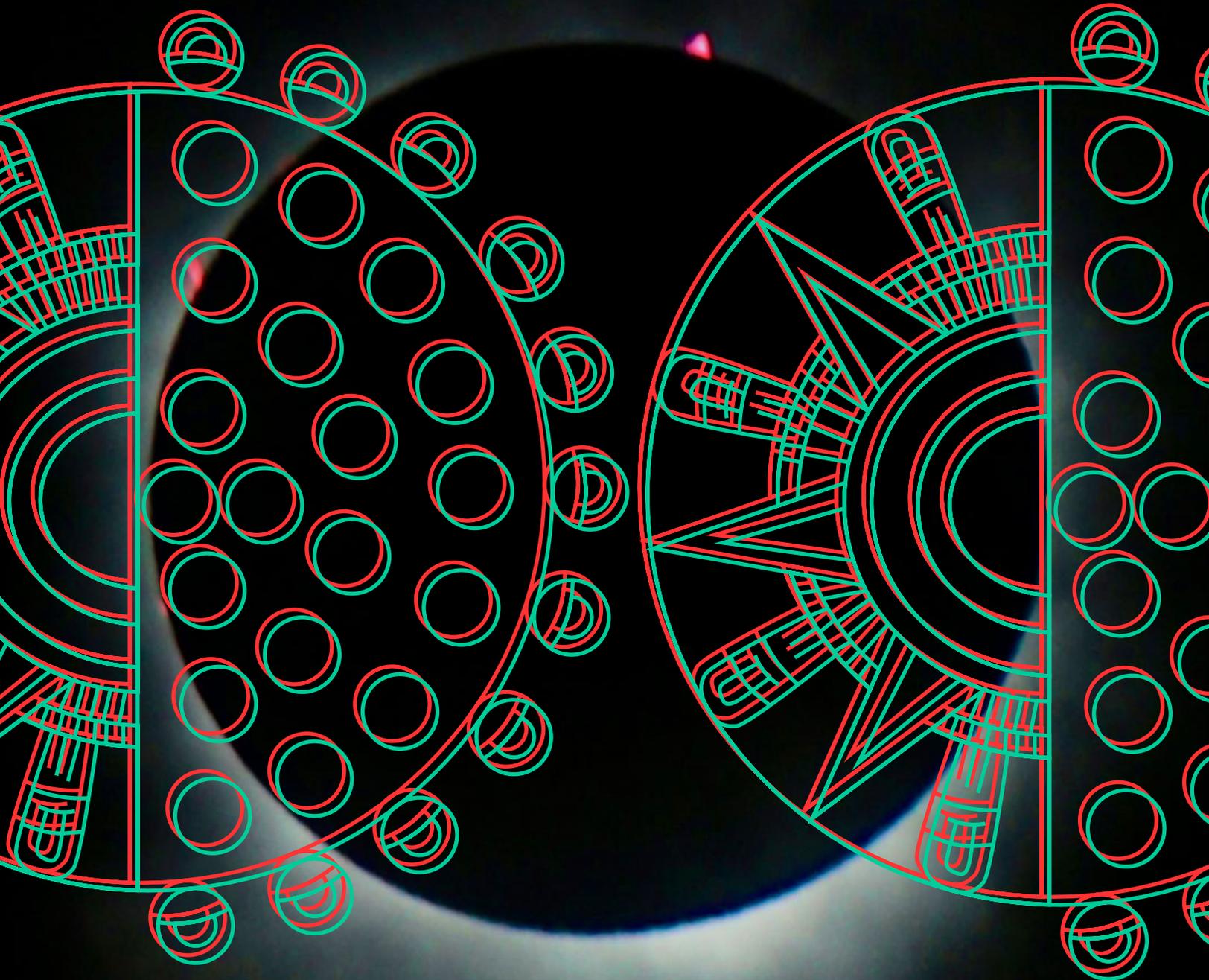


AZCATL

Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

Año 2. Número 2. Enero-junio 2024, DOI: [10.24275/AZCATL20241A](https://doi.org/10.24275/AZCATL20241A)



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
 Dr. Rafael Escarela Pérez
Director de División

Dra. Maricela Claudia Bravo Contreras
Secretaria académica

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. Luciano Roberto Fernández Sola

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

D.G.A.D. José Eduardo García Rodríguez
 D.C.G. Irene Jehosabet Vázquez López
Maquetación

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 2, Número 2, enero-junio de 2024, 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: 30 de junio de 2024. Tamaño del archivo 4,7 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.

Tabla de contenidos

Editorial.....	1
Introducción.....	3
<i>A la cacería de eclipses solares</i>	4
Gabriela Isabel Vera Garfias, César Simón López Monsalvo, Alberto Rubio Ponce, Sergio Islas Ramírez y José Luis Hernández Ávila	
<i>Coleccionar estampas: una modelación matemática para explicar el porqué es difícil llenar un álbum de estampas</i>	11
Marco Antonio Rodríguez Andrade y María Eugenia Vega Flores	
<i>El costo ambiental de los textiles</i>	15
Maribel Velasco Pérez, Alethia Vázquez Morillas, Rosa María Espinosa Valdemar y Margarita Beltrán Villavicencio	
<i>Los colores del Cielo</i>	20
Gerardo Odriozola, Catalina Haro-Pérez y Carlos-Alejandro Vargas	
<i>Visualización del estado de la educación de la ingeniería en computación en el ámbito nacional y en la Universidad Autónoma Metropolitana</i>	32
Juan Manuel Galindo Medina, Román Anselmo Mora Gutiérrez y Rafaela Blanca Silva López	
<i>¿Por qué las gotas de lluvia son ubicuas en la naturaleza?</i>	44
Leonardo Di Girolamo Sigalotti y Otto Rendón	
<i>Usos actuales de tecnología en los procesos de producción y mercadotecnia de la industria de la moda</i>	49
Jessica Susana Prieto González e Iddaly Méndez Gurrola	
<i>Accesibilidad digital para personas con pérdida auditiva y sordera</i>	54
Isaías Loaiza Ramírez y Beatriz Adriana González Beltrán	



El propósito de esta nota es desarrollar una reflexión que nos permita unificar, en lo fundamental y cuando sea posible, un criterio para mejorar la calidad de las publicaciones en la revista de divulgación Azcatl.

La divulgación es una actividad que promueve el interés por la ciencia, la tecnología y la innovación. En esta actividad es indispensable utilizar un lenguaje sencillo, es decir, no incluir términos rebuscados, tampoco emplear un lenguaje técnico o especializado para informar sobre diversas temáticas. Además la divulgación debe ser atractiva para la audiencia a la que está dirigida.

Es común que se considere, de forma equivocada, a la divulgación como un resumen o una simplificación de trabajos complejos, por ejemplo, de un artículo científico o de un reporte de investigación; pero esto no es divulgación. Para divulgar es necesario contar con un amplio conocimiento del tema y que éste sea expuesto con un lenguaje accesible al público en general, empleando una explicación compacta y suficiente que permita acercar el conocimiento a una persona que desconoce o comienza a conocer sobre el tema.

En un artículo de divulgación se busca ampliar la perspectiva del tema a tratar, a diferencia de un trabajo de investigación en el que se busca profundizar sobre un tema determinado. Para ello, los investigadores utilizan las

herramientas más actuales desde un punto de vista técnico, con el fin de encontrar respuestas a las preguntas que se plantean, siguiendo una metodología donde, generalmente, se utilizan expresiones matemáticas para facilitar su interpretación y la presentación de resultados que derivan en un reporte o un artículo de investigación. Es por ello que el enfoque entre investigación y divulgación es diferente, destacando la primera por su generalidad y la segunda por su especialización. Los medios utilizados para hacer divulgación no tienen restricción alguna.

Se recomienda a los autores emplear la menor cantidad de expresiones matemáticas en un artículo de divulgación, con la finalidad de facilitar la comprensión a una mayor audiencia, sin embargo, es importante señalar que las expresiones matemáticas son la forma más sencilla de representar y explicar un tema.

En cuanto a las fuentes de información de un artículo de divulgación pueden ser diversas, tanto basadas en la propia experiencia como en referencias a otros trabajos. Las referencias, tienen múltiples propósitos, nos permiten resumir las explicaciones que se hacen acerca de un tema determinado, se utilizan también para identificar una publicación previa y reconocer el trabajo publicado de otros autores. Además, permiten construir una red de información alrededor de lo que escribimos y pueden considerar-

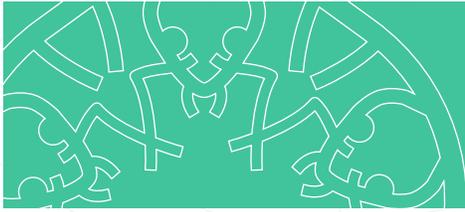
se una base de conocimiento donde es posible explorar nuevas ideas y teorías. Por lo anterior sobra decir que las referencias en los artículos de divulgación son fundamentales. Se recomienda evitar las referencias a las páginas de internet ya que pueden no hallarse disponibles al momento de ser consultadas.

En la revista Azcatl contamos con un cuestionario que los revisores responden para determinar si los manuscritos resultan idóneos para publicarse. Las preguntas pretenden dejar claro al revisor los objetivos de la revista, el tipo y ca-

lidad de artículos que la revista ha de publicar. Revisamos periódicamente el cuestionario, con la ayuda de los autores, revisores y lectores, para mejorar los distintos procesos que forman parte del proceso de publicación.

Esperando que esta información coadyuve a esclarecer el propósito fundamental de la revista, agradecemos de antemano a los interesados en colaborar en nuestra publicación y recibiremos con gusto sus sugerencias y comentarios al correo:

azcatl@azc.uam.mx.



La observación de un eclipse ha sido y es uno de los momentos astronómicos más deseados de presenciar por la humanidad. En el primer artículo de este número los autores nos instruyen para ser cazadores de eclipses, brindándonos consejos para una buena observación.

El segundo artículo de la revista, para cualquiera que ha intentado llenar un álbum de estampas, muestra una ecuación en diferencias que estima la cantidad de compras que deben realizarse para lograr la colección completa de estampas en un álbum.

En el tercer artículo las autoras nos explican las afectaciones económicas y ambientales como cambio climático, contaminación del agua, agotamiento de recursos naturales, generación de residuos y de plásticos, debidas a la producción de textiles, lo cual conlleva a la necesidad de regular dicha producción y emprender acciones para disminuir el impacto ambiental desde diferentes perspectivas.

¿Alguna vez te has preguntado a qué se deben los diferentes colores que se observan en el cielo? “Los colores del cielo” es un artículo que nos permite comprender que cuando se mira el cielo hay fenómenos que causan efectos intangibles, pero siempre presentes, por los cuales éste se observa en distintas tonalidades.

En el quinto artículo los autores nos brindan un panorama de la licenciatura de ingeniería en computación dentro de nuestra institución, en comparación con otras instituciones educativas a nivel nacional, considerando, entre otros tópicos, la docencia, las modalidades de impartición, los perfiles de egreso, la centralización de la oferta y las necesidades de los empleadores.

Cuando llueve vemos gotas de agua de diferentes tamaños y formas por todas partes, ¿esto a qué se debe? En el sexto artículo se explican las fuerzas que actúan en líquidos, como el agua, que dan forma a las gotas y qué sucedería si no existieran estas fuerzas.

La tecnología está presente en todas partes. En el séptimo artículo de este número se muestran las distintas tecnologías que se emplean en la industria de la moda, tanto para la producción como para su comercialización.

El último artículo analiza la brecha digital que enfrentan las personas con pérdida auditiva. Explora investigaciones previas sobre el tema, identifica las principales barreras de accesibilidad en sitios web y aplicaciones móviles y propone un enfoque multidisciplinario para desarrollar soluciones y estándares más inclusivos, con el fin de contribuir a la creación de información accesible para todos.

Comité Editorial

Azcatl. Revista de divulgación en ciencia, ingeniería e innovación



A la cacería de eclipses solares

Gabriela Isabel Vera Garfias

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

César Simón López Monsalvo

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

Alberto Rubio Ponce

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

Sergio Islas Ramírez

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco
sertesla@gmail.com

José Luis Hernández Ávila

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

Resumen

A lo largo de la historia, los eclipses solares han influido en aspectos científicos y culturales de la humanidad. El 14 de octubre de 2023 y el 8 de abril de 2024 ocurrieron eclipses solares visibles desde México y la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco dio cobertura a ambos. A través de esta experiencia, invitamos a la comunidad a reflexionar sobre la relevancia de estos eventos, así como la utilidad práctica que han tenido y la manera en que cada lector o lectora interesados pueden cazar los próximos eclipses.

Palabras clave

Eclipse solar, eclipses en México, cazadores de eclipses.

Abstract

Throughout the course of history, solar eclipses have had a scientific and cultural impact in human society. On October 14th 2023 and April 8th 2024 two solar eclipses were visible from México and the Universidad Autónoma Metro-

Cita APA: Vera, G., López, C., Rubio, A., Islas, S. y Hernández, J. (2024), A la cacería de eclipses solares. *Azcatl*, 2, 4-10.

DOI: [10.24275/AZCATL2024A001](https://doi.org/10.24275/AZCATL2024A001)

politana, Unidad Azcapotzalco documentó ambos. Through this experience, we invite the community to ponder on the relevance these events have together with their corresponding utility and the way in which the interested reader can become an eclipse hunter.

Keywords

Solar eclipse, eclipses in México, eclipse hunter.

¿Para qué sirve cazar un eclipse?

Los eclipses solares son, sin duda, uno de los eventos astronómicos más impactantes para la humanidad. Desde el miedo hasta la fascinación, despiertan una gama de emociones que reflejan la profunda influencia de los ciclos solares y lunares en nuestras culturas a lo largo del tiempo. Las interpretaciones que han rodeado a este fenómeno son numerosas y siempre han estado envueltas en un simbolismo único, convirtiéndolos en eventos emblemáticos para generaciones enteras.

En México hemos sido testigos de dos eclipses solares en poco tiempo. El primero, el 14 de octubre de 2023, fue un eclipse anular, mientras que el segundo, el 8 de abril de 2024, fue total. La diferencia entre ambos radica en la dinámica cósmica entre el Sol, la Luna y la Tierra. La Luna, en su danza alrededor de nuestro planeta, a veces se acerca más (perigeo), mostrándose más grande y majestuosa, y otras veces se aleja (apogeo), haciéndose más pequeña y discreta. Este vaivén es parte de su encanto, pero también de su misterio. La órbita de la Luna, que no es un círculo perfecto, y su inclinación respecto a la eclíptica, el plano de la órbita terrestre alrededor del Sol, hacen que su sombra no siempre se proyecte sobre nuestro planeta, regalándonos la majestuosidad de los eclipses sólo en ocasiones especiales. Aunque los eclipses no ocurren en cada ciclo lunar de 28 días, aproximadamente cada 18 meses podemos presenciar este espectáculo celestial.

La periodicidad de los ciclos astronómicos ha sido estudiada con gran detalle por diversas culturas, revelando la sofisticación matemática de cada uno para predecir el lugar y la fecha de eclipses solares o lunares. Un ejemplo notable es el templo de Quetzalcóatl en Xochicalco, construido con una orientación meticulosa para la observación

del cielo. En sus relieves se registra la fecha del eclipse total de Sol del 1 de mayo de 664 e. c., no sólo como un acontecimiento destacado para los habitantes de la zona, sino también como un punto de encuentro cultural donde diversas influencias se entrelazaron (Morante, 2019).

El códice Borgia, uno de los manuscritos pictográficos precolombinos más importantes que se conservan, es conocido por sus detalladas representaciones de deidades, rituales religiosos, calendarios y fenómenos astronómicos, incluidos los eclipses. En este códice, los eclipses solares y lunares son representados como eventos de gran significado religioso y cósmico, mostrando a deidades como el dios del Sol, Tonatiuh, y la diosa de la Luna, Coyolxauhqui. Estas representaciones sugieren que los antiguos mesoamericanos tenían un profundo respeto y reverencia por los fenómenos astronómicos, considerándolos parte integral de su cosmovisión y su sistema religioso.

Por otro lado, el códice Dresde, donde los mayas documentaron las fechas de numerosos eclipses, complementa esta visión. Este códice también juega un papel crucial en la historia de la observación de los eclipses, como se evoca en el cuento *El eclipse* del escritor guatemalteco Augusto Monterroso (1969). Ambos códices, el Borgia y el Dresde, son testimonios del desarrollo matemático y astronómico de las antiguas culturas mesoamericanas, revelando su profundo conocimiento y respeto por los ciclos celestiales y su impacto en la vida cotidiana y religiosa.

La importancia de predecir con precisión los eclipses solares ha sido un tema recurrente en la valoración de su estudio para la sociedad. Sin embargo, a lo largo de los siglos, han revelado aspectos fundamentales sobre nuestra posición en la tierra y la naturaleza de nuestro universo. Ejemplos como los eclipses documentados por Antonio

de León y Gama (1778) en la Ciudad de México en 1771 y 1778 permitieron determinar la coordenada longitudinal de la ciudad con una precisión sin precedentes, resolviendo así el principal problema cartográfico de la capital novohispana.

Por otro lado, el eclipse total de Sol observado por Sir Arthur Eddington en sus expediciones a la isla Príncipe de África occidental y al pueblo brasileño de Sobral, el 29 de Mayo de 1919, desempeñó un papel crucial en dirimir la controversia acerca del comportamiento de la luz desde la perspectiva de dos teorías gravitacionales, cuyas predicciones eran mutuamente excluyentes. Este evento ayudó a forjar nuestro entendimiento actual sobre la forma del espacio y el tiempo (Dyson *et al.*, 1920).

Actualmente, no quedan más lugares sobre la tierra sin haber sido completamente ubicados en su latitud y

longitud. Asimismo, los avances científicos y culturales nos permiten disfrutar de los eclipses de manera lúdica, en el juego de entender y experimentar nuestra posición en el universo y la reflexión de cómo eso nos significa aún con plena información de la dinámica orbital. Lo que permite que existan grupos dedicados a la *cacería de eclipses solares*, quienes programan expediciones a los lugares donde serán visibles las próximas zonas de totalidad, en el lugar del mundo que permita su mejor apreciación o su máxima duración.

Si tu deseo es convertirte en una de esas personas, aquí te compartimos nuestra experiencia para capturar el disco negro humeante y resplandeciente, cuya manifestación deja huellas permanentes en la memoria y en el alma de quienes hemos tenido la oportunidad de sentir su penumbra (Figura 1).

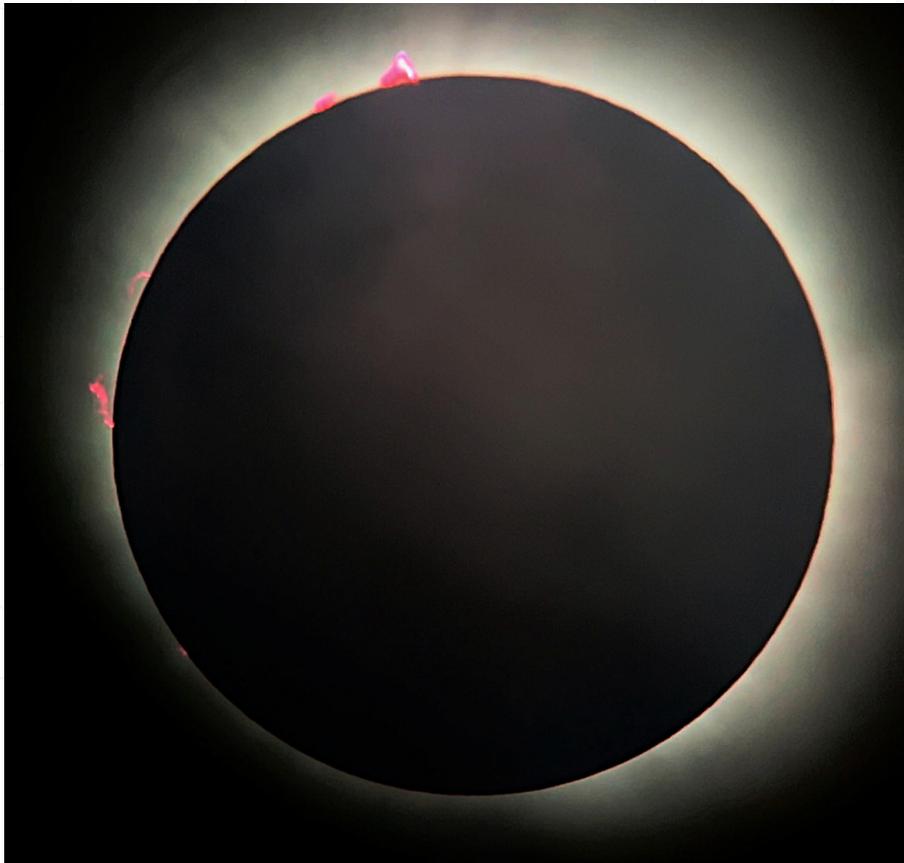


Figura 1. Totalidad con protuberancias rojas claramente visibles a través de la tenue capa de nubes.

Instrucciones para cazar un eclipse

A Julio Cortázar

Lo primero que uno tiene que hacer es saber el lugar y la fecha de los próximos eclipses. Esto es más que sólo buscar los lugares desde los cuales será posible observar, se trata más bien de una exploración meticulosa de una línea en particular, aquélla por la que pasa el centro de la *umbra*. La familiaridad con estos términos facilitará la investigación para seleccionar tu sitio de observación: *umbra* y *penumbra*.

La *umbra* es la franja privilegiada a lo largo de la cual el alineamiento entre la Luna y el Sol es exacto, el disco lunar —completo— queda perfectamente superpuesto con el del Sol. En la zona de *penumbra* el eclipse se aprecia de manera parcial, es decir, el disco lunar sólo cubre una parte del disco solar. Este factor reduce notablemente los lugares accesibles que se pueden considerar para presenciar el fenómeno.

Lo siguiente que debes tomar en cuenta es la duración. No en todos los puntos sobre la línea de la *umbra* el eclipse dura lo mismo, siempre hay un punto único en el que la duración de la alineación es máxima. Lo usual e indeseable es que ese punto se ubique en un lugar verdaderamente inaccesible o sobre el paso implacable de las nubes dispuestas a generar tensión en el momento del trayecto de la Luna frente al Sol.

Si el objetivo es disfrutar de la experiencia durante el mayor tiempo posible, se debe empezar por buscar lugares cercanos al punto mencionado en función de los recursos materiales disponibles. Es importante tener en cuenta que el punto puede estar en medio del océano. En nuestro caso, afortunadamente, el punto estaba en medio de una sierra, específicamente en las coordenadas $25.3^{\circ} \text{ N } 104.1^{\circ} \text{ W}$. Nuestro punto de observación fue en la mina del puente de Ojuela, en Durango, coordenadas $25^{\circ}47'46''\text{N } 103^{\circ}47'29''\text{W}$ (Figura 2).



Figura 2. Punto de observación. La mañana había estado nublada pero la fortuna nos favoreció durante la hora del eclipse. Se aprecia parte del pueblo fantasma del puente de Ojuela y al fondo el pueblo de Mapimí, Durango.

Otro aspecto por considerar es la experiencia que se busca. Si se desea limitar la observación sin la ayuda de ningún instrumento, más allá de un dispositivo móvil, se debe tener en cuenta que es muy probable que en el punto de observación no haya conexión a internet y que, por muy buena que sea la cámara del celular, las imágenes del disco solar no se comparan, de ninguna manera, con la experiencia y la vista que se tienen en persona. Por lo tanto, es necesario contemplar el uso de un equipo más sofisticado. Una cámara réflex con teleobjetivos adecuados puede funcionar bien. Disponer de un telescopio con filtros adecuados es lo ideal.

Es posible que el eclipse que ansías presenciar se encuentre a meses de distancia. Pero no confíes en la amplitud de tiempo que te separa de ese momento. Dedicar múltiples ejercicios a la observación diurna y nocturna de cuerpos celestes. Esta práctica te ayudará a familiarizarte con los detalles técnicos de tu equipo. Presta especial atención a cómo orientarlo adecuadamente desde el principio. De esta forma, sólo necesitarás ajustes mínimos para seguir el movimiento de la tierra y mantener tu mirada fija en el eclipse. Este arte no sólo implica al equipo con el que observas (cámara o tubo óptico), sino también al trípode y la montura. Para este propósito, una montura ecuatorial facilitará tu experiencia.

Adéntrate en el conocimiento de los diferentes oculares que puedes emplear. Estos se clasifican en milímetros; cuanto menor sea el número, mayor será el detalle que podrás apreciar, aunque también será más reducido el campo visual. Para disfrutar plenamente del disco solar usamos dos telescopios reflector con filtro solar en la entrada del tubo óptico, de 76 mm y 130 mm en el espejo principal, acompañado de un ocular de 20 mm.

Nunca, bajo ninguna circunstancia, debes observar el Sol directamente a través del telescopio. Las lesiones oculares que podrías sufrir serían irreversibles. Para llevar a cabo una observación diurna segura es imprescindible contar con un filtro solar que cubra completamente la circunferencia del telescopio, sin dejar el menor resquicio por donde pueda penetrar la luz solar directa (Figura 3). Es importante mencionar que existen telescopios solares que ya vienen equipados con un filtro integrado

y son de fácil transportación, aunque un telescopio convencional con el filtro adecuado es igual de funcional. En nuestro caso utilizamos un filtro de hidrógeno-alpha ($H\alpha$) y otro con norma ISO 12312-2. El filtro puede ser retirado cuando llegue el momento del ocultamiento total. Solo en ese momento podrás prescindir de él y observar directamente la superposición de los astros. ¡Esa es la imagen que deseas preservar!

Después de todo el esfuerzo dedicado a la cacería del eclipse, seguramente desearás tener imágenes de lo que observaste a través del telescopio. Para lograrlo necesita-



Figura 3. Telescopio con montura ecuatorial, balanceado, con filtro de hidrógeno-alpha ($H\alpha$), adaptador y teléfono móvil montado junto a uno de los autores (Sergio Islas Ramírez). En la imagen se aprecia el paisaje del terreno desde el cual se realizó la observación.

rás adaptar una cámara al ocular. Puede ser una cámara réflex con un adaptador T, o bien puedes optar por utilizar directamente tu teléfono móvil. Para ello, se requiere un adaptador para teléfono o cámara que se fija al ocular del telescopio.

Es importante realizar varias pruebas con las diferentes cámaras que pueda tener tu teléfono. Ajusta el enfoque y asegúrate de obtener la mayor definición posible. Debido al peso extra de la cámara es probable que el telescopio requiera ser balanceado con pesas adicionales a las de la montura. Es importante tener esto en cuenta. Además, el telescopio es muy sensible a las vibraciones,

por lo que es recomendable utilizar un disparador remoto o, en su defecto, obtener imágenes de fotogramas individuales de un video en la máxima resolución posible.

Finalmente, solo resta esperar que el clima en la región seleccionada con tanta anticipación para la cacería del eclipse sea favorable. No debes olvidar documentar todo lo que sucede a tu alrededor: el asombro de las personas, el comportamiento de los animales y las plantas, las variaciones en la temperatura y el viento, así como la iluminación del entorno. Mantente atento también a las protuberancias solares, con su caprichoso color rubí (Figura 4). Las sombras que bailan entre el efecto esteno-



Figura 4. Protuberancia solar (detalle de la Figura 1). Se pudo apreciar su surgimiento y crecimiento durante el último minuto de la totalidad.

peico, el espectáculo de luces y sombras que se despliega ante ti.

Cazar un eclipse es sumergirse en un universo de emociones y significados. Más allá de la mera observación astronómica, implica conectar con nuestra historia, nuestra cultura, nuestro lugar en el cosmos a través de nuestra capacidad para comprender y apreciar su belleza y complejidad. Desde los antiguos relieves en templos hasta las expediciones científicas modernas, los eclipses han sido motivo de estudio y admiración. Nos han enseñado sobre matemáticas, cartografía, física y sobre nosotros mismos. Son eventos que trascienden lo convencional para convertirse en hitos culturales, en encuentros entre civilizaciones y en momentos de introspección.

Es un recordatorio de que, aunque estamos en constante movimiento en este vasto universo, podemos detenernos por un momento y maravillarnos ante la belleza efímera de un eclipse solar. Es una oportunidad para reflexionar sobre nuestra existencia y apreciar lo que sucede en ella.

Referencias

- Dyson, F. W., Eddington, A. S. y Davidson, C. (1920). A determination of the deflection of light by the sun's gravitational field, from observations made at the total eclipse of may 29, 1919. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 220, 291-333. <http://www.jstor.org/stable/91137>
- León y Gama, A. (1778). Descripción orthográfica universal del eclipse de sol del día 24 de junio de 1778. Imprenta de la Bibliotheca Mexicana.
- Monterroso, A. (1969). *La oveja negra y demás fábulas*. Joaquín Mortiz.
- Morante, R. B. (2019). Ciclos culturales y astronómicos en Xochicalco, Morelos. *Anales de Antropología*, 53(1), pp. 75-88. Universidad Nacional Autónoma de México.



Coleccionar estampas: una modelación matemática para explicar el porqué es difícil llenar un álbum de estampas

Marco Antonio Rodríguez Andrade

algorismo@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

María Eugenia Vega Flores

eugenia.vega@unadmexico.mx

Universidad Nacional Abierta
y a Distancia de México

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 en paquetes con una cantidad fija de tales objetos, todos distintos entre sí.

El objetivo es encontrar una función que estime la cantidad de objetos que se han coleccionado cuando se ha realizado una determinada cantidad de compras de tales paquetes; con esta función se puede plantear una ecuación para estimar la cantidad de compras que se deben realizar para lograr la colección completa.

Palabras clave

Modelación matemática, diferencias finitas, solución, estampas, álbum.

Abstract

This article addresses the collector's problem, which involves collecting a certain number of items purchased randomly. The case in question arises when one desires to collect a specific number of items that are purchased randomly in packages containing a fixed quantity of such items, all distinct from each other. The objective is to find a function that estimates the number of items collected after a certain number of purchases of such packages. With this function, one can formulate an equation to estimate the number of purchases needed to achieve a complete collection.

Keywords

Mathematical modeling, finite differences, solution, stamps, album.

Cita APA: Rodríguez, M. y Vega, M. (2024). Coleccionar estampas: una modelación matemática para explicar el porqué es difícil llenar un álbum de estampas. *Azcatl*, 2, 11-14. DOI: [10.24275/AZCATL2024A002](https://doi.org/10.24275/AZCATL2024A002)

Introducción

La modelación matemática es una habilidad muy valorada en la formación de las carreras de ingeniería y ciencias exactas. La habilidad de modelar se desarrolla en diferentes disciplinas, principalmente en la física, la química, la biología, etcétera, donde generalmente las variables son continuas y una de las herramientas más usadas para modelar en estos contextos es el cálculo y las ecuaciones diferenciales.

En este artículo se presenta un problema en el cual la variable independiente es discreta.

Planteamiento del problema

Una afición común entre niños y adolescentes es coleccionar estampas de algún tema especial, estampas que son adquiridas en sobres cerrados, por lo que el coleccionista no sabe de antemano las estampas que va a obtener. En caso de que el coleccionista deba reunir estampas distintas, dos problemas se pueden plantear:

1. Si adquirió 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 cada estampa?

El cuestionamiento 2 se puede considerar resuelto en el caso de que cada sobre sólo tenga una estampa y la solución del mismo se puede encontrar en Aigner y Ziegler (2010), en el capítulo 28, sin embargo, en este libro no aparece una respuesta para la pregunta 1.

1.1. Condiciones para la modelación

Para la modelación del problema 1 del coleccionista asumiremos las siguientes condiciones:

1. El número total de estampas por coleccionar es $M > 1$.
2. Las estampas se venden en sobres con $h < M$ estampas cada uno.
3. En un mismo sobre todas las estampas son distintas entre sí.

4. No hay estampas difíciles, es decir, todas las estampas tienen la misma probabilidad de salir.

Denotaremos con $f(k)$ a la cantidad estimada de estampas coleccionadas cuando se han realizado k compras, entonces

$$f(k + 1) = f(k) + P(k),$$

donde $P(k) \geq 0$ es la cantidad estimada (esperada) de estampas nuevas, es decir, que son distintas a las que ya se tienen.

Al tener $f(k)$ ejemplares distintos ya coleccionados y al elegir una estampa al azar, se tiene que

$$\frac{M - f(k)}{M}$$

es la probabilidad de que la estampa sea distinta a los ejemplares ya coleccionados.

Como las estampas que vienen en un sobre corresponden a ejemplares distintos, podemos suponer que

$$P(k) = h \frac{M - f(k)}{M}.$$

De lo anterior se establece la siguiente relación de recurrencia:

$$\begin{aligned} f(1) &= h \\ f(k + 1) &= f(k) + h \frac{M - f(k)}{M}. \end{aligned}$$

Algunas características cualitativas de esta función son las siguientes:

- es creciente;
- está acotada, siendo M una cota superior;
- $\lim_{k \rightarrow \infty} f(k) = M$.

1.2. Obtención de la función modelo

De acuerdo con la sección anterior podemos considerar la siguiente ecuación de diferencias:

$$\frac{df}{dk} \approx f(k + 1) - f(k) = h \frac{M - f(k)}{M}.$$

Con la condición inicial $f(1) = h$.

La función

$$f(k) = M - (M - h)e^{-\frac{h}{M}(k-1)}$$

es la solución de la ecuación en diferencias que satisface la condición inicial establecida.

Con base en la expresión anterior, la cantidad esperada de sobres que se deben adquirir para reunir $M - 1$ ejemplares distintos es

$$k = \frac{M \ln(M - h)}{h} + 1.$$

Cuando $h = 1$ se obtiene una cantidad esperada cercana a la que se encuentra en Aigner y Ziegler (2005).

1.3. Comparación de Modelos

En Rodríguez (2023), mediante un ajuste de curvas se

obtiene la función $f(k) = M \left(1 - e^{-\frac{h}{M}k}\right)$, para $h = 5$, la cual estima la cantidad de estampas coleccionadas; asimismo, en este artículo hemos obtenido otra función que modela el mismo problema.

En la tabla que se muestra a continuación se presenta la cantidad de sobres que se tienen que adquirir para coleccionar $M - 1$ estampas y la cantidad de estampas acumuladas, esta cantidad incluye las estampas que han salido más de una vez.

Las siguientes tablas muestran la cantidad estimada de estampas acumuladas cuando se intenta coleccionar estampas de un total .

Función	Cantidad de sobres para adquirir $M - 1$ estampas	Cantidad de estampas acumuladas
$f_1(k) = M \left(1 - e^{-\frac{h}{M}k}\right)$	$\frac{M}{h} \ln M$	$M \ln M$
$f_2(k) = M - (M - h)e^{-\frac{h}{M}(k-1)}$	$k = \frac{M \ln(M - h)}{h} + 1$	$M \ln(M - h) + h$

Cantidad de estampas acumuladas para $h = 1$										
M	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$f_1(k)$	460.52	1059.66	1711.13	2396.59	3107.30	3838.16	4585.76	5347.69	6122.16	6907.76
$f_2(k)$	460.51	1059.66	1711.13	2396.58	3107.30	3838.16	4585.76	5347.69	6122.15	6907.75

Cantidad de estampas acumuladas para $h = 5$										
M	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$f_1(k)$	460.52	1059.66	1711.13	2396.59	3107.30	3838.16	4585.76	5347.69	6122.16	6907.76
$f_2(k)$	460.39	1059.60	1711.09	2396.55	3107.28	3838.14	4585.74	5347.67	6122.14	6907.74

Cantidad de estampas acumuladas para $h = 10$										
M	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$f_1(k)$	460.52	1059.66	1711.13	2396.59	3107.30	3838.16	4585.76	5347.69	6122.16	6907.76
$f_2(k)$	459.98	1059.40	1710.96	2396.46	3107.20	3838.07	4585.68	5347.63	6122.10	6907.70

Cantidad de estampas acumuladas para $h = 20$										
M	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$f_1(k)$	460.52	1059.66	1711.13	2396.59	3107.30	3838.16	4585.76	5347.69	6122.16	6907.76
$f_2(k)$	458.20	1058.59	1710.44	2396.07	3106.89	3837.82	4585.46	5347.44	6121.93	6907.55

Como se observa en las tablas anteriores, el hecho de vender paquetes con estampas, todas distintas entre sí, para valores *pequeños* de n , no es significativo para la cantidad acumulada ni para la cantidad de sobres y en la práctica es casi igual que adquirir una por una al azar.

Conclusiones

Entre los coleccionistas de estampas se tiene la idea, *a priori*, de que hay una o varias difíciles, es decir, que algunas de ellas las imprimen en menor cantidad para dificultar el llenado del álbum. Una de las conclusiones de este ensayo es que no se necesita tal recurso, el azar es suficiente para que se acumulen muchas estampas en el proceso, lo cual implica una fuerte inversión por parte del coleccionista.

Desde el punto de vista didáctico, la modelación del problema proporciona una experiencia en la cual el alumno puede percatarse de lo siguiente:

- para un mismo problema se pueden encontrar diferentes modelos que expliquen el fenómeno;
- los modelos deben dar resultados parecidos;
- el modelo obtenido dependerá mucho del conocimiento matemático de quien aborda el problema.

Bibliografía

- Aigner, M. y Ziegler, G. (2005). *El libro de las demostraciones*. Nivola Libros Ediciones.
- Aigner, M. y Ziegler, G. (2010). *Proofs of The Book*. Springer.
- Rodríguez, M. A. (2023). Coleccionar estampas: un ajuste de curvas para obtener una función que explique por qué es difícil llenar un álbum de estampas. *Azcatl*, (1), 18-23.
- Zill, D. G. (2009). *Ecuaciones diferenciales con modelado*. Cengage Learning.

El costo ambiental de los textiles

Maribel Velasco Pérez

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azapotzalco
mvp@azc.uam.mx

Rosa María Espinosa Valdemar

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azapotzalco
rmev@azc.uam.mx

Alethia Vázquez Morillas

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azapotzalco
alethia@azc.uam.mx

Margarita Beltrán Villavicencio

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azapotzalco
mbv@azc.uam.mx

Resumen

Los textiles son indispensables para la vida: protegen a las personas del clima, son una forma de expresión y promueven el desarrollo económico. Sin embargo, su fabricación y uso traen consigo costos ambientales, sociales y económicos que incluyen el agotamiento de recursos naturales, impacto en el cambio climático, contaminación del agua, generación de residuos e incluso nano y microplásticos. Tanto la publicación de leyes en materia ambiental, así como los avances tecnológicos y en sistemas de gestión de materiales y residuos permiten reducir estos impactos, pero es indispensable la participación organizada del gobierno, industria y sociedad en la administración de los recursos naturales y residuos.

Palabras clave

Fibras naturales, fibras sintéticas e impacto ambiental.

Abstract

Textiles are important for human life, they protect us from the weather, textiles can be used as a means of expression, and foster economic development. However, their manufacture and use cause environmental, social, and economic costs, for instance, the depletion of natural resources, climate change, water pollution, and generation of waste, nano, and microplastics. Technological advances and management systems have reduced these impacts, but the joint participation of government, industry, and society in the administration of natural resources and waste is essential.

Keywords

Environmental impacts, natural fibers, synthetic fibers.

Cita APA: Velasco, M., Espinosa, R., Vázquez, A. y Beltrán, M. (2024). El costo ambiental de los textiles. *Azcatl*, 2, 15-19.
DOI: [10.24275/AZCATL2024A003](https://doi.org/10.24275/AZCATL2024A003)

Los textiles son parte de nuestra vida en muchos ámbitos: nos protegen del clima, son un medio de expresión, son objeto de diversas aplicaciones de tecnología y generan riqueza económica. Son elaborados a partir de fibras naturales, sintéticas o una combinación de ambas, la Figura 1 presenta algunos ejemplos (El Nemr, 2012). Los textiles se emplean en la fabricación de ropa, muebles, vehículos automotores, tapicería, blancos (como sábanas, toallas y manteles), cobijas, productos médicos (vendajes, materiales de curación y sutura, implantes y vestuario para quirófano), aislantes térmicos, toallas sanitarias, tampones y pañales, entre muchos otros.

La producción total de fibras a nivel mundial se ha incrementado de manera sostenida; entre 1975 y 2021 aumentó de 34 a 113 millones de toneladas. El uso de fibras de poliéster comenzó en la década de 1940 y ha ganado terreno de forma acelerada; actualmente constituye el 54 % de la producción mundial de fibras, seguida del algodón con un 24.7 % y la viscosa con el 5.1 % (Textile Exchange, 2022).

La industria textil tiene un papel importante en la economía, a nivel mundial está valuada en 1 695 millones de dólares norteamericanos y crecerá un 7.6 % anual hasta 2030 (Grand View Research, 2021). En México, la industria textil manufacturera aportó 85 800 millones de pesos al producto interno bruto en 2021; mientras que la fabricación de prendas de vestir concentró el 61 % de personal ocupado y el 51.1 % de la producción de este sector económico (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2022).

Ciclo de vida de la ropa

De la gran diversidad de textiles que existen más del 60 % se utilizan para la fabricación de ropa (Bruna, 2016). Lo que se puede atribuir al fenómeno conocido como *fast fashion* o *moda rápida*, derivado de los cambios rápidos en las tendencias de la moda, del incremento del número de colecciones por año y de los precios bajos que ocasionan un consumo exacerbado de ropa, en su mayoría de origen sintético (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

El ciclo de vida de un producto incluye todas las etapas necesarias desde su creación hasta el punto en que

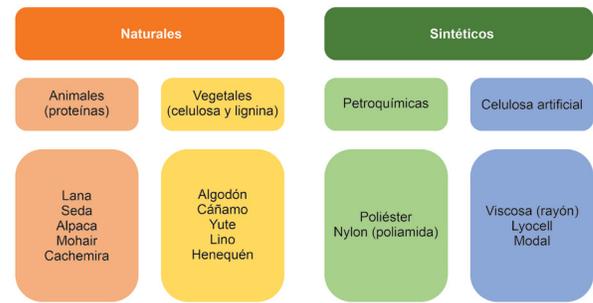


Figura 1. Tipos de fibras usadas en los productos textiles.

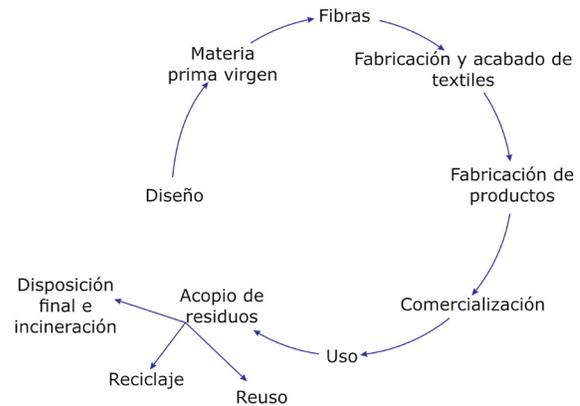


Figura 2. Ciclo de vida de la ropa.

la sociedad pueda disfrutar del mismo: desde su diseño, obtención de la materia prima, fabricación, distribución, comercialización, uso, generación y tratamiento de sus residuos, así como los transportes necesarios para cada una de estas etapas. El ciclo de vida simplificado de la ropa se presenta en la Figura 2. Se estima que a nivel mundial sólo el 12 % de la ropa se recicla, un 12 % se pierde durante el proceso de producción, el 2 % se pierde en la recolección y procesamiento de residuos y un 73 % termina su vida útil en sitios de disposición final o incineradoras (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Hay que señalar que el reciclaje de ropa posconsumo, la que ya fue utilizada, se concentra en aplicaciones de bajo valor económico como trapos, materiales aislantes y rellenos. Además, la mayor parte de la ropa fabricada con fibra reciclada proviene de botellas de polietileno de tereftalato, conocido como pet,

no de ropa posconsumo (Textile Exchange, 2022). Lo anteriormente mencionado brinda un panorama de por qué el uso de textiles y la generación de sus respectivos residuos tiene costos ambientales elevados.

Costo ambiental de los textiles

En cada etapa de su ciclo de vida los textiles causan alteraciones en el ambiente, denominados, en la literatura especializada, como impactos ambientales; para fines prácticos, éstos se definen como las consecuencias negativas de las actividades humanas en el medio ambiente. A continuación se describen los principales costos ambientales de los textiles.

Cambio climático. Es el cambio, a largo plazo, en los patrones que determinan el clima del planeta; el que vivimos actualmente se debe principalmente a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) provocados por las actividades humanas. La temperatura promedio de la Tierra ha aumentado 1.1 °C, lo que ocasiona sequías, incendios forestales, lluvias torrenciales, derretimiento de los glaciares, aumento del nivel del mar, acidificación de los océanos y eventos de calor extremo (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023). Un ejemplo claro de los efectos del cambio climático es Otis, huracán que tocó tierra en Guerrero, México a finales de octubre de 2023.

La industria textil genera GEI, como el dióxido de carbono o metano, durante las siguientes etapas: la extracción de recursos fósiles para la fabricación de fibras sintéticas, la deforestación para el cultivo de fibras vegetales y la crianza de animales empleados en la producción de fibras, la degradación de las heces de los animales, el uso de electricidad para la producción y comercialización de fibras y textiles, el uso de combustibles en el transporte para la distribución, el consumo de energía durante el lavado, secado y planchado en su etapa de uso, el consumo de más combustibles para el transporte de residuos y la incineración de los mismos. Se estima que la industria textil es responsable de aproximadamente el 10 % de las emisiones totales de dióxido de carbono en el planeta, uno de los principales GEI (Filho *et al.*, 2022).

Contaminación del agua. El agua consumida en la fabricación de textiles varía dependiendo del tipo de tex-

til, pero se estima que la huella de agua de 1 kg de algodón es de 10 000 L (Hoekstra y Water Footprint Network, 2017). En la fabricación de textiles también se emplea una gran cantidad de productos químicos que contaminan el agua, como colorantes, detergentes y aditivos para darles propiedades específicas (Madhav *et al.*, 2018). Además, el procesamiento de los textiles normalmente se lleva a cabo en países en vías de desarrollo que no cuentan con la capacidad para tratar el agua contaminada (Madhav *et al.*, 2018). Países como China, India, Turquía y Vietnam (Statista, 2024). Otras etapas que contaminan el agua incluyen el uso de fertilizantes para el cultivo de fibras naturales, el arrastre de heces de animales a los cuerpos de agua superficiales, el consumo de detergentes y suavizantes en la etapa de uso y la generación de nano y microplásticos.

Agotamiento de recursos naturales. Los principales contribuyentes a este impacto ambiental son los derivados del petróleo que se usan para la fabricación de textiles de vida corta —como los de la moda rápida—, la degradación del suelo ocasionada por el cultivo de fibras naturales o el pastoreo de animales, la extracción y contaminación del agua para la producción de textiles y el uso de derivados del petróleo para generar energía o como combustibles.

Generación de residuos. Se producen en las etapas de fabricación de fibras y textiles y después de que éstos han sido utilizados por los consumidores finales. A nivel mundial se estima que de las 53 millones de toneladas de fibras producidas para ropa, el 73 % terminan en disposición final o incineradas (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Al ocupar un espacio en los sitios de disposición de residuos, los textiles contribuyen al agotamiento de los mismos.

Generación de nano y microplásticos. Los nanoplásticos (NP) son fragmentos de plástico con tamaño en el rango de los nanómetros (un nanómetro equivale a la milonésima parte de un milímetro), mientras que los microplásticos (MP) son menores a 5 mm. Aún no se ha establecido una frontera clara en tamaño entre los NP y MP. Estos materiales ya son ubicuos en el ambiente y existen indicios de que tienen efectos tóxicos en la salud humana (Cruz *et al.*, 2024). Los NP y MP se desprenden de las fibras o tejidos sintéticos durante los procesos de fabri-

cación y durante el uso y lavado de los textiles. Una vez que se encuentran en el ambiente su remoción es prácticamente imposible hasta el momento. Se estima que cada año llegan a los océanos 0.5 millones de toneladas de microfibras del lavado de textiles (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Alternativas para disminuir el costo ambiental de los textiles

La preocupación por disminuir el impacto ambiental de los textiles se ha traducido en tres ejes principales: avances tecnológicos, desarrollo de sistemas de gestión de materiales y residuos y creación de leyes. Entre los avances tecnológicos están el desarrollo de colorantes o aditivos no tóxicos, fibras más duraderas y con menor impacto en el ambiente, reciclaje de fibras y tecnología para el ahorro en el consumo de agua y energía, entre otros (Jensen *et al.*, 2023; Pizzicato *et al.*, 2023; WRAP, 2017). En el ámbito de la gestión se están implementando sistemas que permiten dar seguimiento a los materiales usados en la fabricación de textiles, mejores prácticas en la producción de fibras naturales y sintéticas, modelos de economía circular y fomento del reúso y el reciclaje (Jensen *et al.*, 2023). En materia de legislación, un estudio estima que hay más de 35 leyes a nivel mundial que afectarán el mercado de la moda en los siguientes cuatro años, éstas incluyen lo referente al ecoetiquetado, transparencia en la cadena de valor, economía circular, cambio climático, deforestación, esclavitud moderna y responsabilidad extendida del productor (Jensen *et al.*, 2023).

A nivel personal uno de los primeros pasos es ser consumidores responsables, comprar textiles de buena calidad o de segundo uso, conservarlos el mayor tiempo posible y cuando ya no se requieran donarlos o venderlos, si están en buenas condiciones, o llevarlos a puntos de reciclaje, si éstos existen. Pero estas acciones no son suficientes, también debemos exigir que se creen y se implementen leyes que promuevan la participación de la industria, gobierno y población en la gestión de nuestros recursos naturales y residuos.

Referencias bibliográficas

- Bruna, A. (2016). *Product developments in manmade fibre: is cotton able to compete?* [Presentación en formato electrónico]. 33rd International Cotton Conference Bremen. Wood Mackenzie. <https://baumwollboerse.de/wp-content/uploads/vortraege/SII-Angel-Abstract.pdf>
- Cruz, A. A., Velasco, M., Tecorralco, A. L., Vázquez, A. y Espinosa, R. M. (2024). Human toxicity of nano and microplastics. En Inamuddin (Ed.), *Toxic effects of micro- and nanoplastics: environment, food and human health* (p. 610). Wiley.
- El Nemr, A. (2012). From natural to synthetic fibers. En *Textiles: types, uses and production methods* (pp. 1-152). Nova Science Publishers.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A new textiles economy: redesigning fashion's future* (p. 150). <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/A-New-Textiles-Economy-Full-Report-Updated-1-12-17.pdf>
- Filho, W. L., Perry, P., Heim, H., Pimenta Dinis, M. A., Moda, H., Ebhuoma, E., y Paço, A. (2022). An overview of the contribution of the textiles sector to climate change. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.973102>
- Grand View Research. (2021). *Textil market size and trend analysis by raw material, by product, by application, by region and segment forecast 2023 - 2030*.
- Hoekstra, A. Y. y Water Footprint Network (2017). *Product gallery*. Water Footprint Network. <https://www.waterfootprint.org/resources/interactive-tools/product-gallery/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Conociendo la industria del vestido. Colección de estudios sectoriales y regionales*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *AR6 synthesis report: Climate change 2023*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

Jensen, B., Stoneburner, M., Martínez-Prado, C., Wilkinson, J., Khodabocus, H., Durbiano, L., Faist, M., Frelund, S., Meister, P. y Vargas, M. (2023). Sustainable raw materials will drive profitability for fashion and apparel brands. *Boston Consulting Group*. <https://www.bcg.com/publications/2023/driving-profitability-with-raw-materials-in-fashion>

Madhav, S., Ahamad, A., Singh, P., & Mishra, P. K. (2018). A review of textile industry: Wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods. *Environmental Quality Management*, 27(3), 31–41. <https://doi.org/10.1002/tqem.21538>

Pizzicato, B., Pacifico, S., Cayuela, D., Mijas, G. y Ri-ba-Moliner, M. (2023). Advancements in sustain-

able natural dyes for textile applications: A review. *Molecules* 2023, 28(16), 5954. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES28165954>

Statista. (2024). *Top textile exporting countries worldwide 2022*. <https://www.statista.com/statistics/236397/value-of-the-leading-global-textile-exporters-by-country/>

Textile Exchange. (2022). *Preferred fiber and materials market report*.

Waste and Resources Action Programme. (2017). *Fibre to fibre recycling: An economic & financial sustainability assessment*. <https://wrap.org.uk/resources/guide/fibre-fibre-recycling-economic-financial-sustainability-assessment>



Los colores del Cielo

Gerardo Odrizola

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

Catalina Haro-Pérez

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

Carlos-Alejandro Vargas

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

Resumen

El artículo describe la paradoja de Olbers, vinculándola con el color negro del cielo nocturno; el efecto Purkinje, por el que vemos las estrellas blancas, y las teorías de Rayleigh y Mie que explican el azul del cielo, los tonos amarillo-anaranjados del Sol, lo rojizo de los atardeceres y lo blanco de las nubes.

Palabras clave

Paradoja de Olbers, efecto Purkinje, teoría de Mie, teoría de Rayleigh y colores del cielo.

Abstract

This manuscript describes the Olbers paradox, the Purkinje effect, and the Rayleigh and Mie theories of light scattering, explaining their link with the black of the night, the white of the stars, the blue of a clear day sky, the yellowish colors of the Sun, the reddish of sunsets, and the milky appearance of clouds.

Keywords

Olbers paradox, Purkinje effect, Rayleigh and Mie theories and colors of the sky.

Cita APA: Odrizola, G., Haro, C. y Vargas, C. (2024). Los colores del Cielo. *Azcatl*, 2, 20-31.

DOI: [10.24275/AZCATL2024A004](https://doi.org/10.24275/AZCATL2024A004)

Introducción. Del cielo y las banderas

Muchas banderas tienen un significado, otras no tanto. La de México es particularmente una de las más ricas en este sentido. Se dice que el blanco refleja la pureza y unión del pueblo; el rojo representa la sangre vertida por los héroes patrios, y el verde es la esperanza, la idea de lograr la independencia de España (Bandera de México, s.f.). Ni hablar del águila que devora la serpiente mientras se posa sobre el nopal, rodeada de ramas de encino y laurel, inspirada en la leyenda de la fundación de México-Tenochtitlan. La de España, la rojigualda, tiene unos colores de origen más pragmático: el rojo era un tinte fácil de lograr y el amarillo se distingue muy bien en el mar (Bandera de España, s.f.). Su escudo representa a los antiguos reinos de Castilla, León, Aragón, Navarra y Granada, y se encuentra entre las dos columnas de Hércules, bajo la corona real, que representa al escudo de armas de la casa de los Borbones. Las hay otras, y no son pocas, que representan el cielo o al menos tienen alguno de sus elementos típicos: estrellas, soles, lunas e incluso constelaciones no faltan por ahí. La de Uruguay es un ejemplo extremo de esta categoría, pues representa un cielo parcialmente nublado (Bandera de Uruguay, s.f.).

Dentro de las banderas que contienen elementos del cielo podemos mencionar la de Turquía, las de Australia y Nueva Zelanda, prácticamente copia una de la otra, similar a lo que ocurre con las de Argentina y Uruguay, la de China, Estados Unidos, Antigua y Barbuda, Japón, Filipinas, Kirguistán, Kazajistán, Turkmenistán, Singapur, Mauritania y Pakistán, ¡entre muchas otras! (Pérez, 2017). Como se mencionó, algunas banderas tienen lunas, otras poseen soles y unas más detentan estrellas. Otro caso extremo es la bandera de Brasil, que no conforme con representar algunos elementos del cielo, se fue un paso más allá y, literalmente, pintó un universo. En ella aparecen las constelaciones de la Cruz del Sur, Escorpión, la Hydra, el Triángulo Austral y el Can Mayor, entre otras. Además, ya que Brasil abarca tanto el norte como el sur debido a su vasta extensión geográfica, su bandera también incluye a Virginis (Virgo) al norte de su lema *ordem e progresso*, de hecho, cada objeto estelar se asocia con un estado de Brasil.

Lo cierto es que el cielo, o al menos algunos de sus componentes, se representa en un gran número de banderas (la del estado de Yucatán es otro ejemplo cercano) y esto no es tan extraño. Son muchas las culturas y las personas que le atribuyen connotaciones espirituales o religiosas, conectando el cielo con lo divino. Otros ven en él un símbolo de amplitud y libertad, como mínimo, siempre apreciado por su inmensa belleza. Durante el día lo vemos en un espectacular tono celeste (si no estamos en la Ciudad de México), salpicado aquí y allá de blanco, ya sean cirros o nimbos. Por la noche lo vemos en blanco y negro, pero realmente está lleno de colores. Durante los amaneceres y atardeceres se tiñe de tonos naranjas y amarillos, o rojos y anaranjados. Sin embargo, como está siempre presente, a veces no le prestamos la atención que merece.

¡Hagámoslo ahora!

Lo negro del cielo

«La oscuridad no me preocupa. Me preocupa la luz. La oscuridad es solamente ausencia de luz. Pero la ausencia sí me preocupa. La preocupación no. Me es indiferente...»

Masláh, 2002

Nos parece obvio, pero no lo es. La oscuridad, el color negro, es la ausencia de luz. Si no llega información a nuestros ojos entonces vemos su ausencia, vemos lo que nuestro cerebro interpreta como negro. Por otro lado, la luz es radiación electromagnética y ésta es generada por las estrellas, junto con otras cosas, que en este artículo, por el momento, no nos ocuparemos. Si miramos en alguna dirección hacia el cielo nocturno y vemos negro, eso significa que no hay estrellas en esa dirección. Y que no haya estrellas nos indica que si el universo en su conjunto es más o menos homogéneo, no puede ser infinito. Esta idea la propuso Olbers en 1823, quien planteó la paradoja que hoy lleva su nombre. Sin embargo, previamente, Kepler ya la había notado en 1610 (Harrison, 1987). Olbers argumentó lo siguiente: para un universo infinito provisto de estrellas, uniformemente distribuidas, cualquier punto

del cielo debería verse brillante, puesto que siempre encontraríamos una estrella independientemente de la dirección de observación (Olbers, 1826). Es decir, para una densidad uniforme de estrellas, el número de éstas situadas en la superficie de una esfera que se encuentra a una determinada distancia del centro de la Tierra crece con esta distancia al cuadrado. Entonces, cuanto más lejos vemos (capas de cielo más lejanas), más estrellas habrá allí.

Se sabe, y se sabía en otra época, que la intensidad de la luz que nos llega desde las estrellas decrece con la distancia al cuadrado. Esto es una consecuencia directa del principio de conservación de la energía. La energía que parte de una estrella (o de un emisor cualquiera) por unidad de tiempo y que cruza cierta área a cierta distancia del emisor tendrá que ser la misma que cruza a una distancia mayor, si no hay nada que obstaculice el flujo de dicha energía. Así, la energía (y la intensidad) disminuye con la distancia de forma cuadrática para compensar la mayor área que atraviesa a medida que aumenta la distancia, de modo que la cantidad total es invariante y justo esto compensa el hecho de que haya más estrellas. En resumen, si mirásemos a cualquier punto arbitrario del cielo nocturno deberíamos encontrarnos siempre con una estrella y ver su luz. Pero Olbers no se detuvo allí sino que calculó cuánta energía en forma de luz nos llegaría desde el cielo nocturno y concluyó que sería equivalente a 50 000 veces la que recibimos del Sol. Esto, a su vez, elevaría la temperatura de la Tierra a algo más de 5 000 °C.

La paradoja se resuelve considerando la existencia de un universo finito, como lo postula la teoría del Big Bang (National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2012), junto con el hecho de que la luz viaja a una velocidad finita e independiente del movimiento del observador y su fuente. Este último supuesto junto con la invarianza de las leyes de la física para sistemas de referencia inerciales dieron lugar a la teoría de la relatividad especial (Einstein, 1905). Un universo finito limita el número de capas de estrellas que podemos observar, incluso para un universo homogéneo. Además, con el tiempo hemos aprendido que el universo está lejos de ser homogéneo, ya que presenta estructuras que abarcan diferentes esca-

las espaciotemporales, desde nuestro sistema solar (abarcando segundos a horas luz), galaxias (desde años a miles de años luz), cúmulos (millones de años luz) y supercúmulos (miles de millones de años luz).

Por otro lado, la velocidad finita de la luz nos permite ver el pasado. Funciona de la siguiente manera: cuanto más lejos vemos, más temprano ocurrió el evento que observamos. La información que nos llega del Sol tiene un retraso de aproximadamente ocho minutos y algunos segundos, simplemente porque la luz tarda ese tiempo en recorrer la distancia que nos separa. La luz que proviene de Próxima Centauri, la estrella más cercana a la Tierra, demora un poco más, alrededor de cuatro años y fracción. La distancia que nos separa es proporcional al tiempo que la luz tarda en recorrerla. Por lo tanto, el año luz se convierte en una unidad de distancia (y no de tiempo) que se utiliza frecuentemente en astronomía. La información que nos llega de Andrómeda, la galaxia más cercana a la nuestra, la Vía Láctea, tiene unos 2.5 millones de años, por lo que no es ninguna novedad lo que sabemos de Andrómeda. Esto funciona en ambas direcciones, ya que los habitantes de Andrómeda ven lo que ocurrió aquí hace 2.5 millones de años, cuando en la Tierra se vivía en el período paleolítico y aún no aparecía el *Homo habilis* (Toth, 2007). Siguiendo con el razonamiento, si observamos objetos cada vez más lejanos, la información que obtenemos es cada vez más antigua. Estamos viendo el pasado y no el presente. Llega un punto en el que ya no podemos ver más, simplemente porque estamos intentando observar más allá del tiempo cero, más allá del equivalente en distancia a los 13.6 mil millones de años de existencia del universo. Si nuestro universo fuera estático, 13.6 mil millones de años luz sería precisamente la distancia que definiría el radio del universo observable. Sin embargo, no es así, éste es mucho más extenso.

Potencialmente podríamos ver objetos situados a una distancia de hasta 46.5 mil millones de años luz (si los telescopios lo permitieran), lo que equivale a unos 880×10^{24} metros (Gott, 2005). Esto se debe a la expansión del universo. Al superar esta barrera, la luz no ha tenido tiempo suficiente para alcanzarnos. Podríamos decir que está

en camino, pero aún no ha llegado y nunca lo hará, simplemente porque la distancia que se crea por unidad de tiempo es mayor que el avance de la luz. La expansión universal acelerada hace que los objetos observables más allá del super agregado local (agregado de pequeñas galaxias) desaparezcan, ya que la luz llega cada vez más tenue (recordemos que su intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia a la fuente) y más desplazada hacia el rojo, debido al efecto Doppler (Serway y Faughn, 2005). Sin embargo, a simple vista, el cielo seguirá pareciendo más o menos igual, ya que todo lo que vemos pertenece a nuestra galaxia o a galaxias cercanas. De hecho, posiblemente parecerá aún más poblado de estrellas porque se espera que Andrómeda colisione con la Vía Láctea en unos 4.5 mil millones de años (Cowen, 2012), que es más o menos la edad de la Tierra.

A pesar de que existen más elementos más allá del límite de nuestro universo observable¹, estos objetos se alejan debido al proceso conocido como expansión universal. El hecho de que las estructuras del universo se alejen entre sí, y lo hacen más cuanto más grande es la distancia que las separa, es algo medible y conocido (Overbye, 2017). Ahora, la explicación humana de por qué pasa lo que vemos que pasa hace referencia a un tipo de energía llamada, por los que dicen saber, oscura² (Peebles, 2003). Pero bueno, volviendo a lo que sí se sabe, cuanto más lejanos están dos puntos del universo, más rápido se separan, tanto que los puntos separados a 46.5 mil millones de años luz se alejan a una velocidad mayor a la velocidad de la luz³, por lo que pasado un rato dejamos de verlos. Incluso se han observado galaxias que se alejan de nosotros a velocidades superiores a la de la luz (esto se

determina a través del corrimiento al rojo de su espectro electromagnético), lo que significa que los puntos separados por distancias menores a 46.5 mil millones de años luz también siguen esa tendencia (otro efecto peculiar de la expansión acelerada). A medida que transcurre el tiempo podemos observar objetos más distantes, pero estos objetos se alejan más rápido de lo que la frontera de nuestro universo observable se expande, lo que limita nuestro acceso a la información. Cuanto más tiempo pasa, menos información accesible, una cosa terrible.

Lo blanco de las estrellas

Las estrellas parecen blancas, pero en realidad tienen colores distintos dependiendo de su temperatura; algunas son más azules y otras más rojas, similar a las diferentes regiones de la llama de un mechero (Forde, 2022). Entonces ¿por qué las percibimos como blancas? La respuesta se encuentra en la manera en que funcionan nuestros ojos, no en la naturaleza de las estrellas, y se conoce como el efecto Purkinje (Frisby, 1980). Después de que la luz atraviesa la córnea, el cristalino y el humor vítreo para enfocarse en la retina, esta información es recopilada por células conocidas como conos y bastones (su nombre proviene de su forma) (Santini, 2015). Luego, esta información se transmite al cerebro a través del nervio óptico para su procesamiento⁴. Los bastones son altamente sensibles y eficientes, lo que los hace ideales para la visión nocturna, aunque proporcionan baja resolución. Por otro lado, los conos ofrecen una alta resolución y reaccionan de manera diferenciada según la longitud de onda de los distintos fotones que llegan a nosotros, pero son menos sensibles. A lo largo del tiempo, los conos se han espe-

1 Es preciso notar que el universo observable terrestre no es el mismo que el universo observable de Andrómeda, es otro, y ambos quedan dentro del universo que compartimos.

2 Lo escribimos así simplemente porque no hay consenso. Los que dicen saber tienen muy claro que no lo saben, por eso le llaman energía oscura.

3 Alguien podrá objetar que no es posible que se alejen a mayor velocidad de la cosa que más rápido se mueve en el universo, la luz, pero así ocurre. Esto es porque en realidad no se están moviendo sobre el tejido del universo sino que es el mismo tejido el que se mueve. La luz es lo que más rápido se mueve sobre el tejido del universo.

4 Parte se procesa ahí mismo por la red de conos y bastones. El ojo es como la especialización de un trozo de cerebro, hay neuronas en la retina. Por ello, no es tan disparatado decir que cuando vemos a alguien a los ojos podemos ver sus pensamientos.

cializado en percibir diferentes colores y así detectar posibles amenazas durante el día. Hay tres tipos de conos: sensibles al azul, al rojo⁵ y al verde, y su número es mucho menor que el de bastones. La selección natural ha llevado a que veamos más tonalidades de amarillo y verde (en el centro del espectro visible) en comparación con el azul o el rojo (Vision Boutique, 2021). Nuestros ancestros, que provienen de la sabana, debían ser capaces de distinguir entre un amarillo verdoso y un amarillo leopardo. Según la teoría de Darwin, esta habilidad les confería una ventaja de supervivencia sobre sus semejantes, lo que finalmente derivó en nuestra existencia actual, donde disfrutamos de una amplia gama de tonos verdes-amarillos, similares a los que se encuentran en las pelotas de tenis (percibidas como verdes por algunos y amarillas por otros).

Ver de noche también era (y sigue siendo) importante, por lo que otro tipo de células se especializó en esta tarea: los bastones. Sin embargo, su función va más allá de la visión nocturna, ya que también son responsables de detectar movimiento y sombras, tanto de noche como de día. Asimismo, son los encargados de captar la escasa radiación que nos llega desde las estrellas. Dado que esta radiación es tan tenue, los conos contribuyen poco en esta situación, lo que resulta en una percepción en blanco y negro de la noche, incluyendo los colores del cielo nocturno. Incluso una rosa roja se percibe como gris en condiciones de muy poca luz ambiental (ver Figura 1) (Frisby, 1980).

El azul del cielo

La atmósfera es la responsable de tan intenso color. Sin ella no habría azul del cielo, sólo negro, ausencia. ¿Pero cómo funciona? Bueno, tiene que ver con una de las cosas que puede hacer la luz cuando se encuentra con algo (ver Figura 2), se puede dispersar. Para comprender el fenómeno debemos tener primero una idea de qué es la luz: radiación electromagnética (Halliday, 2007). Se le



Figura 1. Imagen de una rosa iluminada (izquierda) y sin iluminar (derecha), generada con la inteligencia artificial Leonardo.ai. El color rojo de la rosa se pierde en la imagen de la derecha, de acuerdo con el efecto Purkinje.

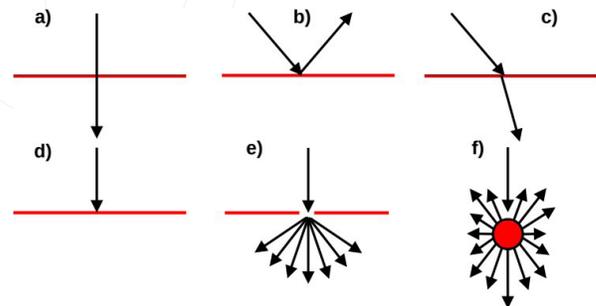


Figura 2. Diferentes fenómenos que presenta la luz cuando se encuentra con objetos o cambia de medio (del aire al agua, por ejemplo): a) Transmisión. El objeto se dice transparente a ese tipo de radiación cuando la luz no interacciona con él. b) Reflexión. La luz se refleja y podemos ver imágenes sobre la superficie, tal como en un espejo. c) Refracción. La luz cambia de dirección al cambiar de medio. d) Absorción. La luz es absorbida por el material. e) Difracción. Ocurre cuando la luz pasa a través de una rendija de ancho similar a su longitud de onda. f) Dispersión. La luz se dispersa en todas las direcciones al encontrarse con una partícula.

llama así porque está hecha de campos eléctricos y magnéticos que se desplazan en dirección perpendicular a sus propias direcciones (son vectores), siendo éstos también perpendiculares entre sí (ver Figura 3). Además, el campo eléctrico fluctuante produce campo magnético fluctuante que vuelve a generar campo eléctrico fluctuante un

5 Éstos son los que no tienen Luna y Gokú (un par de perritos). Ellos no ven rojos, pero sí azules y amarillos (Wolchover, 2022). No ven en tonos de grises como se dice por ahí

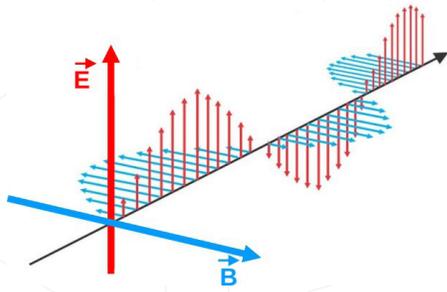


Figura 3. Esquema de los campos eléctrico y magnético que se producen de forma simultánea al propagarse la luz. En el esquema, los campos se representan estáticos (como si se tratara de una foto), pero éstos cambian con el tiempo. Nótese que los campos son siempre perpendiculares a la dirección de propagación de la luz (flecha negra). En este ejemplo particular, los campos oscilan en una única dirección, lo que se conoce como luz linealmente polarizada. Estos campos oscilatorios son la radiación electromagnética, son la luz.

poco más allá del original, haciendo que la cosa avance a una velocidad ridículamente grande⁶ y sin disipar energía alguna en el proceso. Por eso, este campo que se genera en alguna estrella muy pero muy lejana eventualmente puede desplazarse e impactar nuestras retinas (se desplaza en el vacío y también en otros medios). A un paquete de estas ondas electromagnéticas se le llama fotón y su energía depende de su longitud de onda, cuanto más pequeña, mayor energía. Cuando la longitud de onda se encuentra entre los 400 y 700 nanómetros, aproximadamente, a la radiación electromagnética se le llama luz visible. Si es mayor tendremos infrarrojo (literalmente por debajo del rojo y se refiere a la frecuencia —proporcional al inverso de la longitud de onda— y no a la longitud de onda) y si es menor tendremos ultravioleta (por encima del violeta, otra vez haciendo referencia a la frecuencia y no a la longitud de onda). Así, nuestro ojo ve la radiación electromagnética comprendida en este intervalo de longitudes de onda, ni más ni menos. Otros animales ven otras regiones del espectro, como por ejemplo las abejas,

que pueden distinguir unas flores blancas de otras porque, efectivamente, no presentan el mismo espectro ultravioleta (Bowdler, 2010).

Entonces llega la luz del Sol a nuestra atmósfera y se encuentra con moléculas de oxígeno, nitrógeno y más cosas. Cuando se produce la interacción entre la luz y las moléculas, éstas se estresan por la presencia de este campo eléctrico que no estaba ahí hace un rato. Como los núcleos de dichas moléculas son pesados comparados con los electrones que los rodean, se puede considerar que el campo electromagnético incidente sólo perturba al movimiento de estos últimos, los cuales empiezan a oscilar con la misma frecuencia que el campo incidente. Este movimiento oscilatorio genera un dipolo que emite nuevas ondas electromagnéticas justo con su frecuencia, siguiendo el mismo mecanismo que una antena de radio. Es fundamental destacar que la radiación producida ya no sigue la dirección original de la radiación incidente, sino que se propaga en todas direcciones. Este tipo de interacción entre luz y materia se denomina dispersión (esparcimiento) elástica, porque los fotones dispersados poseen la misma energía (frecuencia) que los incidentes (ver Figura 2f). Si imaginamos a un observador madrugador mirando en la dirección opuesta al Sol, que asciende por el este, las moléculas de nitrógeno ubicadas al oeste y cerca del horizonte dispersarán radiación procedente de los rayos solares que finalmente llegará a su retina. Luego, este observador percibirá la luz dispersada por moléculas ubicadas al otro lado del cielo. En su mayoría, esta luz se presenta en tonalidades de azul, como el lector ya habrá deducido.

Rayleigh fue quien explicó todo lo anterior y también lo que sigue, y lo hizo inspirado en las observaciones de Tyndall (Young, 1981). Este último observó que las dispersiones coloidales de partículas nanoscópicas tienen un color azulado y sugirió que el color del cielo podría deberse al mismo efecto. Tenía razón.

Rayleigh dedujo una expresión matemática para la intensidad de la luz dispersada cuando la partícula que la produce es pequeña comparada con la longitud de onda

6 Esta cifra, 299 792 458 km/s (no es un número de celular, o quizás también, habría que probar) es absurdamente grande en términos humanos, pero ridículamente pequeña en términos del tamaño del universo. Es tan pequeña que hace muy difícil (si no imposible) la comunicación y encuentro entre las diferentes civilizaciones que podrían poblarlo.

de la radiación incidente (esto porque supuso que toda la partícula presencia el mismo campo eléctrico al mismo tiempo⁷) y además con un índice de refracción cercano a la unidad. La expresión es la siguiente:

$$I=I_0 \frac{(1+\cos^2(\theta))}{8RZ} \left(\frac{n^2-1}{n^2+2}\right)^2 d^6 \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^4,$$

donde I_0 es la intensidad de la radiación incidente, R es la distancia entre la partícula y el observador, θ es el ángulo que forman la dirección de propagación de la luz incidente y la dirección definida por la partícula y el observador, n es el índice de refracción de la partícula, d es su diámetro y λ es la longitud de onda de la radiación incidente (que, como vimos, es la misma que la radiación producida por el dispersor). Quizás lo más relevante de esta expresión, por lo menos para explicar el color del cielo, es que la longitud de onda aparece en el denominador elevada a la cuarta potencia. Esto hace que la radiación visible de 400 nm se disperse casi 10 veces más que la de 700 nm⁸. Esto favorece a los violetas y azules en comparación con los rojos y amarillos, lo que se combina con el hecho de que el oxígeno absorbe radiación ultravioleta y violeta visible, dejando principalmente a los azules como el color predominante del cielo (nos llega radiación de todo el espectro, pero mucha mayor proporción de azul, ver Figura 4).

Otra curiosidad que también resulta de este fenómeno es la polarización parcial de la luz que nos llega del cielo, lo que significa que la luz tiene una dirección preferente para la oscilación de su campo eléctrico (tal como se muestra en la Figura 3) (Young, 1981). Esta polarización se origina porque la fuente de luz, en este caso el Sol, genera un campo eléctrico que oscila únicamente en una dirección perpendicular a la propagación de sus rayos (no sólo el Sol, sino la luz en general se comporta de esta manera, ver Figura 3). En consecuencia, los dipolos moleculares presentes en la atmósfera pueden oscilar exclusivamente en el plano perpendicular a la dirección de la luz incidente. La proyección de un círculo ubicado en este

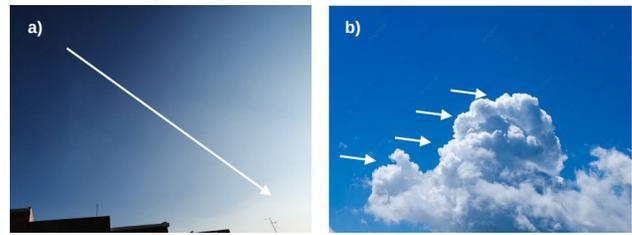


Figura 4. a) Foto de una sección del cielo. Cuanto más cerca de la fuente (el Sol) mayor es la saturación del color (más fotones de todas las longitudes de onda, más blanco). Al alejarnos, el cielo se percibe más azul. b) Foto de una nube. La fuente (el Sol) se encuentra a la izquierda, lo que produce blancos más intensos del lado izquierdo de la nube.

plano de oscilación y centrado en la partícula dispersora sobre el plano perpendicular a la dirección de observación, generalmente, produce una elipse. Esto explica por qué la luz del cielo se encuentra parcialmente polarizada, lo que significa que una dirección de oscilación tiene una mayor magnitud del campo que la otra.

Este efecto alcanza su máxima expresión cuando el Sol está justo sobre el horizonte. Es importante destacar que el patrón de polarización varía a lo largo del día y depende de la dirección desde la cual se observa, lo que lo convierte en un mecanismo utilizado por varios insectos para orientarse (Dacke *et al.*, 2003).

Finalmente, el fenómeno de la dispersión de la luz se comprende más fácilmente con la luz que produce un láser. El tipo de luz que provee este dispositivo es coherente (los fotones tienen la misma frecuencia y forma) y avanza en una única dirección (rayos colimados que son paralelos entre sí), lo que contrasta con otras fuentes de luz más convencionales. Hoy por hoy son baratos y se usan, entre otras cosas mucho más útiles, para señalar un punto en la proyección de alguien que está exponiendo algo. No importa cuán lejos se encuentre de la pantalla, el marcador láser siempre produce una mancha de luz más o menos

7 Esto lo hizo por el mismo motivo que suponemos que una cuerda no se estira y no tiene masa o que la fuerza se aplica en un único punto del sólido o que el cuerpo es rígido, lo hizo porque simplifica muchísimo el tratamiento matemático.

8 Tan sólo hay que hacer $1/400^4 / 1/700^4$, que es lo mismo que $700^4/400^4 = 9.38$. Un poquito de matemáticas no le hace daño a nadie.



Figura 5. Haz de luz producido por un diodo láser de 660 nm de longitud de onda y potencia de 5mW (un apuntador láser común y corriente) que atraviesa de izquierda a derecha a una suspensión de partículas de poliestireno de 100 nm de diámetro. El haz no es visible ni antes ni después de atravesar la muestra, sólo se observa la luz producida por la dispersión Rayleigh debido a la presencia de las partículas coloidales.

del mismo tamaño (por aquello de la colimación). Habrán notado también que, en general, el haz de luz no se ve, no pasa lo que nos muestra *Star wars* con las espadas láser⁹. No vemos que el expositor golpee la pantalla con un bastón de luz, sólo vemos la marca sobre la pantalla y nada en su camino hacia ella. Pero sí se puede hacer algo para ver, indirectamente, el haz de luz, el bastón de luz que golpea a la pantalla¹⁰: podemos poner dispersores en su camino. Unos dispersores muy efectivos son las partículas de tamaño nanométrico (ver Figura 5). Si llenamos la sala de conferencias, donde se lleva a cabo la presentación, con algún tipo de humo, lograremos ver el haz láser (y de paso haremos que todos salgan).

Lo amarillo del Sol

Fuera de la atmósfera terrestre el cielo se ve negro sin importar si el Sol está o no visible para nosotros. El Sol, por otro lado, se ve blanco (no hay que mirarlo di-

rectamente y menos si estuviéramos fuera de la atmósfera terrestre). El Sol produce un continuo de radiación en el espectro electromagnético, que va desde el infrarrojo hasta el ultravioleta, luz que nuestro ojo vería como blanco (la suma de todos los colores). El Sol está clasificado como una enana amarilla, pero no es amarillo, lo que sin duda causa confusión (Forde, 2022). Las enanas amarillas son aquellas que pertenecen a la secuencia espectral G y tienen entre 0.7 y 1.2 masas solares. Aquéllas con masas cercanas a 0.7 sí son blanco-amarillas. Así que eso de que Superman toma energía del Sol amarillo no es correcto, si lo hace, lo hace de un Sol blanco (Univisión, 2014). Y entonces, ¿por qué lo vemos amarillo? Otra vez, Rayleigh tiene la respuesta. No lo vemos siempre igual; a veces lo vemos amarillo, a veces un poco más como blanco (al mediodía) y por las mañanas y las tardes más anaranjado e incluso medio rojo (otra vez, no lo miren, mucho menos al mediodía). Lo que vemos es el blanco de su espectro electromagnético original (antes de entrar a la atmósfera) menos todo lo que se dispersa por el camino (hay otros efectos además de la dispersión). Cuanto mayor sea la distancia recorrida por un rayo de sol a lo largo de la atmósfera, más azules y violetas pierde y más proporción de amarillos y rojos nos llegan. Al mediodía, sobre todo si estamos sobre el ecuador y en un equinoccio, los rayos solares recorren la mínima distancia posible sobre la atmósfera y caen perpendiculares sobre la superficie terrestre, por ello, la atmósfera no tiene mucha oportunidad de dispersar azules y el Sol se ve lo más blanco posible. Por el contrario, cuando el Sol se encuentra cerca del horizonte, la distancia que atraviesan sus rayos sobre la atmósfera es mucho mayor y se dispersan más los azules y violetas. Lo que vemos, la diferencia, es algo anaranjado e incluso medio rojo. Aquí importan otras cosas que también se encuentran dispersas en la atmósfera, como ciertas nano y micropartículas, algunas asociadas a la actividad humana y otras a causas

9 Posiblemente esto ocurra por la sensibilidad intrínseca de la luz al manejo de la Fuerza por parte de los Jedi y los Sith, pero no nos consta.

10 Aunque no se vea, el haz de luz sí que golpea a la pantalla, si hay transferencia de momento.

naturales como la actividad volcánica. En general, cuanto más rojo es el Sol del amanecer (o atardecer), mayor presencia de partículas dispersoras.

Lo naranja de los atardeceres

Cuando el Sol emerge en el horizonte por la mañana, en realidad aún no está allí. Del mismo modo, cuando está a punto de desaparecer por el horizonte occidental, tampoco está donde lo vemos. Esto no se debe únicamente a los 8 minutos y 20 segundos de retraso en la información que nos llega, sino a un fenómeno adicional. Imaginemos que congelamos las posiciones de la Tierra (incluida su rotación) y el Sol, y trazamos una línea recta desde un observador durante un atardecer hasta la posición aparente del Sol. Esta línea no llega a la superficie del Sol. La atmósfera de la Tierra presenta un gradiente de densidad que a su vez crea un gradiente en su índice de refracción, provocando que los rayos solares se desvíen lo suficiente como para que podamos ver el Sol cuando en realidad ya se ha ocultado o no ha salido. Sí, la atmósfera, además de permitirnos la vida, nos regala unos minutos diurnos extra. Este efecto es análogo a lo que ocurre cuando tratamos de observar un objeto a través de un vaso de vidrio con agua. Si colocamos un objeto del otro lado del vaso, pero no exactamente detrás de él, notamos que la imagen se ve desplazada respecto a su ubicación real. Cuando vemos un lápiz parcialmente sumergido en agua, éste parece quebrarse a la altura del menisco (ver Figura 6). De manera similar, esto sucede con el Sol, la Luna y cualquier objeto que se encuentre fuera de nuestra atmósfera. Vale destacar que este fenómeno también produce la ilusión de que los objetos se vean más grandes de lo que en realidad son, especialmente en el horizonte, donde los rayos del Sol atraviesan una mayor distancia a través de la atmósfera.

Que la trayectoria de los rayos dentro de la atmósfera se curve hace que recorran aún más distancia sobre ésta y le den más oportunidad de dispersar azules. Lo que queda, la diferencia entre toda la radiación visible que llega del Sol y los azules que se pierden por dispersión, es muy pero muy amarillo y rojo, es decir, muy naranja. Cuando



Figura 6. Foto de un lápiz parcialmente sumergido en agua. Se han trazado un par de rectas para guiar al ojo y resaltar el ángulo de refracción que aparece entre lo que se observa fuera y dentro del agua (negro fuera, rojo dentro). El mismo fenómeno ocurre con los rayos solares que ingresan a la atmósfera y se curvan debido a su gradiente en el índice de refracción. Esto hace que podamos ver al Sol antes de que éste se encuentre físicamente sobre el horizonte.

estos rayos pobres en azules inciden sobre una nube, ésta no puede dispersar más que el naranja que le llega, ya no hay azul que dispersar, y la nube también se tiñe de naranja. Cuando esto pasa con muchas nubes al mismo tiempo y se amplifica con la superficie reflejante de una bahía tranquila, tenemos unos atardeceres espectaculares.

Lo blanco de las nubes

Ahora llegamos al límite de la teoría de Rayleigh. Su magnífica expresión matemática (ver expresión 1) no puede explicar el color blanco de las nubes, ni tampoco el blanco de la leche ni el de las dispersiones de látex que sirven de base para las pinturas, así como cualquier dispersión coloidal en general. El motivo subyacente es el mismo. Las nubes, la leche y otros coloides comparten una característica: están formados por regiones heterogéneas en cuanto a su índice de refracción y estas heterogeneidades tienen tamaños característicos de varias centenas de nanómetros, aproximadamente en la misma escala que

la longitud de onda de la radiación electromagnética visible (Greenler, 1980). En consecuencia, ya no es válido el supuesto de que la partícula causante de la dispersión es mucho más pequeña que la longitud de onda de la radiación incidente. Esto significa que habrá partes de la partícula expuestas a diferentes intensidades del campo eléctrico simultáneamente, lo que invalida sus resultados y complica en gran medida el tratamiento matemático. Además, lo que es más importante, la solución a este problema más complejo (que involucra la aparición de armónicos esféricos, los mismos que son parte de la solución de la ecuación de Schrödinger estacionaria para el átomo de hidrógeno) se vuelve prácticamente independiente de la longitud de onda de la radiación incidente. La intensidad dispersada es proporcional al cuadrado del diámetro de la partícula dispersora (o la región del espacio con índice de refracción diferente, ya que no necesariamente debe existir una partícula *per se*) y, en general, es mucho más intensa que la dispersión Rayleigh (Mie, 1908). Asimismo, la intensidad dispersada exhibe una fuerte dependencia angular, siendo mucho más intensa en la dirección de la luz incidente y hacia adelante que en otras direcciones, como a los lados o hacia atrás.

Luego, sin importar la longitud de onda que incida en un dispersor Mie (un dispersor de tamaño similar a la longitud de onda de la radiación incidente), la dispersión ocurre en la misma proporción que con otras longitudes de onda. Si llega radiación de todas las longitudes de onda visibles a un dispersor de este tipo (luz blanca), la proporción de un tipo de radiación (por ejemplo, amarilla) será la misma que tenía la radiación incidente. Por lo tanto, si la radiación incidente es blanca, como la que proviene del Sol, entonces la partícula se verá blanca. Esto explica por qué las nubes se ven blancas al mediodía, ya que el agua que las forma se condensa en gotitas de tamaño coloidal, que tienen varios cientos de nanómetros de diámetro (ver Figura 4). Además, esto también explica por qué el cielo puede tener tonalidades anaranjadas al atardecer, ya que los tonos azules de la radiación incidente se han agotado al colorear el resto del cielo.

Conclusiones

Desde los albores de la humanidad hemos contemplado el cielo con un profundo interés. Las primeras civilizaciones ya mostraban una fascinación por los astros, lo que influyó en el avance del conocimiento y en el desarrollo de la ciencia. Sin embargo, pasaron miles de años antes de que pudiéramos comprender por qué los planetas, a los que llamábamos errantes, seguían trayectorias tan peculiares en comparación con las estrellas fijas. También fue necesario mucho tiempo para observar y comprender los diversos colores de las estrellas y galaxias, y cómo éstos se relacionan con su composición química y sus movimientos relativos con respecto a nuestra posición en el universo. La luz que emana de estas enormes esferas de gas comprimido, que están en constante reacción nuclear, tarda en llegar a nosotros, a veces, un tiempo tan vasto como la propia edad del universo. Hoy en día, el telescopio espacial James Webb (Garner, 2022) nos brinda información valiosa sobre la formación de las primeras galaxias al especializarse en la observación de longitudes de onda visibles y largas, particularmente en la gama de los naranjas y rojos.

En cuanto a las banderas, con el transcurso del tiempo, la mayoría de los colores que aparecen en ellas han adquirido significados simbólicos. Por ejemplo, se dice que la rojigualda representa con su rojo a la sangre derramada por los españoles en defensa de su nación y con su amarillo (gualdo, un tipo de amarillo, como el de la flor de gualda) el oro y la riqueza del imperio. También el número de franjas de la bandera uruguaya corresponde a cada uno de los departamentos que componen al país (Bandera de Uruguay, s/f). Claro que hay un total de 19 departamentos y nada más 9 franjas —si contamos a las blancas que también hacen a su fondo—, pero eso es porque los departamentos se reprodujeron después de ser inventada la bandera, y a cualquier bandera le puede pasar algo así. Además, el sol no es cualquiera, es el Sol de Mayo (o Sol Incaico), el cual representa la independencia de los malos comunes a toda Hispanoamérica, los hispanos. Así que el verde de la bandera de México significa lo mismo que el

Sol de la de Uruguay (mismo que aparece en la bandera Argentina y en el estandarte presidencial del Perú). También dicen por ahí que el blanco y el azul significan esto y aquello, pero no dejan de ser interpretaciones modernas de sus colores originales. La verdad es mucho más simple: nadie en su sano juicio pintaría un trozo de cielo marrón y verde, porque el blanco y el azul son los colores que tenían que ser... los colores del cielo.

Referencias

- Bandera de España. (2024). En *Wikipedia*. Recuperado en junio de 2023 de https://es.wikipedia.org/wiki/Bandera_de_Espa%C3%B1a
- Bandera de México. (2024). En *Wikipedia*. Recuperado en junio de 2023 de https://es.wikipedia.org/wiki/Bandera_de_M%C3%A9xico
- Bandera de Uruguay. (2024). En *Wikipedia*. Recuperado en junio de 2023 de https://es.wikipedia.org/wiki/Bandera_de_Uruguay
- Bowdler, N. (2010). Las flores, como las ven las abejas. *BBC News*. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2010/12/101213_vision_abejas_lp
- Cowen, R. (2012). Andromeda on collision course with the Milky Way. *Nature*. <https://www.nature.com/articles/nature.2012.10765>
- Dacke, M., Nilsson, D. E., Scholtz, C., Byrne, M. J. y Warrant, E. (2003). Insect orientation to polarized moonlight. *Nature*, 424(33). <https://doi.org/10.1038/424033a>
- Einstein, A. (1905). Zur elektrodynamik bewegter körper. *Annalen der Physik*, 891-921.
- Forde, T. C. (2022). What color are the stars? The astronomer's guide to seeing a stellar rainbow. *Love the Night Sky*. <https://lovethenightsky.com/what-color-are-stars/>
- Frisby, J. P. (1980). *Seeing: Illusion, brain and mind*. Oxford University Press.
- Garner, R. (2022). NASA's webb delivers deepest infrared image of universe yet. *NASA*. <https://www.nasa.gov/image-article/nasas-webb-delivers-deepest-infrared-image-of-universe-yet/>
- Gott III, J. R., Juric, M., Schlegel, D., Hoyle, F., Vogeley, M., Tegmark, M., Bahcall, M. y Brinkmann, J. (2005). A map of the universe. *The Astrophysical Journal*, 624(2), 463-484.
- Greenler, R. (1980). *Rainbows, halos, and glories*. Cambridge University Press.
- Halliday, D., Resnick, R. y Krane, S. K. (2007). *Física. Volumen 2*. Patria.
- Harrison, E. R. (1987). *Darkness at night: A riddle of the universe*. Harvard University Press.
- Mie, G. (1908). Beiträge zur optik trüber medien, speziell kolloidaler metallsösungen. *Annalen der Physik*, 330, 377-445.
- NASA. (2012). Universe 101: Big bang theory. <https://map.gsfc.nasa.gov/universe/>
- Olbers, H. W. M. (1826). Ueber die durchsichtigkeit des weltraums. *Astronomisches Jahrbuch für das Jahr*, 110-121.
- Overbye, D. (2017). Cosmos controversy: The universe is expanding, but how fast? *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2017/02/20/science/hubble-constant-universe-expanding-speed.html>
- Peebles, P. J. E. y Ratra, B. (2003). The cosmological constant and dark energy. *Reviews of Modern Physics*, 75(2), 559-606.
- Pérez, J. (2017). La astronomía de las banderas del mundo. *Ventura*. <https://vaventura.com/divulgacion/geografia/la-astronomia-las-banderas-del-mundo>
- Santini, B. (2015). The Science Behind Color Enhancement. Recuperado de <https://www.2020mag.com/article/the-science-behind-color-enhancement>
- Serway, R. A. y Faughn, J. S. (2005). *Fundamentos de física. Volumen 2*. Ediciones Paraninfo.
- Toth, N. y Schick, K. (2007). Overview of paleolithic anthropology. *Handbook of Paleoanthropology*, 3, 1943-1963.

Univisión. (2014). ¿Cómo funcionan los poderes de Superman? <https://www.univision.com/entretenimiento/geek/como-funcionan-los-poderes-de-superman>

Vision Boutique. (2021). Why can the human eye see more shades of green. <https://vision-boutique.com/why-can-the-human-eye-see-more-shades-of-green/>

Wolchover, N. y Duke, C. (2022). Dog vision: How do dogs see the world? LiveScience. <https://www.livescience.com/34029-dog-color-vision.html>

Young, A. T. (1981). Rayleigh scattering. Applied Optics, 20, 533-535.

Visualización del estado de la educación de la ingeniería en computación en el ámbito nacional y en la Universidad Autónoma Metropolitana

Juan Manuel Galindo Medina

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

Román Anselmo Mora Gutiérrez

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

Rafaela Blanca Silva López

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Lerma
r.silva@correo.ler.uam.mx

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo desarrollar un marco metodológico integral para el diseño de objetos digitales de aprendizaje en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A). En una primera etapa se usaron redes complejas como herramientas de visualización de la información para entender el contexto de la docencia en ingeniería en computación. El análisis se llevó a cabo en el ámbito nacional y en las cuatro licenciaturas en Computación que imparte la UAM.

Entre los resultados se establecieron algunas características de la docencia de la Ingeniería en Computación a nivel nacional, destacando la centralización de la oferta y la matrícula en la Ciudad de México y su zona metropolitana. También se encontraron coincidencias y diferencias entre los enfoques de las cuatro licenciaturas en computación ofertadas por la UAM y los perfiles que solicitan los empleadores. Se espera que esta información beneficie la implementación de programas de educación virtual en la UAM.

Palabras clave

Ingeniería en computación, educación, redes complejas.

Cita APA: Galindo, J., Mora, R. y Silva, R. (2024). Visualización del estado de la educación de la ingeniería en computación en el ámbito nacional y en la Universidad Autónoma Metropolitana. *Azcatl*, 2, 32-43. DOI: [10.24275/AZCATL2024A005](https://doi.org/10.24275/AZCATL2024A005)

Abstract

The objective of this research is to design an integral methodological framework for the design of digital learning objects at the Autonomous Metropolitan University, Campus Azcapotzalco (UAM-A). In a first stage, complex networks were used as information visualization tools to understand the context of teaching in Computer Engineering. The analysis was carried out for the national level and for the four computer engineering degrees taught at UAM.

Among the results, some characteristics of the teaching of Computer Engineering at the national level were established, highlighting the centralization of the offer and enrollment in Mexico City and its metropolitan area. Coincidences and differences between the approaches of the four computer engineering degrees offered by UAM and the profiles requested by employers were also found. It is expected that this information will benefit the implementation of virtual education programs at UAM.

Keywords

computer engineering, education, complex networks.

1. Introducción

1.1. La educación y algunas de sus modalidades

La educación es «el proceso sistemático e intencional de facilitar el aprendizaje y el desarrollo, normalmente, en verdaderas instituciones formales, como escuelas, colegios y universidades, pero también en canales informales como la familia, la comunidad y el lugar de trabajo» (Verma *et al.*, 2023). Dependiendo de sus características, la educación puede llevarse a cabo en diferentes modalidades. En México, la Secretaría de Educación Pública (SEP) (s.f.) define, de manera general, tres modalidades:

1. *Modalidad escolarizada*. El conjunto de servicios educativos que se imparten en las instituciones educativas, lo cual implica proporcionar un espacio físico para recibir formación académica de manera sistemática y requiere de instalaciones que cubran las características que la autoridad educativa señala en el acuerdo específico de que se trate.
2. *Modalidad no escolarizada*. La destinada a estudiantes que no asisten a la formación en el campo institucional. Esta falta de presencia es sustituida por la institución mediante elementos que permiten lograr su formación a distancia, por lo

que el grado de apertura y flexibilidad del modelo depende de los recursos didácticos de autoacceso, del equipo de informática y telecomunicaciones y del personal docente.

3. *Modalidad mixta*. La combinación de las modalidades escolarizada y no escolarizada se caracteriza por su flexibilidad para cursar las asignaturas o módulos que integran el plan de estudios, ya sea de manera presencial o no presencial. (párr. 15-17)

Dentro de la modalidad no escolarizada se encuentran la educación a distancia y la educación virtual. Para García (2001), la educación a distancia es:

Un sistema tecnológico de comunicación bidireccional (multidireccional), que puede ser masivo, basado en la acción sistemática y conjunta de recursos didácticos y el apoyo de una organización y tutoría, que, separados físicamente de los estudiantes, propician en éstos un aprendizaje independiente (cooperativo). (p. 26)

Mientras que la educación virtual se define como «el proceso de enseñanza-aprendizaje que tiene lugar, parcial o totalmente, a través de Internet» (Micheli y Ar-

mendáriz, 2011). Tanto la educación a distancia como la educación virtual adquirieron gran relevancia durante el aislamiento social por el COVID-19. Particularmente, en dicho periodo las universidades se apoyaron fuertemente en la educación virtual.

1.2. La Universidad Autónoma Metropolitana

La UAM se fundó en 1974 para ampliar la oferta académica en la zona metropolitana de la Ciudad de México. De igual manera, se creó con el propósito de descargar la matrícula de dos instituciones que, en ese entonces, estaban saturadas: la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Sin embargo, hoy en día la UAM es considerada una de las mejores universidades en México.

A nivel nacional, el QS World University Rankings 2024 posiciona a la UAM en el décimo lugar general y cuarto en el ámbito de ingeniería y tecnología. De igual manera, en su ranking de educación superior, del mismo año, el Times Higher Education la sitúa en el puesto cuatro, tanto general como en ciencias de la computación. Por último, también en el 2024, El Universal la ubica en el puesto seis, general y en cuanto a ingeniería en sistemas/computación.

1.3. Delimitación del problema

A pesar de las excelentes posiciones en los listados, la UAM presenta un desfase en cuanto a la oferta de programas en línea respecto a otras instituciones de educación superior. Entre ellas, la UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.) ofrece en línea 22 programas de licenciatura, dos de maestría y dos de doctorado. Por su parte, el IPN ofrece ocho programas de licenciatura, uno de especialidad, dos de maestría y dos de doctorado.

Actualmente, en la UAM, solamente la Unidad Iztapalapa (UAM-I) ofrece un programa completamente virtual: el posgrado en Políticas Culturales y Gestión Cultural, el cual inició en 2003 y consta de diplomado y especialización. En cuanto a licenciatura, en diciembre de 2019, en la UAM-A inició el programa semipresencial en Administración. Mientras que en noviembre de 2023 iniciaron actividades la licenciatura en Diseño de Proyectos Susten-

tables en la UAM-A y la licenciatura en Administración en la Unidad Lerma (UAM-L). Por otro lado, un proyecto de un programa semipresencial para la licenciatura en Computación en la UAM-A quedó truncado previo a la pandemia por COVID-19.

De manera específica, en el contexto mencionado, en la División de Ciencias Básicas e Ingeniería (DCBI-A) de la UAM-A se han identificado otras condiciones adversas. En primer lugar, la necesidad de revisar los programas de estudio en relación con la rápida evolución de la tecnología para empatar los perfiles de los egresados con aquellos que solicitan los empleadores. En segundo lugar, la falta de lineamientos o marcos de trabajo —o la falta de validación de éstos— para el desarrollo de objetos digitales de aprendizaje (ODA).

Por lo anterior, se ha llevado a cabo una investigación cuyo objetivo general es desarrollar un marco metodológico integral para diseñar objetos digitales de aprendizaje. El caso de estudio son las unidades de enseñanza-aprendizaje de la licenciatura en Ingeniería en Computación de la UAM-A. De esta manera se busca impulsar la implementación de programas de estudio en línea en la UAM y resolver las problemáticas particulares de la DCBI-A.

Dos de los objetivos particulares son identificar el estado de enseñanza de la ingeniería en computación a nivel nacional y, aparte, en la UAM. Como primer paso en la investigación, se llevó a cabo un análisis estadístico apoyado en el uso de herramientas de visualización. Las herramientas seleccionadas en este ejercicio fueron las redes complejas, debido a que permiten identificar y analizar las características de los diferentes actores y las relaciones que se dan entre ellos.

1.4. Uso de redes complejas para el análisis de datos

De acuerdo con Barabási (2014, sección 2.2) una red es «un catálogo de los componentes de un sistema, a menudo denominados nodos o vértices, y de las interacciones directas entre ellos, denominadas enlaces o aristas». Los nodos representan cada componente de un sistema, mientras que las aristas, el total de interacciones entre ellos. Los nodos cuentan con una característica relevante que es el *grado*, el cual «representa el número de

enlaces que un nodo tiene con otros nodos» (Barabási, 2014, sección 2.3).

Por otra parte, la *modularidad* es un parámetro que sirve «para medir la fuerza de división de una red en grupos (conocidos también como comunidades)» (Ostroumova Prokhorenkova *et al*, 2016). Cada comunidad cuenta con características particulares que la separan de las demás, incluso estando dentro del mismo sistema. La **Figura 1** muestra un ejemplo de red compleja. En ella, el tamaño de los nodos depende del grado y las comunidades se diferencian por colores.

Tomando en cuenta las características mencionadas, las redes complejas presentan herramientas de visualización idóneas para observar las relaciones en cualquier sistema. También, es fácil reconocer aquellos nodos que se convierten en autoridades, es decir, que tienen mayor influencia sobre la red. Finalmente, permiten identificar las comunidades existentes y sus atributos.

2. Metodología

La metodología de trabajo utilizada consta de tres fases: selección de fuentes de información, procesamiento de datos y análisis de resultados. En la primera etapa se consultaron diferentes fuentes estadísticas, de las cuales se eligieron tres por su grado de confiabilidad. Las fuentes seleccionadas fueron el sitio web Data México de la Secretaría de Economía, los anuarios estadísticos 2020-2023 de la Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Educación Superior (ANUIES) y el prontuario estadístico 2022 de la Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería (ANFEI).

De igual manera, se obtuvo información de las páginas de licenciatura y posgrado de cada una de las Unidades UAM que ofrecen programas en Ingeniería en Computación o similares. En primera instancia se extrajo la definición que presentan cada una de *ingeniería en computación*. Posteriormente se descargaron los diagramas

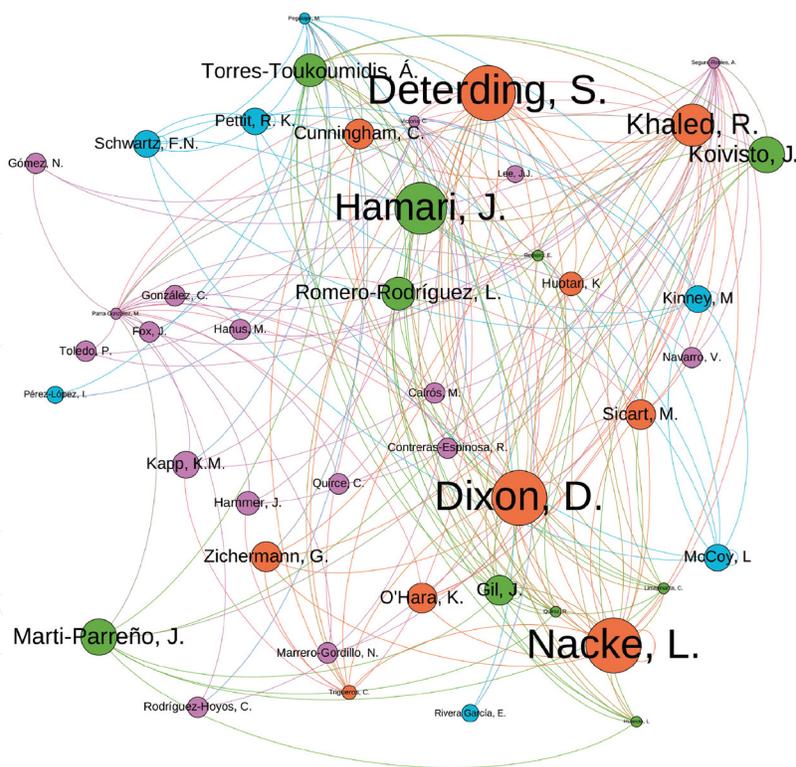


Figura 1. Red de citación generada en el programa Gephi.

Nota. Tomada de Galindo, 2022.

de seriación y planes de estudio de cada programa para su análisis.

Por último, se analizaron los perfiles de egreso publicados en los sitios web de 12 instituciones de educación superior. En todas ellas se imparte la licenciatura en Ingeniería en Computación o un plan de estudios similar. Dichas instituciones fueron

1. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco;
2. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa;
3. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa;
4. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma;
5. Instituto Tecnológico de Educación Superior de Monterrey;
6. Universidad Nacional Autónoma de México;
7. Instituto Politécnico Nacional;
8. Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec;
9. Universidad La Salle;
10. Unitec;
11. Universidad Iberoamericana;
12. Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

En la siguiente etapa, toda la información fue agrupada y depurada para su procesamiento. En cuanto a la página web Data México, se retomaron algunas gráficas generadas en su plataforma. De los anuarios de ANUIES y del prontuario de ANFEI se seleccionó la información pertinente, se procesó en hojas de cálculo y se generaron las gráficas.

Para el análisis de la información proveniente de la UAM —definiciones de ingeniería en computación y análisis de planes de estudio— se hizo un procesamiento manual del lenguaje. Se listaron los conceptos utilizados y se eliminaron artículos y preposiciones. Posteriormente, en hojas de cálculo se generaron dos matrices de adyacencia.

El mismo procedimiento se realizó con los perfiles de egreso de las mismas instituciones de educación superior. No obstante, debido a la cantidad de información,

éstos se procesaron en primera instancia con el programa Matlab. Dicho programa fue seleccionado por la licencia que posee la UAM para que sea utilizado por docentes y alumnos de manera gratuita.

Además, Matlab es un sistema para manejo de matrices que trabaja con su propio lenguaje de programación que ha sido «diseñado para profesionales de ingeniería y ciencias que expresa las matemáticas de matrices y *arrays* directamente» (Matlab, s.f.) Dicho sistema permite generar *scripts* con ciclos e instrucciones condicionales para automatizar tareas. De esta manera se generó el programa que depura los textos y genera la matriz de adyacencia que fue incorporada a una tercera hoja de cálculo.

En el último paso de la etapa de procesamiento, las tres matrices de adyacencia se procesaron en el programa Gephi. Éste fue seleccionado para el análisis por ser gratuito y por su gran utilidad, ya que es «un *software* de código abierto para el análisis de grafos y redes. Utiliza un motor de renderizado 3D para mostrar grandes redes en tiempo real y acelerar la exploración» (Gephi, s.f.). Así fueron generadas tres redes de diferentes tamaños.

3. Resultados

3.1. Oferta educativa a nivel nacional

En cuanto al estado de la oferta educativa a nivel nacional, en 2022 se reportaron 4.7 millones de alumnos inscritos en alguna institución de educación superior. Sin embargo, menos del 0.2 por ciento pertenecían a una licenciatura en Ingeniería en Computación o similar. Esta situación se presenta de manera gráfica en la [Figura 2](#).

De todos los programas, el 73 % se ofrecen en modalidad escolarizada. Las modalidades no escolarizada y mixta abarcan el 20 y 7 %, respectivamente. Esta distribución se muestra en la [Figura 3](#).

En lo que respecta a la oferta por entidad federativa, los estados con mayor número de instituciones ofertantes fueron Estado de México, Veracruz, Chiapas, Ciudad de México y Puebla. En contraste, los estados con mayor matrícula inscrita fueron Estado de México, Ciudad de México, Veracruz, Jalisco y Guanajuato. Los mapas comparativos se pueden ver en la [Figura 4](#).

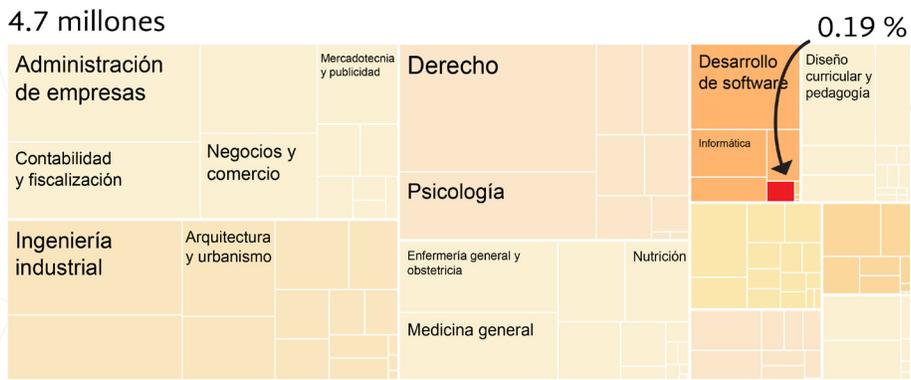


Figura 2. Porcentaje de alumnos inscritos en licenciaturas en Ingeniería en Computación, o similares, a nivel nacional.
Nota. Adaptada de Secretaría de Gobernación, s.f.

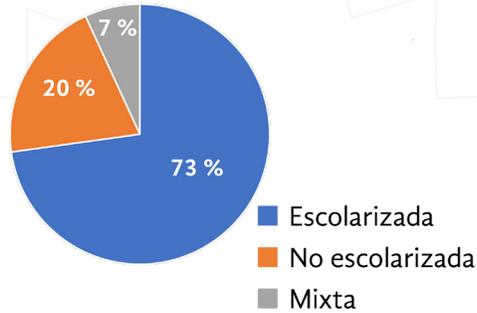


Figura 3. Modalidades de oferta de la licenciatura en Ingeniería en Computación, o similares, a nivel nacional.



Figura 4. Contraste entre oferta y matrícula de la licenciatura en Ingeniería en Computación, o similares, a nivel nacional (2022).

En dicha figura se nota que Estado de México ocupa el primer lugar en cuanto a oferta y matrícula; Ciudad de México, en cambio, pasa del cuarto lugar en oferta a la segunda posición en cuanto a matrícula. Esto denota la centralización de la educación que persiste en el país.

3.2. Oferta educativa en la UAM

Para analizar el ámbito de la UAM se generaron dos redes que relacionan las cuatro Unidades Académicas. La primera es una red de comunidades que parte de las definiciones ofrecidas en la página web de cada licenciatura (Figura 5), mientras que la segunda es una red de comunidades generada a partir de las unidades de enseñanza-aprendizaje (UEA) de los cuatro programas de estudio (Figura 6). En ambas, las comunidades están bien definidas y es posible identificar cada perfil académico.

En la red de la Figura 5 se aprecia que la licenciatura ofertada por la UAM-A (rojo) contempla el estudio de *software*, *hardware* y las redes; la UAM Cuajimalpa (UAM-C),

en color naranja, se orienta a la innovación y a las soluciones tecnológicas; la UAM-L (morado) tiene un enfoque en las telecomunicaciones, y la UAM-I (verde) se dirige más al procesamiento de información, la automatización y la gestión.

Los dos nodos coincidentes en los cuatro programas son «licenciatura» y «computación». Tres programas coinciden en «ingeniería» y «administración». Por último, los nodos que coinciden sólo en dos programas son «sistemas», «solución», «tecnología» y «diseño».

De manera similar a la red de la Figura 5, en la Figura 6 son marcadas las cuatro comunidades correspondientes a cada Unidad, pero se identifica una comunidad extra en color azul. Ésta señala el alto grado de coincidencias en las UEA donde se enseñan temas de ciencias básicas, estos temas pertenecen a las matemáticas y a la física.

En la Tabla 1 se presentan las 10 UEA con mayor relevancia, con base en el *grado* y la *autoridad*. Seis UEA coinciden en ambos listados —cada par se resalta con un co-

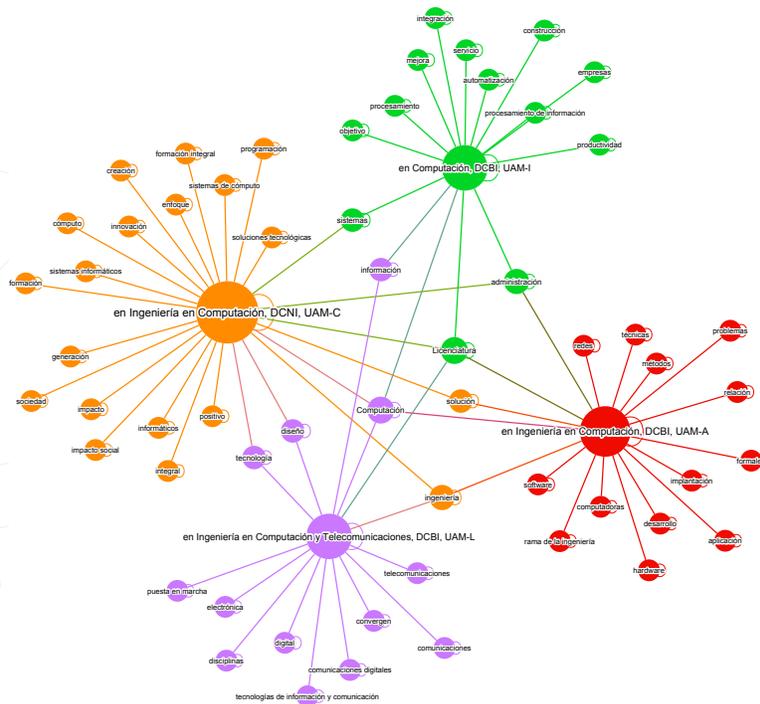


Figura 5. Red de comunidades de las definiciones por licenciatura en Ingeniería en Computación de las cuatro Unidades UAM.

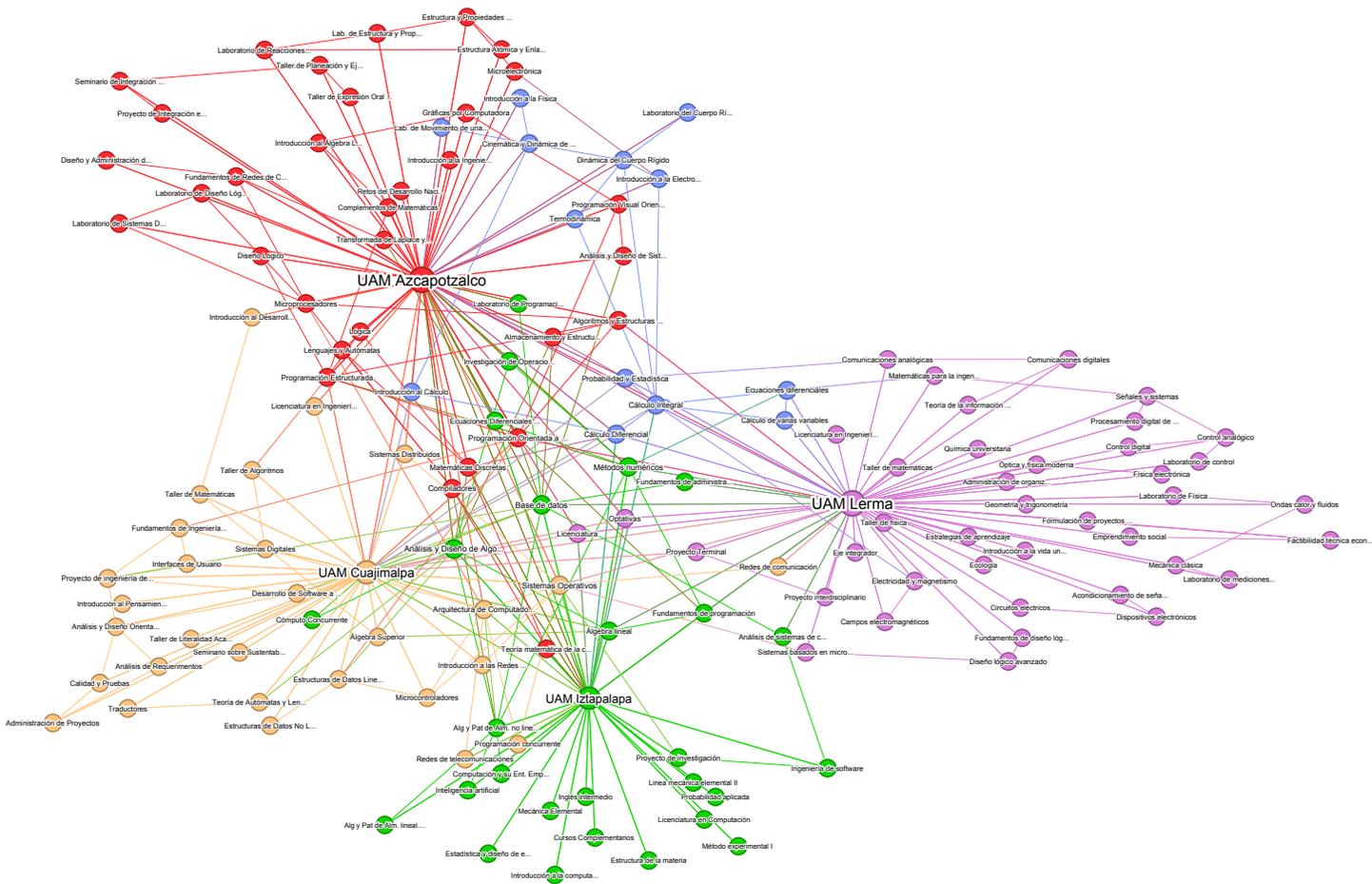


Figura 6. Red de comunidades generadas a partir de las unidades de enseñanza-aprendizaje en los planes de estudio de la licenciatura en Ingeniería en Computación de las cuatro Unidades UAM.

Tabla 1. UEA con mayor relevancia en la red de los cuatro programas de estudio.

Relevancia	Grado	Autoridad
Mayor	Base de Datos	Base de Datos
	Álgebra Lineal	Cálculo Integral
	Calidad y Pruebas	Álgebra Lineal
	Programación Orientada a Objetos	Cálculo Diferencial
	Cálculo de Varias Variables	Programación Orientada a Objetos
	Taller de Algoritmos	Ecuaciones Diferenciales Ordinarias
	Análisis y Diseño de Sistemas de Información	Cálculo de Varias Variables
	Programación Visual Orientada a Eventos	Sistemas Operativos
	Cálculo Integral	Arquitectura de Computadoras
	Arquitectura de Computadoras	Análisis y Diseño de Algoritmos
Menor		

con el trabajo, con el *software*, con las habilidades y con los sistemas.

En la **Tabla 2** se presentan los 10 conceptos con mayor relevancia, con base en el *grado* y la *autoridad*. Nueve de ellos coinciden en ambos listados —diferenciándose ligeramente en el orden—, mientras que dos conceptos difieren: «diseñar» e «innovar» —resaltados en rojo—. Los conceptos coincidentes son «sistema», «desarrollar», «tecnología», «información», «social», «*software*», «solucionar», «datos» y «conocimiento». Es posible notar que en los primeros 20 conceptos no figuran temas de moda como la inteligencia artificial o el *big data*.

4. Conclusiones y futuros trabajos

Los resultados de estos primeros análisis dan cuenta de la centralización de la oferta y, sobre todo, de la matrícula en el país. Las condiciones socioeconómicas actuales, así como el renombre de las universidades del centro de la república, generan una migración hacia la Ciudad de México y su zona metropolitana, siendo los programas virtuales una alternativa para que dichos migrantes académicos puedan cursar un programa de estudios adecuado y atractivo desde sus lugares de origen.

En cuanto a la UAM, los cuatro perfiles de licenciatura representan opciones que coinciden de buena manera con aquellos que buscan los empleadores. Se encontraron coincidencias en lo que respecta a la implementación

de sistemas, al desarrollo de soluciones tecnológicas, al procesamiento de información y al diseño de *software*. Sin embargo, hay campos en los que hubo diferencias como son la administración y gestión, así como el enfoque social.

La UAM tiene ante sí una gran oportunidad de crecimiento en el ámbito de la educación en línea. No sólo en cuanto a las temáticas que pueden enseñarse —como el *big data*, internet de las cosas o inteligencia artificial— si no que se pueden ampliar los lugares para los aspirantes que buscan las ventajas de un programa de educación virtual. Además, el gobierno federal propone directrices —cada vez más insistentes— para que las universidades públicas amplíen su matrícula.

Las conclusiones derivadas del trabajo realizado aunadas al conocimiento adquirido durante el aislamiento social confirman la necesidad y la viabilidad de acelerar la transición hacia la educación virtual. Esto permitiría ofrecer más espacios para aquellos alumnos que en modalidad escolarizada no tienen posibilidades de estudiar una licenciatura. La oferta podría ampliarse también para estudiantes extranjeros sin necesidad de salir de sus países de origen.

En lo que concierne a la enseñanza de la Ingeniería en Computación, se identifica un área de oportunidad considerando que los contenidos temáticos permiten el trabajo sin necesidad de un aula o laboratorio físico. La educación virtual motivará la capacitación docente, la actualización de contenidos y la aplicación de nuevas tecnologías. De esta manera, será más sencillo empatar con las características que la sociedad y el sector laboral requieren de un profesionalista universitario.

Como trabajo futuro, se realizará un estudio estadístico más amplio sobre la oferta, matrícula y egreso de los programas en Ingeniería en Computación y similares. Dicho estudio también considerará identificar coincidencias y áreas de oportunidad en los programas ofertados por la UAM y sus posibilidades de empatar los perfiles de egreso con los perfiles solicitados por empleadores.

El primer paso será duplicar el número de ofertas laborales analizadas —de 50 a 100— para obtener un panorama más completo. Se revisarán estudios realizados

Tabla 2. Conceptos con mayor relevancia en la red de perfiles de egreso.

Por grado	Por autoridad
Sistema	Desarrollar
Desarrollar	Sistema
Tecnología	Tecnología
Información	Información
Social	Social
<i>Software</i>	Solucionar
Solucionar	Conocimiento
Datos	Innovar
Conocimiento	Datos
Diseñar	<i>Software</i>

por Rectoría General de la UAM sobre los egresados de ingeniería, específicamente de Ingeniería en Computación. Por último, se implementará una revisión sobre los perfiles de los docentes de la DCBI-A, así como sus necesidades para el desarrollo de objetos digitales de aprendizaje.

Lo anterior servirá para fundamentar de mejor manera esta investigación. La creación de un marco de trabajo integral para el diseño de recursos digitales para la enseñanza en línea de las UEA de la licenciatura en Ingeniería en Computación de la UAM Azcapotzalco facilitará la labor de los docentes y favorecerá también a los alumnos. Como un beneficio más, se impulsarán los programas en línea en la UAM coadyuvando a reducir el desfase con otras instituciones de educación superior.

Referencias

- Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería. (s.f). Prontuario estadístico. <https://anfei.mx/apps/prontuario/>
- Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Educación Superior. (2023). Anuarios estadísticos. <http://www.anuies.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>
- Barabási, A. (2014). Networks and graphs y Degree, average degree and degree distribution. *Network Science*. <http://networksciencebook.com/>
- El Universal. (2024). Mejores universidades. *Generación Universitaria*. <https://generacionuniversitaria.com.mx/interactivos/2024/mejores-universidades/#page/54>
- Flores, L y Ramos, J. (2021). Reflexiones para un modelo educativo semipresencial de la licenciatura en Administración de la UAM Azcapotzalco. En E. Peñalosa y P. Hernández (Coords.), *Modalidades alternativas para la innovación educativa en la formación universitaria*. Universidad Autónoma Metropolitana. <https://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/8668>
- Galindo, J. (2022). Desarrollo de recursos didácticos para aprendizaje virtual con estrategias de gamificación. En I. Garmendia (Eds.), *De los métodos y las maneras* (8, pp. 115-124). Universidad Autónoma Metropolitana.
- García, L. (2001). La educación a distancia. *Academia*. https://www.academia.edu/3260161/La_educacion_a_distancia
- Gephi. (s.f.). Publications. <https://gephi.org/users/publications/>
- Instituto Politécnico Nacional. (s.f.). Oferta educativa. *Polivirtual*. <https://www.ipn.mx/dev/educacion-a-distancia/polivirtual/oferta-educativa.html#id2>
- Matlab. (s.f.). Programación con Matlab. *MathWorks*. <https://la.mathworks.com/products/matlab/programming-with-matlab.html>
- Micheli, J. y Armendáriz, S. (2011). Estructuras de educación virtual en la organización universitaria. Un acercamiento a la sociedad del conocimiento. *Formación Universitaria*. 4(6), 35-48. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062011000600005>
- Nivón, E. (s.f.). Posgrado Virtual. Departamento de Antropología, Unidad Iztapalapa. *División de Ciencias Sociales y Humanidades, Unidad Iztapalapa*. https://divcsh.izt.uam.mx/depto_antropologia/?page_id=21
- Ostroumova Prokhorenkova, L., Prałat, P. y Raigorodskii, A. (2016). Modularity of complex networks models. En A. Bonato, F. Graham y P. Prałat. (Eds.), *Algorithms and models for the web graph. Lecture Notes in Computer Science, 10088* (pp 115–126). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49787-7_10
- Quacquarelli Symonds Limited. (2024). QS World university rankings 2024: Top global universities. *Top Universities*. <https://www.topuniversities.com/world-university-rankings?countries=mx>
- Secretaría de Economía. (s.f.). Data México. https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/mexico?educationDegree=academicDegree13&educationDegree2=academicDegree14&educationalLevel=educLevel_1#education
- Secretaría de Educación Pública. (s.f.). Glosario. *Sistema de Información de Reconocimiento de Validez Ofi-*

cial de Estudios de Educación Media Superior. <https://sirvoems.sep.gob.mx/sirvoems/informativo/jspGlosario.jsp>

Times Higher Education. (2024). World university rankings. https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/2024/world-ranking#!/length/25/locations/MEX/subjects/3081/sort_by/rank/sort_order/asc/cols/stats

Universidad Autónoma Metropolitana. (9 de junio de 2023a). Aprueba Colegio Académico de la UAM la licenciatura en Diseño de Proyectos Sustentables. *Comunicación Social*. <https://www.comunicacionsocial.uam.mx/boletinesuam/310-23.html>

Universidad Autónoma Metropolitana. (9 de junio de 2023b). Colaboración interunidades en la UAM inicia con la licenciatura en Administración. *Comunicación Social*. <https://www.comunicacionsocial.uam.mx/boletinesuam/309-23.html>

Universidad Nacional Autónoma de México (s.f.). Oferta educativa. Sistema de Universidad Abierta y Educación a Distancia. *Coordinación de Universidad Abierta y Educación Digital*. <https://cuaed.unam.mx/suayed/oferta-educativa.php>

Verma, A., Doharey, R. K. y Verma, K. (2023). Education: Meaning, definition & types. En *Agriculture Extension Education* (pp.1-6). S.R. Scientific Publication. https://www.researchgate.net/publication/372418302_Education_Meaning_definition_Types



¿Por qué las gotas de lluvia son ubicuas en la naturaleza?

Leonardo Di Girolamo Sigalotti

ldgsd@azc.uam.mx

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco

Otto Rendón

ottorendon@gmail.com

Centro de Investigación y de Estudios
Avanzados, Instituto Politécnico Nacional

Resumen

Las gotas se encuentran conformadas por pequeños volúmenes de algún líquido. Las más comunes en la naturaleza y en nuestra experiencia diaria de vida son las gotas de agua. En general, las gotas deben su existencia y forma a las llamadas fuerzas de tensión superficial, las cuales no sólo actúan sobre las moléculas superficiales y sus vecinas más cercanas, sino que también están dirigidas hacia el interior del líquido. La diferencia de presión entre un punto exterior a la gota y un punto interior a ella contiene información directa sobre el cociente entre la tensión superficial y su radio.

Palabras clave

Gotas, tensión superficial, ecuación de Young-Laplace.

Abstract

Drops are made up of small volumes of some liquid. The most common in nature and in our daily life experience are water droplets. In general, droplets owe their existence and shape to the so-called surface tension forces, which not only act on the surface molecules and their closest neighbors, but are also directed towards the interior of the liquid. The pressure difference between a point outside the drop and a point inside it contains direct information about the ratio between the surface tension and its radius.

Keywords

Drops, surface tension, Young-Laplace equation.

Cita APA: Di Girolamo, L. y Rendón, O. (2024). ¿Por qué las gotas de lluvia son ubicuas en la naturaleza?. *Azcatl*, 2, 44-48.

DOI: [10.24275/AZCATL2024A006](https://doi.org/10.24275/AZCATL2024A006)

Introducción

Las gotas líquidas se pueden encontrar en una gran variedad de formas posibles dependiendo de su tamaño y de si están o no adheridas a una superficie. Se puede definir una gota de cualquier líquido como una porción de dicho líquido confinada en un pequeño volumen esferoidal cuando su radio es suficientemente pequeño y no está en contacto con una superficie. Si bien las gotas pueden deformarse fácilmente, las de menor tamaño tienden a ser más esféricas que las de mayor tamaño. Sin embargo, en ausencia de fuerzas externas, las gotas de cualquier líquido tienden a ser aproximadamente esféricas independientemente de su tamaño debido a las fuerzas cohesivas de tensión superficial (Berry, 1971).

Por lo que sí es posible formar gotas perfectamente esféricas de mayor tamaño repitiendo el conocido experimento de Plateau, el cual demuestra que aunque el aceite flota en el agua y se hunde en el alcohol, no obstante, se puede mezclar el agua y el alcohol de manera tal que la densidad de la mezcla iguale a la del aceite. Si mediante una jeringa se vierte una porción de aceite en la mezcla se formará una gota esférica, la cual permanecerá inmóvil, es decir, sin subir a flote y sin hundirse. La gota de aceite permanecerá suspendida y en equilibrio en la mezcla agua-alcohol debido a que la fuerza de flotación contrarresta a la fuerza de gravedad. Cabe entonces preguntarse, ¿cuál es la forma natural de los líquidos? Una respuesta apresurada sería que los líquidos no tienen forma; sin embargo, esta respuesta no es del todo correcta, ya que la experiencia de Plateau demuestra que en ausencia de gravedad y de otras fuerzas externas la forma natural de una masa líquida es la de una esfera. En otras palabras, una porción de líquido inmersa en otro líquido de igual densidad pierde su peso por el principio de Arquímedes, adoptando la forma de una esfera sin que la gravedad influya.

En particular, haciendo referencia a las gotas de agua, se sabe que las nubes se encuentran conformadas por diminutas gotas esféricas suspendidas en el aire, las cuales se forman por enfriamiento y condensación de vapor de agua (Mason, 1957; Pruppacher *et al.*, 1998). Dichas gotas colisionan entre sí para formar gotas de mayor tamaño. Al aumentar de tamaño, éstas no pueden flotar más

en el aire y caen por gravedad, fragmentándose en nuevas gotas de menor tamaño antes de alcanzar el suelo en forma de lluvia (Fournier d'Albe e Hidayetulla, 1955; Magarvey y Taylor, 1956; Villermaux y Bossa, 2009). El proceso de fragmentación en gotas siempre más pequeñas es el resultado de la deformación de las gotas de mayor tamaño por efectos aerodinámicos debido a la resistencia del aire (Magarvey y Taylor, 1956a). Por otro lado, es también fácil encontrar gotas colgantes y gotas sésiles tanto en la naturaleza como en muchos procesos industriales (Pozrikidis, 2012). Las gotas colgantes son aquellas que se forman cuando se coloca una pequeña cantidad de líquido en la parte inferior de una superficie. Un ejemplo recurrente de gota colgante es cuando se suspende una porción de líquido del extremo de una aguja. En este caso, la gota toma la forma de una pera como resultado de la relación entre la tensión superficial (o interfacial) y la gravedad. Contrariamente a las gotas colgantes, las gotas sésiles son aquellas que se forman cuando se coloca una porción de líquido sobre una superficie sólida, plana y uniforme. Estas gotas permanecen inmóviles y abarcan volúmenes en el rango entre los nanolitros y los microlitros (Sakakeeny y Ling, 2020). Sus formas varían entre perfectamente esféricas para gotas muy pequeñas y aplanadas para gotas de mayor volumen, y el grado de aplanamiento estará determinado por el balance entre las fuerzas capilares en la dirección normal a la superficie y la presión hidrostática (Rienstra, 1990).

En este artículo se discuten brevemente algunos fenómenos físicos que son la base de la existencia de las gotas líquidas y que ayudan a comprender las diferentes formas que toman las gotas en la naturaleza.

Fuerzas de tensión superficial

Las fuerzas de tensión superficial son el resultado de la tendencia que poseen las moléculas de agua para atraerse entre sí y determinan la forma en equilibrio de las gotas (Berry, 1971). El estado de energía más bajo para una gota ocurre cuando las moléculas del líquido están rodeadas, mayormente, por todos lados por otras moléculas de líquido, lo que significa que la gota debe tener la mínima superficie posible, que corresponde precisamen-

te a la de una esfera. El efecto de la gravedad aplana esta esfera ideal hasta darle la forma que vemos en muchos procesos y fenómenos recurrentes. En el caso de interfaces líquido-aire, que son las de mayor interés en muchos procesos, la tensión superficial se manifiesta como el resultado de una atracción mayor entre las moléculas líquidas (fuerzas de cohesión) que entre las moléculas de aire (fuerzas de adhesión).

La tensión superficial tiene dimensiones de fuerza por unidad de longitud o, equivalentemente, de energía por unidad de área. Como se muestra esquemáticamente en la Figura 1, en la interfaz líquido-aire existen dos fuerzas: (a) una fuerza atractiva entre las moléculas líquidas dirigida hacia dentro, la cual es normal a la interfaz, y (b) una fuerza tangencial, la cual es paralela en todo punto a la interfaz (Berry, 1971). Lejos de la interfaz y dentro del líquido, cada molécula experimenta una fuerza atractiva en todas las direcciones con sus moléculas vecinas (véase la Figura 1), de manera que la fuerza neta sobre la molécula es en promedio nula.

Matemáticamente, la tensión superficial, σ , se relaciona con la diferencia de presión entre un punto exterior y un punto interior a la gota, Δp , y la curvatura de la interfaz, H , mediante la ecuación de Young-Laplace (de Genes *et al.*, 2004; Butt *et al.*, 2006)

$$\Delta p = \sigma H = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (1)$$

donde R_1 y R_2 son los radios principales de curvatura.

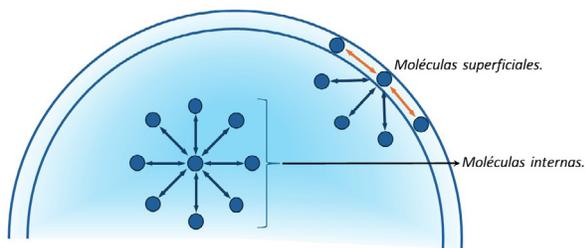


Figura 1. Representación esquemática de las fuerzas de tensión superficial en una gota de cualquier líquido.

En el caso de gotas perfectamente esféricas (es decir, cuando $R_1 = R_2 = R$), la ecuación (1) se reduce a la expresión familiar

$$\Delta p = \sigma \frac{2}{R}. \quad (2)$$

A diferencia de una gota líquida, en una burbuja de agua en el aire existen dos superficies de contacto aire-agua, una interior y otra exterior, por lo que el lado derecho de la relación (2) debe multiplicarse por dos. El dominio espacial en el que es importante la ecuación (2) puede entenderse mejor si se introduce el concepto de longitud capilar, λ_c , que para una interfaz líquido-aire, como es el caso de una gota de lluvia, se puede escribir como

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{\sigma}{g\Delta\rho}}, \quad (3)$$

donde σ es la tensión interfacial, g es la aceleración de gravedad y $\Delta\rho$ es la diferencia de densidad entre los diferentes fluidos. La forma que toma una gota dependerá si su radio es mayor o menor que la longitud capilar. Por ejemplo, si su radio es menor que la longitud capilar entonces los efectos de la gravedad pueden despreciarse y su forma será esférica debido a los efectos dominantes de la tensión superficial.

Deformación y fragmentación de las gotas de lluvia

A medida que una gota de lluvia cae por su peso pierde su forma redondeada. Debido al flujo de aire alrededor de la gota, ésta se deforma pareciéndose a la mitad superior de un panecillo de hamburguesa, es decir, aplana en la parte inferior y con una cúpula curva en la parte superior. El flujo de aire en el fondo de la gota es más intenso que en la parte superior, donde pequeñas perturbaciones en la circulación del aire crean menos presión. La tensión superficial en la parte superior permite que la gota de lluvia permanezca más esférica, mientras que la parte inferior se aplana más.

La Figura 2 muestra esquemáticamente la deformación y fragmentación de una gota de lluvia durante su caída libre. A medida que sigue cayendo, la gota se hace más ancha y delgada debido a su fricción con el aire. El flujo frontal de aire provoca que la gota se encurve y se infle tomando la forma de un paracaídas, cuyos bordes inferiores forman bultos, los cuales se fragmentan en numerosas gotas diminutas con una distribución de tamaños que van desde 5 mm a valores submilimétricos. De esta manera, en su camino al suelo cada gota se fragmenta de forma aislada, es decir, independientemente de las otras gotas (Villermaux y Bossa, 2009).

El tamaño de las gotas

Las gotas de tamaño diminuto presentes tanto en las nubes como en la neblina poseen diámetros entre 5 y 10 micrómetros. El peso de dichas gotas es tal que la gravedad es despreciable y, por lo tanto, en su mayoría permanecen suspendidas en el aire debido a que el peso de las mismas se equilibra con las fuerzas de flotación impuestas por el aire. En el caso de las gotas de lluvia, éstas alcanzan diámetros del orden de los milímetros, con valores máximos de aproximadamente 5 mm, como resultado de las colisiones frecuentes y la coalescencia entre

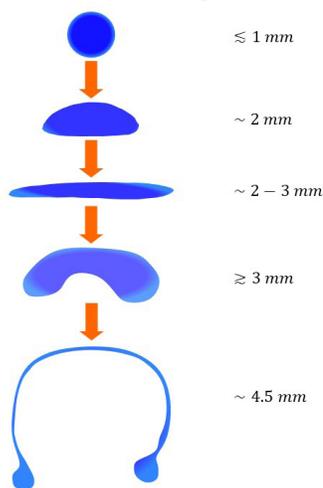


Figura 2. Representación esquemática de la deformación y fragmentación de una gota de lluvia durante su caída al suelo.

gotas de tamaño micrométrico (Jermacans y Laws 1999). La pregunta de si existe un tamaño máximo para las gotas de agua en la naturaleza fue formulada por Vollmer y Möllmann (2013). En otras palabras, ¿es posible encontrar gotas de agua estables con tamaños por encima de los 10 mm? Mediante un experimento, estos autores produjeron una gota extremadamente grande de unos 15 cm de diámetro, llenando un globo expandible de goma con alrededor de 2 litros de agua. Luego de perforar el globo con una aguja afilada la goma se contrajo en milisegundos, dejando una enorme gota de aproximadamente 1 litro de agua en caída libre. Después de permanecer intacta una distancia de 5 a 7 m durante su descenso, se observó la desintegración espontánea de la gota en un número estimado de 1 millón de pequeñas gotas, con un pico en la distribución de tamaños entre 0.5 y 1.5 mm. En este experimento de laboratorio se observó, además, que las gotas más grandes tenían diámetros de aproximadamente 9 mm en comparación con los 5 mm observables en las gotas de lluvia. Como ejemplo ilustrativo, la Figura 3 muestra la distribución de tamaños para gotas de lluvia en el rango entre 0.6 y 5 mm (D'Adderio *et al.*, 2018).

En general, el proceso de desintegración se debe a la relación entre la fuerza de gravedad, las fuerzas de fricción del aire y la tensión superficial. En ausencia de gravedad y de resistencia del aire, gotas de tamaño arbitra-

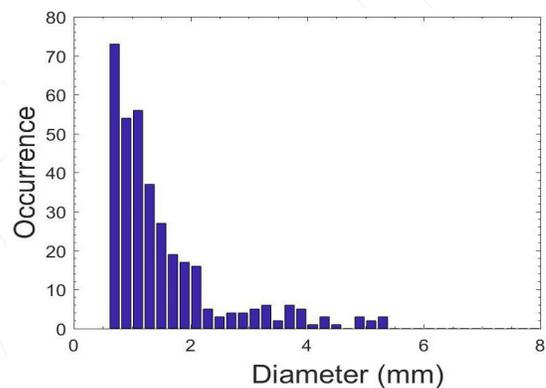


Figura 3. Distribución de tamaños de gotas de lluvia en el rango entre 0.6 y 5 mm. Nota: Tomada de D'Adderio *et al.*, 2018.

rio pueden sobrevivir indefinidamente sujetas sólo a las fuerzas de tensión superficial (Weislogel y Lichter, 1998).

Notas finales

En la naturaleza las gotas deben su existencia a las fuerzas de tensión superficial y su forma a la relación entre las fuerzas de tensión superficial y las fuerzas externas, como la gravedad y la resistencia del aire. La tensión superficial admite también una explicación en términos energéticos, por ejemplo, cuando una molécula líquida se encuentra rodeada por otras moléculas del mismo líquido en todas las direcciones, la molécula se encuentra en un estado de menor energía en comparación con las moléculas en la superficie de la gota, las cuales estando rodeadas por menos moléculas se encuentran en un estado de mayor energía. De esta manera, para que el líquido alcance un estado de mínima energía debe minimizar el número de moléculas superficiales, resultando así en un área de mínima superficie, que para el caso de una gota de cualquier líquido corresponde a la superficie de una esfera.

Referencias

- Berry, M. V. (1971). The molecular mechanism of surface tension. *Physics Education*, 6(2), pp. 79-84. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/6/2/001/pdf>
- Butt, H. J., Graf, K. y Kappl, M. (2006). *Physics and chemistry of interfaces*. Wiley-VCH.
- D'Adderio, L. P., Porcù, F. y Tokay, A. (2018). Evolution of drop size distribution in natural rain. *Atmospheric Research*, 200, pp. 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.10.003>
- De Gennes, P. G., Brochard-Wyat, F. y Quere, D. (2004). *Capillarity and wetting phenomena*. Springer.
- Fournier d'Albe, E. M. e Hidayetulla, S. M. (1955). The break-up of large water drops falling at terminal velocity in free air. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 81(350), pp. 610-613. <https://doi.org/10.1002/qj.49708135012>
- Jermacans, K. y Laws, K. (1999). Coalescence of raindrops in an electrostatic field. *The Physics Teacher*, 37, pp. 208-211. <https://doi.org/10.1119/1.880231>
- Magarvey, H. R. y Taylor, W. B. (1956). Free fall breakup of large drops. *Journal of Applied Physics*, 27(10), pp. 1129-1135. <https://doi.org/10.1063/1.1722216>
- Magarvey, H. R. y Taylor, W. B. (1956a). Shattering of large drops. *Nature*, 177, pp. 745-746. <https://doi.org/10.1038/177745b0>
- Mason, B. J. (1957). *The physics of clouds*. Clarendon Press.
- Pozrikidis, C. (2012). Stability of sessile and pendant liquid drops. *Journal of Engineering Mathematics*, 72, pp. 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10665-011-9459-3>
- Pruppacher, H. R., Klett, J. D. y Wang, P. K. (1998). *Microphysics of clouds and precipitation*. *Aerosol Science and Technology*, 28, pp. 381-382. <https://doi.org/10.1080/02786829808965531>
- Rienstra, S. W. (1990). The shape of a sessile drop for small and large surface tension. *Journal of Engineering Mathematics*, 24, pp. 193-202. <https://doi.org/10.1007/BF00058465>
- Sakakeeny, J. y Ling, Y. (2020). Natural oscillations of a sessile drop on flat surfaces with mobile contact lines. *Physical Review Fluids*, 5(12), 123604. <https://doi.org/10.1103/PhysRevFluids.5.123604>
- Villiermaux, E. y Bossa, B. (2009). Single-drop fragmentation determines size distribution of raindrops. *Nature Physics*, 5, pp. 697-702. <https://doi.org/10.1038/nphys1340>
- Vollmer, M. y Möllmann, K. P. (2013). Is there a maximum size of water drops in nature? *The Physics Teacher*, 51, pp. 400-402. <https://doi.org/10.1119/1.4820848>
- Weislogel, M. M. y Lichter, S. (1998). Water balloon rupture in low-g. *Physics of Fluids*, 10(9). <https://doi.org/10.1063/1.4739144>

Usos actuales de tecnología en los procesos de producción y mercadotecnia de la industria de la moda

Jessica Susana Prieto González

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

prietogonzalezjessicasusana@gmail.com

Iddaly Méndez Gurrola

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

iris.mendez@uacj.mx

Resumen

A nivel mundial, en la actualidad, el sector de la moda es una industria controversial por sus prácticas de producción. Hasta el momento no se han encontrado bases que orienten al proceso sobre el uso de la tecnología, desde un inicio de la cadena de valor hasta su mercadotecnia. La metodología para esta revisión de literatura fue 1. determinación de palabras clave, 2. búsqueda en bases de datos, 3. revisión de títulos y resúmenes para la incorporación y 4. revisión completa de los artículos seleccionados. Como resultados se presentan los desafíos del uso de la tecnología en esta industria y su relación con la sustentabilidad.

Palabras clave

Procesos, producción, tecnología, mercadotecnia, industria de la moda.

Abstract

Globally, the fashion industry is currently a controversial industry in terms of production practices. So far, no basis has been found to guide the process on the use of technology, from the beginning of the value chain to its marketing. The methodology for this literature review was: 1. Determination of keywords, 2. Search in databases, 3. Review of titles and abstracts for incorporation, 4. Full review of selected articles. As results, the challenges of their use and their relationship to sustainability are presented.

Keywords

Processes, production, technology, marketing, fashion industry.

Cita APA: Prieto, J, y Méndez, I. (2024). Usos actuales de tecnología en los procesos de producción y mercadotecnia de la industria de la moda. *Azcatl*. 2, 49-53. DOI: [10.24275/AZCATL2024A007](https://doi.org/10.24275/AZCATL2024A007)

Introducción

La incorporación de tecnologías en los procesos de producción y mercadotecnia ha evolucionado la industria de la moda. La cual es una de las industrias que lograba mantenerse intacta a pesar de los cambios generados a lo largo del tiempo en cada revolución industrial. Hoy en día, la forma en la que se diseñan y fabrican las prendas, así como la manera en la que se comercializan ha cambiado, del mismo modo que los roles dentro de los equipos de trabajo y sus enfoques.

Antecedentes

En el reporte *The State of Fashion (2024)* realizado por McKinsey & Company se describen tres puntos importantes que, en la actualidad, son ejes de dirección para la industria de la moda. El primero es la urgencia climática, ya que, como es sabido, el sector de la moda es uno de los más contaminantes del mundo debido a la sobreproducción orientada por el consumismo, fenómeno mejor conocido como *fast fashion*, además del uso de químicos y generación de residuos textiles.

Por otro lado, los problemas geopolíticos, como los conflictos entre países, la creciente inflación y las interrupciones en las cadenas de suministro afectan sus procesos de logística y producción. Por último, la introducción de la industria 4.0 que busca involucrar a la tecnología no sólo de manera sistemática, sino que, en este cambio, se busca también transformar el producto y la manera en la que se presenta al consumidor. Además, con la convergencia entre tecnología e industria, se busca adoptar prácticas con mayor sostenibilidad con el fin de disminuir el impacto ambiental industrial.

Metodología

Para llevar a cabo esta revisión literaria fue necesario determinar las palabras clave para una exploración más detallada, las cuales son tecnología, procesos de producción, mercadotecnia e industria de la moda. Luego, se realizó una búsqueda en bases de datos de contenido científico como ResearchGate, Scielo y Google Academic donde, por medio de su resumen, se identificaron alrededor de 64 artículos (la mayoría en inglés) que contenían

información relacionada con el tema. Finalmente, se seleccionaron 20 para lectura completa, los que contenían al menos dos de las tres palabras clave o bien palabras relacionadas con ellas.

Resumen de hallazgos

Los hallazgos encontrados en la revisión literaria fueron divididos en dos categorías: procesos de producción y procesos de mercadotecnia (Akhtar *et al.*, 2022; Bertola *et al.*, 2016; Bertola *et al.* 2018; Casciani *et al.*, 2022; Čiarnienė y Vienažindienė, 2014; Colombi y D'Itria, 2023; Papahristou *et al.*, 2017), ya que se identificó que, hasta el momento, la tecnología se utiliza de manera individual en el desarrollo del producto y su comercialización, es decir, aún no se detecta la convergencia de dichas etapas y la tecnología como tal. Por lo tanto, los resultados se presentan de la siguiente manera.

Tecnología en los procesos de producción

Para x procesos de producción se identificaron algunas herramientas y *softwares* de soluciones 3D (prototipado, diseño y visualización) como, por ejemplo, Accumark 3D, CLO3D, MODARIS 3D, OPTITEX3D, STYLE 3D, V-Sticher, Tukatech (Papachristou y Anastassiou, 2022). El principal objetivo de dichos *softwares* es ofrecer beneficios tanto a la empresa que los utiliza como al diseñador, usándolos como instrumento de trabajo. Dentro de los beneficios que se obtienen por ambas partes se encuentra la reducción de tiempo en el desarrollo de un diseño, debido a que algunas de estas soluciones 3D cuentan con la opción de iniciar el desarrollo de una prenda a partir de un gemelo de ajuste digital. Además, al momento de corregir, ya sean cuestiones estéticas o funcionales de la prenda, se puede hacer al instante sin ningún problema.

Otro hallazgo importante para los procesos de producción en la industria de la moda es el uso de la impresión 3D, la cual ha causado un gran interés debido a que reconceptualiza el producto y su proceso al brindar la posibilidad de utilizar materiales alternos a los tejidos tradicionales que proponen una degradación de menor tiempo que reduce la huella ecológica (Papachristou, 2015; Papachristou y Anastassiou, 2022; Papahristou y Bilalis,

2017a, 2017b, 2018; Papahristou, 2016; Vellesalu Högs-kolan Borås y Teunissen, 2020).

Dentro de estos textiles de impresión que se han desarrollado, son dos los ámbitos en los que se han enfocado principalmente (Xiao y Kan, 2022). Por un lado los deportes de alto impacto donde, ya sea debido a condiciones climáticas o a movimientos específicos, es necesario que el usuario lleve consigo mayor protección, sin que la actividad a realizar se vea mermada. Por ejemplo, se han elaborado textiles responsivos que cambian su estado de rígido a flexible dependiendo el calor al que se encuentren expuestos o también textiles que generan energía a través del movimiento humano.

Tecnología en los procesos de mercadotecnia

Dentro de los procesos de mercadotecnia también se identificó el uso de distintas tecnologías, incluso en aspectos no visibles como lo es el *big data* (Lado Cousté *et al.*, 2022), el cual, al igual que la inteligencia artificial, forma parte de las etapas de investigación o de atención al cliente, es decir, por medio de un análisis de datos logra optimizar e identificar características que el cliente busca, para que, de esta manera, el desarrollo del producto o la campaña publicitaria se encuentren mejor orientados, lo que asegura su eficiencia (Bertola, 2021; Zúñiga *et al.*, 2023).

En cuanto a los aspectos visibles de la tecnología en la mercadotecnia destacan la realidad virtual y la realidad aumentada (Arcila, 2021). Específicamente la industria de la moda ha obtenido grandes beneficios con su uso, entre ellos se destacan la inmersión, la visualización y la interacción. Se han generado desde pasarelas por medio de plataformas de realidad virtual hasta aplicaciones de *try on*, donde el usuario puede tener una pequeña previzualización de cómo luciría cierta prenda o cierto artículo sobre su cuerpo.

Las experiencias inmersivas de identidad de marca o de producto crean un valor agregado de significado y sensación en el cliente, que va más allá de lo que podría generarle un objeto. Además, la visualización en 3D de los productos permite una mejor perspectiva en cuanto

a dimensiones, espacios, colores y características específicas de cada artículo, sin la necesidad de tener el modelo real (Breiter y Siegfried, 2022; Kotler *et al.*, 2017; Mohammadi y Kalhor, 2021; Selva-Ruiz y Martín-Ramallal, 2019)

Implicaciones y relevancia

Sin duda alguna, la tecnología ofrece grandes beneficios a la industria y a las personas involucradas en el proceso de desarrollo, acercándolos a mejores resultados por menor esfuerzo. Sin embargo, aunque hasta el momento estos beneficios sean vistos únicamente desde la perspectiva de la eficiencia industrial, el cambio hacia la digitalización debe ser un llamado a la integración consciente de la tecnología, principalmente en la industria de la moda y en su comercialización. Al hablar de paradigmas científicos se ve implicado un cambio de comprensión moral y racional. Según Castro (2021) «la tecnología funge como mediador de los procesos humanos»; desde este punto, la tecnología como avance no es el problema, sino la manera en la que la integramos a la cotidianidad.

Conclusiones

Es importante reconocer la necesidad de generar una transformación imperativa en las prácticas industriales y utilizar los avances tecnológicos para dejar de producir bajo tendencia, dejar de promover los modelos de *fast fashion* mediante una convergencia responsable entre el individuo, la industria y el planeta. Recordando que la tecnología no es el pensamiento que tenemos de ella, lo que la define es lo que hacemos con ella.

Referencias

- Akhtar, W. H., Watanabe, C., Tou, Y. y Neittaanmäki, P. (2022). A new perspective on the textile and apparel industry in the digital transformation era. *Textiles*, 2(4), 633-656. <https://doi.org/10.3390/textiles2040037>
- Arcila, A. M. (2021). *Una mirada a la realidad virtual y aumentada desde el marketing, una descripción bibliométrica*. Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas, Universidad de Manizales.

- Bertola, P. (2021). Fashion within the big data society: How can data enable fashion transition towards a more meaningful and sustainable paradigm? *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3464385.3468146>
- Bertola, P., Colombi, C. y Vacca, F. (2018). Fashionabilities. Planning and managing design processes in fashion. Mandragora.
- Bertola, P., Vacca, F., Colombi, C., Iannilli, V. y Augello, M. (2016). The cultural dimension of design driven innovation. A perspective from the fashion industry. *The Design Journal*, 19(2), 237-251. <https://doi.org/10.1080/14606925.2016.1129174>
- Breiter, D. y Siegfried, P. (2022). The Metaverse: Exploring consumer's expectations, their attitudes, and it's meaning to the fashion industry. *Tekstilna Industrija*, 70(2), 51-60. <https://doi.org/10.5937/tekstind2202051b>
- Casciani, D., Chkanikova, O. y Pal, R. (2022). Exploring the nature of digital transformation in the fashion industry: Opportunities for supply chains, business models, and sustainability-oriented innovations. *Sustainability: Science, Practice, and Policy*, 18(1), 773-795. <https://doi.org/10.1080/15487733.2022.2125640>
- Castro Camelo, A. (2021). Tecnologías emergentes. Uso y aplicación en instituciones públicas de Colombia: Sistematización de experiencias. *EduTech Review. International Education Technologies Review*. 8(2), 127-139. <https://doi.org/10.37467/gkarevedutech.v8.3024>
- Čiarnienė, R. y Vienažindienė, M. (2014). Management of contemporary fashion industry: Characteristics and challenges. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 156, 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.11.120>
- Colombi, C. y D'Itria, E. (2023). Fashion digital transformation: Innovating business models toward circular economy and sustainability. *Sustainability*, 15(6), p. 4942. <https://doi.org/10.3390/su15064942>
- Kotler, P., Kartajaya, H. y Setiawan, I. (2017). *Marketing 4.0: Moving from Traditional to Digital*. Willey.
- Lado Cousté, Nora., Peña, Daniel. y Belanche, Daniel. (2022). *Big data: Marketing digital y big data*. Funcas.
- McKinsey & Company. (2024). *The state of fashion 2024*. <https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/state-of-fashion>
- Mohammadi, S. O. y Kalhor, A. (2021). Smart fashion: A review of AI applications in the fashion & apparel industry. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/355841582_Smart_Fashion_A_Review_of_AI_Applications_in_the_Fashion_Apparel_Industry
- Papachristou, E. (2015). How to integrate recent development in technology with digital prototype textile and apparel applications. *Marmara University Journal of Science*, 27(3). <https://doi.org/10.7240/mufbed.96632>
- Papahristou, E. (2016). Can 3D virtual prototype conquer the apparel industry? *Journal of Fashion Technology & Textile Engineering*, 4(2). <https://doi.org/10.4172/2329-9568.1000134>
- Papachristou, E. y Anastassiou, H. T. (2022). Application of 3D virtual prototyping technology to the integration of wearable antennas into fashion garments. *Technologies*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/technologies10030062>
- Papahristou, E. y Bilalis, N. (2017a). 3D virtual prototyping traces new avenues for fashion design and product development: A qualitative study. *Journal of Textile Science & Engineering*, 07(02). <https://doi.org/10.4172/2165-8064.1000297>
- Papahristou, E. y Bilalis, N. (2017b). Integrated digital prototyping in the fashion product development. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 3(1). <https://doi.org/10.15406/jteft.2017.03.00089>

Papahristou, E. y Bilalis, N. (2018). Should the fashion industry confront the sustainability challenge with 3D prototyping technology. *International Journal of Sustainable Engineering*, 10(4-5), pp. 207-214. <https://doi.org/10.1080/19397038.2017.1348563>

Papahristou, E., Kyratsis, P., Priniotakis, G. y Bilalis, N. (2017). The interconnected fashion industry. An integrated vision. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 254(17). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/254/17/172020>

Selva-Ruiz, D. y Martín-Ramallal, P. (2019). Virtual reality, advertising and minors: Another challenge of cybersociety in the face of immersive technologies. *Icono14*, 17(1), 83-110. <https://doi.org/10.7195/rii14.v17i1.1234>

Vellesalu Högskolan Borås, A. y Teunissen, J. (2020). *Education for fashion-tech: Design and technology for future fashion creatives*. Nielsen Book. <https://www.researchgate.net/publication/345010360>

Xiao, Y. Q. y Kan, C. W. (2022). Review on development and application of 3D-printing technology in textile and fashion design. *In Coatings*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/coatings12020267>

Zúñiga, F., Mora, D. y Llerena, W. (2023). El big data y su implicación en el marketing. *Revista de Comunicación de la SEECI*, 56, pp. 302-321. <https://doi.org/10.15198/seeci.2023.56.e832>

Accesibilidad digital para personas con pérdida auditiva y sordera

Isaías Loaiza Ramírez

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco
al2233802592@azc.uam.mx

Beatriz Adriana González Beltrán

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

Resumen

Actualmente persiste una brecha de inclusión digital que afecta a las personas con pérdida auditiva, por ello, en este artículo se describen algunos trabajos que se han realizado para cerrar dicha brecha, así como algunas problemáticas y retos detectados. Esta aportación se propone compartir las problemáticas conocidas a través de un análisis y diagnóstico inicial que ayudaron a identificar algunas de las principales barreras, lo que permitirá desarrollar posibles soluciones y directrices en la búsqueda y propuesta de nuevos y más robustos estándares para el diseño de sitios web y aplicaciones móviles inclusivas. Este enfoque multidisciplinario (educación especial, diseño de información y ciencias de la computación) ofrece nuestra perspectiva para la inclusión digital, siendo relevante por su contribución a la información accesible.

Palabras clave

Accesibilidad digital, pérdida auditiva y sordera, entornos digitales.

Abstract

Currently, there is an enduring digital inclusion gap impacting individuals with hearing impairment. This article outlines various endeavors undertaken to bridge this gap, along with some of the identified problems and challenges. This participation aims to share known issues through an initial analysis and diagnostic process that have aided in pinpointing some of the key barriers. This will enable the development of potential solutions and guidelines in the quest for proposing new and more robust standards for the design of inclusive websites and mobile applications. This multidisciplinary approach (special education, information design, computer science) offers our perspective for digital inclusion, standing out for its contribution to accessible information.

Keywords

Digital accessibility, hearing loss and deafness, digital environments.

Cita APA: Loaiza, I. y González, B. (2024). Accesibilidad digital para personas con pérdida auditiva y sordera. *Azcatl*, 2, 53-58.
DOI: [10.24275/AZCATL2024A008](https://doi.org/10.24275/AZCATL2024A008)

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que más de 430 millones de personas tienen algún grado de pérdida auditiva discapacitante y se proyecta que para el 2050 esta cifra aumentará tanto que una de cada diez personas requerirá algún tipo de rehabilitación.

Con el avance de la tecnología digital, la accesibilidad a la web y aplicaciones móviles se ha convertido en un derecho esencial para garantizar la inclusión y participación de todas las personas en la sociedad de la información. Sin embargo, muchos de los miembros de la comunidad silente a menudo enfrentan barreras que limitan su acceso o experiencia de usuario y aunque existen algunas leyes que intentan proteger el derecho a la libertad de expresión y opinión, incluida la libertad para recabar, recibir y facilitar información mediante cualquier forma de comunicación que les facilite una participación e integración en igualdad de condiciones (como la Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad, de México), no todas están actualizadas —algunas fueron creadas desde los 90—. No incluyen su aplicación en el sector privado, no profundizan sobre la accesibilidad para personas con pérdida auditiva o no todas incluyen consideraciones para entornos digitales.

Al referirse a *contenido digital accesible* significa que los sitios web, herramientas y tecnologías estén diseñados y desarrollados para que las personas con discapacidades puedan utilizarlos (World Wide Web Consortium [W3C], 2024). Tim Berners-Lee —quien inventó la World Wide Web y ahora dirige la W3C— ha dicho, justamente, que el poder de la web radica en su universalidad, siendo un aspecto esencial que todas las personas puedan acceder al contenido, independientemente de su discapacidad.

En noviembre de 2019, la Asociación Nacional de Sordos de Estados Unidos de América y la universidad de Harvard firmaron un acuerdo histórico que puso fin a cuatro años de batallas legales relacionadas con los subtítulos del contenido en línea. En dicho acuerdo, Harvard acordó subtítular todos los nuevos archivos de video de acuerdo con las pautas de accesibilidad de contenido web (WCAG) y proporcionar transcripciones de texto para todos los ar-

chivos de audio creados a partir del 1 de diciembre de ese mismo año (King y Piotrowski, 2021).

A inicios del 2020, muchas instituciones educativas en todo el mundo tuvieron que migrar sus contenidos a plataformas digitales como consecuencia de la pandemia por COVID-19, para así continuar cubriendo el derecho a la educación. Sin embargo, ese contenido no siempre se desarrolla considerando las diferentes discapacidades en las personas, por lo que los acuerdos legales —como el de Harvard— establecen un precedente importante para el cumplimiento de derechos fundamentales (como el derecho a la educación) y resaltan la importancia de proporcionar contenido accesible para las personas.

Discusión

Sería común pensar que para 2024 muchos sitios web y aplicaciones móviles consideran completamente funciones de accesibilidad para contenido sonoro (incluyendo videos y pódcast), no obstante, si bien hay algunos sitios muy conscientes y proactivos (como ted.com) que incluyen subtítulos en varios idiomas, transcripciones multiidioma de todo el audio o marcas de tiempo dentro del texto, es sorprendente que otros contenidos masivos (como los pódcast de Apple) apenas hayan incluido las transcripciones automáticas en la última actualización del sistema operativo (liberada el 21 de marzo de 2024), teniendo más de 5 millones de episodios que antes de esta fecha eran completamente inaccesibles para personas con pérdida auditiva. ¿De cuánto contenido a nivel mundial se estarán perdiendo estas personas, considerando que éste es sólo un ejemplo de todo el universo de información digital?

En este artículo se identifican las principales directrices de accesibilidad digital para personas con pérdida auditiva, para así, en un futuro, desarrollar y validar un nuevo conjunto adaptado a sus necesidades y problemáticas (hasta el momento detectadas parcialmente), esto de la mano de especialistas en educación especial y grupos de apoyo de la comunidad silente para mejorar significativamente su experiencia digital.

Si bien el enfoque de este proyecto es tecnológico, debemos recordar que *el acceso a la información* es tanto

un derecho fundamental humano como un derecho constitucional en muchos países y aunque en Latinoamérica existen avances en leyes relacionadas con la accesibilidad de la información es importante estar pendientes de lo que están haciendo los gobiernos para revisar su vigencia y así garantizar su ejercicio efectivo. La siguiente lista reúne algunas de las leyes revisadas donde se encontró que varias no profundizan sobre la accesibilidad para personas con pérdida auditiva, no incluyen consideraciones específicas para entornos digitales o se centran exclusivamente en requerimientos de accesibilidad para asuntos relacionados con el gobierno, sin extender su aplicación a la iniciativa privada.

- Argentina | Ley de Accesibilidad de la Información en Páginas Web (2017). Esta ley exige que los sitios web del gobierno sean accesibles, lo cual incluye consideraciones para personas con discapacidades auditivas. Aunque su enfoque es muy general y no específico para sordos.
- Brasil | Ley Brasileña de Inclusión de la Persona con Discapacidad (2015) (Estatuto de la Persona con Discapacidad). Esta ley incluye disposiciones para garantizar la accesibilidad en sitios web y aplicaciones móviles, lo que beneficia indirectamente a las personas sordas al promover la accesibilidad digital.
- Chile | Ley 20.422 (2010). Establece normas sobre igualdad de oportunidades e inclusión social de personas con discapacidad. Incluye disposiciones que podrían interpretarse para aplicar la accesibilidad digital.
- Colombia | Ley 1680 de 2013. Esta ley promueve la accesibilidad para personas con discapacidad en entornos digitales.
- México | Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad (2011). Si bien no es específica para entornos digitales, sí promueve la accesibilidad y podría aplicarse a medios digitales. Esta ley sólo corresponde a las dependencias y entidades de gobierno.

- Perú | Ley N° 29973 (2012). La Ley General de la Persona con Discapacidad incluye disposiciones que podrían aplicarse a la accesibilidad en entornos digitales.

Resultados

En la investigación realizada se encontró que existen algunas guías reconocidas a nivel mundial que plantean directrices de accesibilidad para atender las necesidades de las personas con pérdida auditiva y son un punto de partida crucial para asegurar la inclusión en entornos digitales, como las directrices de accesibilidad para el contenido web de la W3C (2023); las directrices de accesibilidad de Apple (2024); la guía para audiencias con discapacidad visual y auditiva de la British Broadcasting Company (BBC) (2021); el estándar europeo EN 301-549 (2018), relativo a los requerimientos de accesibilidad para productos y servicios para las tecnologías de la información y la comunicación. Después de realizar la revisión de estas guías se encontraron las principales coincidencias enlistadas a continuación:

1. Usar subtítulos cerrados para videos:
 - 1.1. Proporcionar subtítulos cerrados, precisos y sincronizados para todo el contenido del video.
 - 1.2. Los subtítulos deben transmitir no sólo las palabras habladas, sino también otros sonidos relevantes y señales auditivas.
2. Texto claro y legible:
 - 2.1. Usar un lenguaje claro y conciso y evitar estructuras de frases complejas.
 - 2.2. Asegurar un buen contraste entre el texto y el fondo y usar un tamaño de fuente legible.
3. Alertas visuales y notificaciones:
 - 3.1. Incorporar señales visuales para cualquier información auditiva, como alertas o notificaciones.
 - 3.2. Usar texto, íconos o símbolos visuales para transmitir mensajes importantes que normalmente se entregan a través del sonido.

4. Diseño web accesible:
 - 4.1. Seguir las directrices de accesibilidad al contenido en la web (WCAG) para la accesibilidad web en general.
 - 4.2. Asegurar que la navegación y la disposición de la página sean intuitivas y se pueda navegar sin señales auditivas.
5. Uso de imágenes y ayudas visuales:
 - 5.1. Donde sea posible, usar imágenes, infografías o diagramas para complementar o reemplazar el texto.
 - 5.2. Proporcionar texto alternativo descriptivo para todas las imágenes.
6. Evitar el audio que se reproduce automáticamente:
 - 6.1. No tener audio que se reproduzca automáticamente al visitar el sitio, ya que puede ser confuso para aquellos que no lo escuchan y pueden perder información importante o alertas.
7. Opciones de retroalimentación e interacción:
 - 7.1. Ofrecer múltiples formas para que los usuarios retroalimenten o se comuniquen, incluyendo correo electrónico, formularios de contacto y chat de texto.
 - 7.2. Asegurar que estos métodos de comunicación sean fácilmente accesibles y claramente indicados.
8. Pruebas y actualizaciones periódicas:
 - 8.1. Verificar regularmente el sitio web con usuarios sordos o con dificultades auditivas para obtener retroalimentación sobre la accesibilidad.
 - 8.2. Actualizar el sitio web basado en esta retroalimentación para asegurar la accesibilidad continua.

Es importante decir que al leer las directrices a profundidad se concluyó que son poco descriptivas, principalmente en sus recomendaciones de implementación. Esto puede ocurrir, en parte, porque la accesibilidad es un campo en constante evolución al existir un desarrollo ininterrumpido de nuevas tecnologías que intentan resol-

ver problemáticas sociales, al igual que el desarrollo de nuevas investigaciones que nos acercan a una mayor integración de las personas con discapacidad.

Conclusiones

La importancia de este estudio radica en su potencial para transformar la manera en que las personas con pérdida auditiva severa y sordera total interactúan con contenidos digitales.

Al revisar y analizar distintas leyes, se puede destacar que uno de los problemas es que *no presentan uniformidad a nivel mundial*. Mientras que algunos países pueden tener regulaciones sólidas que garantizan la accesibilidad digital para personas con discapacidad auditiva, muchos otros pueden carecer de legislación específica o tener leyes laxas que no establecen estándares claros. Esto crea disparidades en cuanto a la igualdad de acceso a la información y los servicios digitales para las personas con pérdida auditiva según su ubicación geográfica.

También se detectó que las leyes analizadas *no aplican para todos los sectores*, centrándose únicamente en los servicios y plataformas digitales del sector público, dejando fuera al sector privado. Esto significa que muchas empresas y organizaciones privadas no están legalmente obligadas a cumplir con estándares de accesibilidad digital para personas con discapacidad auditiva en sus sitios web, aplicaciones móviles u otros medios digitales. Esta exclusión deja a muchas personas con pérdida auditiva en desventaja cuando intentan acceder a productos, servicios o información en línea proporcionados por entidades privadas.

Además, algunas recomendaciones son obsoletas al no tener revisiones constantes, considerando que los avances tecnológicos están en constante evolución, y las leyes pueden no ser lo suficientemente ágiles para mantenerse al día con las innovaciones. Como resultado, las recomendaciones de accesibilidad digital pueden quedar desactualizadas, lo que dificulta que las personas con pérdida auditiva accedan plenamente a la información y los servicios en línea.

Por otro lado, en relación a las guías de accesibilidad digital, se detectó que una limitación es que pueden ser

vagas o carecen de recomendaciones específicas de implementación. Si bien proporcionan una visión general de los principios de accesibilidad y los estándares de diseño, no ofrecen orientación detallada sobre cómo aplicar estas recomendaciones en la práctica. Esto puede dejar a los desarrolladores y diseñadores digitales con incertidumbre sobre los pasos concretos que deben seguir para garantizar la accesibilidad.

Otra limitación común es que algunas de estas guías ofrecen sólo una visión superficial de los problemas de accesibilidad y no abordan las complejidades y desafíos profundos, brindando recomendaciones básicas (como proporcionar subtítulos cerrados precisos y sincronizados para todo el contenido de video), pero pueden carecer de información detallada sobre cómo abordar situaciones más complejas o específicas (como implementar subtítulos en el idioma principal de la comunidad silente: lenguaje de señas dactilológico o pictográfico). Esto puede resultar en implementaciones de accesibilidad superficiales que no satisfacen completamente las necesidades de las personas con discapacidades auditivas.

Finalmente, algunas guías están creadas específicamente para tecnologías propietarias, lo que limita su utilidad para aquellos que trabajan con sistemas o plataformas diferentes. Como resultado, puede ser difícil o imposible de aplicar esas recomendaciones a un número mayor de sitios o aplicaciones de manera efectiva.

Estos problemas destacan la necesidad de mejorar y promover las directrices de accesibilidad digital de este grupo para garantizar que sean más claras, detalladas y aplicables a una variedad más amplia de contextos y tecnologías. Esto es fundamental para garantizar que las personas con pérdida auditiva y otras discapacidades puedan acceder plenamente a la información en igualdad de condiciones con los demás y así mejorar significativamente su autonomía, acceso a la educación, oportunidades laborales y participación en la sociedad digital.

Referencias

- Apple. (2024). *Building accessible apps*. <https://developer.apple.com/accessibility/>
- British Broadcasting Company. (2021). *Guidance: Vi-*

sually impaired and hearing impaired audiences. <https://www.bbc.com/editorialguidelines/guidance/bbc.com/editorialguidelines/guidance/visually-and-hearing-impaired-audiences/>

- Departamento de Justicia de los Estados Unidos. (2024). ADA Standards for Accessible Design. *Americans with Disabilities*. <https://www.ada.gov/>
- European Telecommunications Standards Institute. (2021). *Accessibility requirements for ITC products and services* (EN 301 549). https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/03.02.01_60/en_301549v030201p.pdf
- Gobierno de los Estados Unidos. (2010). 21st century communications and video accessibility act (CVAA). *Federal Communications Commission*. <https://www.fcc.gov/consumers/guides/21st-century-communications-and-video-accessibility-act-cvaa>
- Gobierno de los Estados Unidos. (2023). Sección 508 de la Ley de Rehabilitación. *Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicación*. <https://www.section508.gov/>
- King, C. y Piotrowski, C. (2021). Navigating the ada accessibility requirements and legal pitfalls in online education. *College Student Journal*, 55(2), pp. 127-134.
- Lei nº 13.146 [Congreso Nacional]. Estatuto da pessoa com deficiência. 6 de julio de 2015 (Brasil). Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm
- Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad. 30 de mayo de 2011 (México). Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGIPD.pdf>
- Ley N° 20.422 [Ministerio de Planificación]. Establece normas sobre igualdad de oportunidades e inclusión social de personas con discapacidad. 3 de febrero de 2010 (Chile). <https://www.bcn.cl/ley-chile/navegar?idLey=20422>
- Ley N° 26.653 [Gobierno de Argentina]. Accesibilidad Web. 3 de noviembre de 2010 (Argentina). <https://www.argentina.gob.ar/jefatura/innovacion-publica/onti/accesibilidad-web>

Ley N° 29973 [Congreso de la República]. Ley General de la Persona con Discapacidad. 24 de diciembre de 2012 (Perú). <https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29973.pdf>

Ley 1680 de 2013 [Congreso de la República]. Por la cual se garantiza la accesibilidad de las personas con discapacidad a los sistemas de información y de las comunicaciones, incluido internet. 20 de noviembre de 2013 (Colombia). http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1680_2013.html

Nicolae, C. (2020). Subtitling for the deaf and hard-of-hearing audience in romania. *Romanian Journal of English Studies*, 17(1), 53-62. Organización Mundial de la Salud (2024). *Deafness and hearing loss*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>

P/IFT/120815/306 de 2016 [Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones]. Acuerdo mediante el cual el

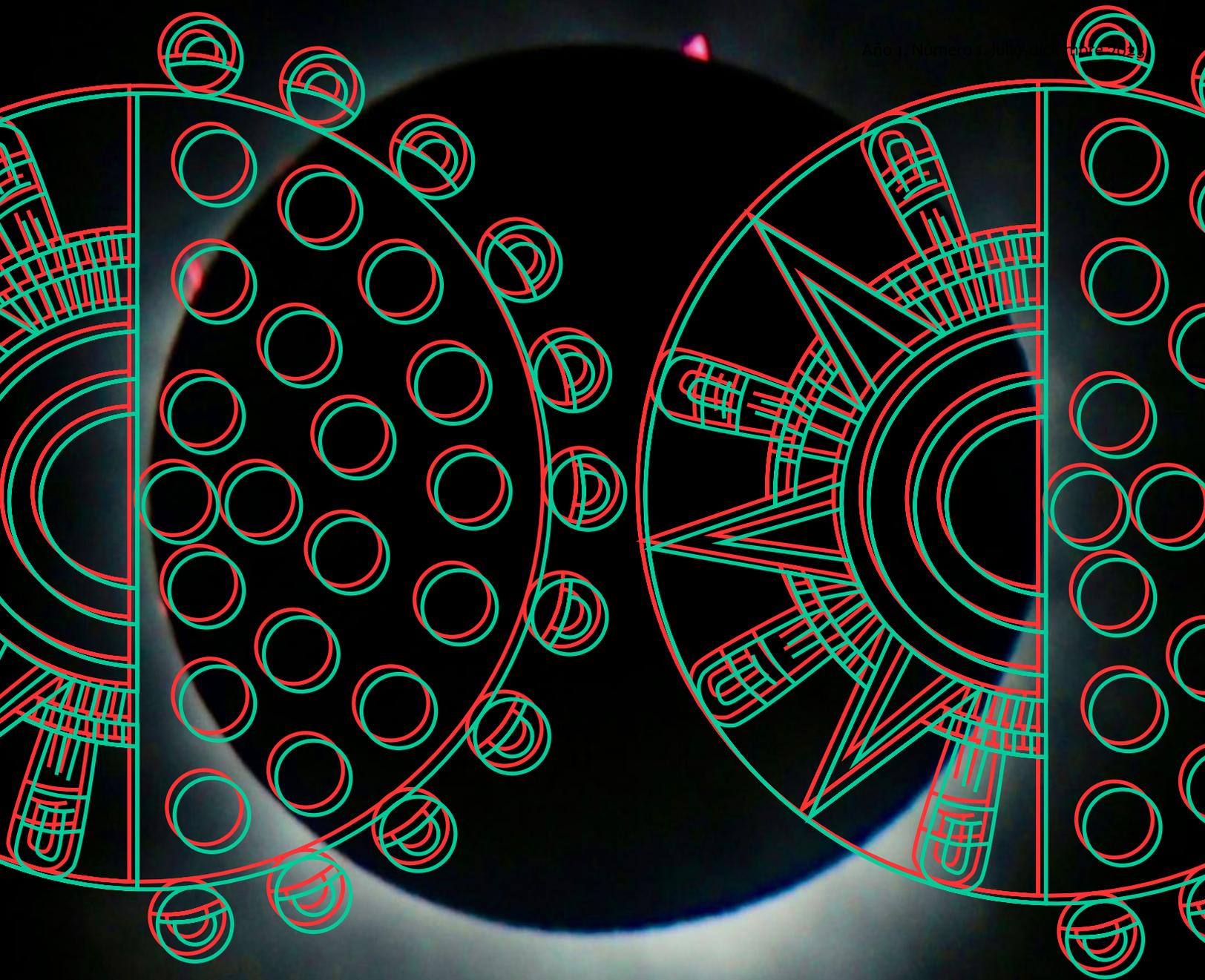
Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones aprueba y emite los lineamientos generales de accesibilidad a servicios de telecomunicaciones para los usuarios con discapacidad. 23 de diciembre de 2016 (México). Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5466859&fecha=23/12/2016#gsc.tab=0

Tamayo, A. (2022). Sign languages, translation, and interpreting: Creative practices in audiovisual content. *Sign Language Studies*, 22, 484-519. <https://doi.org/10.1353/sls.2022.0003>

The Federal Communications Commission. (1990). *H.R.4267-Television decoder circuitry act of 1990*. Public Law 101-431.

The Federal Communications Commission. (1996). *Telecommunications act of 1996*. Public Law 104-104.

World Wide Web Consortium. (2023). *Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.2*. <https://www.w3.org/TR/WCAG22/>



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA