code, educational technology, smartphone as a learning tool

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que combina objetos virtuales bidimensionales o tridimensionales en un entorno tridimensional real y luego los proyecta en tiempo real (Hamzah, Rizal y Simatupang, 2021). La RA integra la información digital con el entorno real en el que viven los humanos. Todo se procesa y produce en tiempo real (Ahmad y Jibril, 2021). La capacidad de fusionar el mundo físico con elementos virtuales proporciona una experiencia que puede estimular la interacción creativa y realista

(Yildirim y Baran, 2021), abriendo nuevas fronteras en la comprensión de conceptos complejos.

En los últimos años se han encontrado muchas propuestas para implementar la RA en el ámbito educativo, por ejemplo: Hsu, Cheah, Hughes (2023), que documentan un caso de enseñanza de Biología utilizándola; Rassyi et al. (2023) dictan sobre el desarrollo de medios interactivos de enseñanza basados en ella; Yaniawati et al. (2023) relacionan su uso en el estudio de la geometría;

*Universidad Tecnológica de Nayarit, Xalisco, México.
Contacto: janitzin.cardenas@utnay.edu.mx,
jazmin@utnay.edu.mx, nadia.adaile@utnay.edu.mx

Afsas (2023) reporta el módulo electrónico basado en medios de realidad aumentada sobre materiales magnéticos, entre muchos más.

En la revisión realizada por Chen, Zhou y Zhai (2023), se sugiere que la RA se ha utilizado al presentar fenómenos científicos y conceptos abstractos a los estudiantes en la asimilación de contenido (Santi *et al.*, 2021; Cai *et al.*, 2021). La gran mayoría de los 22 artículos revisados por los autores emplearon la RA en el análisis de áreas de las Ciencias Naturales, mientras que la menor parte se utilizó al impulsar las habilidades de análisis y resolución de problemas como pieza de la instrucción científica. En otra revisión sistemática ejecutada por Lai y Cheong (2022) se analizaron 100 documentos, se concluyó que las implementaciones actuales de la RA en la enseñanza, con frecuencia tienen el objetivo de mejorar los materiales didácticos y las experiencias de formación, agregando que la investigación en educación debe complementarse con pruebas en entornos de enseñanza y aprendizaje, teniendo aún desafíos, por ejemplo, la necesidad de cambios más sistémicos que las administraciones escolares deben considerar: la introducción del arquitecto educativo.

En el área de estructura de datos se encontraron las siguientes iniciativas: la de García *et al.* (2020), quienes desarrollaron una aplicación que hace uso de RA en la muestra de animaciones con objetos 3D para los algoritmos de ordenamiento: Burbuja y Quicksort, y la de Díaz, Franco y Martello (2020) en la que se creó una aplicación móvil de enseñanza de estructuras de datos dinámicas. En ambas producciones se destacan las ventajas de estas herramientas digitales al fortalecer el estudio de las estructuras de datos, coincidiendo con lo encontrado por Amalia *et al.* (2023) y Wibowo (2023), este último reitera que la formación basada en RA proporciona experiencias reales en los educadores y nuevas estrategias al presentar conceptos y brindar oportunidades de que los alum-

nos interactúen de forma espontánea y libre en la resolución de problemas, desarrollando habilidades de instrucción independiente.

METODOLOGÍA

Este trabajo de investigación documenta el proceso de desarrollo de una aplicación móvil con uso de realidad aumentada y códigos QR. Un QR es un código de barras bidimensional que almacena una gran cantidad de información (Celik, 2023). Existen dos tipos: estáticos y dinámicos. Los primeros tienen enlaces fijos y los segundos permiten realizar cambios en el mismo código en diferentes momentos.

La propuesta del desarrollo de la app presentada surge de la necesidad de ofrecer a los jóvenes estudiantes de una Universidad Tecnológica material didáctico innovador, atractivo y funcional, fundamentado en el uso de tecnología que permita la apropiada adecuación de los conocimientos de la asignatura de Estructura de Datos Aplicadas. En este trabajo se establece la creación de una aplicación móvil con nuevos contenidos y animaciones, la cual da continuidad a un primer esfuerzo que no pudo utilizarse en aula por una dificultad al acceder y ejecutar los archivos fuente.

El desarrollo de la app se llevó a cabo bajo la metodología Scrum, que como modelo de creación de software ofrece una estructura ágil y adaptable que maximiza la eficiencia del equipo y la calidad del producto final, al tiempo que prioriza la satisfacción y el valor del usuario. En cuanto a las herramientas de software, se emplearon las versiones gratuitas de Unity y Vuforia. Asimismo, se utilizó Blender, una herramienta de código abierto y sin costo en el segmento de la animación y renderizado.

En tal sentido, existen algunas alternativas que también se pueden usar en este tipo de desarrollos: Godot Engine (motor de juegos), ARToolKit (biblioteca de código abierto para aplicaciones de RA), ARCore y ARKit (plataformas nativas de Google y Apple que ayudan a desarrollar aplicaciones de AR), y por último Spark AR Studio (crea experiencias de realidad aumentada en Facebook e Instagram).

Como *product backlog* se definieron los siguientes requerimientos:

- Una aplicación móvil de RA con interfaz de inicio.
- Utilización de códigos QR como marcadores que muestren los modelos animados.
- Proyección de modelos 3d animado.
- Interacción con los modelos 3d, gracias a la funcionalidad táctil del Smartphone.
- Emisión de elementos sonoros sobre los tema específicos.

A continuación se resumen las actividades realizadas en cada uno de los *sprint* ejecutados:

Sprint #1. Generación de códigos QR

Aquí se diseñaron y produjeron los códigos QR con el fin de almacenar las imágenes en formato JPG y registrarlas en la base de datos de Vuforia. En total se crearon doce QR, correspondientes a cada modelo tridimensional a proyectar. Los códigos se produjeron desde Internet, empleando el sitio específico “QR Code Generator”.

Sprint #2. Diseño de modelos

Esta etapa se refiere al trabajo con el diseño de los modelos, en donde se agregaron las animaciones que los integraron a Unity. Como parte de ésta se incluyó en cada modelo un material con color base y sus animaciones respectivas.

Asimismo, se crearon en Blender los objetos tridimensionales empleados en los modelos: vectores, matrices, pilas, colas, listas enlazadas y árboles, un ejemplo de este trabajo se muestra en la figura 1.

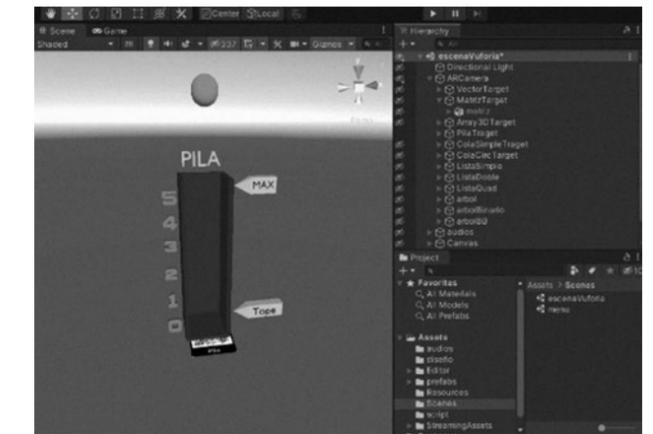


Figura 1. Diseño de modelo pila (fuente: elaboración propia).

Sprint #3. Programación de scripts

En éste se codificó la interacción con los objetos previamente creados, para tener la capacidad de rotar los modelos según el desplazamiento de los dedos sobre la pantalla. Con el objetivo de programar el *script* en C# y controlar la rotación de los objetos mediante el desplazamiento táctil sobre la pantalla, se creó otro llamado “Rotar Objeto”, posteriormente en el del IDE de Visual Studio se codificó para detectar los toques en la pantalla y traducir el tipo de éste, si es de

“Moved”, procede a determinar si el cambio de la posición es sobre el eje x, si es positivo o negativo. Deduciendo el sentido en el que se rotará (izquierda o derecha).

Sprint #4. Generación de audios

Con éste se integra una voz que describe información esencial de la estructura que se muestra en la animación, fortaleciendo la usabilidad y ofreciendo al usuario distintos estímulos en un mismo contenido, se empleó la aplicación web “Texto a voz español gratis”, para grabar audios en formato MP3. Este proceso se desarrolló una vez por cada objeto, resultando un total de doce archivos.

Sprint #5: Diseño de interfaz

Menú principal

Escanear

Descargar QR

Salir

Figura 2. Interfaz gráfica de inicio (fuente: elaboración propia).

La tarea central fue crear el menú principal, se determinaron tres botones, así como un título y un fondo de interfaz. Se creó la escena “Menú”, donde se diseñó la interfaz de bienvenida y los botones de inicio de escaneo, descargar códigos QR y salir.

Sprint #6: Programación de la interfaz

El trabajo efectuado aquí fue la programación de los botones del menú que activan el escáner, descargan el documento con los códigos o salir. Los *scripts* se crearon en C# con lo que se habilitan funciones del tipo cambiar de escena, comenzar a escanear, descargar códigos QR y cerrar.

RESULTADOS

A manera de resultado se presenta la aplicación móvil planteada en el inicio de la investigación. En el menú principal se encuentran tres botones:

- Escanear: direcciona al usuario a la sección donde ocurre el escaneo de los códigos QR, y a su vez permite observar las figuras en realidad aumentada generadas y reproducir al mismo tiempo los audios explicativos, propiciando la interacción del usuario con el objeto (figura 3).
- Descargar QR: crea un archivo PDF que contiene los códigos QR necesarios en el proceso de escaneo, éste se descarga desde una carpeta compartida de Google Drive.
- Salir: permite al usuario cerrar la sesión.

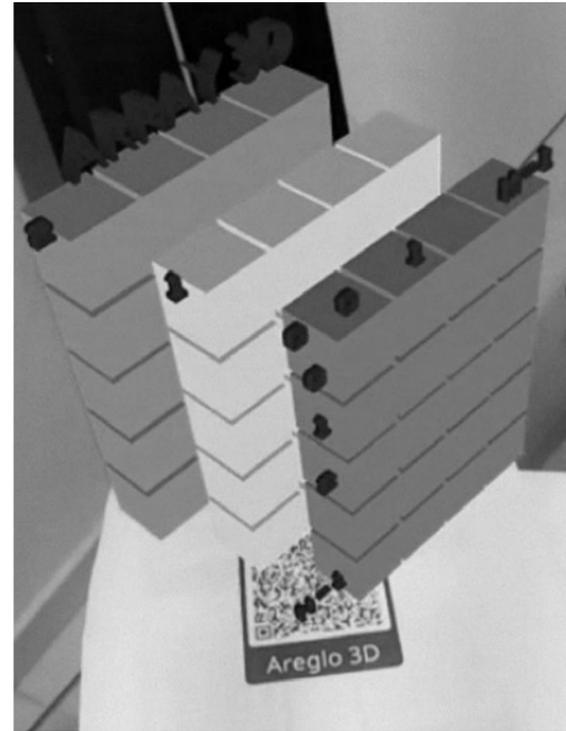


Figura 3. Imagen en RA generada con el escaneo QR (fuente: elaboración propia).

En cuanto a la utilización, la funcionalidad fue probada con los alumnos de cuarto cuatrimestre de la carrera de Tecnologías de la Información en la Universidad Tecnológica (figura 4).



Figura 4. Estudiantes utilizando la aplicación móvil (fuente: elaboración propia).

Producto de esta primera fase de prueba se obtuvo una apreciación positiva de los usuarios, quienes se mostraron entusiasmados e interactuaron favorablemente con la aplicación al visualizar los contenidos. Para tal fin, en primera instancia la descargaron de Google Play y la instalaron en sus dispositivos móviles personales, posterior a ello se hizo entrega de un manual impreso, en el que se incluía una definición de cada estructura junto con un código QR, mismo que al ser escaneado permitía reproducir una animación en realidad aumentada que explicaba su funcionamiento (en cuanto al ingreso y salida de datos). Estos contenidos se relacionaban con clases presenciales en donde se explicaba la idea y el funcionamiento, utilizándose en el reforzamiento de contenidos abstractos como cada una de las estructuras de datos vistas en el curso, intercalándose con explicaciones del profesor titular.

Se observó de manera directa la conveniencia de su uso al brindar una vía adicional de comprensión de estos conceptos que en ocasiones se complican en su asimilación al representar estructuras digitales para el almacenamiento y acceso de los datos, lo que coincide con las referencias consultadas en esta investigación.

CONCLUSIONES

Finalmente se desarrolló una propuesta de innovación en el área de aplicaciones móviles, produciendo material educativo en el formato de realidad aumentada, con el acceso mediante codificación QR para la asignatura de Estructura de Datos Aplicadas de la carrera de Tecnologías de la Información de una Universidad Tecnológica, que comprende el total de las estructuras y métodos abordados en el curso y

que fue utilizado por primera vez por los alumnos que cursaban el cuarto cuatrimestre en el ciclo 2022.

La aplicación móvil de RA ofrece apoyo al proceso de aprendizaje mediante modelos tridimensionales animados complementados con un audio explicativo, los cuales crean una estimulación visual, kinésica y auditiva, resumida en cada resultado del escaneo del QR, propiciando la interacción del estudiante con la tecnología educativa.

Con la finalidad de dar continuidad al proyecto se realizará la medición de la percepción de los usuarios acerca del uso, manejo y utilidad mediante un instrumento diseñado a modo con el que se podrán comparar los resultados de diferentes grupos de participantes.

REFERENCIAS

- Afsas, S.K. (2023). E-Module Based on Augmented Reality Media on Magnetic Materials, Scaffolding, *Jurnal Pendidikan Islam Dan Multikulturalisme*, 5(2), 1015-1035, <https://doi.org/10.37680/scaffoldingv5i2.3151>
- Ahmad, S.A., y Jibril, S. (2021). Augmented Reality for Augmenting Education, *Contemporary Journal of Education and Development*, 1(2), 10-21.
- Amalia, N.R., Sihotang, I.P., Nurhayani, N., et al. (2023). Pengaruh Media Augmented Reality terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar, *Fondatia*, 7(1), 41-51, <https://doi.org/10.36088/fondatia7i1.2914>
- Cai, S., Liu, C., Wang, T., et al. (2021). Effects of learning physics using Augmented Reality on students' self-efficacy and conceptions of learning, *British Journal of Educational Technology*, 52(1), 235-251, <https://doi.org/10.1111/bjet.13020>
- Celik, B. (2023). EFL Learners' Perceptions on QR Code Enriched Instruction in Developing Macro-skills, *International Journal of Social Sciences and Educational Studies*, 10(3), 326-340.
- Chen, J., Zhou, Y., y Zhai, J. (2023). Incorporating AR/VR-assisted learning into informal science institutions: A systematic review, *Virtual Real*, 27, 1985-2001.
- Hamzah, M.L., Rizal, F., y Simatupang, W. (2021). Development of Augmented Reality Application for Learning Computer Network Device, *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 15(12), <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i12.21993>
- Hsu, H.-P., Cheah, Y.H., Hughes, J.E. (2023). A Case Study of a Secondary Biology Teacher's Pedagogical Reasoning and Action with Augmented Reality Technology, *Educ. Sci*, 13, 1080, <https://doi.org/10.3390/educsci13111080>
- Lai, J., y Cheong, K. (2022). Educational Opportunities and Challenges in Augmented Reality: Featuring Implementations in Physics Education, *IEEE Access*, 10, 43143-43158, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3166478>
- Lee, K. (2012). Augmented reality in education and training, *TechTrends*, 13-21.
- Rassyi, S.F.R., Supriadi, Andayani, Y., et al. (2023). Development of The Interactive Learning Media Based on Augmented Reality 3D on The Petroleum Concept, *International Journal of Chemistry Education Research*, 7(1), 44-51, <https://doi.org/10.20885/ijcervol7.iss1.art8>
- Santi, G.M., Ceruti, A., Liverani, A., et al. (2021). Augmented reality in industry 4.0 and future innovation programs, *Technologies*, 9(2), 33, <https://doi.org/10.3390/technologies9020033>
- Wibowo, FC. (2023). Effects of Augmented Reality Integration (ARI) based Model Physics Independent Learning (MPIL) for facilitating 21st-Century Skills (21-CS), *Journal of Technology and Science Education*, 13(1), 178-192, <https://doi.org/10.3926/jotse.1800>
- Yaniawati, P., Sudirman, S., Mellawaty, M., et al. (2023). The potential of mobile augmented reality as a didactic and pedagogical source in learning geometry 3D, *Journal of Technology and Science Education*, 13(1), 4-22, <https://doi.org/10.3926/jotse.1661>
- Yildirim, Z., y Baran, M. (2021). A comparative analysis of the effect of physical activity games and digital games on 9th grade students' achievement in physics, *Education and Information Technologies*, 26(1), 543-563, <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10280-7>

Descarga aquí nuestra versión digital.



Recibido: 05/12/2022
Aceptado: 24/04/2024



Monitoreo y control en LabView de un exoesqueleto de aumento de fuerza en la articulación del codo

Fermín Castillo-Anaya*
ORCID: 000-0001-8893-5086

Manuel Jimenez-Lizarraga*
ORCID: 000-0002-1071-220X

Antonio Osorio-Cordero**
ORCID: 000-0001-8803-945X

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.127-7>

RESUMEN

El objetivo principal de este artículo es el monitoreo y control en tiempo real de las articulaciones de un exoesqueleto desarrollado mediante la programación por flujo de datos utilizando LabView. Se construyó un panel de monitoreo y control, el cual consiste en la interconexión de bloques de control y visualización gráfica. De esta manera, la interacción humano-máquina se torna más intuitiva y segura. Se emplea una tarjeta MyRIO, destacada por su alta capacidad de procesamiento de cálculos y gráficos, permitiendo el procesamiento y filtrado eficiente de señales analógicas y digitales. Se incluye una ley de control subóptima programada en LabView.

Palabras clave: LabView, control, panel de monitoreo, exoesqueleto, procesamiento.

ABSTRACT

The main goal of this article is to present the real-time monitoring and control of an exoskeleton's joints, developed through data flow programming using LabView. A monitoring and control panel consisting of the interconnection of control blocks and graphical visualization was developed. In this way, human-machine interaction becomes more intuitive and safer. A MyRIO card is employed, renowned for its high processing capacity for calculations and graphics, allowing for the efficient processing and filtering of analog and digital signals. A suboptimal control law is also programmed in LabView.

Keywords: LabView, exoskeleton, monitoring panel, processing, control.

Los sistemas de control industriales seguidos en tiempo real presentan características de alto riesgo, por lo que al vigilarlos a distancia y con la interpretación constante del operario, se determinan las condiciones mecánicas, hidráulicas, eléctricas, presión y temperatura, previniendo riesgos y fallas. Este tipo de monitoreo se denomina sistema SCADA, el cual consiste en supervisar, regular y adquirir datos en tiempo real. Es una herramienta indispensable en la automatización y vigilancia de procesos industriales modernos. La incorporación del software LabView en la creación de estas

redes es muy compleja pero eficaz. Nos permite manipular y diseñar el panel de observación dependiendo de nuestras necesidades. Castillo *et al.* (2019) presentan el modelo matemático, diseño y el análisis del control subóptimo del exoesqueleto, el cual garantiza la optimización del consumo energético. Cabe mencionar que puede ser supervisado desde un punto remoto.

LabView permite el uso de varios instrumentos visuales y de programación, los cuales pueden ser utilizados como un laboratorio virtual. De esta manera se

realiza una comunicación para la inspección a distancia mediante una herramienta de WebPager, así como los instrumentos básicos que esta plataforma proporciona a sus desarrolladores (Titov *et al.*, 2013). Una aplicación, por ejemplo, en el campo de las energías renovables, es el continuo monitoreo de paneles solares. Mediante la interfaz en tiempo real se visualiza el suministro de la energía obtenida por la radiación solar y el consumo energético del usuario. Esto ayuda a aumentar el rendimiento óptimo en el sistema, regulándolo de forma local o remota (Khuwaja *et al.*, 2015).

Las aplicaciones de LabView pueden expandirse de manera tal que no sólo se vigila el sistema, sino que también se controla. Una aplicación típica de éste se enfoca en controlar la velocidad de un motor de corriente continua, aplicando un controlador proporcional integral y derivativo (PID). La velocidad del motor es obtenida por un decodificador óptico y es transformada proporcionalmente al voltaje mediante señales PWM. Este sistema es analizado por varios experimentos que validan la interfaz gráfica y el control (Gasparesc, 2016). Este último también es utilizado en diferentes entornos industriales para controlar la velocidad, posición, temperatura, vibraciones de un motor de alta potencia de manera remota, donde se deben observar continuamente su funcionamiento óptimo y las condiciones del área de trabajo. Por lo tanto, la plataforma LabView, mediante el monitoreo a distancia, disminuye accidentes en lugares de alto riesgo (Magdum *et al.*, 2016).

En el área académica, LabView se ha utilizado en la creación de varias interfaces de comunicación con otros programas, incorporando análisis de datos, procesamiento de señales, visión artificial y control. Por lo que la interfaz de comunicación con el software Matlab ofrece cálculos matemáticos, simulaciones de distintos controladores basados en el modelo matemático y programación dinámica, dando como resultado una interpretación gráfica e intuitiva de los modelos robóticos analizados (Cansalar *et al.*, 2015).

En el campo de la medicina también se ha implementado a un nivel cerebral, donde la detección del estrés mental mediante la adquisición y procesamiento de señales EEG y EOG son analizadas con el objetivo de disminuir el estrés y la fatiga en el paciente (Roy *et*

al., 2014). La unión entre la robótica y la medicina se aplica en la rehabilitación de articulaciones o músculos del cuerpo humano. Por lo que obliga a la robótica a diseñar y controlar prótesis más sofisticadas, de tal manera que el monitoreo en tiempo real es esencial. Estas interfaces se realizan mediante una tarjeta de adquisición de datos y la plataforma LabView.

La prótesis de rehabilitación realizada por Shu-xiang *et al.* (2017) tiene un panel de control y monitoreo, el cual permite observar qué movimiento del brazo o antebrazo se está realizando, los grados de flexión y extensión de la articulación del codo y su velocidad de movimiento. Un exoesqueleto para la articulación del codo controlado por señales EMG utiliza una interfaz de vigilancia y programación por flujo de datos en el entorno de LabView. Aunque la plataforma experimental es de bajo costo, es eficiente, dando resultados gráficos en tiempo real sobre el comportamiento del bíceps y tríceps del cuerpo humano (Krasin *et al.*, 2015).

En este artículo se presenta un sistema de monitoreo local y a distancia en tiempo real, con un exoesqueleto de aumento de fuerza en la articulación del codo. Esto con el objetivo de observar el comportamiento de los sensores y actuadores del mismo. La adquisición de datos es a través de la tarjeta MyRIO, la cual tiene un procesador A4, múltiples entradas y salidas analógicas y digitales. La programación es por flujo de datos en LabView. Esto nos permite observar cada línea de programación y rendimiento. También se presentan pruebas experimentales del sistema híbrido y de cada actuador que lo compone.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Control del exoesqueleto

La plataforma del exoesqueleto consiste en un sistema híbrido que es básicamente la combinación de dos tipos de actuadores: los músculos artificiales y los motores eléctricos funcionando de manera síncrona, de esta manera se aumenta la fuerza en

* Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México.
** CINVESTAV-Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.
Contacto: fer_castillo3103@hotmail.com

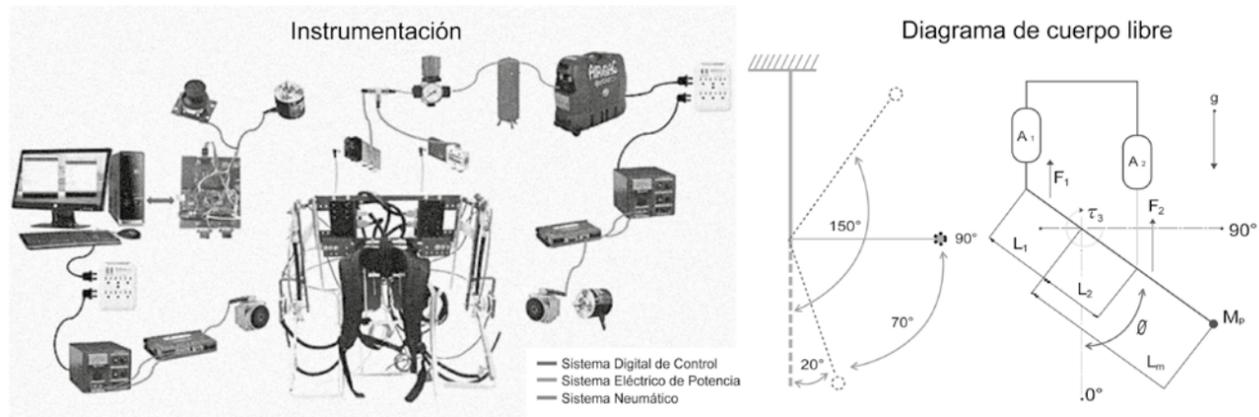


Figura 1. Instrumentación y diagrama de cuerpo libre del exoesqueleto para aumento de fuerza en la articulación del codo.

la articulación del codo. El objetivo es optimizar el consumo energético del sistema eléctrico y neumático para proporcionar más tiempo de autonomía, así como regular la posición. También tiene válvulas neumáticas de alta frecuencia que permiten regular el caudal de aire ingresado en cada actuador. En la retroalimentación de la posición se utilizan *encoders* incrementales, los cuales generan pulsos digitales que generan la posición angular en la articulación del codo. En la figura 1 se observa la instrumentación, así como el diagrama de cuerpo libre que pertenece a la estructura mecánica del exoesqueleto.

El exoesqueleto tiene tres leyes de control, dos para los músculos artificiales y una para el motor eléctrico. Los actuadores neumáticos funcionan de manera antagonista, como el bíceps y el tríceps del cuerpo humano, mientras que el motor funciona sin interrupciones, es decir, en el movimiento de flexión

y extensión en la articulación del codo. Con el fin de validar el funcionamiento del sistema híbrido se realizaron pruebas experimentales con cada actuador de forma individual. Las gráficas del comportamiento de cada actuador se observan en la figura 2.

Es notable cómo al unir dos actuadores diferentes el comportamiento del sistema cambia. Los músculos artificiales generan 70% de la fuerza al realizar los movimientos de flexión y extensión y el motor eléctrico 30% restante. De esta forma se pueden levantar 24 kg entre las dos extremidades del exoesqueleto. Para validar el control subóptimo se realizaron simulaciones basadas en cálculos matemáticos. Esta ley propuesta por Santos *et al.* (2016) garantiza por un índice de desempeño la optimización de energía. En la figura 3 se observa la posición en cada una de las articulaciones del exoesqueleto iniciando en 20°, alcanzando una posición de 70° en

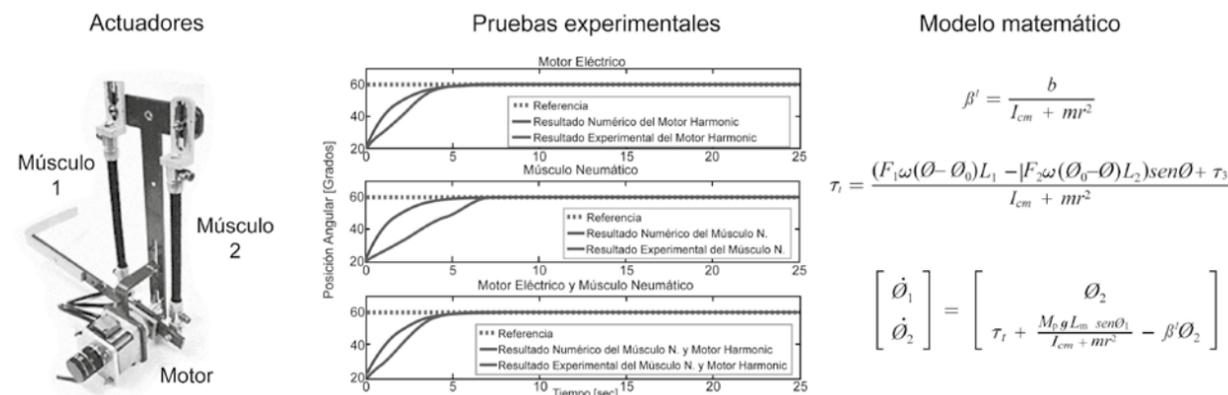


Figura 2. Actuadores del codo, validación del sistema híbrido y modelo matemático del exoesqueleto para aumento de fuerza.

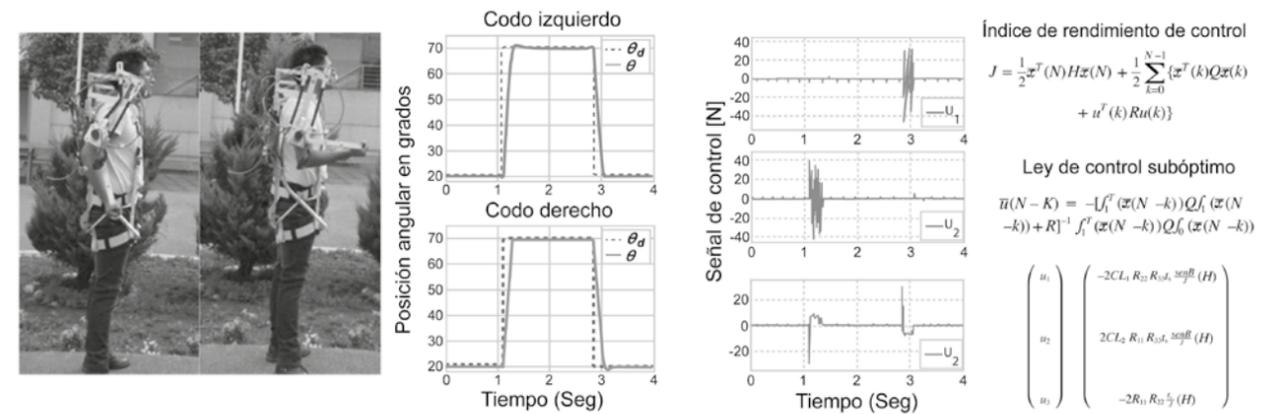


Figura 3. Simulación y ley de control subóptimo para posicionar la articulación del codo a 70°.

extensión y regresando a su posición inicial de 20°, también se visualiza la señal del control, así como la ley de control subóptimo.

APLICACIONES PRÁCTICAS

Monitoreo del exoesqueleto

El exoesqueleto está vigilado en tiempo real, por lo que el diseño y la programación se realizaron en la plataforma LabView de NI National Instruments. El panel de control y monitoreo se divide en dos secciones: la primera se visualiza en la figura 4, donde se observa la posición mediante un tacómetro digital llamado *joystick*, el botón de emergencia, el sistema de energía para las válvulas neumáticas, la energía de los motores, el funcionamiento neumático, el sistema numérico de control, el cual indica la posición angular, las matrices de penalización del control

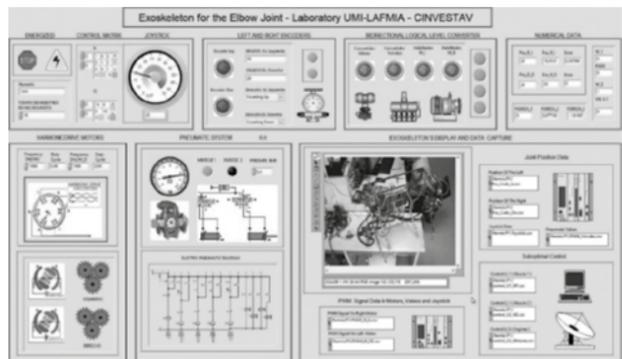


Figura 4. Panel de mandos del sistema eléctrico, neumático y almacenamiento de datos a distancia.

(Q-R) que garantizan la estabilidad y, finalmente, el sistema de vigilancia y adquisición a distancia del exoesqueleto.

En la figura 5 se visualiza la segunda sección del panel de monitoreo, donde se indican las gráficas de la posición angular correspondientes a la flexión y extensión del codo. Éstas son de color rojo y azul indicando el seguimiento de trayectoria en la articulación del codo. Las gráficas azules proporcionan información sobre la velocidad angular de cada una de las articulaciones, mientras que las rojas son las tres señales de control subóptimo de los músculos neumáticos y el motor eléctrico.

La programación es por flujo de datos; la interconexión, por medio de bloques y de instrumentos digitales (figura 6). En este tipo de programación, cada color indica un tipo de dato establecido por LabView. Las estructuras utilizadas son similares a las del código C++. Cabe mencionar que es posible visualizar el monitoreo desde un panel a distancia sin afectar los movimientos del exoesqueleto.

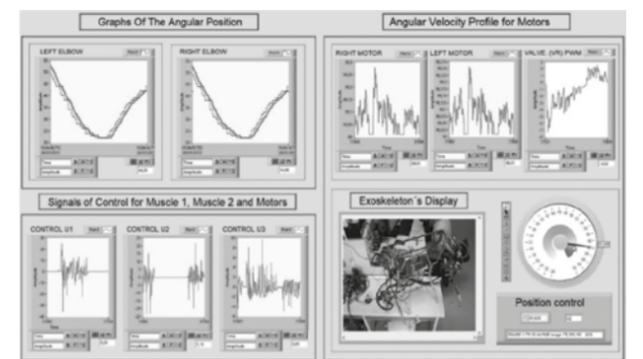


Figura 5. Panel de visualización para las señales de control, posición y velocidad angular.

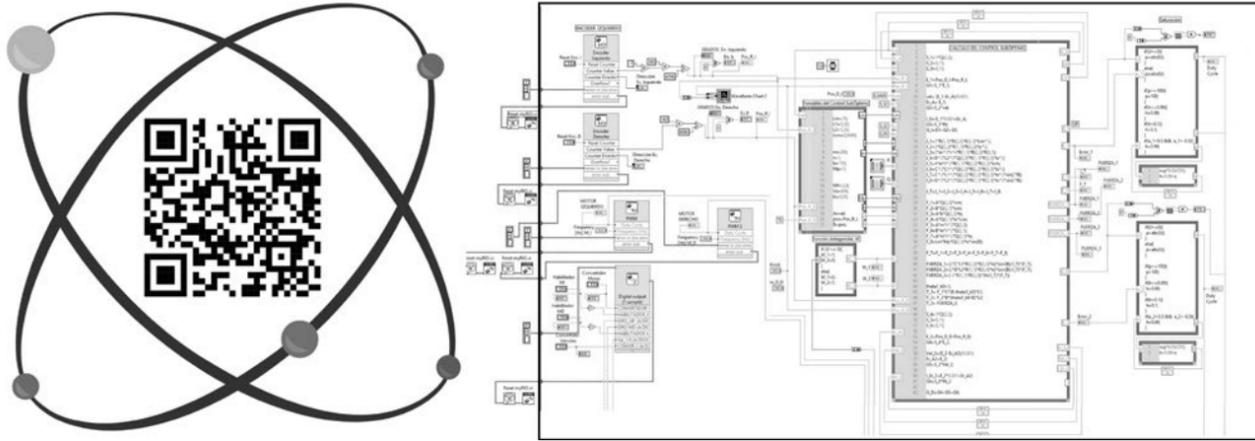


Figura 6. Programación por flujo de datos en LabView para el monitoreo y mando de un exoesqueleto.

La programación del exoesqueleto consiste en un controlador subóptimo. El primer y segundo mandos son para los músculos neumáticos que funcionan de forma antagonista, y el tercero del motor eléctrico que funciona continuamente. Por lo tanto, el ahorro energético se observa confrontando este controlador contra uno PD+g, que interviene simultáneamente los tres actuadores. En la figura 7 se observa una gráfica de cotejo del incremento de fuerza, así como las del control subóptimo, las cuales tienen una energía máxima de 50 N, en comparación con el PD+g, que tiene 250 N. Esto concluye que el controlador propuesto disminuye el gasto energético, aumentando la autonomía y fuerza del exoesqueleto.

Resultados del ahorro energético del exoesqueleto

La programación realizada para el panel de monitoreo en tiempo real funciona perfectamente. Las señales de adquisición de datos son filtradas y analizadas en la tarjeta MyRIO. El acoplamiento de la etapa de potencia con la digital es preciso, así como la conexión remota; aunque existe un retardo en la actualización de datos, esto depende del servicio de Internet que se utiliza. El sistema híbrido, que consiste en la combinación del actuador neumático con el motor lineal, funciona correctamente auxiliando al músculo bíceps y tríceps del cuerpo humano. La ley de control

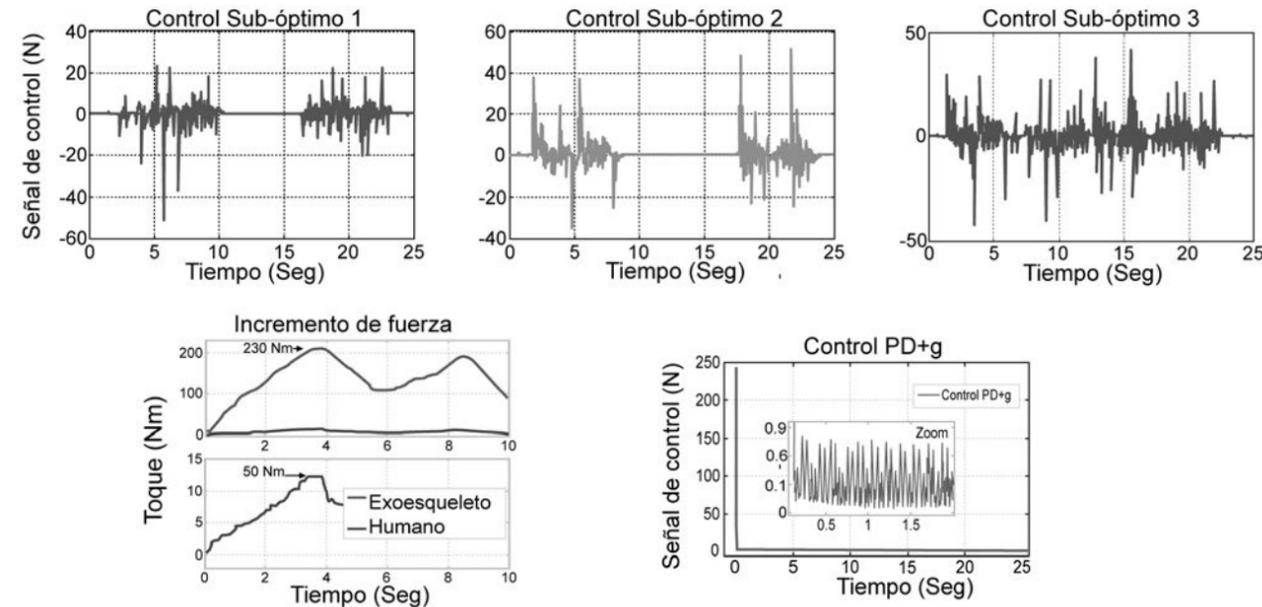


Figura 7. Resultados experimentales del ahorro energético en el exoesqueleto.

garantiza un ahorro energético y es estable ante las perturbaciones externas. Una de las áreas de investigación es la robótica aplicada a sistemas autónomos en exoesqueletos para la rehabilitación y aumento de carga, lo que extiende un amplio campo de aplicaciones en el área industrial y médica.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Autónoma de Nuevo León; gracias al Proyecto ProACTI, con clave 141-IDT-2023, se alcanzaron los objetivos y metas de este proyecto. Así como la colaboración de investigadores del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional del Laboratorio Franco Mexicano UMI-LAFMIA.

REFERENCIAS

- Cansalar, C.A., Maviş, E., *et al.* (2015). Simulation time analysis of MATLAB/Simulink and LabView for control applications, In *International Conference on Industrial Technology*, 470-473.
- Castillo, F., López-Gutierrez, R., *et al.* (2019). Finite Horizon Nonlinear Energy Optimizing Control in a Force Augmenting Hybrid Exoskeleton for the Elbow Joint, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2681-2688.
- Gaşparesc, G. (2016). PID control of a DC motor using Labview Interface for Embedded Platforms, *IEEE International Symposium on Electronics and Telecommunications*, 145-148.
- Khuwaja, A. A., y Sattar, A. (2015). Solar power remote monitoring and controlling using Arduino, LabView and web browser, *IEEE Power Generation System and Renewable Energy Technologies*, 1-4.
- Krasin, V., Gandhi, V., *et al.* (2015). EMG based elbow joint powered exoskeleton for biceps brachii strength augmentation, In *International Joint Conference on Neural Networks*, 1-6.
- Magdum, A., y Agashe, A. (2016). Monitoring and controlling the industrial motor parameters remotely using LabView, *IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information*, 189-193.
- Roy, J.K., Das, A., Dutta, D., *et al.* (2014). Intelligent Stress-Buster-A LabView based real-time embedded

system for thought control using brain computer interface, *India Conference Annual IEEE*, 1-5.

Santos Sánchez, Omar, García, O., Romero, H., *et al.* (2016). Finite horizon nonlinear optimal control for a quadrotor: experimental results, *Optimal Control Applications and Methods*, 54-80.

Shuxiang, G., Jian, G., Nan, L. (2017). The Labview-Based control system for the Upper Limb Rehabilitation Robot, *International Conference on Mechatronics and Automation*, 6-9.

Titov, I., y Titov, E. (2013). Labicom. Net-Putting your laboratory online in less than five minutes with WebPager too. Automatic generation and real-time control of a LabView based laboratory server from pluginless HTML, *Experimental International Conference IEEE*, 180-1183.

Recibido: 12/02/2024
Aceptado: 28/06/2024

Descarga aquí nuestra versión digital.





Formación y difusión como estrategia para vincular las matemáticas a los problemas sociales: la UNAM en la vida de María de la Luz de Teresa de Oteyza



María Josefa Santos-Corral*
*Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
Contacto: mjsantos@sociales.unam.mx

La doctora María de la Luz de Teresa de Oteyza estudió la Licenciatura en Matemáticas en la Facultad de Ciencias en la UNAM, y el Doctorado en Matemáticas Aplicadas en la Universidad Complutense de Madrid. Desde el inicio de su carrera académica ha sido una gran formadora de alumnos en los niveles de maestría y doctorado, con quienes, además de dirigir sus tesis, también ha publicado de manera conjunta trabajos en los temas de análisis, ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, teoría de sistemas y control y optimización, que son sus áreas de investigación. Desde las matemáticas ha aportado también al desarrollo de un modelo sobre la inyección de agua en el acuífero de la CDMX. Siendo presidenta de la Sociedad Matemática Mexicana impulsó la difusión de esta rama y su vinculación con distintos sectores de la sociedad. Actualmente es investigadora del Instituto de Matemáticas (IM) de la UNAM y, desde 2020, miembro de la Junta de Gobierno de esta institución.

¿Cómo y cuándo descubre su vocación por la investigación en Matemáticas?

Fue poco a poco. Siempre me fascinaron las matemáticas, aunque mi primera vocación fue la medicina. Pero, muy pronto, en segundo de preparatoria me di cuenta de que no era lo mío y estuve navegando entre varias opciones. En tercer año, cuando había que escoger área, opté por Ciencias Físico-Matemáticas (área uno), pues pensé que me abriría el abanico. Creí que sería más fácil acceder a la carrera de Historia viniendo de área uno para dedicarme a la Historia de la Ciencia, que acceder a Matemáticas si mi área de la preparatoria era Humanidades y Artes.



¿Cómo se decanta por las matemáticas aplicadas?

Estando en el área descubrí el cálculo diferencial e integral y eso me fascinó, aunque siempre seguí con la idea de dedicarme a la Historia de la Ciencia, me interesaba mucho. Ingresé finalmente a la Facultad de Ciencias (FC) a estudiar matemáticas porque pensé: "¿qué voy a hacer sin más integrales y sin más derivadas?", me apasionaban, aunque llevé muchísimas materias de Historia y Filosofía de las Matemáticas. Conforme fui avanzando en los cursos, en el momento de decidir lo que haría en la tesis de licenciatura, opté por un tema en el que sigo trabajando: la teoría de control.

Comencé a trabajar con un profesor, Manuel Falconi, quien se fue de año sabático cuando yo ya llevaba meses trabajando en la tesis y había leído lo suficiente para decidir que ahí me quería quedar. En la UNAM no conseguí, ni en la Facultad, ni en el Instituto, un especialista en el tema; estaba un poco atorada. Pero encontré otros profesores en la Facultad, como Javier Pulido, quien me desatoraba con las ecuaciones. Por su parte, Salvador Pérez Esteva, investigador del Instituto de Matemáticas, me ayudaba con el análisis matemático.

Más tarde asistí a un congreso de matemáticas que se celebró en Hermosillo, donde uno de los ponentes, Fernando Verduzco, entonces estudiante de maestría, presentó un trabajo vinculado a lo que yo quería hacer. Él me llevó a un seminario de la Universidad Autónoma Metro-



litana (UAM) en el que participaba, y su profesor, Rodolfo Suárez Cortés, fue quien terminó dirigiendo mi tesis –aunque nunca apareció su nombre, era muy difícil cambiar al director, además yo tenía la presión de graduarme para salir al doctorado en Madrid, que cursaría en la Universidad Complutense con una beca de la UNAM.

Ya en Madrid estuve bajo la dirección de un joven investigador, apenas cuatro años mayor que yo, que por ese entonces tenía 25 años. Una persona brillante –ahora está en Alemania– y al comenzar a trabajar con él me di cuenta de que necesitaba una mayor formación. En el doctorado teníamos que hacer dos años de cursos y entre ellos nos dejaban llevar materias del último año de la Licenciatura en Matemáticas. Te otorgaban la mitad de los créditos, pero con esas materias pude ponerme al corriente, porque había muchos temas que yo jamás había visto y que necesitaba. En esos cursos encontré, entre otras cosas, a una de las mejores amigas que tengo.

La Historia de las Matemáticas es un tema que nunca olvidé, tengo un artículo que me pidieron sobre el cálculo de variaciones. Para escribirlo hice un gran esfuerzo con el fin de que fuese históricamente correcto, trabajé mucho más que en otros artículos que he publicado. El artículo pasó por un proceso de revisión en el que me indicaron que uno de los pasos era incorrecto, pero así se había planteado en aquel entonces, lo justifiqué y lo dejé. Pienso que no podemos ver la historia de la ciencia como un proceso lineal, el avance científico es mucho más complejo. He escrito otros trabajos en el tema, pero más enfocados a la divulgación.

Cuando elegí dónde quería hacer el doctorado, sabía que trabajaría en el área de teoría de control, que se considera matemáticas aplicadas –aunque yo soy súper teórica. Sin embargo, ten-

go un artículo con un ingeniero del Instituto de Ingeniería, que pienso es uno de sus artículos más teóricos y de mi parte es el más aplicado.

También publiqué un trabajo con un estudiante, ingeniero, pero no sé si cuenta mucho porque lo convertí a las matemáticas. He trabajado en problemas que les interesan más a los ingenieros que a nuestros colegas matemáticos, hay que moverse un poquito.

¿Cuál considera ha sido su principal contribución a esta área?

Resolví un problema que había quedado planteado tiempo atrás por un colega francés, Jacques-Louis Lions. Me costó mucho porque, para empezar, yo quería usar una técnica que no era la adecuada. Tuve que estudiar un nuevo enfoque cuando en 1998 pasé un trimestre en Francia donde unos investigadores rusos dieron un curso. Cuando lo entendí pude aplicarlo y resolví el problema que llevaba abierto muchos años. Ya resuelto no parece la gran cosa, pero en el momento fue un gran reto.

Ese problema es cercano a los modelos matemáticos de especies que están en competencia, donde lo que le pasa a una especie se ve reflejado en la otra. Por ejemplo, si no hay hierbas y los conejos mueren, los lobos ya no tendrán que comer. Resolver este asunto se vincula con ecuaciones parabólicas acopladas, que son del mismo tipo, pero están acopladas, lo que significa que la información de una se va pasando a las demás. Este tipo de modelos es una de mis líneas principales de investigación.

...no podemos ver la historia de la ciencia como un proceso lineal, el avance científico es mucho más complejo...

Tenemos un grupo de investigación, somos como "los tres mosqueteros", o sea, somos cuatro. Recientemente se integró un joven al equipo y ya los cinco vamos a someter un artículo con un nuevo resultado de control de este tipo de sistemas. Aunque ésta ha sido una de mis principales líneas, también tengo otras, sin dejar de hacer control, lo que cambia es el tipo de ecuaciones, las técnicas, las herramientas que se manejan. En los últimos años he trabajado con un tema vinculado a la teoría de juegos (estrategias de Stackelberg para control de ecuaciones diferenciales parciales). Ahí aportó cosas nuevas porque es un área poco explorada.

¿Qué retos supone la formación y colaboración con estudiantes de posgrado?

Es complicadísimo porque a veces no te salen las cosas, en ocasiones te ganan los resultados. Me pasó con un alumno, que ahora está en un *impasse*, porque estábamos trabajando durísimo en un problema muy difícil, con técnicas muy complicadas, y estábamos atorados en una cosa. Cuando fui a un congreso a Francia, al hablar con un especialista para pedir consejo, me dijo que lo que queríamos hacer ya estaba publicado en *Arxiv*, una revista de acceso abierto en la que se muestran avances de las investigaciones, es una especie de *preprint*. Al volver le dije al estudiante lo que había averiguado y se frustró mucho.

El siguiente problema es que quieren seguir haciendo investigación pues, en ocasiones, cuando encuentran un empleo dejan la tesis sin terminar y, otras veces, cuando la terminan, hay pocas oportunidades de trabajo académico. Tenemos muchos jóvenes brillantes sin plaza. Además, están los problemas personales que se presentan a los estudiantes a lo largo de la investigación, mismos que no son considerados. Creo que en el medio académico hay mucha soberbia y mucha competencia, se nos olvida que ese alumno es un ser humano, que tiene una mamá, a veces hijos, y que tiene problemas. La academia quiere que logren un desempeño extraordinario, cuando muchas veces ni siquiera tienen las condiciones mínimas.

¿Cuáles han sido sus principales acciones al vincular las matemáticas a la solución de problemas como el modelo de inyección de agua al acuífero?

Este modelo fue un intento de vincularme con problemas nacionales y de la industria cuando regresé de hacer el doctorado. En unos talleres con la industria intentamos hacer un modelo para explicar lo que sucedería si inyectamos agua en el acuífero del centro de la Ciudad de México con el fin de intentar evitar el daño al Palacio Nacional por el hundimiento diferencial de la zona. Sin embargo, la vinculación no es lo mío. Me pongo muy nerviosa. En la Sociedad Matemática Mexicana se hizo una serie de talleres con el fin de vincularse con la industria y asistí a varios, me involucré, pero realmente no voy a trabajar en eso. Recuerdo, por ejemplo, que en uno de los talleres, creo que con gente de ciencias de materiales, llegó una empresa a que les resolviéramos para pasado mañana un problema de un cable coaxial. Ahí me di cuenta de que tenemos otros tiempos, la industria necesita las cosas pronto y yo no puedo resolver los problemas así.

Creo que mis contribuciones han sido más en el sentido de formación de gente y de involucrarme en la Sociedad Matemática Mexicana.

¿Cuáles fueron sus principales acciones desde la presidencia de la Sociedad Matemática Mexicana?

Lo que yo quería hacer no se pudo porque empezaron los recortes a este tipo de sociedades. Entonces lo que hice fue dedicarme a conseguir dinero, mi contribución estuvo en encontrar nuevas fuentes de financiamiento para que la sociedad no se hundiera. Los recortes ocurrieron en todas las sociedades cien-

...mis contribuciones han sido más en el sentido de formación de gente y de involucrarme en la Sociedad Matemática Mexicana...

tíficas. Por ejemplo, la Academia Mexicana de Ciencias tuvo que suspender por completo todas las olimpiadas del conocimiento que impulsaba.

Yo conseguí dinero de una fundación, de la empresa BIC y del estado de Guanajuato. La primera era Casa Córdoba Filantropía, que nos dio dinero que se usó en las Olimpiadas de Matemáticas. Además, tuve que conseguir financiamiento por *crowdfunding* para las cosas más importantes como el congreso anual de la Sociedad Matemática Mexicana, un congreso grande, cuyo propósito es acercar las matemáticas profesionales a los alumnos del país y que éstos vean los temas que se están trabajando y los posgrados que existen en México.

Es un congreso formativo. En éste me apoyó el gobierno de Monterrey, ofreciéndome 50 habitaciones de hotel para 100 estudiantes. Durante la gestión de este apoyo conté con el oficial mayor de la SEP. El gobierno de Guanajuato financió las Olimpiadas Iberoamericanas de Matemáticas y la Sectei de la CDMX nos apoyó con otros concursos nacionales.

También conseguí dinero de donaciones a través de plataformas, hice una campaña de donación con beneficio a la sociedad. El tocar puertas entre políticos de distintos partidos, funcionarios de gobierno, fundaciones y buscar otros medios de financiamiento me vinculó mucho con la sociedad.

¿Qué le ha dado la UNAM a la doctora De Teresa y usted qué le ha dado a la UNAM?

La UNAM me ha dado todo, soy quien soy por la UNAM. Aquí estudié la carrera en la Facultad de Ciencias. La UNAM me becó para irme a Madrid, porque en aquella época todavía había las becas de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), y se convirtió en mi segunda casa con dos sedes, el Instituto de Matemáticas y la Facultad de Ciencias pues, aunque trabajo en el primero, yo siempre me he sentido de la facultad. Antes de que estuviera en la Junta

de Gobierno, asistía a las presentaciones de los directores, participé en la revisión de planes de estudio y de las formas de titulación. Facultad e Instituto me ayudaron a ser quien soy.

Mi participación en los órganos colegiados de la UNAM me ha dado las herramientas para defender mis puntos de vista. Recuerdo, por ejemplo, que cuando fui consejera universitaria, representante del Instituto de Matemáticas, me temblaban las rodillas cuando expuse un tema que sabía que no le gustaría al rector. Fue quizá por tener una postura propia que me eligieron como integrante de la Junta de Gobierno. El estar en la Junta me ha dado otra panorámica de los problemas de la UNAM, he conocido las particularidades de las distintas dependencias que forman parte de ella.

Entrevistando a los posibles directores he conocido los problemas de las Escuelas Nacionales de Estudios Superiores (ENES), de las preparatorias y los colegios de Ciencias y Humanidades, de facultades e institutos lejanos a mi disciplina. Me he enterado de los problemas de toda índole burocrática, sindical, de los músicos, de los futbolistas. Lo que da cuenta de que nuestra Institución es de una riqueza y de una complejidad sorprendente, incluso al conocer cosas como la colección de especies del Instituto de Biología me he planteado nuevas preguntas y he pensado en seguir otras vocaciones.

Así pues, aun en lo que yo le podría haber dado a la UNAM, que es mi participación comprometida en órganos colegiados, siempre he recibido más de ella. Es asombrosa la riqueza de la UNAM.

Muchas gracias doctora De Teresa.

[Descarga aquí nuestra versión digital.](#)





Sustentabilidad ecológica



Pertinencia de la sustentabilidad

Pedro César Cantú-Martínez*

ORCID: 0000-0001-8924-5343

* Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México.
Contacto: cantup@hotmail.com

Diseño: Sheila Montserrat Nava Guerrero

Desde la Cumbre en 1972 en Estocolmo, Suecia, y posteriormente en la de la Tierra, en Río de Janeiro, Brasil, en 1992, los gobiernos del mundo, de las distintas naciones que lo constituyen, han estado velando en favor del desarrollo sustentable (Cantú-Martínez, 2015). En este sentido se ha avanzado en la mayoría de los países. Sin embargo, la reducción de los impactos ambientales por las actividades productivas aún no ha disminuido sustancialmente lo deseado para estabilizar un crecimiento económico y mejorar las condiciones sociales en todas las sociedades en el concierto internacional.

Parte importante del desarrollo sustentable es la condición de mejora en las tres dimensiones que lo constituyen: ambiental, social y económica. Con lo que se busca establecer un equilibrio entre estos tres aspectos (Urquidi, 1999; Pamplona, 2000). No cabe duda del compromiso de las sociedades en el mundo de abordar las problemáticas mundiales que nos aquejan, con ese fin se han presentado iniciativas que orientan la inversión económica hacia las eventualidades más críticas. Con ello se apuesta al futuro, donde todavía existen muchas cuestiones urgentes, y otras emergentes, que se deben abordar de manera inmediata.

Entre los desafíos a los que nos enfrentamos como sociedad en el mundo, encontramos los factores que promueven y tienen efectos a partir de la génesis del cambio climático, la gestión adecuada de los recursos hídricos, la contaminación urbana, entre otros. Pero mayormente es la de reforzar la aplicación de políticas internacionales que protejan los ecosistemas naturales y la diversidad biológica (Cantú-Martínez, 2017; 2020a; 2021), así como otras encaminadas a cambiar los patrones de consumo y producción, que hoy son lastimosamente insostenibles. De realizar esto y superar estas dificultades, quizá atenuaríamos las presiones ambientales de un avance económico y social, hasta este momento, depredador.

PERTINENCIA

La relevancia general de la sustentabilidad radica llanamente en la capacidad de continuar con un determinado ritmo o nivel de actividades. En el mundo se utiliza al expresar cómo mantener o mejorar la calidad de vida de las personas sin impactos ambientales adversos (Xercavins *et al.*, 2005). No hace mucho, los debates se enfocaban en gran medida en el cambio climático y en resguardar los recursos naturales del planeta para las generaciones venideras.

Sin embargo, hoy en día la sustentabilidad ha avanzado hasta abordar una variedad de cuestiones económicas, sociales y otras más relacionadas con la gobernanza, la mejora de los niveles de vida y la equidad. En esta misma línea, las leyes y políticas públicas están cambiando al impulsar formas de vida y de convivencia más justas y ambientalmente convenientes (Panceri, 2021).

Es por esto que se alienta y se apoya a los gobiernos, sector privado y sociedad en general en todo el mundo a adoptar fuentes de energía más eficientes y renovables: solar y eólica, por citar algunas. Además de implementar otras acciones, por ejemplo, reciclar recursos no renovables (plástico, vidrio, entre otros), conservar y gestionar adecuadamente el uso del agua y demás recursos naturales con el objetivo de aminorar el impacto ambiental (Leff, 2013).

¿QUÉ SE ESTÁ HACIENDO?

Los gobiernos en el mundo esencialmente se han abocado a la erradicación de la pobreza, a partir del establecimiento de los Objetivos del Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas (Cantú-Martínez, 2016). Al acordar éstos, se ha escogido el propósito de reducir la pobreza en el mundo, acompasado de eliminar el hambre, promoviendo la inversión financiera. No obstante, aquéllos que lo han llevado a cabo, no lo han alcanzado, pero se ha avanzado en esta pretensión.

En este sentido, Velazco (2005, p. 1) glosa: "Particularmente, la pobreza constituye una enfermedad social, quizá la más grave conocida hasta el momento, pues a partir de ella degeneran muchas enfermedades: la prostitución, la corrupción, la delincuencia, la violencia y otras más". Señalando, además, que en las naciones pobres sí existe riqueza, sin embargo, ésta se ha quedado en pequeños grupos, y coexistiendo la gran mayoría en condiciones de marginación e inseguridad alimentaria.

Es así que otros países en crecimiento se han rezagado, característicamente por la falta de capacidad financiera con la cual combatir la pobreza y la hambruna que, vinculado a una inexistente o no muy clara política nacional, no puede garantizar los posibles beneficios que esta postura internacional promueve, esen-

cialmente en el ámbito social y ambiental (Lozano y Barbarán, 2021). Parte de su situación radica en las condiciones que se señalan, por lo que no se ha logrado mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

En el contexto de la educación y cohesión social, en diversas naciones aún persisten eventualidades concernientes a la exclusión y discriminación, y muchas personas no cuentan con el derecho fundamental de la educación. Esto tiene un impacto mayúsculo en la falta de equidad inter e intrageneracional. En este aspecto, se hace alusión al comentario de Jiménez (2008, p. 174), quien puntualiza:

La exclusión está muy relacionada con los procesos que más se vinculan con la ciudadanía, es decir, con aquellos derechos y libertades básicas de las personas que tienen que ver con su bienestar (trabajo, salud, educación, formación, vivienda, calidad de vida...). Además, el concepto de exclusión debemos entenderlo por oposición al de integración como referente alternativo.

Este fenómeno ha tomado un papel elemental y progresivo en las últimas décadas, regularmente cuando se le ha asociado al fenómeno de la falta de educación y adhesión social, elementos fundamentales del desarrollo sustentable.

En materia ambiental, se reconoce que la actividad productiva ejerce presión sobre las condiciones del entorno (Hernández, 2015). Y las secuelas de la crisis –por la contaminación– incurrir de manera exagerada en los países y las entidades de quienes la aportación al inconveniente de la contaminación ha sido minúscula, y cuya idoneidad para aminorar los perjuicios es considerablemente menor. En tanto las naciones avanzadas son las que mayormente contribuyen a las emisiones de plomo, gases de invernadero y los clorofluorocarbonos que agotan la capa de ozono. Por esto, Atwoli *et al.* (2021, p. 2) aseveran que:

Es alentador que muchos gobiernos, instituciones financieras y empresas estén fijando metas con el afán de alcanzar la cifra de cero emisiones netas, incluidas metas hacia 2030. El costo de la energía renovable está disminuyendo de manera acelerada. Muchos países buscan proteger por lo menos 30% de la tierra y los océanos del planeta con vistas a 2030.

En estos términos, se está tratando de establecer una gestión sustentable en todo el orbe. Por consiguiente, se requiere una respuesta similar a la realizada por los gobiernos para atenuar los efectos de la emergencia sanitaria por COVID-19 (Cantú-Martínez, 2020b; 2020c), donde se pudo apreciar la gigantesca inversión económica que se llevó a cabo con la finalidad de sortear este problema mundial. Por esta razón, la gestión ambiental se instauro como el mayor reto en esta materia.



¿QUÉ SE DEBE SEGUIR IMPULSANDO?

Progresar hacia el desarrollo sustentable requiere medidas eficaces que se conviertan en políticas públicas que sorteen los obstáculos persistentes (Mercado y Gómez, 2018). Impulsando el proceso de toma de decisiones consensuadas entre la estructura gubernamental, la sociedad civil y el sector productivo, que ayuden a lograr un enfoque y mecanismos más integradores en la búsqueda de alcanzar la sustentabilidad. Combinar eficazmente la regulación en distintas materias con el fin de alentar a generadores y consumidores del costo ambiental y social que tienen los productos, los subproductos y residuos que se crean por su empleo.

Adicionalmente, se necesita la participación de la academia, la ciencia y la tecnología para llevar a cabo más procesos productivos de manera sustentable, cuya implementación reditúe en beneficios sociales, económicos y ambientales. Respondiendo al mismo tiempo con ajustes a las políticas públicas de manera pronta, cuando los efectos no son los deseados y aun así hay que sostenerlos en una continuidad en el tiempo. Lo que conlleva a reducir los subsidios a los procesos que menguan el entorno natural y social, por el alto costo que esto representa socioambientalmente. En esta orientación, Cortés y Peña (2015, p. 5) proponen que si se quiere prosperar en materia de sustentabilidad se necesita:

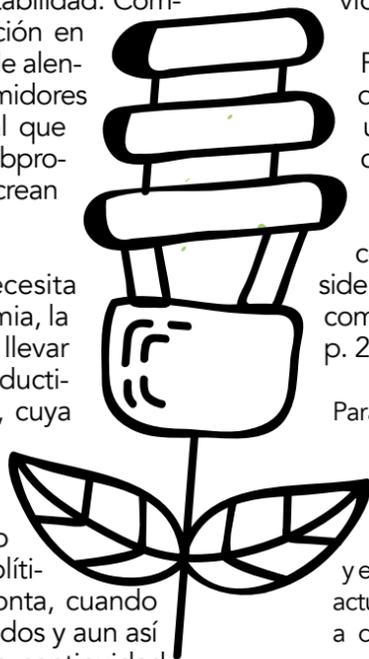
- Eliminar las rigideces y obstáculos acumulados.
- Identificar y proteger la base de conocimientos y experiencias que son importantes en el avance.

- Sostener las bases sociales y naturales de adaptación y renovación, e identificar y acrecentar la capacidad que se ha perdido.
- Estimular la innovación, la experimentación y la creatividad social.

Por otra parte, la equidad tiene que ser sustento para encontrar una respuesta en todas las naciones, esto implica un mayor compromiso de las economías que contribuyen más al proceso de insustentabilidad, considerando su aporte acumulativo como histórico. Atwoli *et al.* (2021, p. 2) aseguran que:

Para lograr estas metas, los gobiernos deben hacer cambios fundamentales en las maneras en que se organiza la economía y la sociedad, y en la que vivimos. La estrategia actual de alentar a los mercados a que cambien las tecnologías contaminantes por tecnologías más limpias no es suficiente. Los gobiernos deben intervenir en apoyar el rediseño de los sistemas de transporte, las ciudades, la producción y distribución de alimentos, los mercados para las inversiones financieras, los sistemas de salud y mucho más.

Finalmente, hay que tomar los principios fundamentales de la Carta de la Tierra (Huisinigh, 2006) a manera de guía: respeto y cuidado de la comunidad de vida, integridad ecológica, justicia social y económica, la democracia, no violencia y paz.

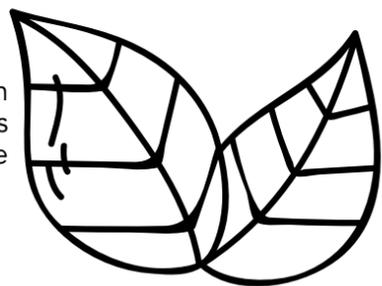


DESAFÍOS DE LA SUSTENTABILIDAD

De manera general se puede identificar una serie de desafíos; han transcurrido 52 años desde la reunión de Estocolmo, en Suecia, en 1972. Entre éstos contamos con los siguientes, en los cuales, el orden de mención no representa la prioridad. En primera instancia la carencia de un sistema bien establecido de indicadores cuantitativos de las metas en cada nación y así medir el logro regional. En segundo término, la ausencia de un régimen efectivo de regulación internacional que impulse el crecimiento socioeconómico sustentable. En tercer lugar, existe la inexactitud de un concepto de desarrollo sustentable, ya que sabemos lo que es insustentable, pero no lo sustentable.

El cuarto aspecto, la falta de un acuerdo que garantice la seguridad ambiental y alimentaria universal. En quinta posición, una insuficiente vinculación en materia de relaciones intrarregionales e interregionales en el mundo. En sexto lugar, la falta de diversificación de la actividad económica. La séptima causa es la poca disponibilidad al reestructurar la economía de acuerdo con el paradigma del desarrollo sustentable, es decir, implementar la economía circular. En octava instancia, la pertinente separación del poder económico en las decisiones sociales y ambientales que promuevan la sustentabilidad. En novena lugar, la pobreza, la inequidad y la desigualdad, y finalmente, en décima posición, la contaminación.

Es así que la manera de enfrentar estos retos requiere de nuevos enfoques que definan las políticas en materia de desarrollo sustentable, de formas y métodos más eficaces de gestión del progreso a nivel mundial (Bárcena y Simioni, 2003). Además de llevar a cabo transformaciones en el contexto institucional que coadyuven a la coordinación de esfuerzos de los distintos sectores gubernamentales, privados y sociedad civil que aseguren la coyuntura de un desarrollo sustentable general.



CONSIDERACIONES FINALES

El desarrollo sustentable debe contar con una gestión a través de la elaboración de programas de avance socioeconómico. No menos importante es la evaluación del capital natural, que es el punto de partida hacia la previsión de un desarrollo sustentable con base científica. Ésta representa un papel preponderante en la mejora de un programa de progreso socioeconómico sustentable que contemple diversas dimensiones como categorías de vida. Entre éstas será importante considerar la situación demográfica, el potencial y la capacidad de los recursos, comprendidos los naturales, la demanda de la población, la dinámica de la producción por industria, la capacidad de carga de los sistemas naturales y la ejecución e introducción de innovaciones en la economía.

El problema por sortear no consiste en hacer una mera exposición de las posibilidades de un crecimiento futuro, sino en centrar el procedimiento de previsión en la elección de un florecimiento social y económico sustentable, seguro y justificado en la capacidad del capital natural. Para ello es necesario conformar un modelo integral sobre la base de determinar un sistema mutuamente equilibrado con los principales parámetros socioeconómicos e implementar herramientas que gestionen de forma conveniente el desarrollo sustentable.

REFERENCIAS

- Atwoli, L., *et al.* (2021). Llamamiento a adoptar medidas urgentes para limitar los aumentos de temperatura en el mundo, restablecer la diversidad biológica y proteger la salud, *Cadernos de Saúde Pública*, 37(9), 1-4.
- Bárcena, A., y Simioni, D. (2003). El papel de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en el avance de la cooperación regional en temas de asentamientos humanos: gestión urbana y sostenibilidad. En: R. Jordán y D. Simioni (comps.). *Gestión urbana para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe* (pp. 17-41), Santiago de Chile: CEPAL.
- Cantú-Martínez, P.C. (2015). Implicaciones de los Objetivos del Desarrollo Sustentable, *Ciencia UANL*, 18(75), 33-39.
- Cantú-Martínez, P.C. (2016). Implicaciones de los Objetivos del Desarrollo Sustentable, *Ciencia UANL*, 19(80), 30-34.
- Cantú-Martínez, P.C. (2017). La diversidad biológica en la sustentabilidad, *Ciencia UANL*, 20(84), 22-25.
- Cantú-Martínez, P.C. (2020a). Deliberación del cambio climático desde la bioética global, *Revista Iberoamericana de Bioética*, 13, 1-11.
- Cantú-Martínez, P.C. (2020b). El Día Mundial del Medio Ambiente: cuando la naturaleza se hizo escuchar, *Ciencia UANL*, 23(104), 58-65.
- Cantú-Martínez, P.C. (2020c). ¿Qué porvenir nos depara tras el COVID-19 en el marco de la sustentabilidad? *Ciencia UANL*, 23(102), 46-52.
- Cantú-Martínez, P.C. (2021). Retos para una seguridad hídrica en el marco de la sustentabilidad, *Ciencia UANL*, 24(108), 47-53.
- Cortés, H.G., y Peña, J.I. (2015). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos, *Revista EAN*, 78, 40-55.
- Hernández, E. (2015). Ambiente, gestión ambiental: avances y retrocesos del ambiente y desarrollo sustentable en Venezuela, *Revista Provincia*, 1(34), 97-116.
- Huisinigh, D. (2006). New challenges in education for sustainable development, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 8(1), 3-8.
- Jiménez, M. (2008). Aproximación teórica de la exclusión social: complejidad e imprecisión del término. Consecuencias para el ámbito educativo, *Estudios Pedagógicos (Valdivia)*, 34(1), 173-186.
- Leff, E. (2013). *Racionalidad ambiental: la reapropiación social de la naturaleza*, México: Siglo XXI Editores.
- Lozano, P., y Barbarán, H.P. (2021). La gestión ambiental en los gobiernos locales en América Latina, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(1), 212-228.
- Mercado, R., y Gómez, J.F. (2018). Inversiones, incentivos y políticas para el desarrollo sostenible. En: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (Ed.). *Ensayos sobre desarrollo sostenible. La dimensión económica de la Agenda 2030 en la Argentina* (pp. 27-59), Buenos Aires: PNUD.
- Pamplona, F. (2000). Sustentabilidad y políticas públicas, *Gaceta Ecológica*, 56, 46-53.
- Panceri, J. (2021). *Sustentabilidad: economía, desarrollo y medioambiente*, Argentina: Editorial Biblos.
- Urquidi, V.L. (1999). Dimensiones del desarrollo sustentable y el caso de México, *Estudios Demográficos y Urbanos*, 14(3), 525-544.
- Velazco, E. (2005). El combate de la pobreza en el mundo contemporáneo, *Aposta. Revista de Ciencias Sociales*, 21, 1-33.
- Xercavins, J., Cayuela, D., Cervantes, G., *et al.* (2005). *Desarrollo sostenible*, Barcelona: Ediciones Universitat Politècnica de Catalunya.

[Descarga aquí nuestra versión digital.](#)





COLABORADORES

Antonio Osorio Cordero

Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por el IPN. Maestro en Ciencias, con especialidad en Control Automático, por el Cinvestav y el Colegio Imperial de Ciencia y Tecnología de Londres, Inglaterra. Sus áreas de interés son los exoesqueletos, el control robusto, la identificación y los vehículos autónomos aéreos. Investigador de tiempo completo en el Cinvestav-IPN.

Blanca Rocío Rangel Colmenero

Bióloga, maestra y doctora en Ciencias, con especialidad en Morfología, por la UANL. Profesora de tiempo completo de la UANL, enfocada en el área biomédica de la actividad física, en la línea de investigación de biomarcadores del ejercicio físico. Coordinadora del Programa de Maestría en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

Claudia Selene Cuevas Castro

Licenciada en Entrenamiento Deportivo, maestra en Administración de la Calidad y doctora en Ciencias de la Cultura Física por la UANL. Profesora asociada de tiempo completo de la Licenciatura en Entrenamiento Deportivo-UES. Miembro del Núcleo Académico Básico de la Maestría en Cultura Física en Ambientes Interculturales. Tiene intereses de investigación en uso de tecnologías móviles para la promoción de la actividad física y su relación con salud metabólica, longevidad y calidad de vida.

David Maloof Flores

Ingeniero en Sistemas Computacionales en Software y maestro en Ingeniería en Sistemas Computacionales por la UACH. Catedrático de tiempo completo de la UACH. Sus áreas de interés son el desarrollo innovador de software y cómputo en la nube.

Diana Ivette Montejo Arroyo

Ingeniera en Sistemas Computacionales y maestra en Redes y Telecomunicaciones. Académica de tiempo completo de la FIEyE-UV. Coordinadora del Programa de Ingeniería Informática. Cuenta con perfil Promep y

es colaboradora del cuerpo académico UV-CA-294 Termodinámicos y energía. Sus líneas de investigación son sistemas y gestión educativa.

Enrique C. Sámano Tizado

Licenciado en Física y Matemáticas, y doctor (PhD) en Ciencia de Superficies. Realizó estancia posdoctoral como profesor adjunto en el Departamento de Física e Ingeniería Física en el Stevens Institute of Technology. Su área de investigación es la nanotecnología basada en ADN y sus aplicaciones.

Fermín Castillo Anaya

Doctor en Ciencias, con especialidad en Vehículos Autónomos, Aéreos, Submarinos y Exoesqueletos. Colabora con la Universidad Tecnológica de Compiègne, Francia. PDH en la UANL. Sus líneas de investigación son en control, robótica, exoesqueletos y diseño mecánico.

Janitzín Cárdenas Castellanos

Doctora en Formación Didáctica. Profesora de tiempo completo en la UT de Nayarit. Con contribuciones en la docencia presencial y en línea, conocimiento y manejo de plataformas tecnológicas. Tiene experiencia profesional en movilidad internacional. Miembro del Comité Editorial de la Revista Universo de la Tecnológica y del Programa del Pacífico Delfín. Candidata a investigadora nacional en el SNII.

Jazmín Pérez Méndez

Doctora en Educación con Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento. Experta en el área de tecnología educativa, educación a distancia y diseño curricular. Profesora de tiempo completo en la UT de Nayarit. Integrante del Padrón de Investigadores de la UTN y asesora del Programa del Pacífico Delfín. Miembro del Comité Editorial de la *Revista Universo de la Tecnológica*. Candidata a investigadora nacional en el SNII.

Jorge Miguel Martínez Rodríguez

Estudiante de Nanotecnología en la UNAM. Su línea de investigación es la microelectrónica y nanofabricación, con énfasis en la técnica de origami de ADN para la fabricación de nanodispositivos.

José Alejandro Vásquez Santacruz

Ingeniero en Mecatrónica, maestro y doctor en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica, con especialidad en Mecatrónica. Académico de tiempo completo de la FIEyE-UV. Sus líneas de investigación son robótica y diseño de sis-

temas mecatrónicos. Cuenta con perfil Promep. Responsable del cuerpo académico UV-CA-415 Sistemas dinámicos autónomos. Miembro del SNII, nivel I.

Juan Carlos Hernández Medellín

Licenciado en Física por la UANL. Maestro en Ciencias, con especialidad en Matemáticas Aplicadas, por el Cimat. Tiene intereses en modelado matemático, métodos numéricos, teoría de control, álgebra lineal, ciencias computacionales y física.

Juan Pablo Rocha López

Estudiante de Nanotecnología en la UNAM. Su línea de investigación es la microelectrónica y la nanofabricación, con un enfoque en origami de ADN y sus aplicaciones.

Manuel Jiménez Lizárraga

Profesor investigador de tiempo completo en la FC-FM-UANL. Sus áreas de investigación son los juegos diferenciales, control por modos deslizantes y aplicaciones. Miembro regular de la AMC, en el área de Matemáticas.

María Aracelia Alcorta García

Doctora en Ingeniería Física Industrial, con especialidad en Control Automático, por la UANL. Realizó estancia postdoctoral en la Universidad de California en San Diego. Catedrática en la FCFM-UANL. Fundadora del Posgrado en Ciencias con orientación en Matemáticas, maestría y doctorado, en la UANL. Sus áreas de investigación son el diseño de filtros y controles óptimos de procesos no lineales estocásticos, especialmente *risk-sensitive*, matemáticas aplicadas y educativas. Miembro del SNII, nivel I.

María Josefa Santos Corral

Doctora en Antropología Social. Su área de especialidad se relaciona con los problemas sociales de transferencia de conocimientos, dentro de las líneas de tecnología, cultura y estudios sociales de la innovación. Imparte las asignaturas de ciencia y tecnología para las RI en la Licenciatura de Relaciones Internacionales y Desarrollo Científico Tecnológico y su Impacto Social en la Maestría de Comunicación.

Miguel Ángel López Santillán

Ingeniero en Sistemas Computacionales en Software por la UACH. Maestro en Innovación para el Desarrollo Empresarial por el ITESM. Docente en la UACH.

Nadia Teresa Adaile Benítez

Doctora en Formación Didáctica. Profesora de tiempo completo en la UT de Nayarit. Tiene contribuciones en la docencia presencial y en línea y conocimiento y manejo de plataformas tecnológicas. Integrante del Padrón de Investigadores de la UTN y del Programa del Pacífico Delfín. Cuenta con certificación de la Norma ECo076. Certificadora en el ECo727. Candidata a investigadora nacional en el SNII.

Olanda Prieto Ordaz

Ingeniera en Sistemas Computacionales en Software y maestra en Administración por la UACH. Catedrática de tiempo completo de la UACH. Sus áreas de interés abarcan ingeniería de software, aprendizaje automático y visión por computadora. Cursa el programa de Doctorado.

Pedro César Cantú-Martínez

Doctor en Ciencias Biológicas por la UANL. Doctor Honoris Causa, con la Mención Dorada Magisterial, por el OIICE. Trabaja en la FCB-UANL y participa en el IIN-SO-UANL. Su área de interés profesional se refiere a aspectos sobre la calidad de vida e indicadores de sustentabilidad ambiental. Fundador de la revista *Salud Pública y Nutrición (RESPyN)*. Miembro del Comité Editorial de Artemisa del Centro de Información para Decisiones en Salud Pública de México.

Teresita Valencia Falcón

Licenciada en Entrenamiento Deportivo, maestra en Metodología del Entrenamiento Deportivo de Alto Rendimiento y doctora en Ciencias de la Cultura Física por la UANL. Profesora investigadora de tiempo completo de la Licenciatura en Entrenamiento Deportivo-UES. Sus intereses de investigación son deporte y salud, la actividad física para la salud, obesidad y su relación con enfermedades crónicas.

Lineamientos de colaboración

Ciencia UANL

La revista *Ciencia UANL* tiene como propósito difundir y divulgar la producción científica, tecnológica y de conocimiento en los ámbitos académico, científico, tecnológico, social y empresarial.

En sus páginas se presentan avances de investigación científica, desarrollo tecnológico y artículos de divulgación en cualquiera de las siguientes áreas:

- ciencias exactas
- ciencias de la salud
- ciencias agropecuarias
- ciencias naturales
- humanidades
- ciencias sociales
- ingeniería y tecnología
- ciencias de la tierra

Asimismo, se incluyen artículos de difusión sobre temas diversos que van de las ciencias naturales y exactas a las ciencias sociales y las humanidades.

Las colaboraciones deberán estar escritas en un lenguaje **claro, didáctico y accesible**, correspondiente al público objetivo; no se aceptarán trabajos que no cumplan con los criterios y lineamientos indicados, según sea el caso se deben seguir los siguientes criterios editoriales.

Criterios generales

- Sólo se aceptan artículos originales, entendiendo por ello que el contenido sea producto del trabajo directo y que una versión similar no haya sido publicada o enviada a otras revistas.
- Se aceptarán artículos con un máximo de cinco autores (tres para los artículos de divulgación), en caso de excederse se analizará si corresponde con el esfuerzo detectado en la investigación. Una vez entregado el trabajo, no se aceptarán cambios en el orden y la cantidad de los autores.
- Los originales deberán tener una extensión máxima de cinco páginas, incluyendo tablas, figuras y referencias. En casos excepcionales, se podrá concertar con el editor responsable una extensión superior, la cual será sometida a la aprobación del Consejo Editorial.
- Para su consideración editorial, el autor deberá enviar el artículo vía electrónica en formato .doc de Word, así como el material gráfico (máximo cinco figuras, incluyendo tablas), fichas biográficas de máximo 100 palabras y código identificador ORCID de cada autor, ficha de datos y carta firmada por todos los autores (ambos formatos en página web) que certifique la originalidad del artículo y cedan derechos de autor a favor de la UANL.
- Material gráfico incluye figuras, dibujos, fotografías, imágenes digitales y tablas, de al menos 300 DPI en formato .jpg o .png y deberán incluir derechos de autor, permiso de uso o referencia. Las tablas deberán estar en formato editable.

- El artículo deberá contener claramente los siguientes datos: título del trabajo, autor(es), código identificador ORCID, institución y departamento de adscripción laboral (en el caso de estudiantes sin adscripción laboral, referir la institución donde realizan sus estudios) y dirección de correo electrónico para contacto de cada investigador.
- Las referencias no deben extenderse innecesariamente, por lo que sólo se incluirán las referencias utilizadas en el texto; éstas deberán citarse en formato APA, incluyendo nombre y apellidos de la autoría.
- Se incluirá un resumen en inglés y español, no mayor de 100 palabras, además de cinco ideas y cinco palabras clave.

Criterios específicos para artículos académicos

- El artículo deberá ofrecer una panorámica clara del campo temático.
- Deberá considerarse la experiencia nacional y local, si la hubiera.
- No se aceptan reportes de mediciones. Los artículos deberán contener la presentación de resultados de medición y su comparación, también deberán presentar un análisis detallado de los mismos, un desarrollo metodológico original, una manipulación nueva de la materia o ser de gran impacto y novedad social.
- Sólo se aceptarán modelos matemáticos si son validados experimentalmente por el autor.
- No se aceptarán trabajos basados en encuestas de opinión o entrevistas, a menos que aunadas a ellas se realicen mediciones y se efectúe un análisis de correlación para su validación.

Criterios específicos para artículos de divulgación

- Los contenidos científicos y técnicos tendrán que ser conceptualmente correctos y presentados de una manera original y creativa.
- Todos los trabajos deberán ser de carácter académico. Se debe buscar que tengan un interés que rebase los límites de una institución o programa particular.
- Tendrán siempre preferencia los artículos que versen sobre temas relacionados con el objetivo, cobertura temática o lectores a los que se dirige la revista.
- Para su mejor manejo y lectura, cada artículo debe incluir una introducción al tema, posteriormente desarrollarlo y finalmente plantear conclusiones. El formato no maneja notas a pie de página.
- En el caso de una reseña para nuestra sección *Al pie de la letra*, la extensión máxima será de dos cuartillas, deberá incluir la ficha bibliográfica completa, una imagen de la portada del libro, por la naturaleza de la sección no se aceptan referencias.



Notas importantes

- Sólo se recibirán artículos por convocatoria, para mayor información al respecto consultar nuestras redes sociales o nuestra página web: <http://cienciauanl.uanl.mx/>
- Los autores deberán declarar que en el proceso de elaboración de la investigación o redacción del documento no hubo conflictos de intereses; en caso de haberse presentado, deberán indicar los acuerdos que efectuaron. Asimismo, de haber contado con financiamiento, deberán anotar la institución o el nombre del fondo de dónde provino.
- Todas las colaboraciones, sin excepción, deberán pasar por una revisión preliminar, en la cual se establecerá si éstas cumplen con los requisitos mínimos de publicación que solicita la revista, como temática, extensión, originalidad y estructuras. Los editores no se obligan a publicar los artículos sólo por recibirlos.
- Todos los números se publican por tema, en caso de que un artículo sea aceptado en el dictamen, pero no entre en la publicación del siguiente número, éste quedará en espera para el número más próximo con la misma temática.
- Una vez aprobados los trabajos, los autores aceptan la corrección de textos y la revisión de estilo para mantener criterios de uniformidad de la revista.
- Todos los artículos de difusión recibidos serán sujetos al proceso de revisión *peer review* o **revisión por pares**, del tipo **doble ciego**; los documentos se envían sin autoría a quienes evalúan, con el fin de buscar objetividad en el análisis; asimismo, las personas autoras desconocen el nombre de sus evaluadores.
- Bajo ningún motivo serán aceptados aquellos documentos donde pueda ser demostrada la existencia de transcripción textual, sin el debido crédito, de otra obra, acción denominada como plagio. Si el punto anterior es confirmado, el documento será rechazado inmediatamente.

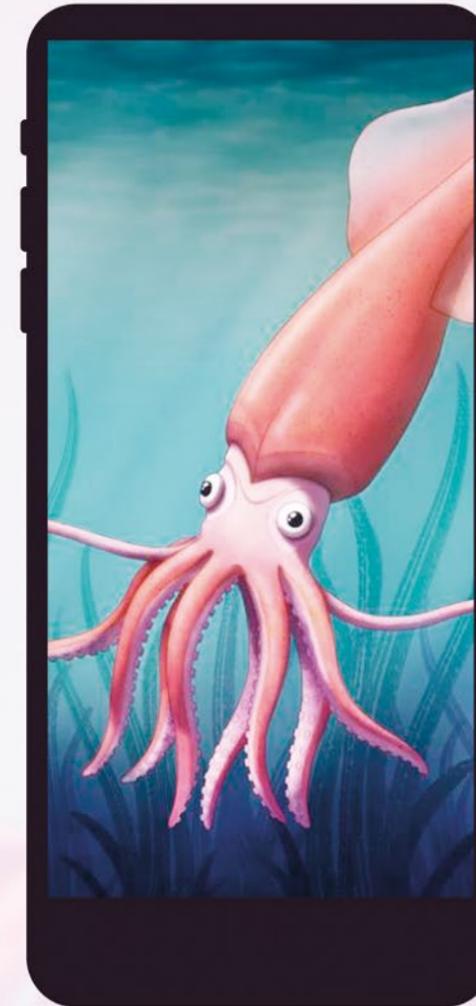
Todos los artículos deberán remitirse a la dirección de correo:
revista.ciencia@uanl.mx
o bien a la siguiente dirección:

Revista Ciencia UANL. Dirección de Investigación, Av. Manuel L. Barragán, Col. Hogares Ferrocarrileros, C.P. 64290, Monterrey, Nuevo León, México.

Para cualquier comentario o duda estamos a disposición de los interesados en:

Tel: (5281)8329-4236. <http://www.cienciauanl.uanl.mx/>

¡SÍGUENOS EN NUESTRAS REDES SOCIALES!



Instagram: [@revistaciencia_uanl](https://www.instagram.com/revistaciencia_uanl)



Facebook: [RevistaCienciaUANL](https://www.facebook.com/RevistaCienciaUANL)

cienciauanl.uanl.mx/



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



Indexada en:



Actualidad Iberoamericana
Índice Internacional de Revistas

RevistaCiencaUANL Revistaciencia_uanl RevistaCIENCIAUANL



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



latindex
Sistema Regional de Información
en Línea para Revistas Científicas
de América Latina, el Caribe, España y Portugal
CATÁLOGO "HEMEROTECA LATINOAMERICANA"