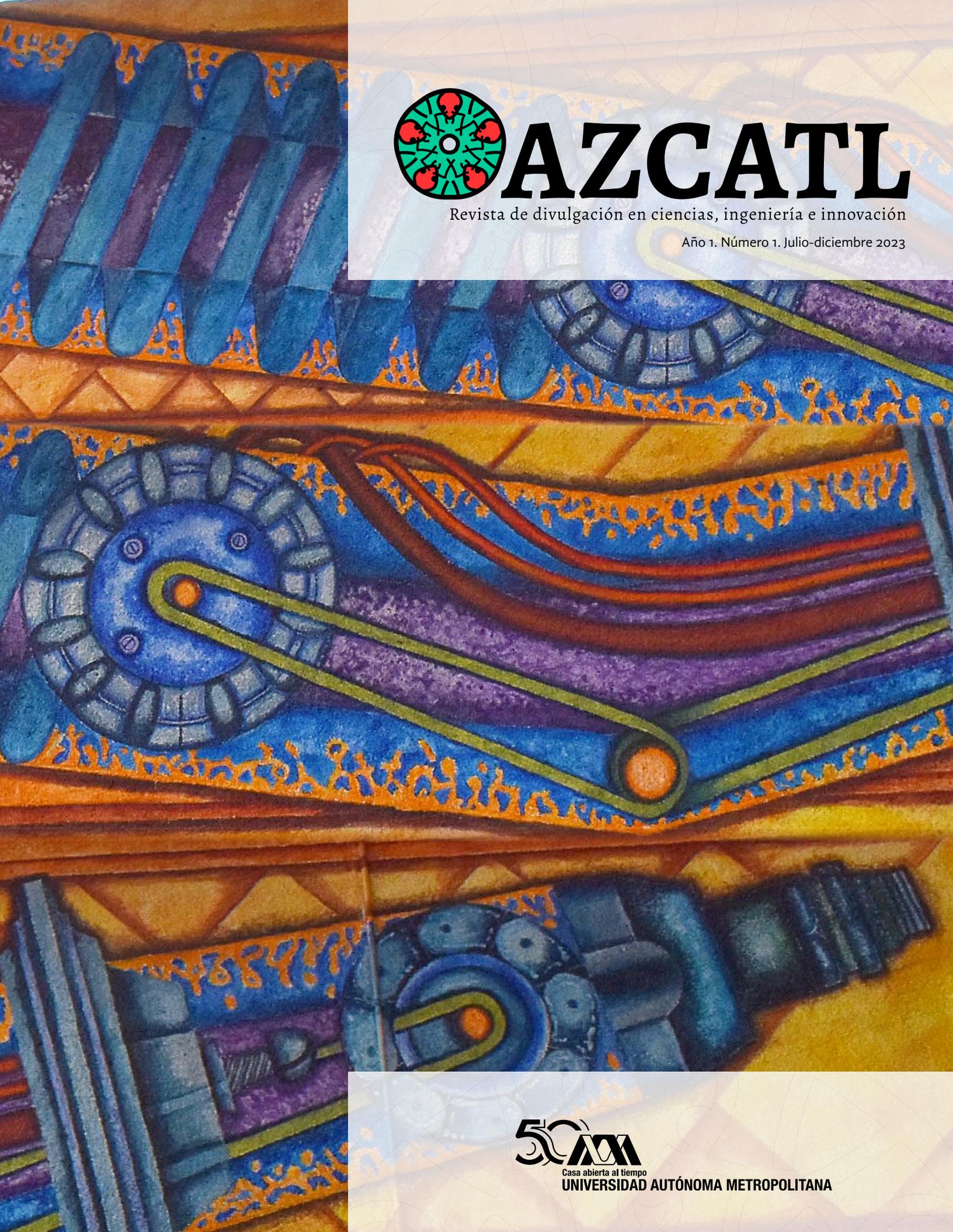




AZCATL

Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

Año 1. Número 1. Julio-diciembre 2023



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Dr. José Antonio De los Reyes Heredia
Rector general

Dra. Norma Rondero López
Secretaria general

UNIDAD AZCAPOTZALCO
Dra. Yadira Zavala Osorio
Rectora de Unidad

Mtro. Salvador Ulises Islas Barajas
Secretario de Unidad

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
Dra. Teresa Merchand Hernández
Directora de División

Dr. Jorge Luis Flores Moreno
Secretario académico

C.P. Rosa Ma. Benítez Mendoza
Jefa de la Oficina de Producción Editorial y Difusión de Eventos

**AZCATL. REVISTA DE DIVULGACIÓN EN CIENCIAS,
INGENIERÍA E INNOVACIÓN**

COMITÉ EDITORIAL
Dra. Grethell Georgina Pérez Sánchez
Presidenta

M. en C. Carlos Alejandro Vargas
Dr. César Augusto Real Ramírez
M. en C. Gerardo Aragón González
Dr. Manuel Eurípides Ruiz Sandoval Hernández

EQUIPO EDITORIAL
Mtro. Juan Manuel Galindo Medina
Diseño editorial y de cubierta

Lic. Liliana Ramírez Nuño
Lic. Roberto Andrés Zepeda Martínez
Corrección de estilo

D.A.A.D. María Fernanda Romero Gutiérrez
Diseño de la página web

AZCATL. Año 1, Número 1, julio-diciembre de 2023, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Prolongación Canal de Miramontes 3855, col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, Ciudad de México, México, y, av. San Pablo 420, col. Nueva El Rosario, alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02128, Ciudad de México, México; tel. 55 5318 9528. página electrónica de la revista <https://azcatl.azc.uam.mx/> y dirección electrónica: ggps@azc.uam.mx. Editor responsable: Dra. Grethell Georgina Pérez Sánchez. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título núm. 04-2023-050317153000-102, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Dra. Grethell Georgina Pérez Sánchez, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Unidad Azcapotzalco, edificio P, primer piso, av. San Pablo 420, col. Nueva El Rosario, alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02128, Ciudad de México, México; Fecha de última modificación: 12 de diciembre de 2023. Tamaño del archivo 1.5 MB.

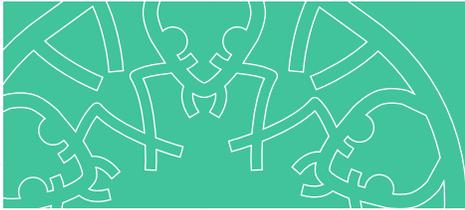
Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

En portada: detalle del mural *Encuentro de Tres Tiempos*, de David Islas Hernández, Daniel Salgado Pera y Eduardo Sánchez Paredes. Dicho mural se encuentra alojado dentro de la biblioteca de la UAM, Unidad Azcapotzalco. Fotografías de Juan Manuel Galindo Medina.

Tabla de contenidos

Editorial	1
Introducción	3
<i>¿Qué es la tecnología?</i>	5
César Augusto Borrromeo García	
<i>Modelización con ecuaciones diferenciales: el problema de las mezclas</i>	9
Ricardo Hernández-Méndez	
<i>El conocimiento teórico y la evidencia empírica en el desarrollo de los reglamentos de construcción</i>	14
Luciano Roberto Fernández Sola	
<i>Coleccionar estampas: un ajuste de curvas para obtener una función que explique por qué es difícil llenar un álbum de estampas</i>	18
Marco Antonio Rodríguez Andrade	
<i>Los semiconductores, el control automático y el procesamiento de señales en los automóviles actuales</i> ...	24
Juan J. Ocampo Hidalgo Javier Alducín Castillo Iván Vázquez Álvarez Jesus Ezequiel Molinar Solís	
<i>Detección de daño en edificios usando sensores</i>	29
Carlos Manuel González Gutiérrez	
<i>Operaciones de mantenimiento en energía eólica offshore: un modelo de evaluación para el uso de embarcaciones y demanda de combustible</i>	33
Stephanie Eugenia Ordonez Sanchez Molly Isaacs	
<i>Aprendizaje automático aplicado a la caracterización de nanoestructuras base carbono</i>	37
Luis Enrique Vivanco Benavides Cecilia Mercado Zúñiga	



La divulgación de la ciencia, la tecnología y la innovación es fundamental para el desarrollo social al asegurar que el conocimiento y los progresos sean accesibles, aplicables y benéficos para la comunidad. La divulgación tiene un papel fundamental en la educación pública y en la promoción del interés general por la ciencia y la tecnología, la cual puede realizarse a través de medios como libros, artículos, videos, podcasts, charlas, talleres, internet, entre otros.

La divulgación de la ciencia se refiere a la comunicación de información especializada de manera clara y accesible para un público no experto en el tema. Su objetivo es hacer que conceptos complejos sean comprensibles y relevantes para una audiencia más amplia.

La tecnología se refiere al conjunto de herramientas, conocimientos y técnicas utilizadas para crear objetos, procesos y sistemas con el objetivo de resolución de problemas o mejorar la calidad de vida. Ésta abarca una amplia gama de campos, desde la Electrónica y la Informática hasta la Ingeniería, la Medicina y más. A medida que la tecnología avanza tiene un impacto significativo en la sociedad al cambiar la forma en que trabaja, comunica, consume información, interactúa y resuelve problemas de interés nacional.

La innovación implica la creación y aplicación de ideas nuevas o significativamente mejoradas en productos, ser-

vicios, procesos o modelos de negocio. Proviene de la investigación científica, la creatividad individual o la colaboración entre diversas disciplinas. La innovación es esencial para el progreso económico y social, ya que impulsa el crecimiento, la competitividad y la resolución de desafíos globales. La tecnología es con frecuencia un motor importante de la innovación, ya que las nuevas tecnologías pueden inspirar ideas innovadoras y generar nuevas oportunidades.

En forma articulada, la ciencia, la tecnología y la innovación constituyen un fuerte impacto en la sociedad, siendo la divulgación el canal para transmitir los avances tecnológicos e innovaciones, fomentando así la comprensión y el interés del público en general. La tecnología impulsa la innovación al proporcionar las herramientas necesarias para transformar ideas en realidades tangibles. La innovación, a su vez, da como resultado nuevas tecnologías y soluciones que pueden ser compartidas a través de la divulgación, completando así este ciclo.

Para lograr lo anterior, la dirección de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería (DCBI) de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A) reunió a un grupo de profesores-investigadores de cada uno de sus cinco departamentos, con el objetivo de participar en la creación de una revista electrónica, cuya finalidad es la divulgación de la ciencia, la tecnología y la innovación

que se transmite entre los miembros de la comunidad universitaria dirigida al público en general.

La revista lleva por nombre Azcatl, palabra de origen náhuatl que significa hormiga. El logotipo hace referencia al trabajo colaborativo de los cinco departamentos de la DCBI.

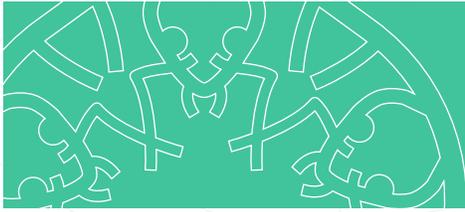
En la División, algunos grupos de profesores y departamentos actualmente cuentan con publicaciones para la difusión del conocimiento. La revista Azcatl es una propuesta institucional que con el apoyo de la Oficina de Producción Editorial y Difusión de Eventos (OPEDE) realizará su publicación con una periodicidad semestral.

El Comité Editorial de la revista Azcatl tiene como objetivo satisfacer, en un periodo aproximado de dos años, los requisitos necesarios que solicita el Conahcyt para su

incorporación al Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica; para conseguirlo, se verificarán y actualizarán, de manera periódica, las acciones correspondientes por realizar.

El sitio de la revista, <http://azcatl.azc.uam.mx>, está desarrollado sobre la plataforma de código abierto Open Journal System (OJS). Actualmente, esta plataforma es utilizada por diferentes revistas científicas y de divulgación, principalmente, debido a su facilidad de uso y a la eliminación de costos por licenciamiento.

Se espera que la comunidad universitaria y el público en general sea parte de este proyecto enviando sus trabajos en las áreas de ciencias básicas y aplicadas, la tecnología en todas sus áreas del conocimiento y la innovación.



Nuestro número inaugural de la revista Azcatl presenta ocho artículos de divulgación sobre diversas materias, desde la aplicación de las Matemáticas en problemas cotidianos, pasando por la tecnología, hasta la detección de daño en estructuras. A continuación, una breve descripción de cada uno de ellos para el conocimiento del lector.

El primer tema profundiza sobre el concepto de la tecnología. Usualmente la sociedad suele inferir que la palabra tecnología es lo mismo que digital, pero la realidad es que abarca mucho más que eso. La tecnología se refiere a la aplicación de la ciencia para mejorar nuestras habilidades o compensar nuestras limitaciones. Puede ser algo tan simple como el fuego o la rueda, o tan complejo como las computadoras. La tecnología digital se refiere a dispositivos electrónicos, internet, *software* y dispositivos digitales, sin embargo, existen otras tecnologías no digitales que a menudo se pasan por alto. En este artículo se brinda una explicación sobre la confusión entre estos términos, así como ejemplos que permitirán comprender de mejor manera sus diferencias conceptuales y tangibles.

El siguiente trabajo refiere sobre la importancia de la solución de problemas reales por medio de ecuaciones diferenciales. Se hace énfasis en la relevancia de desarrollar en los estudiantes la capacidad de construir modelos matemáticos asociados a algún fenómeno de las ciencias básicas o de las ingenierías. En particular, se presenta el ejemplo de un problema de mezclas, la definición del modelo matemático asociado, así como el planteamiento de una ecuación diferencial de primer orden que lo soluciona.

El tercer apartado muestra lo complejo que es el desarrollo de normatividad en el diseño sismorresistente. Esto debido a las pocas posibilidades para valorar su efectividad, ya que los sismos con las intensidades consideradas en las normatividades son fenómenos que no se presentan de manera frecuente, por lo que los códigos de diseño deben utilizar el conocimiento más avanzado disponible para disminuir las afectaciones ante un eventual sismo futuro. No obstante, las nuevas teorías y desarrollos se fortalecen ante su comprobación empírica en condiciones reales, lo cual impone retos importantes a su integración en los cuerpos normativos. Algunos de estos retos se discuten en este trabajo.

El cuarto texto aborda un asunto de Matemáticas conocido como el problema del coleccionista; éste consiste en coleccionar cierta cantidad de objetos, los cuales son comprados al azar. Se presenta un caso en el que se compran sobres con cinco estampas cada uno, donde el objetivo es llenar un álbum de 240 estampas. Posteriormente, se debe obtener una función matemática que aproxima la cantidad de estampas coleccionadas en función de la cantidad de sobres que se han comprado. Asimismo, con esta función se puede determinar la cantidad de sobres que se deben comprar para casi llenar el álbum.

En el quinto artículo se describe la importancia de los circuitos integrados, el control automático y el procesamiento de señales en los vehículos automotores actuales. Contestando preguntas tales como ¿qué es un semiconductor?, ¿qué es una señal? y ¿qué es un sistema de con-

trol?, para brindar así una explicación sucinta del rol que juegan estos elementos en los automóviles hoy día. Finalmente, se presentan algunas tendencias futuras hacia el desarrollo de vehículos autónomos.

El siguiente texto expone el uso de técnicas aplicadas a los edificios para medir su nivel de daño mediante sensores. La respuesta física de un edificio depende de las propiedades de sus materiales; la estrategia es usar este principio para detectar los cambios en la salud de una estructura. Asimismo, se discuten las experiencias de la inspección de daños realizada por sismos en la Ciudad de México, la tecnología de sensores y los retos en su implementación.

En el séptimo artículo se describen las operaciones y el mantenimiento (O&M) de la energía eólica *offshore*, exponiendo la poca investigación sobre el consumo de combustible y las emisiones de carbono asociadas con estas embarcaciones. En este estudio se presenta una herramienta que simula el movimiento de las embarcaciones y evalúa el consumo de combustible y las emisiones durante las actividades de O&M en dos casos de estudio. Los resultados muestran que anualmente se utilizan entre 590 y

790 mil litros de MGO (marine gas oil) para las embarcaciones de O&M en dos parques eólicos en el Reino Unido, lo que contribuye con un promedio de 2 100 toneladas de emisiones de CO₂.

El último tema de esta revista está dedicado a las nanoestructuras base carbono. Éstas han sido objeto de un creciente interés debido a sus notables propiedades físicas y su potencial para aplicaciones en una amplia gama de campos, desde la Electrónica hasta la Medicina. Sin embargo, comprender y caracterizar completamente estas estructuras a nivel atómico es un desafío complejo, debido a su naturaleza intrínsecamente multidimensional y a la enorme cantidad de datos involucrados. En este texto se explora cómo el aprendizaje automático, una rama de la inteligencia artificial, ha revolucionado el estudio y la caracterización de las propiedades físicas de nanoestructuras base carbono, permitiendo avances significativos en este campo.

Esperamos que esta revista cumpla con las expectativas que nos hemos propuesto para la divulgación de la ciencia, la tecnología y la innovación.

Comité Editorial

Azcatl. Revista de divulgación en ciencia, ingeniería e innovación

¿Qué es la tecnología?

César Augusto Borromeo García
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
ccesar.bogc@gmail.com

Resumen

La sociedad suele confundir la palabra *tecnología* con lo digital, pero en realidad abarca mucho más. La tecnología se refiere a la aplicación de la ciencia para mejorar nuestras habilidades o compensar nuestras limitaciones. Puede ser algo tan simple como el fuego o la rueda, o tan complejo como las computadoras. La tecnología digital o TIC se refiere a dispositivos electrónicos, internet, *software* y dispositivos digitales. Sin embargo, existen otras tecnologías no digitales que a menudo se pasan por alto. En este artículo se brinda una explicación de la diferencia entre los términos y la confusión entre éstos, así como ejemplos que permitirán explicar de mejor manera sus diferencias conceptuales y tangibles.

Palabras clave

Tecnología, TIC, tecnología digital y tradicional.

Abstract

Society often confuses the word technology with the digital realm, but it encompasses much more. Technology refers to the application of science to enhance our abilities or compensate for our limitations. It can be as simple as fire or the wheel, or as complex as computers. Digital technology or ICT (Information and Communication Technology) refers to electronic devices, internet, software, and digital devices. However, there are other non-digital technologies that are often overlooked. This article provides an explanation of the difference between these terms and the confusion surrounding them, and examples that will explain efficiently their conceptual and tangible differences.

Keywords

Technology, ICT, digital and traditional technology.

Introducción

La palabra tecnología ha sido ampliamente asociada a lo digital, a la modernidad y a lo innovador. No obstante, es una falacia creer esto (Romero *et al.*, 2011). Hacerlo nos priva de reconocer que existen tecnologías no digitales que proveen de conocimientos e ideas que pueden cambiar al mundo como lo observamos y concebimos. Pero tanto la sociedad como la mercadotecnia, las grandes empresas tecnológicas, autoridades, gobiernos y muchos otros entes nacionales e internacionales muestran a la tecnología como aquello relacionado a las cosas digitales.

Este texto presenta una serie de argumentos respecto a la idea errada que se tiene sobre este concepto. Se brindan definiciones y ejemplos sencillos que apoyarán al entendimiento de la división que se debe hacer cuando se habla de tecnología, tecnología digital y tecnología tradicional. Este esfuerzo se hace con la intención de brindar una forma distinta de entender la tecnología y generar debates en la sociedad sobre qué es lo que se define como algo tecnológico.

Tecnología: un concepto confuso

Existe la noción equivocada, arraigada ampliamente entre la sociedad y la comunidad académica y científica, que la palabra tecnología siempre implica que se habla de lo digital (Underwood, 2009). Esto es comprensible, dado que usualmente se emplea la palabra para denotar aquello que es punta de lanza, y lo que en el mundo tecnológico y la sociedad se entiende como tal es todo lo digital, lo más reciente. Así, entonces, se entiende como tecnología todo lo relacionado al internet y sus novedades, dispositivos móviles digitales de todo tipo (computadoras, teléfonos y relojes inteligentes, tabletas, visores de realidad virtual o aumentada, etcétera), inteligencia artificial y *software* de uso general y especializado. No obstante, no siempre es así.

Para poder comprender el porqué de esta perspectiva, es necesario profundizar un poco sobre el significado de la palabra tecnología y cómo es distinta a la tecnología digital y a la tradicional. Primeramente, debemos entender que la tecnología es definida como la ciencia aplicada a la generación de apoyo a los humanos y se presenta en

forma de máquinas, herramientas o procesos que permiten que nuestras habilidades sean exponencialmente incrementadas o la falta de éstas sean resarcidas (McNeil, 1996; Romero *et al.*, 2011, p. 14). Entonces, la tecnología es básicamente lo que nos ayuda a mejorar nuestras habilidades o capacidades y a disminuir el impacto de las inhabilidades o discapacidades. Por ejemplo, un ser humano puede saltar, pero si implementa una tecnología como un brincolín, puede saltar más alto. De la misma forma, puede mantenerse bajo el agua algunos minutos sin necesidad de aire, pero si quiere hacerlo durante horas, debe implementar un tanque de oxígeno portátil. Es decir, se beneficia del conocimiento científico y lo aplica para lograr resultados más exitosos en sus actividades. Ejemplos como este hay muchos: la rueda, el fuego, planes o procedimientos de acción como una receta de cocina o las instrucciones de armado y, por supuesto, los electrónicos como diodos, transistores y los procedimientos para la reducción de tamaño de estos componentes y su combinación para lograr dispositivos electrónicos. De esta forma podemos observar que la tecnología puede ser algo tan sencillo como el fuego —tecnología que permitió al ser humano aprovechar mejor los nutrientes de los alimentos—, la rueda —que le permitiría realizar trabajos de forma más sencilla—, los procedimientos —que permiten realizar acciones de forma consistente y con calidad— o hasta las computadoras —una combinación de varias tecnologías que permite una organización más adecuada de diversas actividades—. Por este motivo, es importante recalcar que los conceptos tecnología digital y tecnología tradicional suelen usarse para señalar si están o no relacionados con lo digital.

Tecnología digital o TIC y tecnología tradicional

La tecnología digital, muchas veces llamada TIC (tecnologías de la información y la comunicación), suele referirse a las tecnologías que están relacionadas con los dispositivos electrónicos (computadoras, teléfonos y relojes inteligentes, tabletas, etcétera), el internet, *software* (en línea y local), procedimientos y protocolos de acción (como el tipo de conexión a internet, la comunicación y

conexión entre dispositivos, entre otros) y todos los artefactos relacionados con lo digital (la inteligencia artificial, la realidad aumentada y virtual, las redes sociales, los recorridos virtuales y demás). Por otro lado, el término tecnología tradicional suele emplearse principalmente cuando se habla de procedimientos o artefactos normales, tradicionales o poco digitalizados, es decir, todo aquello que nos parece que no es una tecnología porque es ubicua, es decir, está presente en todos lados, todo el tiempo. El fuego o la rueda no nos parecen tecnologías porque están ahí desde hace miles de años. La televisión y la radio no nos parecen innovadores porque fueron inventadas hace mucho tiempo. Y aunque el internet tiene más de 60 años de existencia, nos parece que es actual porque casi todas las innovaciones y productos nuevos son lanzados o están relacionados con él.

Aunado a lo anterior, la propia evolución de la tecnología nos ha llevado a considerar que, cuando se habla de ella, es siempre algo moderno, digital e innovador. Las computadoras, por ejemplo, no fueron siempre como las conocemos hoy. Ha sido una tecnología en constante evolución, una herramienta que ha cambiado nuestras acciones y mejorado nuestros procesos. Primero fueron calculadoras. Sí, computar significa calcular o contar, de ahí su nombre, lo que es evidente en otros idiomas como el alemán, donde las computadoras se llaman *rechner*, traducido, calculadora (Coello, 2003). Normalmente estas computadoras eran mecánicas y se inventaron en el siglo xvi. Sin embargo, no fue sino hasta 1890 que IBM implementó computadoras con fines comerciales y científicos cuando apoyaron el censo de los Estados Unidos. Desde entonces, el tamaño y el costo de estos dispositivos ha disminuido y, por tanto, los usuarios han ido aumentando. Las computadoras han pasado de meramente calcular a procesar información con diversas intenciones, como entretener, comunicarse y trabajar. Además, su tamaño se ha reducido tanto que ahora son un dispositivo que traemos en la bolsa de la ropa o en la muñeca. Y como casi todas las innovaciones tecnológicas vienen de la mano de uno de estos dispositivos (creado, corrido, usado o implementado en uno), los cuales están en constante evolución, creemos que todo lo que esté relacionado con ellos es

siempre tecnología; y si es tecnología, es digital. De aquí proviene esa percepción incorrecta que se tiene en la sociedad. Por este motivo, cualquier proceso que esté relacionado a los dispositivos o internet, siempre es clasificado como tecnológico.

Tecnologías modernas no digitales

Sin embargo, esta idea errónea deja de lado otras cosas que son tecnologías, pero por no ser digitales, no se catalogan como tal; en el mejor de los casos se les llaman tecnologías tradicionales. Tal es el caso de Kara Pure, una máquina purificadora que extrae agua de la humedad ambiental, la purifica y provee al consumidor con costos de mantenimiento y producción muy bajos. Todo esto, usando materiales diversos que permiten generar agua potable (EcoInventos, 2022). De la misma manera, en México se ha creado un cemento fosforescente que se carga con luz solar y que permitiría un sinnúmero de aplicaciones sin gasto de energía eléctrica y bajo costo de mantenimiento (BBC Mundo, 2016). Asimismo, hoy en día existen diversos procesos y estándares que aseguran que un producto no es dañino para el medio ambiente. Usualmente estos procesos son pasos que las empresas creadoras de productos deben seguir para cumplir con requisitos de sostenibilidad y proveer garantía de que el producto se fabrica, opera y puede ser desechado sin dañar el medio ambiente. Estos son sólo algunos ejemplos de tecnologías no digitales que muchas veces son pasadas por alto o no incluidas como tales por el hecho de no contar con chips de procesamiento o de memoria, conectividad a internet o una pantalla táctil. No obstante, siguen siendo originadas de la aplicación de la ciencia y permiten mejorar nuestras condiciones de vida, capacidades, habilidades o disminuir nuestras discapacidades o inhabilidades.

Conclusiones

En este artículo se ha argumentado por qué la tecnología no sólo tiene que ser digital. Todo producto o procedimiento que nos permita mejorar la forma en que el ser humano se desarrolla en su vida diaria, académica, profesional, industrial, entre otras, debe ser considerado tecnología. El punto clave es que la tecnología debe ser, en

sí, algo que modifique las formas previas de actuar, que facilite los procesos, que eficiente el tiempo, la energía y los recursos empleados. Para que algo sea considerado como tecnológico, no necesariamente debe incluir una unidad central de procesamiento, un chip de memoria, una pantalla a color en alta definición, conectividad con otros dispositivos o a la red de internet, o bien, conectarse a la red eléctrica.

Las discusiones sobre si algo es *tecnología* deben centrarse en qué logran mejorar, eficientizar, disminuir, etcétera. No tomar en cuenta esto, nos puede llevar a que creamos en la falacia de que los dispositivos digitales, conexión a internet y *software* (programas computacionales, aplicaciones móviles y demás) son la solución a los problemas que enfrentamos. La tecnología sí puede dar respuestas a nuestros problemas, pero no forzosamente a través de la tecnología digital. De tal forma, este texto invita al lector a reflexionar sobre las veces en que ha hecho uso de la palabra *tecnología* con un significado cercano a lo digital más que a lo tradicional. No es un intento de prescribir la forma en que se debe emplear el término, más bien, es un intento de brindar un punto de vista diferente de una palabra que durante muchos años ha sido reconceptualizada y de la cual se olvidan sus raíces.

Referencias

- BBC Mundo. (2016). *El cemento fosforescente mexicano que puede iluminar las carreteras del futuro*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-36662912>
- Coello, C. A. (2003). *Breve historia de la computación y sus pioneros*. Fondo de Cultura Económica.
- EcoInventos. (2022). *Kara Pure, la máquina capaz de extraer 10 litros de agua potable al día del aire*. <https://ecoinventos.com/kara-pure/>
- McNeil, I. (Ed.). (1996). *An encyclopedia of the history of technology*. Routledge.
- Romero, R. M., Lara G. y Rico, A. (2011). Consideraciones básicas en la gestión de tecnología. En D. Gómez (Coord.), *Prospectiva e innovación tecnológica* (pp. 14-38). Siglo XXI.
- Underwood, J. (2009). *The impact of digital technology. A review of the evidence of the impact of digital technologies on formal education*. British Educational Communications and Technology Agency. https://dera.ioe.ac.uk/id/eprint/10491/3/A9RF934_Redacted.pdf

Modelización con ecuaciones diferenciales: el problema de las mezclas

Ricardo Hernández-Méndez

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

ricardotbs614@gmail.com

Resumen

En los cursos de ecuaciones diferenciales en Ingeniería suelen estudiarse las aplicaciones de éstas, por ello, resulta importante que los estudiantes sean capaces de construir modelos matemáticos asociados a algún fenómeno de las ciencias básicas o de las ingenierías. En este trabajo se presenta una propuesta para modelizar matemáticamente el problema de las mezclas. El modelo matemático asociado a este problema resulta ser una ecuación diferencial de primer orden. Además, se determina la solución general al mismo.

Palabras clave

Modelización matemática, ecuaciones diferenciales, problema de las mezclas.

Abstract

The applications of differential equations are usually studied in engineering courses, therefore, it is important for engineering students to be able to create mathematical models associated with some basic sciences or engineering phenomena. This paper presents a proposal to mathematically model mixture problems. The mathematical model associated to this problem turns out to be a first order differential equation. In addition, the general solution to this model is presented here.

Keywords

Mathematical modelling, differential equations, mixing problems.

Hernández-Méndez, R. (2023). Modelización con ecuaciones diferenciales: el problema de las mezclas. *Azcatl. Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación*, 1 (9-13).

Introducción

En la mayoría de los programas de estudio de las ingenierías se tiene contemplado un curso de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO). En este curso, entre otros temas, se abordan las aplicaciones de ellas; esto con el objetivo de mostrar a los estudiantes la potencia que tienen las EDO para modelizar y resolver problemas de las ciencias básicas, o bien de las ingenierías.

Por lo anterior, es importante que los estudiantes sean capaces de modelizar y resolver problemas usando EDO. Algunos libros de texto, como Zill (2009) y Simmons (2016), hacen un esfuerzo por presentar la teoría asociada a las EDO con un enfoque de modelización matemática.

Por otro lado, una forma de llegar a un modelo matemático es a través de la *modelización matemática*, definida por Confrey y Maloney (2007) como «el proceso de enfrentar una situación indeterminada, problematizarla, produciendo investigación, razonamiento y estructuras matemáticas para transformar dicha situación» (p. 58). El proceso más simple para realizarla se muestra en la Figura 1.

Consideraciones preliminares

Vamos a definir un par de conceptos químicos y físicos que serán de utilidad para comprender el problema de las mezclas, a saber, la *concentración* y el *flujo volumétrico*.

Supongamos que tenemos un tanque de almacenamiento (ver Figura 2), en el cual se tiene mezclado de manera homogénea cierto volumen, V , de disolvente con cierta cantidad de soluto, S .

De química básica recordemos que la concentración, C , se define como la cantidad de soluto (en unidades de masa) disuelta en una cantidad dada de disolvente (en unidades de volumen). Matemáticamente se expresa

$$\text{como } C = \frac{S}{V}.$$

Ahora, supongamos que se tiene un tanque de almacenamiento con dos orificios, uno de entrada y otro de salida (ver Figura 3).

Definimos la tasa de flujo volumétrico, Q , de un fluido como el volumen de fluido que pasa a través de un

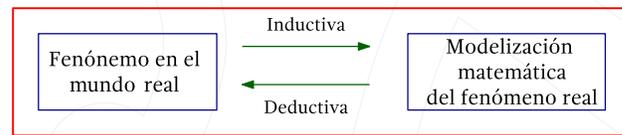


Figura 1. Esquema básico para la modelización matemática.

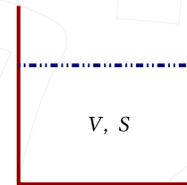


Figura 2. Solutos disueltos en disolvente.

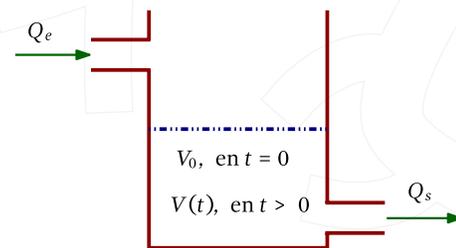


Figura 3. Flujo volumétrico.

área de sección transversal dada por unidad de tiempo.

Consideremos que al tiempo $t = 0$, se tiene en el tanque un volumen inicial de solvente, V_0 , y al paso del tiempo, t , se está bombeando hacia el tanque cierto flujo volumétrico de entrada, Q_e , y de igual forma se extrae del tanque cierto flujo volumétrico de salida, Q_s .

Lo anterior implica un cambio en el volumen del solvente, $V(t)$, en el tanque al paso del tiempo, t . Si al inicio (en $t = 0$) se tiene un volumen inicial de solvente, V_0 , entonces tendremos los siguientes casos:

- Si $Q_e = Q_s$, al paso del tiempo $V(t) = V_0$, es decir, el volumen en el tanque permanece constante.
- Si $Q_e > Q_s$, al paso del tiempo $V(t) > V_0$, es decir, el volumen en el tanque aumenta.
- Si $Q_e < Q_s$, al paso del tiempo $V(t) < V_0$, es decir, el volumen en el tanque disminuye.

Por lo anterior, el volumen, $V(t)$, de solvente en el tanque al paso del tiempo, t , está dado por la solución del problema de valor inicial (PVI)

$$\frac{dV}{dT} = Q_e - Q_s, \text{ con } V(0) = V_0. \quad (1)$$

Para resolver este PVI separamos variables e integramos, esto es

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dT} = Q_e - Q_s &\Leftrightarrow dV = (Q_e - Q_s) dt \Rightarrow \int dV \\ &= \int (Q_e - Q_s) dt \Rightarrow V(t) = (Q_e - Q_s)t + K. \end{aligned}$$

Sobre la última igualdad aplicamos la condición inicial $V(0) = V_0$, es decir, $V(0) = V_0 \Leftrightarrow V_0 = K \Rightarrow K = V_0$. Así, el volumen, $V(t)$, de solvente en el tanque al paso del tiempo está dado por

$$V(t) = V_0 + (Q_e - Q_s)t. \quad (2)$$

Planteamiento y modelización del problema de las mezclas

Supongamos que inicialmente, ($t = 0$), se tiene en un tanque de mezclado (ver Figura 4) cierta cantidad, V_0 , de solución donde hay disuelta una cantidad, S_0 , de un soluto. Ahora, a partir de $t = 0$ se comienza a bombear al tanque otra solución con una rapidez, Q_e (flujo volumétrico de entrada), y una concentración, C_e (concentración de entrada), del mismo soluto y, al mismo tiempo,

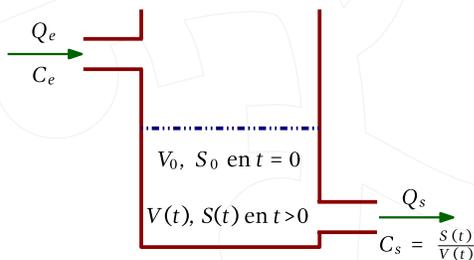


Figura 4. Flujo volumétrico.

po, se deja salir del tanque la nueva solución homogénea (bien mezclada) con una rapidez, Q_s (flujo volumétrico de salida), y una concentración, C_s (concentración de salida), del mismo soluto.

Consideraciones:

1. Si $Q_e = Q_s$, entonces la cantidad, V_0 , de solución se mantiene constante al paso del tiempo. Es decir, en términos cuantitativos, lo que entra es igual a lo que sale.
2. Si $Q_e \neq Q_s$, entonces la cantidad, V , de solución será función del tiempo, t , es decir, $V = V(t)$. De manera que, si $Q_e > Q_s \Rightarrow V(t) > V_0$ (el tanque se comenzará a llenar); mientras que, si $Q_e < Q_s \Rightarrow V(t) < V_0$ (el tanque se comenzará a vaciar).
3. La cantidad, S , de soluto en el tanque de mezclado será función del tiempo, t , es decir, $S = S(t)$.
4. La concentración, C , del soluto en el tanque será función del tiempo, t , y variará según $Q_e = Q_s$ o si $Q_e \neq Q_s$, es decir, cuando $Q_e = Q_s$ la concentración será $C(t) = \frac{S(t)}{V_0}$. Si $Q_e \neq Q_s$, entonces la concentración en el tanque será

$$C(t) = \frac{S(t)}{V(t)} = \frac{S(t)}{V_0 + (Q_e - Q_s)t}.$$

5. Un problema que es de interés en esta clase de procesos consiste en determinar la cantidad, $S(t)$, de soluto en el tanque en cualquier instante, $t \geq 0$.

Entonces, con base en lo anterior, nuestro problema es el siguiente:

Sea $S(t)$ la cantidad (en unidades de masa) de soluto en el tanque en cualquier instante, t . La rapidez con que cambia la cantidad de soluto $S(t)$, $\frac{d}{dt} S(t)$, es igual a la rapidez a la que el soluto ingresa al tanque menos la rapidez con la que el soluto sale del tanque. Lo anterior se modeliza mediante la EDO

$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{dt} &= Q_e C_e - Q_s C_s = Q_e C_e - Q_s \frac{S(t)}{V(t)} \\ &= Q_e C_e - \frac{Q_s}{V_0 + (Q_e - Q_s)t} S(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Además, si al inicio, ($t = 0$), se tiene una cantidad de soluto, S_0 , en el tanque, la cantidad de soluto, $S(t)$, al paso del tiempo, t , está dada por la solución del PVI:

$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{dt} + \frac{Q_s}{V_0 + (Q_e - Q_s)t} S(t) \\ = Q_e C_e, \text{ con } S(0) = S_0. \end{aligned} \quad (4)$$

Solución al problema de las mezclas

A continuación resolveremos el problema de las mezclas, para ello consideraremos tres casos distintos.

Caso 1

Cuando $Q_e = Q_s$, entonces el PVI (4) se reescribe como

$$S'(t) + \frac{Q_s}{V_0} S(t) = Q_e C_e, \text{ con } S(0) = S_0. \quad (5)$$

Para resolver este PVI debemos calcular un factor integrante asociado a la ED lineal de primer orden que modeliza el problema, esto es

$$\begin{aligned} p(t) &= \frac{Q_s}{V_0} \Rightarrow \int p(t) dt = \int \frac{Q_s}{V_0} dt \\ &= \frac{Q_s t}{V_0} \Rightarrow \mu(t) = e^{\frac{Q_s t}{V_0}}. \end{aligned}$$

Ahora multiplicamos la ED por $\mu(t)$, es decir,

$$\begin{aligned} \left(S'(t) + \frac{Q_s}{V_0} S(t) \right) e^{\frac{Q_s t}{V_0}} &= Q_e C_e e^{\frac{Q_s t}{V_0}} \Leftrightarrow \frac{d}{dt} \left(e^{\frac{Q_s t}{V_0}} S(t) \right) \\ &= Q_e C_e e^{\frac{Q_s t}{V_0}} \Rightarrow e^{\frac{Q_s t}{V_0}} S(t) = Q_e C_e \int e^{\frac{Q_s t}{V_0}} dt \\ & \quad \underbrace{u = e^{\frac{Q_s t}{V_0}} \Rightarrow du = \frac{Q_s}{V_0} e^{\frac{Q_s t}{V_0}} dt} \end{aligned}$$

$$= Q_e C_e \frac{V_0}{Q_s} \int e^u du = \frac{Q_e C_e V_0}{Q_s} e^u + K = \frac{Q_e C_e V_0}{Q_s} e^{\frac{Q_s t}{V_0}} + K.$$

Entonces la solución general a la ED asociada al PVI (5) es

$$S(t) = \frac{Q_e C_e V_0}{Q_s} + K e^{-\frac{Q_s t}{V_0}}. \quad (6)$$

Sobre (6) aplicamos la condición inicial $S(0) = S_0$, esto es

$$\begin{aligned} S(0) = S_0 &\Leftrightarrow \frac{Q_e C_e V_0}{Q_s} + K = S_0 \Rightarrow \\ K &= S_0 - \frac{Q_e C_e V_0}{Q_s} = \frac{S_0 Q_s - Q_e C_e V_0}{Q_s}. \end{aligned}$$

Ahora sustituimos el valor de K en (6), así,

$$S(t) = \frac{Q_e C_e V_0}{Q_s} + \frac{S_0 Q_s - Q_e C_e V_0}{Q_s} e^{-\frac{Q_s t}{V_0}},$$

entonces la solución al PVI (5) es

$$S(t) = \frac{1}{Q_s} \left[Q_e C_e V_0 + (S_0 Q_s - Q_e C_e V_0) e^{-\frac{Q_s t}{V_0}} \right]. \quad (7)$$

Finalmente, si consideramos que la cantidad inicial de soluto es cero, esto es $S(0) = 0$, la solución (7) se reescribe como

$$S(t) = \frac{Q_e C_e V_0}{Q_s} \left(1 - e^{-\frac{Q_s t}{V_0}} \right). \quad (8)$$

Caso 2

Cuando $Q_e > Q_s$, entonces $Q_e - Q_s > 0$ (positivo). Así, el PVI (4) se reescribe como

$$\begin{aligned} S'(t) + \frac{Q_s}{V_0 + (Q_e - Q_s)t} S(t) \\ = Q_e C_e, \text{ con } S(0) = S_0. \end{aligned} \quad (9)$$

Procedemos de manera similar que en el Caso 1. Lo anterior nos lleva a la solución del PVI (9), es decir,

$$S(t) = (V_0 + (Q_e - Q_s)t) \left[C_e + \frac{S_0 - C_e V_0}{V_0} \left(\frac{V_0}{V_0 + (Q_e - Q_s)t} \right)^{\frac{Q_e}{Q_e - Q_s}} \right]. \quad (10)$$

En el caso en que $S(0) = 0$, la solución (10) se reescribe como

$$S(t) = C_e (V_0 + (Q_e - Q_s)t) \left[1 - \left(\frac{V_0}{V_0 + (Q_e - Q_s)t} \right)^{\frac{Q_e}{Q_e - Q_s}} \right]. \quad (11)$$

Caso 3

Cuando $Q_e < Q_s$, entonces $Q_e - Q_s < 0$ (negativo), por ende, $-(Q_e - Q_s) > 0 \Rightarrow Q_s - Q_e > 0$. Así, el pvi (4) se reescribe como

$$S'(t) + \frac{Q_s}{V_0 - (Q_s - Q_e)t} S(t) = Q_e C_e, \quad \text{con } S(0) = S_0. \quad (12)$$

Entonces la solución del pvi (12) es

$$S(t) = (V_0 - (Q_s - Q_e)t) \left[C_e + \frac{S_0 - C_e V_0}{V_0} \left(\frac{V_0 - (Q_s - Q_e)t}{V_0} \right)^{\frac{Q_e}{Q_s - Q_e}} \right]. \quad (13)$$

En el caso en que $S(0) = 0$, la solución (13) se reescribe como

$$S(t) = C_e (V_0 - (Q_s - Q_e)t) \left[1 - \left(\frac{V_0 - (Q_s - Q_e)t}{V_0} \right)^{\frac{Q_e}{Q_s - Q_e}} \right]. \quad (14)$$

Conclusión

Para realizar modelización matemática usando ecuaciones diferenciales ordinarias, no sólo se deben contemplar elementos teóricos de las EDO, también debemos incluir aspectos cualitativos y cuantitativos del fenómeno físico o químico que deseamos estudiar. Lo anterior propicia un esquema que enriquece el aprendizaje de un adecuado proceso de modelización matemática de cierto fenómeno, en nuestro caso, del problema de las mezclas. Por otro lado, las soluciones al problema de las mezclas que aquí se presentan nos permitirán hacer un análisis más profundo sobre el fenómeno que estamos tratando de comprender.

Referencias

- Confrey, J., & Maloney, A. (2007). A Theory of Mathematical Modelling in Technological Settings. *Modelling and Applications in Mathematics Education* (pp. 58-68). Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-14>
- Simmons, G. F. (2016). *Differential equations with applications and historical notes*. CRC Press.
- Zill, D. G. (2009). *Ecuaciones diferenciales con aplicaciones de modelado* (9.ª ed.). Cengage Learning.

El conocimiento teórico y la evidencia empírica en el desarrollo de los reglamentos de construcción

Luciano Roberto Fernández Sola

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

lrfs@azc.uam.mx

Resumen

El desarrollo de reglamentos, códigos o normas de construcción que involucran al diseño sismorresistente es sumamente complejo debido a las pocas posibilidades que hay para valorar su efectividad. Los sismos, con las intensidades consideradas en las normatividades, son fenómenos que no se presentan de manera frecuente. Los códigos de diseño deben utilizar el conocimiento más avanzado disponible para disminuir las afectaciones ante un eventual sismo. Sin embargo, las nuevas teorías y desarrollos se fortalecen ante su comprobación empírica en condiciones reales, lo cual impone retos importantes a su integración en los cuerpos normativos. Algunos de estos retos se discuten en este trabajo.

Palabras clave

Códigos de diseño, diseño sismorresistente, conocimiento teórico y empírico.

Abstract

The development of building regulations for earthquake resistant structures is very complex due to the limited possibilities of assessing their effectiveness. High intensity earthquakes are not common and the possibilities to observe the behavior of the structures under its effects are limited. Building regulations should use the latest and most advanced knowledge available to reduce earthquake damage and their effects. However, new theories and design need empirical verification in real conditions which brings important challenges once they are incorporated in buildings regulations. Some of these challenges are discussed in this paper.

Keywords

Building codes, earthquake resistant structures, theoretical and empiric knowledge.

Cómo citar este artículo:

Fernandez, L. (2023). El conocimiento teórico y la evidencia empírica en el desarrollo de los reglamentos de construcción *Azcatl. Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación*, 1 (14-17).

El objetivo primordial de los reglamentos, normas y códigos de construcción es establecer los requisitos mínimos necesarios para asegurar el comportamiento adecuado de la infraestructura ante las diversas acciones a las cuales pueda estar sometida a lo largo de su vida útil. El término *comportamiento adecuado* puede resultar ambiguo y se presta a diversas interpretaciones. En el sentido más general, se puede considerar como comportamiento adecuado aquel que asegure la vida humana, que en el caso de la infraestructura está asociado primordialmente a evitar los colapsos. En un gran número de códigos y reglamentos de diseño se reconoce explícitamente este objetivo, abriendo la posibilidad de que la infraestructura, sobre todo en las edificaciones, pueda desarrollar daños ante condiciones de carga extrema, siempre y cuando no colapse. En México, como en muchas partes del mundo, la condición de carga más extrema a la que suelen estar sometidas las edificaciones son los efectos de los sismos. Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México (NTCS-20) definen como comportamiento adecuado cuando:

1. bajo sismos que pueden presentarse varias veces durante la vida de la estructura, se tengan, a lo más, daños que no conduzcan a la interrupción de la ocupación del edificio, y
2. bajo el sismo en que se basa la revisión de la seguridad contra colapso según estas normas, no ocurran fallas estructurales mayores ni pérdidas de vidas, aunque pueden presentarse daños y/o deformaciones residuales de consideración que lleguen a afectar el funcionamiento del edificio y requerir reparaciones importantes.

Esta definición del comportamiento adecuado de las edificaciones no está exenta que, ante sismos que puedan ocurrir una vez durante la vida útil de la edificación, los daños esperados en ésta sean mayores, de tal manera que puedan llevar a la necesidad de desocupar el inmueble e incluso a la decisión de que debe ser demolido. Las opiniones sobre los criterios establecidos como compor-

tamiento adecuado son diversas. Hay quienes argumentan consideraciones económicas y de optimización de recursos, defendiendo que el diseñar para evitar daños en sismos muy intensos es financieramente inviable y dejaría fuera del mercado a un alto porcentaje de la población. Otro punto de vista es que, ante la incertidumbre inherente al tamaño de las fuerzas que se pueden llegar a producir en los sismos, la única opción técnicamente viable de diseño es el controlar la manera en que las estructuras se dañan para evitar que se colapsen. Asimismo, existen visiones intermedias entre ambas opiniones que han sustentado el diseño sismorresistente desde los años 70.

No obstante, independientemente de las razones por las cuales las filosofías de diseño ante sismo han tomado el camino de permitir los daños en las estructuras, la realidad es que a nivel mundial la gran mayoría de reglamentos y códigos de diseño coinciden en la misma definición de comportamiento adecuado. En los últimos años, a la luz de los retos sociales y económicos impuestos por los daños extendidos provocados por los sismos, se ha puesto en el centro de la discusión la conveniencia de utilizar esta definición.

Entonces, la pregunta que surge es: ¿por qué es tan complicado, ya sea desde el punto de vista técnico o económico, poder diseñar las edificaciones para contener los daños al mínimo? La respuesta está íntimamente asociada con las limitadas posibilidades de observar empíricamente, en condiciones reales, los efectos de los sismos en edificaciones a escala real. Existe una relativa baja frecuencia de ocurrencia de sismos que tengan efectos en zonas con un inventario suficiente de edificaciones para poder validar o contrastar las diversas hipótesis y teorías asociadas con el comportamiento sísmico de las estructuras. En la propuesta de actualización de la Norma Técnica Complementaria para Diseño por Sismo (NTCS-23), se define que los sismos para los cuales se revisa que las edificaciones sufrirán daños menores son aquellos que estadísticamente se presentan con una periodicidad menor a uno cada 20 años. Esto significa que tenemos una oportunidad cada 20 años de valorar si efectivamente las edificaciones diseñadas conforme a los reglamentos no sufrirán daños. Si se quiere valorar el comportamiento de

las estructuras ante condiciones extremas y, por lo tanto, validar si los criterios normativos han alcanzado el nivel de comportamiento aceptable, se deberán observar los efectos de eventos sísmicos que estadísticamente ocurren con una periodicidad menor a uno cada 250 años.

Los eventos de gran magnitud, como los sismos de 1985, han impulsado el desarrollo científico y tecnológico en México en torno al diseño sismorresistente. Es inevitable e indudable como estos sucesos traumáticos para la sociedad funcionan como catalizadores en la evolución tanto del conocimiento como de la conciencia social alrededor de las afectaciones. Por otro lado, la poca frecuencia con que se presentan obliga a que el avance del conocimiento no se limite solamente a la evidencia empírica, sino que debe sustentarse fuertemente en el estudio teórico y experimental del comportamiento de los sistemas estructurales ante condiciones sísmicas, pues la sociedad no puede aceptar que los códigos de diseño, establecidos para proteger su seguridad, solamente se actualicen a la luz de la evidencia de los daños o al buen comportamiento de las edificaciones cada que suceda un sismo.

Sin embargo, el introducir conceptos, procedimientos y requisitos basados solamente en los estudios teóricos y experimentales puede no ser suficiente. Asimismo, se requiere un alto nivel de compromiso y responsabilidad por parte de aquellos que integran este tipo de documentos normativos, dado que sus decisiones tendrán implicaciones en el nivel de seguridad de la sociedad y en los costos asociados con la adquisición de los inmuebles. Esto pone a todos los actores que intervienen en el proceso de diseño y construcción de las edificaciones en una posición muy compleja con dilemas difíciles de superar en muchos casos.

Existe un sector de profesionales que ha planteado que es necesario integrar los conocimientos más actuales en los cuerpos normativos, para así adelantarnos a las posibles consecuencias de eventos futuros, aun cuando no se haya tenido oportunidad de valorar de manera empírica, en condiciones reales, si estas teorías son válidas o no. Opinan que sería imperdonable que teniendo evidencia teórica y experimental de algunos efectos, aun cuando no hayan sido observados y valorados fehacientemente

en un evento sísmico, no sean tomados en cuenta en los diseños futuros.

Por otra parte, otros especialistas consideran que no hay razón para integrar efectos que, aun cuando se hayan planteado y sustentado desde el punto de vista teórico y experimental, no se han observado en el comportamiento de las estructuras sometidas a sismos reales. Que el integrar estos requisitos o consideraciones de manera normativa y obligatoria sería un tanto irresponsable y poco sustentado.

Desde el punto de vista del autor de este trabajo, establecer un punto medio y un equilibrio entre ambas posturas es fundamental para dotar a la sociedad de un nivel de seguridad adecuado y asegurar el comportamiento aceptable que se ha definido en los cuerpos normativos. Sin embargo, el logro de dicho equilibrio es sumamente complejo y requiere de una discusión muy profunda y madura en la que intervenga un gran número de profesionales con amplia experiencia. Esta discusión debe permitir, por medio del conocimiento colectivo, establecer aquellos requisitos normativos que sean razonablemente adecuados y reflejen el nivel actual de conocimiento para el beneficio de la sociedad.

Un ejemplo de esta sinergia entre las experiencias vividas en los eventos sísmicos y la reflexión profunda de los preceptos teóricos utilizados para el diseño sismorresistente es la reconsideración respecto a los impactos de la aceptación de daños ante sismos intensos. Entre 2010 y 2020 se presentaron sismos de gran intensidad que afectaron zonas con muchos habitantes (el sismo de Maule en 2010, en Chile; el sismo de Christchurch en 2011, en Nueva Zelanda; y los sismos de Pijijiapan y de Chiutla de 2017, en México), en los cuales, aun cuando desafortunadamente se tuvieron que lamentar pérdidas humanas, éstas fueron relativamente pocas en comparación con la intensidad de los eventos. Sin embargo, la gran cantidad de edificaciones dañadas impusieron enormes desafíos adicionales para la recuperación de las comunidades. Los efectos de estos sismos revelaron varias situaciones que probablemente no habían sido adecuadamente valoradas. El permitir el daño controlado en las edificaciones reduce significativamente los colapsos, sin embargo, cuando el

número de edificaciones dañadas es elevado, el impacto social y económico puede ser tal que produzca situaciones críticas en las comunidades. Es por ello que la premisa del concepto *daño aceptable* utilizada en los reglamentos no parece ser ni entendida ni tolerada por la sociedad.

Derivado de esto, se han generado discusiones a nivel mundial respecto a un cambio en la orientación del diseño sismorresistente, evolucionando del concepto del diseño para daños controlados al concepto de la reducción o limitación de los daños. Existe una fuerte corriente a nivel internacional de replantear el diseño sismorresistente hacia un *comportamiento adecuado*, asociada a minimizar los daños, incluso para sismos de gran magnitud. A esta aproximación se le ha denominado *diseño sísmico resiliente*.

La introducción de estos cambios en las normativas y los códigos no es sencilla, pues requiere de un cuerpo vasto de conocimientos teórico-experimentales en torno a estas nuevas estrategias y de la observación empírica de la eficiencia de la aplicación de dichos conocimientos. Un ejemplo es el uso de diversos dispositivos y tecnologías para modificar y controlar el comportamiento sísmico de las edificaciones. Otro es establecer requisitos de comportamiento de las estructuras mucho más estrictos. Ambas condiciones conllevan impactos económicos, técnicos e incluso culturales en la forma de diseñar las estructuras.

Nuevamente, el introducir estas modificaciones de manera normativa como requisitos obligatorios de diseño requiere una discusión seria, colegiada y madura de los diversos sectores involucrados, realizando una valoración cuidadosa del equilibrio entre lo que está teórica y experimentalmente sustentado y lo que se ha observado de manera empírica. De nuevo, se presenta la disyuntiva de hasta qué punto se deben implementar de mane-

ra reglamentaria los nuevos conceptos que aún no han podido ser valorados de manera empírica o qué tanto se puede permitir el no adoptarlos aun cuando se han observado las limitaciones y problemáticas de no utilizarlos.

Es importante reconocer que la actualización continua de los códigos y normas de diseño, de manera razonada y responsable, deriva en una mejora progresiva del desempeño y comportamiento de la infraestructura y, por lo tanto, del nivel de seguridad tanto física como financiera de las comunidades que las ocupan.

Todos aquellos involucrados en la toma de decisiones alrededor del desarrollo de códigos, reglamentos y normativas deben ser conscientes del nivel de responsabilidad que conlleva tener un amplio panorama y experiencia respecto al balance entre los conceptos teóricos y experimentales y la evidencia empírica, además de contar con una madurez y nivel de ética tal que les permita que sus opiniones no se vean sesgadas por intereses o prejuicios. Igualmente, se debe hacer partícipe de alguna manera a la sociedad sobre la complejidad y las limitaciones que se presentan en el desarrollo de este tipo de documentos, para que, en primer lugar, sean conscientes de los riesgos asumidos y, posteriormente, puedan externar una opinión informada acerca del comportamiento adecuado de la infraestructura en la que desarrollan sus actividades.

Referencias

- Gobierno del Distrito Federal. (2020). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTCS-20)*. Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- Gobierno del Distrito Federal. (2020). *Proyecto de actualización de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTCS-20)*. Gaceta Oficial del Distrito Federal.

Coleccionar estampas: un ajuste de curvas para obtener una función que explique por qué es difícil llenar un álbum de estampas

Marco Antonio Rodríguez Andrade
Instituto Politécnico Nacional
algorismo@gmail.com

Resumen

En este artículo se aborda el problema del coleccionista, el cual consiste en coleccionar cierta cantidad de objetos, los cuales son comprados al azar. Se presenta un caso en el cual se compraron sobres, con cinco estampas cada uno, para llenar un álbum de 240 estampas. Se obtiene una función matemática que aproxima la cantidad de estampas coleccionadas en función de la cantidad de sobres que se han comprado. Asimismo, con esta misma función, se determina la cantidad de sobres que se deben comprar para casi llenar el álbum.

Abstract

This article deals with the collector's problem, which consists of collecting a certain number of objects, which are bought randomly. A case is presented in which envelopes were bought, with five stickers each, to fill an album of 240 stickers. A mathematical function is obtained that approximates the number of stickers collected as a function of the number of envelopes purchased. Likewise, with this same function, the number of envelopes that must be purchased to almost fill the album is determined.

Cómo citar este artículo:

Rodríguez, M. (2023). Coleccionar estampas: un ajuste de curvas para obtener una función que explique por qué es difícil llenar un álbum de estampas. *Azcatl. Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación*, 1 (18-23).

Introducción

El ajuste de curvas es un tema que suele abordarse en los laboratorios no avanzados de Física, donde es común que el docente ya conozca a qué función deben ajustarse los datos que se obtienen del experimento, de tal forma que se ajusten de manera óptima.

Para este experimento se compraron sobres para llenar un álbum de estampas y se llevó un registro de cuántas estampas se han coleccionado contra la cantidad de sobres comprados. Se supone que cada sobre contiene cinco estampas, todas ellas distintas entre sí.

Mediante el uso del *software* LAB Fit Curve Fit, con ajuste a cuatro parámetros, se obtienen varias curvas, las que mejor se ajustan a los datos. El comportamiento cualitativo de las funciones es usado para discriminarlas y sólo con aquellas funciones cuyo comportamiento cualitativo es factible se hace un ajuste de curvas a un sólo parámetro para obtener una mejor función.

Cabe mencionar que la librería de LAB Fit Curve Fit consta de más de 200 funciones y permite decidir cuáles de ellas se ajustan mejor a los datos, ordenándolas de acuerdo con el coeficiente de correlación.

Planteamiento del problema

Una afición común entre los niños y adolescentes es coleccionar estampas de algún tema especial, dichas estampas las adquieren en sobres cerrados. El coleccionista no sabe de antemano las estampas que va a obtener. Si el coleccionista debe reunir n estampas distintas, se pueden plantear dos problemas:

1. En caso de que el coleccionista haya adquirido k sobres, ¿se puede estimar la cantidad de estampas distintas que ha coleccionado?
2. ¿Cuál es el número esperado de sobres que debe comprar un coleccionista para tener al menos un ejemplar de todas las estampas?

El segundo problema se puede considerar resuelto si cada sobre sólo tiene una estampa, en este caso la solución del problema ya existe en el capítulo 28 del libro de Aigner y Ziegler (2010), pero en este mismo texto no aparece una respuesta para el primer problema.

Experimento

La Tabla 1 fue obtenida de la colección de estampas de un álbum en el cual se deben reunir 240 estampas.

Para el ajuste de curvas se ha usado un *software* muy útil llamado LAB Fit Curve Fit2 (LAB Fit ajuste de curvas), aunque existen varios programas libres que se pueden utilizar.

Al capturar los datos en el *software*, éste nos proporciona una gama de posibilidades para ajustar los datos anteriores; en este caso, el ajuste se hizo con cuatro parámetros. Los coeficientes de correlación son superiores a 0.98 y el programa organiza las funciones de orden decreciente de acuerdo con su coeficiente de correlación. Usando este criterio todas las funciones son factibles.

Al considerar el comportamiento cualitativo de las funciones, si $f(k)$ es la función que estima la cantidad de estampas distintas, entonces esta función debe cumplir que

- es no decreciente;
- está acotada, siendo n una cota superior, y
- $\lim_{k \rightarrow \infty} f(k) = n$.

Las funciones que se recomiendan se presentan en la Tabla 2.

En Aigner y Ziegler (2005), en el problema del coleccionista donde se desean coleccionar n objetos, se encuentra la relación

$$n \ln n$$

Tabla 1.

k	5	11	19	23	29	46	54	60	65	71	77	83	89	97	105
D.O.E*	24	49	76	99	113	145	161	173	180	186	194	200	205	210	215

* Datos obtenidos experimentalmente.

compras, con gran probabilidad de que se hayan coleccionado los n objetos. Cabe aclarar que cada compra es de sólo un objeto, el cual es elegido al azar.

En el caso de que estemos trabajando $n = 240$:

$$n \ln n \approx 1315.4 \quad \text{Ecuación 1}$$

La Tabla 3 muestra las funciones que mejor se ajustan a los datos que tienden a 240 cuando k tiende a infinito y se tiene un valor de t para el cual $f(s) \geq 239$, para $s \geq t$ y el coeficiente de correlación.

Lo anterior se hizo para que las tres funciones tendieran a 240, cuando x tiende a $y = Ak^{\frac{B}{x}}$ porque en este caso la función es decreciente.

En cada sobre vienen 5 estampas, por lo cual, para la función

$$f(k) = 240(1 - e^{-0.0212389k})$$

se tiene que $f(s) \geq 239$, para $s \geq t = 258$, es decir, hay que adquirir $5(258) = 1290$ estampas para coleccionar 240 estampas. En caso de que se compraran una por una al azar, de acuerdo con la ecuación 1, se requiere adquirir 1315 para reunir aproximadamente 239 estampas.

En otro contexto, si hay sobres con 5 estampas a 5 pesos el sobre, prácticamente tiene el mismo costo que comprar una por una al azar con un costo de 1 peso cada una.

Tabla 2.

$f(k)$	$\lim_{k \rightarrow \infty} f(k)$	Factible
$y = 361.68 k^{-7.1783k-0.8978}$	361.68	Sí, pero llevándola a un ajuste de dos parámetros
$y = \frac{10.786}{k} + 9.4497 \ln k$	∞	No
$y = \frac{321.44}{1 + 10.823 k^{-0.76366}}$	321.44	Sí, pero llevándola a un ajuste de dos parámetros
$y = \frac{k}{0.21848 + 28974 k - 28974 k^2}$	0	No
$y = 241.503 (1 - e^{-0.0292k})$	241.503	Sí, pero llevándola a un ajuste de un parámetro
$y = \frac{1}{238.38 + 16.257 k - \frac{19035}{k}}$	0	No
$y = 36.94 k^{0.57609k - \frac{2.9853}{k}} - 2.4453k$	Tiende a infinito	No
$y = 211.25 (e^{-0.009639k} - e^{-0.02351k})$	0	No
$y = 4.032 (\ln(k + 2.4495)^{2.9896}) - 1.8113 k$	Tiende a infinito	No
$y = 4.3764 (\ln(k + 1.5252)^{2.6507}) - 0.00493 k^2$	Tiende a infinito	No

Tabla 3.

$f(k)$	t	Factible
$y = 240 k^{-19.201294k-1.3495}$	2370	0.98067
$y = \frac{240}{1 + 160.007 k^{-1.4844}}$	1220	0.9917
$y = 240 (1 - e^{-0.0212389k})$	258	0.998
$y = 204 k^{\frac{5.5501}{k}}$	12500	0.98047

En otras palabras, adquirir sobres de 5 estampas, en las cuales todas son distintas, realmente no ofrece una ventaja significativa sobre comprar una por una al azar.

Ahora, se tiene que $\frac{5}{240} - 0.0122389 = -3.7906 \times 10^{-4}$, de lo cual se puede inferir que una buena opción es la función

$$f(k) = 240 \left(1 - e^{-\frac{5}{240}k}\right).$$

Una generalización del problema

Suponga que desea coleccionar M objetos, los cuales se van a adquirir, al azar, en paquetes de 5 (todos distintos); proponemos la función

$$f(k) = M \left(1 - e^{-\frac{5}{M}k}\right)$$

la cual estima la cantidad de objetos que se han coleccionado al realizar k compras, al establecer la ecuación

$$f(k) = M \left(1 - e^{-\frac{5}{M}k}\right) = M - 1,$$

cuya solución es

$$k = \frac{M}{5} \ln M.$$

Como en cada compra se obtienen 5 sobres, entonces se deben adquirir $M \ln M$ objetos para que aproximadamente $M-1$ sean distintos entre ellos. El resultado anterior es coherente con el encontrado en Aigner y Ziegler (2010).

Simulación

En el lenguaje Python se hicieron dos programas para simular a 20 coleccionistas que desean llenar un álbum con M estampas para $M = 100, 300, 500$.

En la Tabla 4 se muestran las gráficas generadas y en la Tabla 5, el código correspondiente.

Tabla 4.

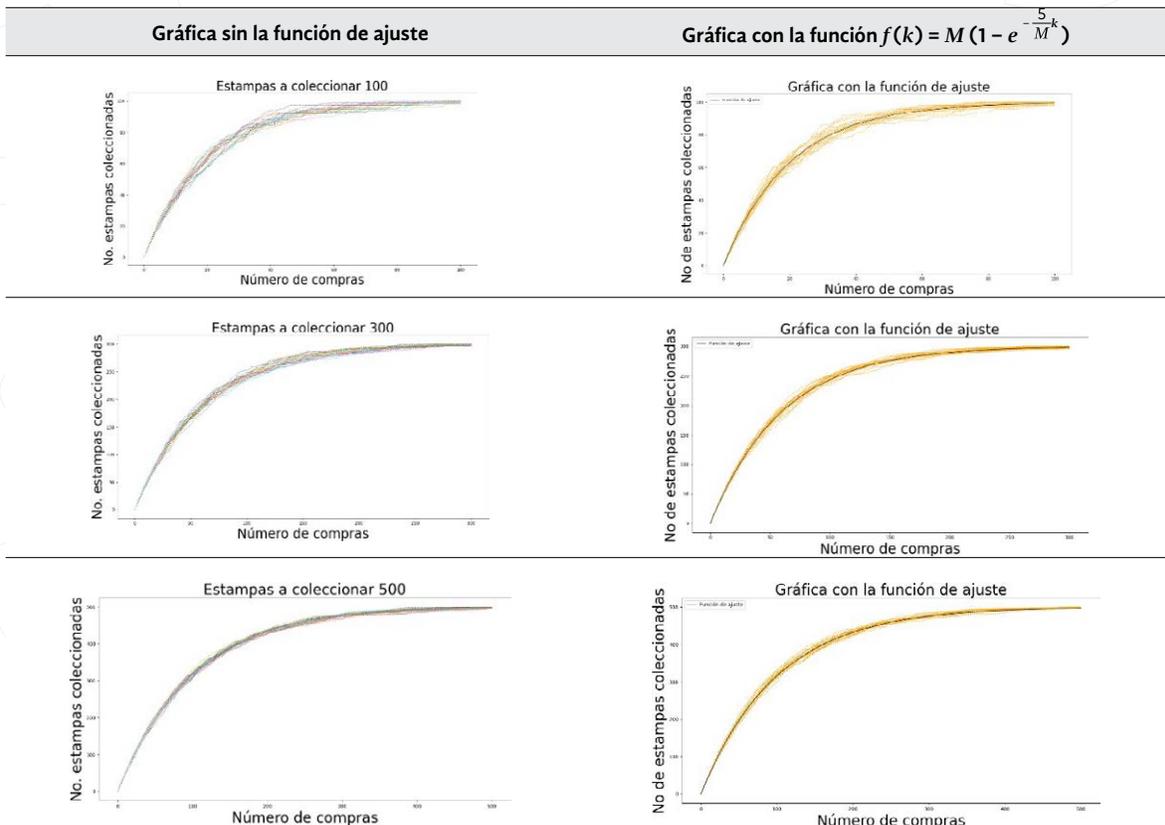


Tabla 5.

Programa 1

Programa 2

```

import random

import matplotlib.pyplot as plt

def generar_vector():

    numeros = random.sample(range(1,
241), 5)
return numeros

for a in
range(1,21):
x=
list(range(1
,241))

vector= generar_vector()

conjunto= set(vector) # Convierte el vector en un conjunto
y=[len(conjunto)]

for i in range(1,240):
    vector2=generar_vector()
    conjunto=conjunto.union(set(vector2))
    y.append(len(conjunto))
plt.plot(x, y, ',')

```

```

#Importamos librerias

import matplotlib.pyplot as plt

import
random
import
numpy
import
math
#K es el numero de sobres
compradosk=500
#L es la cantidad de coleccionistas en el experimentol=20
#M es la cantidad de estampillas diferentes que hay

M=500

#H es la cantidad de estampillas por sobreh=5
#Iniciamos la apertura de sobres por coleccionistafor p in
range (1):

    #Creamos arrays, uno que contenga al punto inicial y otrovacía
que contenga los puntos

    puntos =
set([])a=[0]

#Para cada sobre abierto

for i in range(k):

    #Creamos una lista de 5 enteros aleatorios entre 1 y M
    numeros = set([random.randint(1, M) for i in range(h)])#Los
unimos al conjunto que tenemos puntos=puntos|numeros
    #Checamos cardinalidad y lo agregamos al historial a
    a.append(len(puntos))

    #Graficamos el array a que es el historial de la
cardinalidad por apertura de sobre

    plt.plot(a,linestyle='dotted',color="orange")#Para la
función

x=numpy.array(range(10*k))*0.1
y=numpy.zeros(len(x))

for i in range(len(x)):

    #Gráfica de la función ajuste

    y[i]=M*(1-math.exp(-(h/M)*(x[i])))

#Graficamos la función

plt.plot(x,y,linewidth=1,color="black",label='Función deajuste')

#Mostramos y embellecemos la tabla

plt.title("Gráfica con la función de ajuste",fontsize=30)

plt.xlabel("Número de compras",fontsize=30) plt.ylabel("No de
estampas coleccionadas",fontsize=30) plt.legend()

plt.show()

```

Conclusiones

Una idea a priori, entre la población que colecciona estampas, es que hay una o varias estampas difíciles de conseguir, es decir, que algunas de éstas las imprimen en menor cantidad para dificultar el llenado del álbum. Una de las conclusiones de este ensayo es que no se requiere tal artimaña, el azar es suficiente para garantizar que cada coleccionista compre muchas estampas para casi llenar o llenar por completo el álbum.

Otra conclusión es que el hecho de que vendan sobres con 5 estampas, todas ellas distintas entre sí, en la práctica no proporciona mayor ventaja que ir comprando una por una al azar.

Desde el punto de vista didáctico y de divulgación, el problema presentado en este artículo proporciona una experiencia en la cual el alumno puede percatarse de lo siguiente:

1. El coeficiente de correlación no es un criterio suficiente para decidir cuál es la función más indicada que explique el problema tratado, pues pue-

den existir muchas funciones que se ajustan, con un alto índice de correlación, a los datos obtenidos, pero cualitativamente son funciones muy distintas.

2. Tener propiedades cualitativas del fenómeno abordado puede ayudar a discriminar entre diferentes opciones que se ajustan bien a los datos.
3. Considerando que los parámetros de ajuste son aproximaciones numéricas, el contexto del problema puede ayudar a ir mejorando el modelo matemático.
4. Las herramientas tecnológicas son útiles para resolver problemas, pero requieren de una correcta interpretación por parte del usuario para dar resultados satisfactorios.

Referencias

- Aigner, M. y Ziegler, G. (2005). *El libro de las demostraciones*. Nivola Libros Ediciones.
- Aigner, M. y Ziegler, G. (2010). *Proofs from THE BOOK*. Springer.

Los semiconductores, el control automático y el procesamiento de señales en los automóviles actuales

Juan J. Ocampo Hidalgo

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco
jjoh@azc.uam.mx

Iván Vázquez Álvarez

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco
iva@azc.uam.mx

Javier Alducín Castillo

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco
jac@azc.uam.mx

Jesús Ezequiel Molinar Solís

Tecnológico Nacional de México
jesus.ms@cdguzman.tecnm.mx

Resumen

En este artículo se describe la importancia de los circuitos integrados, el control automático y el procesamiento de señales en los vehículos automotores actuales. Se contestan preguntas, tales como ¿qué es un semiconductor?, ¿qué es una señal? y ¿qué es un sistema de control?, brindando así una explicación sucinta del rol que juegan estos elementos en los automóviles hoy día. Finalmente, se presentan algunas tendencias futuras hacia el desarrollo de vehículos autónomos.

Palabras clave

Circuitos integrados, control automático, señales eléctricas.

Abstract

This article describes the importance of integrated circuits, automatic control and signal processing in today's motor vehicles. It answers questions such as what is a semiconductor? what is a signal? and what is an automatic control system? Thus, it goes through a brief explanation of the role of these elements in automobiles today. Finally, some future trends toward the development of autonomous motor cars are presented.

Keywords

Integrated circuits, automatic control, electric signals.

Ocampo, J., Vázquez, I., Alducín, J. y Molinar, E. (2023). Los semiconductores, el control automático y el procesamiento de señales en los automóviles actuales. *Azcatl. Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación*, 1 (24-28).

¿Qué es un semiconductor?

Los semiconductores son materiales que tienen una conductividad eléctrica entre los conductores (como los metales) y los aislantes (como el vidrio), los cuales son muy importantes para la industria solar, ya que se utilizan en paneles solares para convertir la energía solar en electricidad. Estos materiales también son esenciales para la fabricación de diversos componentes electrónicos como los circuitos integrados o los chips. Estos últimos se utilizan en una amplia variedad de sistemas electrónicos, desde computadoras, teléfonos móviles, televisores hasta en los automóviles (Jaeger y Blalock, 2020). Como veremos, los semiconductores tienen múltiples funciones importantes en los vehículos automotores, incluyendo el control del motor, la gestión de la energía eléctrica en los autos híbridos o completamente eléctricos, así como en los sistemas de seguridad y de confort de cabina, entre otros.

¿Qué es un chip de silicio o circuito integrado?

Debido a sus propiedades y abundancia en la naturaleza, el material semiconductor más usado hoy en día es el silicio, cuyo símbolo químico es Si. Un chip de silicio o circuito integrado es un componente electrónico que contiene miles de millones de dispositivos electrónicos, tales como transistores, resistencias y capacitores en una pequeña pieza de silicio. Como se mencionó anteriormente, estos chips son esenciales para el funcionamiento de la mayoría de los sistemas electrónicos modernos, pero su uso no está limitado a los productos de la electrónica, ya que también tienen un gran campo de aplicación en los sistemas de transporte aéreo, marítimo y terrestre (Razavi, 2013).

¿Cuál es el papel de los circuitos integrados en los automóviles actuales?

Los circuitos integrados tienen un papel fundamental en los automóviles actuales. Estos pequeños componentes electrónicos se utilizan en una variedad de sistemas que van desde el control del motor hasta la seguridad. Ejemplo de ello son los sistemas de control de frenado, que impiden que el auto derrape al frenar de emergencia. Los circuitos integrados permiten una mayor eficiencia y

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period 1	1 H																	2 He
Period 2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
Period 3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
Period 4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
Period 5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
Period 6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
Period 7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuq	117 Uus	118 Uuo
Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

Figura 1. El silicio es el semiconductor más usado en la fabricación de chips (Pixabay, 2023).

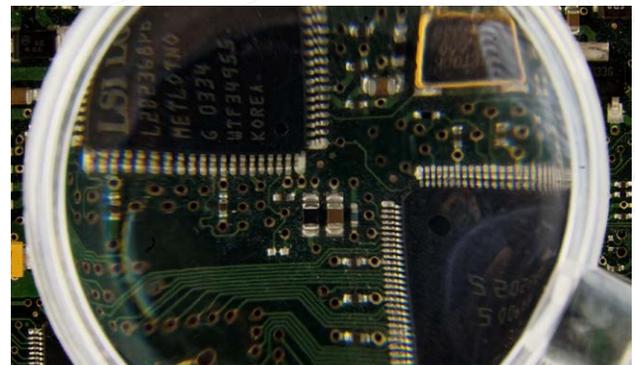


Figura 2. Dos circuitos integrados montados sobre la placa principal de un sistema electrónico (Pixabay, 2023).

precisión en el control de estos sistemas, lo que a su vez mejora la experiencia de conducción y la seguridad en la carretera. Otro campo muy amplio de su aplicación es en el entretenimiento de los pasajeros en la cabina, ya que se usan en las amenidades de reproducción de música o video. También desempeñan una función primordial en la navegación asistida por satélite, así como en la comunicación del vehículo con otros dispositivos y redes. Además, los avances en la tecnología de estos circuitos están permitiendo el desarrollo de vehículos más inteligentes y autónomos. En resumen, podemos decir que los chips permiten una mayor eficiencia energética, mejorando el rendimiento y la fiabilidad de los sistemas del automóvil.



Figura 3. El panel de instrumentos de un automóvil actual incluye, al menos, una pantalla electrónica sensible al tacto (Pixabay, 2023).

¿Qué es un sistema de control automático?

Se trata de un conjunto de elementos que permite que un proceso tenga la respuesta deseada. Dicho proceso puede ser muy simple, como el nivel de agua en el depósito de un inodoro, o muy complejo, como el control automático de navegación de un transbordador espacial. Algunos sistemas de control pueden operar sin tener una medición directa de la variable que se quiere controlar, la que se busca comparar contra el valor deseado. A estos sistemas se les conoce como sistemas de lazo abierto, su correcto funcionamiento requiere de un buen diseño y de que las condiciones de operación se mantengan constantes. Cuando es posible tener información del estado actual de nuestro proceso y esta información es utilizada para ajustar la operación a fin de tener la respuesta deseada, entonces se dice que tenemos un sistema de lazo cerrado; aquí la información se obtiene a través de sensores y es regresada a la entrada del sistema. Es importante mencionar que el ser humano puede formar parte, o no, del sistema de control.

¿Cuál es el papel de los sistemas de control automático en los vehículos automotores actuales?

La industria automotriz ha ido incrementando, de forma importante, el uso de controles automáticos para distintos sistemas y con objetivos muy diferentes. Así te-

tenemos sistemas enfocados en mejorar el desempeño del motor, la eficiencia en la transmisión, la seguridad, etcétera. Al igual que en el cuerpo humano hay órganos que funcionan de forma autónoma, como el corazón, en el automóvil hay sistemas donde se busca eliminar la intervención humana, a fin de mejorar la respuesta del mismo, un ejemplo son los frenos antibloqueo (ABS). Este sistema tiene como objetivo que el conductor pueda mantener el control sobre el vehículo en una frenada a fondo de forma intempestiva. Cuando esto sucede las ruedas se bloquean y el auto se desliza producto de la inercia, quedando vulnerable a cualquier fuerza lateral que llegue a presentarse. En un caso así, el sistema abs impide que las ruedas se bloqueen reduciendo la presión en el sistema de frenos. Si bien el conductor presiona el pedal y activa los frenos, el abs opera de forma autónoma reduciendo la presión para evitar el bloqueo y luego incrementándola nuevamente para continuar con el frenado; el proceso se repite muchas veces mientras se mantiene presionado el pedal.

Otra muestra de sistemas de control en seguridad de un automóvil son los sistemas avanzados de ayuda a la conducción (ADAS), que incluyen el frenado autónomo de emergencia, el mantenimiento activo de carril y la detección de vehículos en punto ciego. Para su operación cuentan con una serie de sensores distribuidos en el automóvil que monitorean el entorno en cada instante (Pérez *et al.*, 2015).

En cuanto al desempeño, tenemos también una serie de aplicaciones de control automático, por ejemplo, para estabilizar la inyección de combustible a la cámara de combustión existe la ECU (unidad electrónica de control), la cual se encarga de mantener una mezcla óptima de combustible y aire que en principio se ajusta de acuerdo a valores preestablecidos por el fabricante, pero también recibe información de las emisiones de gas del escape y si detecta variaciones en la mezcla combustible-aire se generan ajustes en la ECU.

La transmisión también cuenta con sistemas de control, inmediatamente podríamos pensar en las transmisiones automáticas que van desde sistemas de un funcionamiento más sencillo, como las transmisiones continuamente variables (CVT), hasta las transmisiones

que funcionan con lógica difusa para cambios más eficientes.

Si bien un automóvil puede funcionar con nada más que la operación humana, para conseguir las condiciones de seguridad, eficiencia y desempeño actuales es indispensable contar con sistemas de control automático.

Para introducirnos al tema de las señales, debemos recordar que existen sensores que toman información y la envían a un chip procesador, el cual, mediante un algoritmo de control, genera una señal de salida que es enviada a un actuador, mismo que produce una acción. Ahora bien, hay que entender que las señales que se están enviando y recibiendo están en un ambiente de mucho ruido, no solo acústico sino también electromagnético, por lo que la comunicación debe tener ciertas especificaciones. En la década de los ochenta se introdujo el canal de datos can (por sus siglas en inglés de red de área de control), que establece como debe ser la comunicación desde la conexión física de los cables hasta el método para el empaquetado y envío de la información, lo cual permite que puedan operar correctamente los sistemas automáticos (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2015).

¿Qué es una señal?

Una señal es un signo, rasgo, nota o imagen que se usa para informar o dar aviso de algo. Desde el siglo XIX se ha usado una cantidad eléctrica, como el voltaje o la corriente,

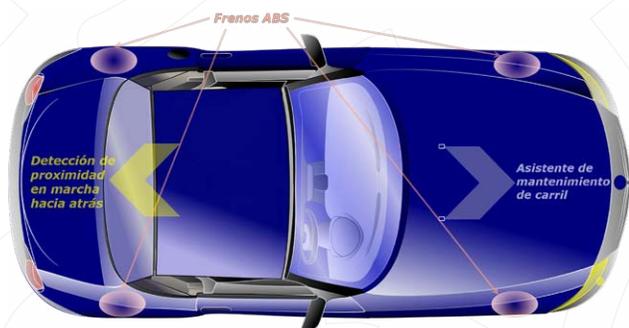


Figura 4. Algunos sistemas de control automático que asisten en la conducción de un vehículo automotor (Pixabay, 2023).

te, para representar la información que se desea comunicar. Desde entonces se habla de las señales eléctricas y su estudio es de primordial importancia en los sistemas de comunicación y entretenimiento, tales como la radio y la televisión. En estos sistemas electrónicos de comunicación, para transmitir sonidos e imágenes se debe cambiar algún parámetro de los ya mencionados para llevar a cabo el envío de la información deseada. Así, actualmente estamos rodeados de una gran cantidad de señales artificiales creadas con la intención de comunicar y transmitir información. También existen muchos fenómenos naturales, por ejemplo, en el cuerpo humano, que brindan datos acerca del estado de salud de una persona. Entre otros, se encuentran la frecuencia cardíaca y respiratoria o los niveles de oxigenación en sangre. Dichos fenómenos biológicos también pueden ser representados por medio de señales eléctricas. Lo ideal es que la información que conlleva una señal eléctrica sea clara y pura, es decir, que sólo comunique datos útiles del fenómeno; sin embargo, al momento de generarla, transmitirla y recibirla pueden agregarse perturbaciones, lo que puede alterar los datos originales, esto a menudo dificulta reconocer la información de interés.

¿Qué es el procesamiento de señales?

Para recuperar la información contenida en las señales eléctricas, dos disciplinas de la Ingeniería conocidas como el análisis y el procesamiento de señales brindan las herramientas para resaltar, extraer, almacenar o transmitir de manera adecuada la información de una señal.

Cada vez que se toma una fotografía y se usa un filtro para modificar la imagen, cuando se toma una placa de rayos X, cuando se hace una llamada telefónica y en otras muchas actividades típicas de la vida diaria se hace uso del procesamiento de señales. Por lo tanto, ésta es una herramienta muy valiosa en campos como la Comunicación, la Medicina, la Ingeniería y la investigación científica.

¿Dónde se usa el procesamiento de señales en los automóviles actuales?

Como se ha mencionado, hoy en día un automóvil tiene, en promedio, de 20 a 40 sistemas, basados en chips,



Figura 5. El procesamiento de señales en un automóvil puede conseguir que se reconozcan las señales de tránsito y se ajuste la velocidad del vehículo o se corrija la tracción en un piso resbaloso (Pixabay, 2023).

que monitorean una gran cantidad de señales de información, necesarias para el buen funcionamiento de éste. Desde la cantidad de oxígeno en la mezcla de combustible, el sistema de control de transmisión, las bolsas de aire, los controles de asistencia de frenado y de estabilidad hasta el sistema de audio con el que escuchas tu música favorita y el sistema de navegación con el que puedes llegar a tu destino dependen de las señales y su adecuado procesamiento. En vehículos con mayores prestaciones también se presentan sistemas de detección de objetos y personas, así como de conducción asistida. Ejemplos de estos últimos son el control de crucero adaptativo o el sistema de mantenimiento de carril.

Estos sistemas tienen que procesar miles de datos en poco tiempo, en completa armonía, brindando toda la información necesaria al chip de la unidad de control o computadora del automóvil (Dickmann *et al.*, 2022).

¿Cuáles son las perspectivas de aplicaciones futuras?

Las noticias de la vida diaria hacen evidente que existe una carrera por desarrollar autos sin conductor. Dejando de lado las implicaciones legales, éticas y legislativas, estas tendencias generan muchos retos por resolver, tales

como el reconocimiento de imágenes en ambientes ruidosos o en alta velocidad. Las soluciones a estos retos hacen extensivo uso del poder de cómputo ofrecido por los nuevos sistemas dedicados al automóvil, en un solo chip, que la industria de semiconductores ofrece (Ahmad, 2020).

Referencias

- Ahmad, A. (4-5 de junio de 2020). *Automotive Semiconductor Industry-Trends, Safety and Security Challenges* [Conferencia invitada]. 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions), Noida, India. <https://doi.org/10.1109/ICRITO48877.2020.9197894>
- Dickmann, J., Klappstein, J., Bloecher, H. L., Muntzinger, M. y Meinel, H. (31 de octubre-2 de noviembre de 2022). *Automotive radar-“quo vadis?”* [Conferencia]. 19th European Radar Conference, Amsterdam, Países Bajos.
- Earle, D., Wallis, D. y Wenham, R. (2-3 noviembre de 2022). *Future architecture and design trends for automotive control systems* [Conferencia]. 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Roanoke, VA, Estados Unidos.
- International Organization for Standardization. (s.f.). ISO Road Vehicles, Controller Area Network CAN 11898 2015. ISO 11898-1:2015(en), Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 1: Data link layer and physical signalling
- Jaeger, R. C. y Blalock, T. N. (2020). *Microelectronic circuit design*. McGraw-Hill.
- Pérez, J., González, D. y Milanés, V. (2015). Vehicle control in ADAS applications: state of the Art. En A. Perallos, U. Hernández-Jayo, E. Onieva e I. J. García (Ed.). *Intelligent transport systems: technologies and applications* (pp. 206-219). John Wiley and Sons.
- Pixabay Free Images (2023). <https://pixabay.com/es/>
- Razavi, B. (2013). *Fundamentals of microelectronics*. John Wiley and Sons.



Detección de daño en edificios usando sensores

Carlos Manuel González Gutiérrez

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco

gonzalez.carlosmanuel@outlook.com

Resumen

Los edificios son propensos a sufrir degradación a lo largo del tiempo, lo que se conoce como daño estructural. En este artículo se trata el uso de técnicas aplicadas a los edificios para medir su nivel de daño mediante sensores. La respuesta física de un edificio depende de las propiedades de sus materiales. La estrategia es usar este principio para detectar los cambios en la salud de una estructura. Asimismo, se discuten las experiencias de la inspección de daño realizada por sismos en Ciudad de México, la tecnología de sensores y los retos en su implementación.

Palabras clave

Ingeniería Estructural, detección de daño, sensores.

Abstract

Buildings are subject to degradation through time, so called structural damage. This article deals with damage detection techniques applied to buildings using sensors.

The physical response of a building is dependent on his material properties. The strategy is to use this principle to detect changes in the structural health. Experience in damage inspection in Mexico City, sensing technology and implementation challenges are discussed.

Keywords

Structural Engineering, damage detection, sensors.

Cómo citar este artículo:

González, C. (2023). Detección de daño en edificios usando sensores. *Azcatl. Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación*, 1 (29-32).

Introducción

La enfermedad

A lo largo de nuestra vida estaremos propensos a enfrentar situaciones que afecten nuestra salud, es decir, enfermarnos. De la misma forma que las personas, los edificios también están propensos a sufrir una degradación en su condición de salud (estructura) a lo largo del tiempo, lo que se le conoce como daño estructural (Doebing *et al.*, 1996)

Cuando una persona enferma, en el mejor de los casos, asiste con el experto de la salud, un médico. El especialista hará las pruebas necesarias y con base en su experiencia dictaminará la condición en la salud de la persona. Algo similar se realiza en los edificios, por ejemplo, después de un sismo. Los edificios se mueven, se agrietan, su salud estructural se ve afectada. En este caso, el especialista que lo revisa no es un doctor, sino un ingeniero civil (estructurista).

Cuando el médico toma su decisión sobre la salud de las personas, abusando de la analogía, requiere en muchas ocasiones del apoyo de estudios de laboratorio, los cuales complementan la exploración física para que el médico tome una mejor decisión. En este artículo se tratan los *estudios* aplicados a los edificios. Específicamente aquellos que hacen uso de sensores para medir su nivel de daño.

La experiencia

Durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 una gran cantidad de edificios se vieron sujetos a una sacudida violenta. La demanda en la revisión de la salud de las estructuras después de este temblor aumento rápidamente.

La estrategia a seguir en 2017 fue la misma que en el sismo de 1985. Una brigada accede al edificio, realiza un recorrido y con base en una serie de criterios determina si el edificio es seguro, si se debe desalojar y reparar o se debe demoler. Código verde, amarillo y rojo, respectivamente. A esto se le conoce como una estrategia de Monitoreo de la Salud Estructural Basada en Inspección Visual.

En 2017, en muchas ocasiones, las inspecciones visuales fueron practicadas por personal con poca o nula capa-

citación. Personal que se vio obligado a emitir, con el mayor de sus conocimientos, una opinión sobre la salud de la estructura a sus ocupantes, todos ellos con las mismas preocupaciones: ¿mi casa se puede ocupar?, ¿es segura?, ¿debo reparar mi casa?, ¿se debe demoler?

Una desventaja de esta estrategia, la basada en la inspección visual, es que depende del criterio del especialista. Es subjetiva. La grieta parece peligrosa, a otro no le preocupa, otro más la pasó por alto. A esta condición se le suma otra agravante; muchos de los elementos estructurales (los huesos y los músculos del edificio) no son accesibles a la inspección, pues están bloqueados por los acabados, el mobiliario o «no tenemos la llave». ¿Cómo se mide el daño en algo que no se puede ver?

En vista de la gran incertidumbre, en varios casos, las conclusiones del estado de las estructuras en 2017 terminaron siendo contradictorias; código verde, amarillo y rojo a la vez. Situación que deja en mal visto los procesos de evaluación de la salud de las estructuras y genera una gran preocupación en los ocupantes de las mismas. Exactamente 32 años pasaron entre 1985 y 2017, ¿cómo esperamos que sea el monitoreo de la salud de las estructuras en el futuro?

Discusión

La tecnología

No tan recientemente, el avance de la tecnología ha permitido, en otras ingenierías distintas a la civil, el desarrollo de estrategias de medición y control de los sistemas mediante el uso de sensores; cada vez más, éstos se vuelven más poderosos, más pequeños y más baratos (Hearn y Testa, 1991). ¿La misma tecnología se puede aplicar a la Ingeniería Estructural? A este nuevo enfoque se le conoce como Monitoreo de Salud de las Estructuras Basada en el Estudio de Vibraciones.

Los sensores son aparatos capaces de registrar la respuesta dinámica de un edificio, es decir, cómo se mueve. En principio, la respuesta física de un edificio depende de las propiedades de sus materiales. Si hay un cambio en las propiedades (daño), entonces el edificio se move-

rá diferente. La estrategia es usar este principio para detectar los cambios en la condición —de salud— actual de una estructura.

El desarrollo de electrónica más avanzada permitirá la colocación de uno o una red de sensores en un edificio, capaces de medir su respuesta dinámica. Con la tendencia tecnológica ya no es imposible pensar en una instrumentación que pueda ser permanente o móvil, alámbrica o inalámbrica, a bajo coste en el futuro (Rainieri y Fabbrocino, 2014).

La información (la respuesta dinámica) se pasa por una serie de criterios (algoritmos) en una computadora. Ésta los procesa y arroja al usuario datos duros, con base en éstos se toma la decisión sobre la salud de la estructura (Limongelli y Celebi, 2019).

Entre las distintas ventajas que tiene la estrategia de Monitoreo de Salud de las Estructuras Basada en el Estudio de Vibraciones se encuentra que es cuantitativa. Adicional, los sensores son capaces de recoger información de partes del edificio en donde no se tenga acceso, ya que pueden obtener la respuesta global del sistema (Nichols y Murphy, 2016). Asimismo, la revisión puede realizarse en poco tiempo, ya que los cálculos se ejecutan con la velocidad de una computadora (Brincker y Ventura, 2015).

Basta recordar que la degradación en el rendimiento de las estructuras no se da únicamente tras ser sometidas a solicitaciones accidentales (sismo o vientos), también se presenta por falta de mantenimiento o de manera natural con el paso del tiempo. El uso de sensores para medir los edificios podría, entre otras cosas, establecer rápidamente el grado de seguridad de las estructuras en cualquier momento que sea requerido.

¿Esto quiere decir que debemos olvidarnos de las inspecciones visuales? Seguramente no. Recordemos que la decisión sobre la condición de salud es tomada por una persona: un médico, un ingeniero. A medida que esta persona tenga mayor información tomará una mejor decisión. En ese sentido, las técnicas basadas en el estudio de vibraciones deben verse como un complemento; como lo que es, la aplicación de los avances de la tecnología a la Ingeniería Estructural.

La resistencia en su implementación

Hoy en día es difícil para una empresa, por ejemplo la automotriz, el vender uno de sus productos (vehículos) que no cuente con alguna forma de medir su rendimiento en la operación; la velocidad, las revoluciones por minuto, presiones, temperaturas, etcétera. ¿En el caso de los edificios se cuenta con alguna información sobre su estado de operación?, ¿por qué?, ¿quién decidió que el automóvil se mida y el edificio no?

La resistencia para adoptar la tecnología de monitoreo de salud de las estructuras, basada en el estudio de vibraciones, suele ser el costo y la incertidumbre (Farrar y Worden, 2013). Como toda tecnología, el comienzo es complicado y plagado de incertidumbre. Se tiene desconocimiento, lo que lleva a una tendencia conservadora y a frenar nuevas aplicaciones, lo que en sí forma un círculo, ya que esto limita su desarrollo, causando que las implementaciones sean, además, costosas.

Conclusiones

En este artículo se presentó el concepto de la detección de daño en edificios usando sensores, una aplicación de la tecnología para complementar las inspecciones visuales; además de la estrategia de medición de las propiedades dinámicas del sistema para detectar cambios en la salud estructural. Igualmente, se expusieron las experiencias de inspección de daño en sismos históricos en Ciudad de México, algunos puntos relevantes en el desarrollo de la tecnología de sensores y algunos de los retos en su implementación.

Se identificó al coste y a la incertidumbre como el origen de la resistencia para adoptar la tecnología de sensores. Finalmente, se concluye que el tiempo y mayor investigación en el tema podrían impulsar la confianza en la técnica. Por la naturaleza de los sensores, es de esperarse que el esfuerzo sea un trabajo en conjunto con otras áreas de la Ingeniería (mecánica, eléctrica, telecomunicaciones, etcétera) además de la Ingeniería Civil.

Referencias

Brincker, R. y Ventura, C. (2015). *Introduction to operational modal analysis*. John Wiley & Sons.

Doebling, S., Farrar, C., Prime, M. y Shevitz, D. (1996). Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: a literature review. *The Shock and Vibration Digest*, 30.

Farrar, C. R. y Worden, K. (2013). *Structural health monitoring a machine learning perspective*. John Wiley & Sons.

Hearn, G. y Testa, R. B. (1991). Modal analysis for damage detection in structures. *Journal of Structural Engineering*, 117(10), pp. 3042-3063.

Limongelli, M. P. y Celebi, M. (2019). *Seismic structural health monitoring from theory to successful applications*. Springer.

Nichols, J. M. y Murphy, K. D. (2016). *Modeling and estimation of structural damage*. John Wiley & Sons.

Rainieri, C. y Fabbrocino, G. (2014). *Operational modal analysis of civil engineering structures*. Springer.

Operaciones de mantenimiento en energía eólica *offshore*: un modelo de evaluación para el uso de embarcaciones y demanda de combustible

Stephanie Eugenia Ordonez Sanchez
University of Strathclyde
s.ordonez@strath.ac.uk

Molly Isaacs
University of Strathclyde

Resumen

Las operaciones y el mantenimiento (O&M) de la energía eólica *offshore* son fundamentales para el éxito de esta tecnología. Sin embargo, hay poca investigación sobre el consumo de combustible y las emisiones de carbono asociadas con estas embarcaciones. Este estudio presenta una herramienta que simula el movimiento de las embarcaciones y evalúa el consumo de combustible y las emisiones durante las actividades de O&M en dos casos de estudio. Los resultados muestran que anualmente se utilizan entre 590 y 790 mil litros de MGO (*marine gas oil*) para las embarcaciones de O&M en dos parques eólicos en el Reino Unido, lo que contribuye a un promedio de 2100 toneladas de emisiones de CO₂.

Palabras clave

Energía eólica *offshore*, operaciones y mantenimiento (O&M), descarbonización.

Abstract

The operations and maintenance (O&M) of *offshore* wind energy are crucial for the successful operation of this technology. However, there is limited research on the amount of fuel and carbon emissions associated with these vessels. This study presents a tool that simulates vessel movement and evaluates fuel consumption and emissions during O&M activities for two case studies. The results show that between 590 and 790 thousand liters of MGO (marine gas oil) are used annually for O&M vessels in two wind farms in the United Kingdom, contributing to an average of 2100 tons of CO₂ emissions.

Keywords

Offshore wind, operations and maintenance, decarbonisation.

Cómo citar este artículo:

Ordonez, S. y Isaacs, M. (2023). Operaciones de mantenimiento en energía eólica *offshore*: un modelo de evaluación para el uso de embarcaciones y demanda de combustible. *Azcatl. Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación*, 1 (3-36).

Introducción

El sector de la energía eólica *offshore* depende en gran medida de la logística marina en todas las etapas de su ciclo de vida, desde el transporte y alojamiento de trabajadores hasta el movimiento y almacenamiento de piezas, así como la instalación y el acceso a los aerogeneradores. Ren *et al.* (2021) estimaron que el costo del arrendamiento de embarcaciones representa el 50 % de los costos totales de un parque eólico a lo largo de su vida útil.

Según Burges Salmon (2021), la mayoría de estos costos provienen de la etapa de operaciones y mantenimiento (O&M) que dura entre 25 y 30 años y utiliza principalmente embarcaciones de transferencia de tripulación (CTV por sus siglas en inglés) y embarcaciones de operación y mantenimiento (SOV por sus siglas en inglés). En este caso, la comprensión y cuantificación del consumo de combustibles fósiles en las operaciones y el mantenimiento es fundamental para evaluar el impacto ambiental y desarrollar estrategias efectivas de descarbonización.

Metodología

Para fines de esta investigación se usó el modelo MO-VUMA (*maintenance offshore-vessel utilisation and movement assessment* por sus siglas en inglés), el cual fue creado en Matlab y se puede encontrar en Isaacs (2022). MO-VUMA utiliza las especificaciones de un parque eólico ejemplo para modelar el diseño de una matriz de turbinas, las cuales se conforman a través de una matriz rectangular.

Luego simula fallas en las turbinas de forma aleatoria, en función de una tasa de falla ingresada, así como el despliegue y movimiento de las embarcaciones de O&M alrededor del sitio del parque eólico para visitar y reparar cada turbina fallida. Al combinar esto con las especificaciones de las embarcaciones, el modelo MO-VUMA calcula la distancia recorrida por las mismas y el tiempo que pasan en espera en el sitio. Así, MO-VUMA proporciona un modelo único de O&M centrado en el uso de embarcaciones.

Para explorar la capacidad de este modelo se simulieron dos escenarios de estudio, los cuales incluyen dos parques eólicos.

Escenario 1: Verificación

El escenario presentado en el informe de Gray (2021) representa un parque eólico cercano a la costa con 50 turbinas (matriz 10 x 5) y una estrategia de O&M basada sólo en CTV. Se replicaron exactamente las embarcaciones y los parámetros de parque eólico utilizados en el estudio de Gray, luego se simuló en MO-VUMA para comparar y verificar la distancia y la utilización de las embarcaciones calculadas por la metodología presentada en este artículo.

Escenario 2: Humber Gateway

El parque eólico Humber Gateway consta de 72 turbinas (matriz 9 x 8) V112 de Vestas de 3 MW que cubren un área de aproximadamente 25 km². Una revisión de las embarcaciones, utilizando MarineTraffic, mostró que las CTV de Windcat son comunes en los parques eólicos del Reino Unido; por lo tanto, se tomó un Windcat MK4 como embarcación de referencia para el presente estudio, usando valores de consumo de combustible de 310 l/h (en tránsito), 120 l/h (merodeando) y un factor de emisiones de 2.775 kgCO₂e/l. Cabe destacar que se ha asumido una tasa de visita a las turbinas de 0.052 (lo cual significa que en promedio se realizan 19 visitas de embarcaciones anuales, de acuerdo a los valores publicados por ORE Catapult (2021); el mismo valor se utilizó para el estudio de verificación) y una velocidad de la embarcación de 48.2 km/h, lo que difiere de la simulación del escenario 1. Estos valores fueron elegidos con base en los reportes hechos por ORE Catapult (2021) y Windcat Workboards (2022).

Resultados

El análisis inicial mostró acuerdo entre los dos modelos en cuanto a la proporción de tiempo dedicado al tránsito en comparación con el tiempo de espera en campo (Figura 1). Sin embargo, los resultados informados por Gray (2021) para la distancia total recorrida y la utilización de las embarcaciones durante un año fueron de 22 493 km y 4295 horas, respectivamente. Mientras tanto, el modelo MO-VUMA calculó una distancia anual de 31 095 km y 5028 horas de utilización de las embarcaciones.

Para analizar esta discrepancia, se desglosó la utilización de las embarcaciones por horas, por actividad (ver Figura 1). Se encontró una diferencia significativa del 209 % en el consumo de combustible predicho. La tasa de consumo de combustible durante el tránsito (320 L/h) es mayor que durante la espera (120 L/h). Por lo tanto, el consumo total de combustible tiene una alta sensibilidad al tiempo dedicado al tránsito, a pesar de que esta actividad representa una pequeña proporción del tiempo total de uso de la embarcación. La diferencia en los cálculos de tránsito de turbina a turbina de los modelos, discutida anteriormente, explica el gran contraste en las predicciones de consumo anual de combustible.

Según el informe publicado por Gray (2021), se encontró que la metodología utilizada en su modelo asumía que una vez que una embarcación había llegado al sitio se recorrerían 15 km adicionales para dejar/recoger a los técnicos para el viaje completo a cuatro turbinas. Esto indica que en su simulación se asume que todas las turbinas visitadas están contiguas. Si bien esto puede ser cierto para actividades de mantenimiento planificadas o programadas, es poco probable en el caso de mantenimiento no planificado, donde las turbinas fallidas estarán dispersas ampliamente en el sitio. Es importante destacar que Gray también mostró que se utilizó más tiempo de la embarcación para el mantenimiento de turbinas no planificado que para el planificado. Por lo tanto, se cree que el recurso MO-VUMA desarrollado para este estudio proporciona una representación más apropiada del tránsito de turbina a turbina, debido a la aleatorización de las fallas en la matriz de turbinas eólicas. Por otro lado, los resultados del parque eólico Humber Gateway muestran que anualmente se utilizan 589 262 litros de MGO, contribuyendo a 1831 ktCO₂e de emisiones para las actividades O&M.

Para una verificación adicional, se empleó el consumo de combustible y las emisiones asociadas resultantes de la utilización de las embarcaciones de otros estudios, incluyendo el escenario 2, los cuales se observan en la Figura 2. La simulación del escenario 2 usó valores diferentes en la tasa de visita a las turbinas y la velocidad de la embarcación para reflejar los datos más actualizados de la revisión SPARTA. Se puede observar que los resultados

obtenidos concuerdan con las estadísticas de emisiones más recientes de Orsted (2021). Esto indica que la herramienta MO-VUMA puede calcular con precisión el consumo de combustible y las emisiones de las embarcaciones, lo que ofrece valor para el análisis del ciclo de vida (LCA) en el sector eólico offshore.

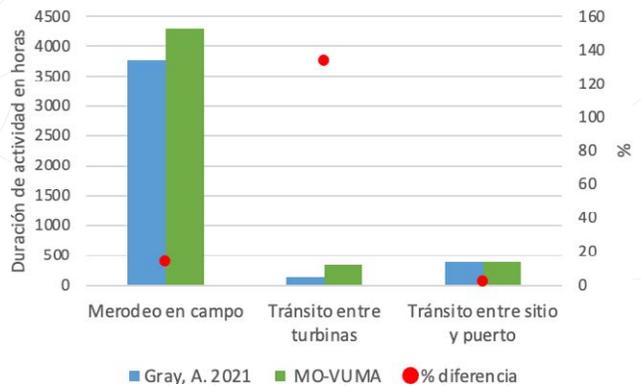


Figura 1. Uso anual de las embarcaciones, por actividad, pronosticado para el escenario 1.

Nota. Adaptada de *Decarbonising maintenance operations in offshore wind: an assessment model for vessel usage, fuel demands and the use of hydrogen as an alternative fuel*, por Isaacs, 2022, Strathclyde University.

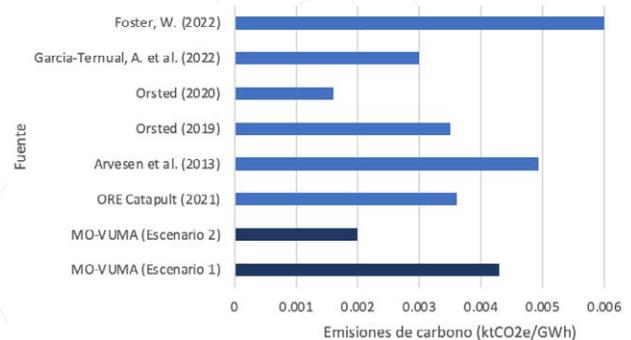


Figura 2. Las emisiones de carbono de las embarcaciones de O&M en comparación con los datos de la literatura.

Nota. Adaptada de *Decarbonising maintenance operations in offshore wind: an assessment model for vessel usage, fuel demands and the use of hydrogen as an alternative fuel*, por Isaacs, 2022, Strathclyde University.

Conclusiones

Este estudio ha presentado un nuevo instrumento, MO-VUMA, para la simulación de los movimientos de las embarcaciones de O&M alrededor de un parque eólico con la finalidad de evaluar el consumo de combustible. La evaluación y validación del recurso MO-VUMA arrojó resultados sobre el consumo de combustible de las embarcaciones de O&M que desafían los valores actuales, con una estimación 209 % más alta que la informada por Gray. Sin embargo, a través del estudio comparativo, se llegó a la conclusión de que la base de tiempo y estadística de la herramienta MO-VUMA provee una herramienta alternativa a los modelos actuales para representar el movimiento de turbina a turbina. Como tal, la metodología MO-VUMA proporciona una manera más sencilla para estimar el uso de las embarcaciones, el consumo de combustible y las emisiones.

Referencias

Burges Salmon. (2021). *Offshore wind: the changing landscape of offshore operation & maintenance*. <https://www.burges-salmon.com/news-and-insight/legal-updates/energy-power-utilities/offshore-wind-the-changing-landscape-of-offshore-operation-and-maintenance>

- Gray, A. (2021). *Setting a benchmark for decarbonising O&M vessels of offshore wind farms*. ORE Catapult. https://ore.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2021/02/VesselEmissionsOM_Final.pdf
- Isaacs, M. (2022). *Decarbonising maintenance operations in offshore wind: an assessment model for vessel usage, fuel demands and the use of hydrogen as an alternative fuel* [Tesis de maestría]. Strathclyde University.
- ORE Catapult. (2021). *SPARTA portfolio review 2020/21*. <https://ore.catapult.org.uk/?orecatapultre-ports=sparta-portfolio-review-2020-21>
- Orsted. (2021). *Sustainability report*. <https://orsted.com/en/who-we-are/sustainability/sustainability-report/esg-ratings-and-reporting#our-sustainability-reports-2021>
- Ren, Z., Verma, A. S., Li, Y., Teuwen, J. y Jiang, Z. (2021). Offshore wind turbine operations and maintenance: a state of the art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110886>
- Windcat Workboards. (2022). *Windcat mk4*. <https://www.windcatworkboats.com/portfolio/windcat-mk4/>

Aprendizaje automático aplicado a la caracterización de nanoestructuras base carbono

Luis Enrique Vivanco Benavides

Tecnológico Nacional de México,
Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco

enrique.sic@tesco.edu.mx

Cecilia Mercado Zúñiga

Tecnológico Nacional de México,
Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco

cecilia@tesco.edu.mx

Resumen

Las nanoestructuras base carbono han sido objeto de un creciente interés debido a sus notables propiedades físicas y su potencial para aplicaciones en una amplia gama de campos, desde la Electrónica hasta la Medicina. Sin embargo, comprender y caracterizar completamente estas estructuras a nivel atómico es un desafío complejo debido a su naturaleza intrínsecamente multidimensional y a la enorme cantidad de datos involucrados. En este artículo exploramos cómo el aprendizaje automático, una rama de la inteligencia artificial, ha revolucionado el estudio y la caracterización de las propiedades físicas de nanoestructuras base carbono, permitiendo avances significativos en este campo.

Palabras clave

Informática de materiales, nanotubos de carbono, propiedades estructurales.

Abstract

Carbon-based nanostructures have been the subject of increasing interest due to their remarkable physical properties and their potential for applications in a wide range of fields, from Electronics to medicine. However, fully understanding and characterizing these structures at the atomic level is a complex challenge due to their inherently multidimensional nature and the enormous amount of data involved. In this article we explore how machine learning, a branch of artificial intelligence, has revolutionized the study and characterization of the physical properties of carbon-based nanostructures, allowing significant advances in this field.

Keywords

Materials informatics, carbon nanotubes, structural properties.

Cómo citar este artículo:

Vivanco, L. y Mercado, C. (2023). Aprendizaje automático aplicado a la caracterización de nanoestructuras base carbono. *Azcatl. Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación*, 1 (37-41).

Introducción

En los últimos años, el campo de la nanotecnología ha experimentado avances significativos en el modelado de nanomateriales. La mejora en las técnicas de caracterización sigue siendo un hito importante en el estudio y comprensión de diversos nanomateriales, los cuales tienden a poseer propiedades que son difíciles de medir y pronosticar. Una de las estructuras más fascinantes que ha capturado la atención de los investigadores son los nanotubos de carbono (NTC), ya que estas estructuras cilíndricas formadas por átomos de carbono dispuestos en una red hexagonal poseen propiedades físicas que exhiben un enorme potencial para emplearlas en diversas aplicaciones, abarcando campos como la Electrónica, la Física, la Química y la Biomedicina, por mencionar algunos. Sin embargo, comprender completamente sus propiedades físicas sigue siendo un desafío. Las propiedades complejas de ésta y de otras nanoestructuras base carbono ha motivado la búsqueda de métodos computacionales que agilicen su estudio. En este sentido, el aprendizaje automático (AA) ha demostrado su utilidad en el estudio de los nanomateriales, reduciendo tiempos de diseño y producción (Rajan, 2013), y permitiendo ahondar en la comprensión de sus propiedades físicas (Isayev *et al.*, 2019). El AA ha tenido tal impacto en el campo de la nanotecnología que recientemente ha surgido la informática de materiales (IM), definida como la implementación de la ciencia de datos en problemas inherentes a la ciencia de materiales, ofreciendo una poderosa herramienta para diseñar y descubrir materiales (Rickman *et al.*, 2019). El presente trabajo explora cómo el AA ha innovado en el estudio de los NTC y la caracterización de sus propiedades físicas, permitiendo avances significativos en el campo de la IM.

Metodología

Los artículos presentados en esta revisión de literatura corresponden a publicaciones recientes de revistas registradas en el Journal Citation Report (JCR) sobre campos como nanotecnología, ciencia de materiales, Física y multidisciplinarias; dichas revistas pertenecen a editoriales como Elsevier, Springer e IOP.

Resultados y discusión

El AA es una rama de la inteligencia artificial que realiza el reconocimiento de patrones basándose en estimaciones probabilísticas, lo cual ha atraído la atención de los científicos debido a su capacidad para modelar diferentes sistemas con alta precisión (Ramezanizadeh *et al.*, 2019). Existen dos enfoques principales en las tareas de AA: el aprendizaje supervisado (AS) y el no supervisado (ANS). El AS utiliza datos preetiquetados para aprender la relación entre una salida Y y una entrada X , y está supervisado en el sentido de que debe ser informado de los valores de Y y los valores correspondientes de X (Vasudevan *et al.*, 2021). Asimismo, incluye una amplia variedad de funciones no lineales para extraer conocimiento mediante enfoques de *big data* (Agrawal y Choudhary, 2019). Por otro lado, el ANS aprende las propiedades de los datos sin ninguna guía previa, agrupándolos en conglomerados según sus características (Morgan y Jacobs, 2020), teniendo la ventaja de analizar datos sin necesidad de etiquetarlos, lo que a menudo requiere mucho tiempo y recursos de forma explícita.

Existe una gran cantidad de algoritmos de AA, convirtiéndolo en una herramienta altamente adaptable. Uno de ellos son las redes neuronales artificiales (RNA). Estos métodos son óptimos para el reconocimiento de patrones (Butler *et al.*, 2018), pronóstico de fenómenos físicos

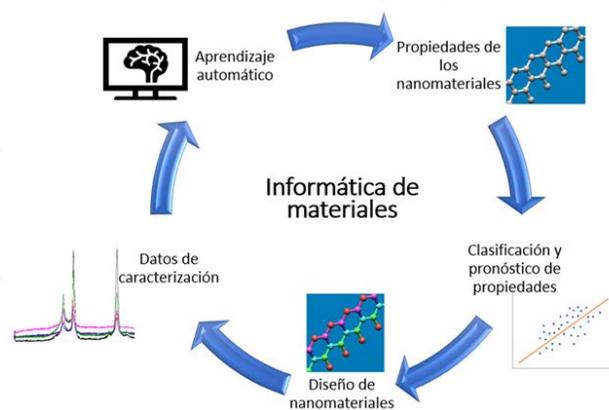


Figura 1. Ciclo de trabajo de la im en el estudio de propiedades de los nanomateriales.

y también para el modelado de nanomateriales (Cheng *et al.*, 2021). Las diferentes variantes de RNA permiten utilizar este enfoque mediante AS y ANS. Métodos como el antes mencionado se han comenzado a utilizar en el campo de la IM con éxito, facilitando el estudio de diversos nanomateriales y obteniendo resultados que con métodos convencionales no sería posible. Un componente crucial en la IM es la obtención y representación de datos experimentales, ya que de ellos dependerá el rendimiento del AA. La Figura 1 representa gráficamente un ciclo de trabajo básico de la IM, donde los datos de caracterización entrenan al AA. Los resultados de estos modelos permiten clasificar y/o pronosticar propiedades de los nanomateriales, con lo cual se optimiza el diseño de éstos.

Aprendizaje automático en el estudio y caracterización de NTC

Se ha comprobado que el AA puede utilizarse en el estudio de propiedades físicas de NTC (Vivanco *et al.*, 2022) (Vivanco-Benavides *et al.*, 2022, en la optimización de la caracterización (Oliynyk y Buriak, 2019) y en el modelado de nanocompuestos reforzados con NTC (Ni *et al.*, 2021). Igualmente es útil en el análisis de la conductividad en NTC para su uso en aplicaciones industriales (Matos *et al.*, 2019). El estudio morfológico de los NTC mediante AA ha permitido pronosticar sus propiedades mecánicas de pared simple (NTCPS) a partir de resultados de simulación de dinámica molecular (Čanadija, 2021).

El AA ha comenzado a ser un auxiliar de gran importancia para identificar los grados de calidad en su morfología. Singh *et al.* (2021). Además, se ha comprobado que el AA puede utilizar los datos resultantes de técnicas como la espectroscopia Raman para extracción de patrones significativos. Por ejemplo, Sheremetyeva *et al.* (2020) estudiaron las propiedades vibratorias del grafeno con AA a partir de sus espectros Raman. Asimismo, la importancia de los espectros Raman se hace evidente en el trabajo de Wahab *et al.* (2020), donde se utilizan datos experimentales de dicha técnica y se optimizan con AA para la detección de defectos en el grafeno. Por otro lado, Scarisoreanu *et al.* (2019) implementaron AA en es-

pectros Raman para la caracterización automática por lotes de nanopartículas y Kajendirarajah *et al.* (2020) lo implementaron para lograr un mapeo espectral Raman optimizado, demostrando que el AA es capaz de mejorar los resultados obtenidos por técnicas de caracterización convencionales. Cabe resaltar que los espectros Raman requieren someterse a un proceso de extracción de parámetros antes de que el AA pueda clasificarlos de manera precisa y confiable.

También se ha utilizado AA para determinar los índices quirales de NTC a partir de imágenes de microscopía electrónica de transmisión (MET) (Förster *et al.*, 2020). Aunque permanece la incógnita de saber si es posible determinar tendencias de homogeneidad en NTC mediante AA a partir de imágenes de met y de microscopía electrónica de barrido (MEB).

El uso de ntc para el desarrollo de materiales y nanocompuestos presenta gran relevancia en un gran número de campos. Bagherzadeh y Shafighfard (2022) utilizaron una combinación de algoritmos de AA para caracterizar materiales compuestos cementosos reforzados con NTC con alto grado de precisión. En contextos similares se ha utilizado AA para predecir la resistencia a la compresión en sistemas de materiales a base de cemento mezclados con NTC, determinando los parámetros óptimos de las propiedades de éstos (Li *et al.*, 2022). Asimismo, se ha logrado predecir la conductividad térmica en nanocompuestos poliméricos reforzados con NTC mediante métodos complejos de AA que al compararse con datos experimentales demuestran un alto grado de efectividad (Liu *et al.*, 2022). Con esto, el AA expone su potencial de convertirse en un método versátil en el diseño de nanocompuestos y materiales reforzados con NTC, analizando no sólo sus propiedades físicas individuales sino también su influencia en materiales compuestos.

Conclusiones

El AA es una herramienta novedosa en el estudio de los NTC, proporcionando nuevas perspectivas para los procesos de caracterización. Gracias a esta tecnología es posible analizar grandes cantidades de datos experimen-

tales y extraer información valiosa que con métodos de caracterización convencionales sería difícil obtener. El AA ha acelerado el avance en el análisis de propiedades físicas de NTC, abriendo nuevas posibilidades de aplicación en el desarrollo de nanosensores en campos como la Electrónica, la Medicina y la energía. Si bien el AA ha demostrado ser una herramienta poderosa, aún existen desafíos por superar. La disponibilidad de datos de alta calidad y la interpretación correcta de los resultados son aspectos críticos que requieren atención continua. Además, es importante mantener un enfoque multidisciplinario, donde expertos en ciencia de datos y en ciencia de materiales trabajen juntos para aprovechar al máximo la inteligencia artificial en el campo de la nanotecnología. El AA tiene el potencial de desempeñar un papel fundamental en la caracterización de nanoestructuras base carbono como los NTC y el grafeno, ayudando a desentrañar sus secretos y acelerar su aplicación en diversas áreas. Se espera que el AA siga impulsando la investigación en este campo, permitiendo avances aún más significativos en el desarrollo y aplicación de nanocompuestos cada vez más eficientes.

Referencias

- Agrawal, A. y Choudhary, A. (2019). Deep materials informatics: Applications of deep learning in materials science. *MRS Communications*, 9(3), 779-792. <https://doi.org/10.1557/mrc.2019.73>
- Bagherzadeh, F. y Shafighfar, T. (2022). Ensemble machine learning approach for evaluating the material characterization of carbon nanotube-reinforced cementitious composites. *Case Studies in Construction Materials*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01537>
- Butler, K. T., Davies, D. W., Cartwright, H., Isayev, O. y Walsh, A. (2018). Machine learning for molecular and materials science. *Nature*, 559(7715), 547-555. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0337-2>
- Čanadija, M. (2021). Deep learning framework for carbon nanotubes: Mechanical properties and modeling strategies. *Carbon*, 184, 891-901. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.08.091>
- Cheng, Y., Wang, T. y Gang, Z. (2021). Artificial intelligence for materials science. *Springer Series in Materials Science*, 1. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-68310-8>
- Förster, G. D., Castan, A., Loiseau, A., Nelayah, J., Alloyeau, D., Fossard, F., Bichara, C. y Amara, H. (2020). A deep learning approach for determining the chiral indices of carbon nanotubes from high-resolution transmission electron microscopy images. *Carbon*, 169, 465-474. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.06.086>
- Isayev, O., Tropsha, A. y Curtarolo, S. (Eds.) (2019). *Materials informatics: Methods, tools and applications*. Wiley-VCH. <https://doi.org/10.1002/9783527802265>
- Kajendirajah, U., Olivia Avilés, M. y Lagugné-Labarthet, F. (2020). Deciphering tip-enhanced Raman imaging of carbon nanotubes with deep learning neural networks. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 22(32), 17857-17866. <https://doi.org/10.1039/DoCP02950E>
- Li, Y., Li, H., Jin, C. y Shen, J. (2022). The study of effect of carbon nanotubes on the compressive strength of cement-based materials based on machine learning. *Construction and Building Materials*, 358. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129435>
- Liu, B., Vu-Bac, N., Zhuang, X., Fu, X. y Rabczuk, T. (2022). Stochastic full-range multiscale modeling of thermal conductivity of Polymeric carbon nanotubes composites: A machine learning approach. *Composite Structures*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.115393>
- Matos, M. A. S., Pinho, S. T. y Tagarielli, V. L. (2019). Predictions of the electrical conductivity of composites of polymers and carbon nanotubes by an artificial neural network. *Scripta Materialia*, 166, 117-121. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2019.03.003>
- Morgan, D. y Jacobs, R. (2020). Opportunities and challenges for machine learning in materials science.

- ce. *Annual Review of Materials Research*, 50, 71-103. <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070218-010015>
- Ni, D., Wu, W., Guo, Y., Gong, S. y Wang, Q. (2021). Identifying key parameters for predicting materials with low defect generation efficiency by machine learning. *Computational Materials Science*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2021.110306>
- Oliynyk, A. O. y Buriak, J. M. (2019). Virtual issue on machine-learning discoveries in materials science. *Chemistry of Materials*, 31(20), 8243-8247. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.9b03854>
- Rajan, K. (2013). Materials informatics: An introduction. En *Informatics for Materials Science and Engineering: Data-Driven Discovery for Accelerated Experimentation and Application* (pp. 1-16). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394399-6.00001-1>
- Ramezanizadeh, M., Ahmadi, M. H., Nazari, M. A., Sadehzadeh, M. y Chen, L. (2019). A review on the utilized machine learning approaches for modeling the dynamic viscosity of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109345>
- Rickman, J. M., Lookman, T. y Kalinin, S. V. (2019). Materials informatics: From the atomic-level to the continuum. *Acta Materialia*, 168, 473-510. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2019.01.051>
- Scarisoreanu, M., Ilie, A., Dutu, E., Badoi, A., Dumitriche, F., Tanasa, E., Mihailescu, C. N. y Mihailescu, I. (2019). Direct nanocrystallite size investigation in microstrained mixed phase TiO₂ nanoparticles by PCA of Raman spectra. *Applied Surface Science*, 470, 507-519. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.11.122>
- Sheremetyeva, N., Lamparski, M., Daniels, C., Van Troeye, B. y Meunier, V. (2020). Machine-learning models for Raman spectra analysis of twisted bilayer graphene. *Carbon*, 169, 455-464. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.06.077>
- Singh, S., Junaid, Z. Bin, Vyas, V., Kalyanwat, T. S. y Rana, S. S. (2021). Identification of vacancy defects in carbon nanotubes using vibration analysis and machine learning. *Carbon Trends*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2021.100091>
- Vasudevan, R., Pilania, G. y Balachandran, P. V. (2021). Machine learning for materials design and discovery. *Journal of Applied Physics*, 129(7). <https://doi.org/10.1063/5.0043300>
- Vivanco, L. E., Martínez, C. L., Mercado, C. y Torres, C. (2022). Machine learning and materials informatics approaches in the analysis of physical properties of carbon nanotubes: A review. *Computational Materials Science*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2021.110939>
- Wahab, H., Jain, V., Tyrrell, A. S., Seas, M. A., Kotthoff, L. y Johnson, P. A. (2020). Machine-learning-assisted fabrication: Bayesian optimization of laser-induced graphene patterning using in-situ Raman analysis. *Carbon*, 167, 609-619. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.05.087>

