

AZCATL

Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

Año 4. Número 8. Julio de 2026, DOI: [10.24275/AZC20266A1](https://doi.org/10.24275/AZC20266A1)

6

1

7

4



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Dr. Gustavo Pacheco López
Rector general

Dra. Esthela Irene Sotelo Núñez
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. Alejandro León Galicia
Dr. Aristeo Garrido Hernández

EQUIPO EDITORIAL
Mtro. Juan Manuel Galindo Medina
Dirección de diseño y concepto de cubierta

D.C.G. Ingrid Sofía Juárez Páez
Diseño editorial

Lic. Liliana Ramírez Nuño
Corrección de estilo

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

Tabla de contenido

<i>Editorial</i>	1
<i>Experimento Universo 25: críticas desde la complejidad de las relaciones sociales</i>	4
Roberto Rivera Pérez	
<i>La constante mágica de Kaprekar: el enigmático y cautivador número 6174</i>	10
Franklin Wladimir Peña-Polo, Leonardo Di G. Sigalotti y Leonardo Di Girolamo Sigalotti Díaz	
<i>Los números amigables: un recuento de amistad perfecta en el mundo de los números</i>	14
Franklin W. Peña-Polo, Fidel Cruz y Alejandro Ortiz-Fernández	
<i>Ciencia que se imprime: cómo la manufactura aditiva está reinventando el mundo</i>	18
Emilio Pérez-Pacheco y Jose Herminsul Mina-Hernandez	
<i>Películas delgadas: coberturas increíbles que transforman la vida</i>	22
Jorge Rodríguez López, Armando Ramos Corona y Edson Edain González Arredondo	
<i>¿Son lo mismo redes sociales y movimientos sociales??</i>	26
Roberto Rivera Pérez	
<i>Los microplásticos: ¿un problema ambiental sin solución?</i>	32
Mario Alejandro Gómez Ponce, Omar Celis Hernández, José Gilberto Cardoso Mohedano, Nayelly Vázquez Pérez, Martín López Hernández y Julio César Canales Delgadillo	

AZCATL. Año 4. Número 8, julio de 2026, 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: 3061-7510, 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 julio de 2025. Tamaño del archivo 4.9 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.

Imagen en portada: Franklin Wladimir Peña-Polo y Leonardo Di G. Sigalotti (2025). *Matriz de 100 × 100, donde el color indica el número de iteraciones necesarias para alcanzar la constante de Kaprekar*. Adaptada por Juan Manuel Galindo Medina.

Estimado lector:

El recorrido por el octavo número de la revista *Azcatl* inicia en el terreno de las matemáticas recreativas y la teoría de números, donde la aparente simplicidad aritmética oculta atrayentes patrones de profunda belleza estructural. Posteriormente, se continua con el diálogo que existe entre la teoría y la aplicación de dos contribuciones enfocadas en descubrir cómo la ciencia de materiales y la ingeniería avanzada están reconfigurando la producción industrial, la medicina y la sostenibilidad ambiental. Enseguida se abordan algunos desafíos fundamentales de la sociedad contemporánea a través de un análisis de las ciencias sociales y los retos ambientales globales. A continuación se presenta un breve resumen de cada uno de los trabajos que conforman este número:

«Experimento Universo 25: críticas desde la complejidad de las relaciones sociales», de Roberto Rivera, desarrolla un cuestionamiento interdisciplinario al famoso experimento etológico de John B. Calhoun en los años 60. Desmonta las extrapolaciones simplistas y deterministas que pretendían predecir el colapso de la humanidad a partir del comportamiento de roedores en condiciones de sobrepoblación, destacando el papel irremplazable de la cultura, las instituciones, la administración del poder y la equidad en la distribución de recursos escasos.

«La constante mágica de Kaprekar: el enigmático y cautivador número 6174», de Franklin W. Peña y Leonardo Di G. Sigalotti, nos invita a explorar el legado del autodidacta indio D. R. Kaprekar. A través de un algoritmo elemental de ordenamiento y resta, los autores demuestran como casi cualquier número de cuatro cifras converge inevitablemente hacia el 6174 en un máximo de siete iteraciones, transformando este proceso en llamativos tapices fractales y matrices de color que vinculan el juego numérico con el análisis de sistemas dinámicos.

«Los números amigables: un recuento de amistad perfecta en el mundo de los números», de Leonardo Di G. Sigalotti, Franklin W. Peña y Fidel Cruz, ofre-

ce una revisión histórica y conceptual sobre aquellas parejas numéricas cuya suma de divisores propios da como resultado exacto al otro elemento de la dupla. Desde los primeros simbolismos místico-filosóficos de la escuela pitagórica con el par (220, 284), pasando por las formulaciones algebraicas de Thābit ibn Qurra, Fermat, Descartes y Euler, hasta las búsquedas masivas mediante supercómputo moderno, este trabajo destaca el valor didáctico e inspirador de la reciprocidad matemática.

«Ciencia que se imprime: cómo la manufactura aditiva está reinventando el mundo», de Alejandro Ortiz, Emilio Pérez y José Mina, analiza la revolución de la impresión 3D y el cambio de paradigma de la manufactura sustractiva tradicional a la adición capa por capa, lo que permite la creación de geometrías celulares complejas, reduce desperdicios y democratiza el prototipado en la medicina regenerativa, la aeronáutica y la educación.

«Películas delgadas: coberturas increíbles que transforman la vida», de Jorge Rodríguez, Armando Ramos y Edson González, nos introduce al invisible pero poderoso ámbito de la nanotecnología. Mediante técnicas sofisticadas de depósito atómico como ALD o CVD, se explica cómo la modificación superficial a escalas de nanómetros permite dotar a vidrios, metales o polímeros de propiedades antirreflejantes, fotocatalíticas o protectoras para ser usados en pantallas táctiles, celdas solares, empaques inteligentes y remediación ambiental.

«¿Son lo mismo redes sociales y movimientos sociales?», de Roberto Rivera, formula el concepto de red rizomática integrando la antropología política, la sociología de las acciones colectivas y la teoría de redes complejas. Propone considerar los movimientos sociales no como masas amorfas o desorganizadas, sino como entrelazamientos dinámicos de nodos-agentes, colectivos y asociaciones en continuos procesos de autoorganización, reestructuración y desterritorialización.

«Los microplásticos: ¿un problema ambiental sin solución?», de Mario Gómez, Omar Celis, José Cardoso, Julio Canales, Nayelly Vázquez y Martín López, evalúa la severa huella ambiental de los micro- y nanoplásticos en ecosistemas marinos, terrestres y atmosféricos, al tiempo que expone las promesas de la biotecnología moderna como el uso de enzimas bacterianas, PETasas y cutinasas, para avanzar hacia una economía circular del plástico.

Agradecemos profundamente a los autores de la Universidad Autónoma Metropolitana, del Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, del TecNM (Morelia e Irapuato), del Cinvestav Mérida, de la Universidad Nacional Autónoma de México y del Cetmar por enriquecer nuestras páginas.

El número 8 de la revista *Azcatl* refleja que la divulgación científica no consiste únicamente en traducir conceptos complejos, sino en construir puentes entre disciplinas para comprender la realidad con toda su riqueza.

Invitamos a nuestras lectoras y lectores a sumergirse en la lectura de estos artículos a lo largo de los números que hemos publicado, con la certeza de que encontrarán en ellos ideas estimulantes y preguntas inspiradoras para los grandes retos de nuestro tiempo. También los invitamos a proponer temas que consideren convenientes. La convocatoria para el envío de trabajos se encuentra abierta todo el año.

Comité editorial

Azcatl

Experimento Universo 25: críticas desde la complejidad de las relaciones sociales

Roberto Rivera Pérez

Universidad Autónoma Metropolitana,

Unidad Azcapotzalco

rrp@azc.uam.mx

Resumen

¿Qué ocurriría si repentinamente la sociedad tuviera acceso ilimitado al consumo de alimentos?, ¿cómo se cree que podrían cambiar las conductas de los seres humanos en este contexto?, entre otras, éstas fueron algunas de las preguntas que se planteó un grupo de científicos, quienes construyeron el experimento llamado Universo 25, también conocido como El Paraíso Utópico de los Ratones, cuyos resultados inesperados sugieren ser un presagio del destino de la humanidad si es que existiera esta situación, pero ¿será pertinente hacer esta extrapolación?, ¿se habrán considerado todas las variables y eventualidades en un entorno controlado?

Palabras clave

Universo 25, relaciones de poder, interdisciplina.

Summary

What would happen if society suddenly had unlimited access to food? How do you think human behavior might change in such contexts? These were some of the questions posed by a group of scientists who constructed the Universe 25 experiment, also known as the Utopian Mouse Paradise. The unexpected results suggest a harbinger of humanity's fate if such a situation were to exist. But would such an extrapolation be relevant? Have all the variables and eventualities been considered in such a controlled environment?

Keywords

Universe 25, power relations, interdisciplinary.

APA: Rivera, R. (2026). Experimento Universo 25: críticas desde la complejidad de las relaciones sociales. *Azcatl* (8), 4-9.

DOI: [10.24275/AZC2026B001](https://doi.org/10.24275/AZC2026B001)

Fecha de recepción: 8 de septiembre de 2025 . Fecha de aceptación para publicación: 9 de abril de 2026.

Introducción

La etología y la entomología son ramas de la biología que estudian el comportamiento de los animales y los insectos, respectivamente, las cuales han observado el movimiento coordinado de las parvadas de aves, los bancos de peces y las manadas de mamíferos; asimismo, han analizado las estructuras arquitectónicas que elaboran las colonias de termitas y hormigas o las colmenas de abejas y avispas.

Los insectos, los animales y los seres humanos pueden ser asociados como organismos multicelulares que operan como sistemas abiertos, es decir, sistemas que inevitable e irreversiblemente pierden energía por el desarrollo de la más mínima actividad (o trabajo), son termodinámicamente disipativos, lo que los obliga a invertir altos grados de energía que solamente se pueden alcanzar mediante el consumo de alimentos, a emplear espacios y a disponer de periodos para el descanso y para deshacerse de los desechos (vomitar, orinar y defecar), acciones que les permiten, a cada organismo en particular, alejarse temporalmente de los peligrosos e inevitables estados de equilibrio térmico (la muerte); sin considerar la posibilidad de los decesos por depredadores, asesinatos, enfermedades, accidentes, eventualidades e incertidumbres climáticas. Algunos, o la confluencia, de estos factores son los que en más de una ocasión le abrieron la puerta a la extinción de otras especies, hecho que ahora asociamos con el principio de la teoría de la selección natural.

En este sentido, un equipo de etólogos, bajo la coordinación de John Bumpass Calhoun, quienes habían estudiado el *Primer ensayo sobre la población*, de Malthus, además de experimentar con grandes poblaciones de ratones, cuyo objetivo era establecer resultados comparativos con las sociedades humanas, en 1960 construyeron un entorno controlado llamado Universo 25 (U25), el cual tenía capacidad para 5 000 ratones y solventaba todos los factores de peligro que había señalado Malthus (1983), por lo que todos sus habitantes no sufrían la carencia de alimentos y agua, no tenían la posibilidad de padecer los estragos de las pestes y pandemias (particularmente la salmonela) o las incertidumbres del medio ambiente, así como de los ataques sorpresivos de sus depredadores o

plagas. Aparte de que su población disponía de áreas para la socialización, el descanso y el cuidado de sus crías, sin olvidar el servicio regular de limpieza de sus desechos, evitando así la contaminación.

Con base en lo anterior, el presente artículo tiene como objetivo cuestionar la pertinencia de la analogía entre los resultados del experimento Universo 25 con las formas de organizaciones sociales humanas, a fin de abrir el debate interdisciplinario sobre este tema que ya es popular en las redes sociales contemporáneas.

Descripción y generalidades del experimento Universo 25

El experimento U25 fue un espacio controlado (un prisma cuadrangular de 257 cm de lado por 137 cm de altura) que contenía 16 cajas de reposo distribuidas en toda su área; cada caja contenía cuatro niveles con cinco madrigueras por nivel en las que se esperaba que pudieran habitar por lo menos 15 ratones con sus crías, dando el supuesto mínimo de 4 800 ocupantes. Para acceder en sus respectivas madrigueras los ratones empleaban una serie de túneles (dos por cada caja) y en toda el área contaban con varios dispensadores de agua y comida distribuidos, los cuales cubrían las necesidades de hasta 9 500 ratones.

El experimento comenzó el 9 de julio de 1968 tras seleccionar cuatro parejas de ratones con un día de edad, quienes serían los primeros colonizadores del U25. Una vez inmersos en ese espacio controlado, después de 48 días de su nacimiento, los roedores se caracterizaron por explorar y acomodarse en diferentes espacios de su nuevo entorno, hasta que nacieron las primeras crías a los 104 días de su inserción. A partir de ese punto, en los siguientes 55 días nacieron de manera exponencial hasta 620 ratones; momento en que se detuvieron los partos por 145 días, seguido de alumbramientos ocasionales, llegando a ser una población máxima de 2200 habitantes a poco más de 700 días de haber iniciado el experimento.

No obstante, al cumplir casi los primeros 500 días de la prueba, los roedores comenzaron a presentar extraños comportamientos, como agresiones y actos violentos entre ellos (sin importar su género) a razón de peleas por el espacio; delimitación de territorios; formación de

harems asimétricos del número de hembras; creación de grupos de machos que impedían que otros machos (generalmente más débiles) pudieran reproducirse; prácticas homosexuales, pansexuales y descuido del cuerpo de los machos en general; desinterés maternal, es decir, abandono de crías a corta edad o al nacer; asesinatos; infanticidios; y prácticas de canibalismo. También existieron grupos de hembras y de machos reclusos y sin interés alguno de reproducirse, los cuales se dedicaban exclusivamente a comer, dormir y acicalarse.

Es caso de mención tres detalles más: primero, se observó que los ratones tendían a pelear por adquirir el mismo despachador de alimento o de agua, sin importar que hubiera uno desocupado en sus inmediaciones; segundo, siguiendo los registros de John B. Calhoun (1962 y 1973), si se dividiera el U25 en cuadrantes del plano cartesiano (ejercicio reflexivo que Calhoun nunca realizó) se podría observar que el segundo, tercer y cuarto cuadrante, en sus mejores momentos, tendría 296, 260 y 234 nacimientos, respectivamente, a diferencia de los 52 alumbramientos que se registrarían en el primer cuadrante en el mismo periodo, lo que permitiría hablar de prácticas de hacinamiento por la incapacidad de los ratones de migrar

de un cuadrante a otro debido al peligro al que estaban expuestos por las agresiones; y tercero, fue el 1 de marzo de 1970 cuando se registró el último de los nacimientos, concluyendo el experimento a los 1588 días de haber comenzado (13 de noviembre de 1972), para ese entonces se registró la existencia de 23 hembras y 4 machos, donde el habitante más joven tenía 987 días de edad, lo que le permitió a Calhoun (1973) concluir:

Para un animal tan complejo como el hombre, no hay razón lógica para que una secuencia comparable de eventos no conduzca también a la extinción de la especie. Si las oportunidades de cumplimiento de roles son muy inferiores a la demanda de quienes son capaces de desempeñarlos y tienen expectativas de hacerlo, sólo pueden surgir violencia y disrupción en la organización social. Así como la generatividad biológica en el ratón implica los comportamientos más complejos de esta especie, también lo hace la generatividad de ideas en el hombre. La pérdida de estos respectivos comportamientos complejos significa la muerte de la especie. (p. 86)

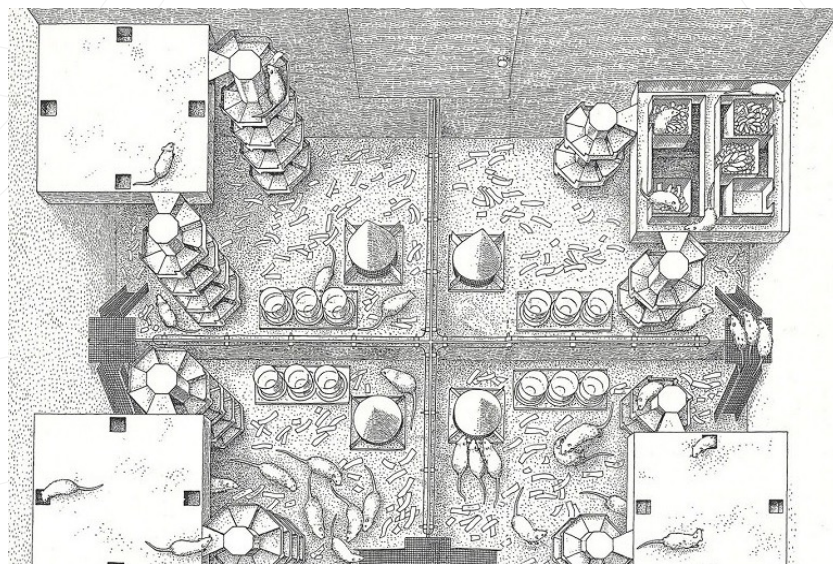


Figura 1. Sección del Universo 25.

Nota. Calhoun, 1962.

Detalles irresolubles en la analogía del Universo 25 con la sociedad humana

El contenido del fenómeno U25, también conocido como El Paraíso Utópico de los Ratones, ha trascendido en el tiempo, pero sobre todo su *augurio* sobre el exterminio de la sociedad humana, volviéndolo un discurso retórico incuestionable (pues *fue realizado por científicos*) y determinista que se ha popularizado, particularmente, gracias a los medios masivos de comunicación, las redes sociales, los artículos y las reseñas que se presentan en revistas que gozan de cierto prestigio en contextos de las sociedades complejas, modernas e hiperconectadas. Sin embargo, al analizar los artículos de Calhoun (1962 y 1973) y las reflexiones de Ramsden (2009) y Rodríguez (2015) desde una óptica interdisciplinar que convoca a la antropología social en sus corrientes política y cultural, así como a la sociología política y su corriente del análisis de masas y movimientos sociales, se podrían considerar algunos detalles que impugnan la solidez sobre la analogía directa de dicho experimento con las sociedades humanas, como lo son:

El papel de la cultura y de sus instituciones

Los procesos de la selección natural y la mutación de los organismos, en términos de Schrödinger (2005), tienden a ser factores ajenos a los procesos de construcción y cambios culturales que experimentan los seres humanos, donde la cultura se vale del constructo e intrusión de las instituciones (económicas, políticas, jurídicas e ideológicas-religiosas) para la apropiación y administración de los recursos energéticos escasos, como lo sugiere White (1943), así como para la instauración universal de la regla del tabú del incesto y sus deformaciones en lo permitido/prohibido, a fin de regular, controlar y, en ocasiones, hasta suprimir los instintos y los comportamientos, vigilando el cumplimiento de las normas sociales (escritas, no escritas y tradicionales) que ejercen poder sobre el ser humano en contextos de organización social. Por ende, un espacio controlado que simula ser una gran ciudad o el mismo planeta Tierra, por más que se desee y *científicamente* se prevea, no puede simular y resolver la situación caótica del verdadero entorno natural. Asimismo, no es

posible adelantar o retrasar los procesos biológicos de la evolución y la mutación y mucho menos se puede recrear el orden social, culturalmente construido e impuesto entre las diferentes sociedades complejas. Por estas razones, los resultados de la pretendida analogía no podrían ser un parámetro para determinar el futuro incierto de la civilización humana.

Prueba de lo anteriormente expuesto, es el hecho de que a pesar de que Calhoun (1962 y 1973) y su equipo de investigadores buscaron resolver casi todos los factores externos que enuncia Malthus (1983), no lograron resolver la capacidad del *egoísmo natural* que está inscrita en los mamíferos (incluyendo al ser humano, como lo sugirió Hobbes [1983], idea que también recupera Marcuse [1983] y Touraine [2022]), sin olvidar la existencia de la capacidad de decisión (o agencia) que tienen los individuos y que en varias ocasiones las instituciones han sido las responsables de su regulación. Es por ello que existieron ratones que peleaban por el mismo recurso, a pesar de que hubiera alimento y agua disponible en sus inmediaciones; comportamiento seguido por descansos en cuadrantes densamente poblados (segundo, tercero y cuarto) en comparación del primero, lo que tuvo como resultado el incremento de decesos de crías por hacinamiento, como lo indicó Malthus (1983). Además, el U25 se caracterizó por tener un ejercicio sexual extremadamente endogámico distinguido por la ausencia de la norma del tabú del incesto entre los ratones, siendo éste un detalle solventado entre los grupos humanos. Parafraseando a Lévi-Strauss (1985): ¡Aquel grupo social (sean humanos o ratones) que lleve la práctica de la endogamia al exceso, sólo puede provocar su propia extinción!

Sobre la administración del poder

Desde sus orígenes, las sociedades humanas, en general, tuvieron la necesidad de crear e imponer formas y figuras de poder, tales como el mediador, el concejo de ancianos, el sumo sacerdote, el emperador o el Estado, los cuales serían los únicos autorizados y facultados para ejercer el monopolio del uso de la fuerza y, con ello, reestablecer el orden socialmente construido e impuesto, donde el papel del resto de las instituciones sería el de obser-

var el cumplimiento de las normas y los valores a los que cada grupo cultural está sujeto, como lo sugeriría Bourdieu (2014), Foucault (1992, 2017 y 2023), Lévi-Strauss (1972 y 1985), Marcuse (1983) y Touraine (2022).

En ese sentido, aunque se pretenda pensar, creer y suponer que los roedores del U25 impusieron uno o varios sistemas de poder expresados a partir de la violencia que ejercían, ninguna de sus acciones de conglomerado podría ser asociada con el ejercicio del poder del Estado, ya que el uso de la fuerza entre los ratones acontecía por acciones individuales, es decir, no coordinadas y mucho menos dirigidas por un líder o grupo de élite política, pues de haber existido alguna forma de organización política coordinada ¿cuál habría sido el impedimento para invadir otras cajas de reposo?, situación que evidentemente no fue así.

Sobre la desaparición de la figura del Estado

A pesar de que el U25 fue un experimento interesante e importante, prueba de ello es que aún se destina tiempo para su análisis y debate, no se debe perder de vista que fue formulado en el contexto histórico de la Guerra Fría (1945-1989), es decir, en una confrontación ideológica, secundada por la carrera armamentista y científica, entre el mundo capitalista contra el socialista. De aquí deriva la lectura entre líneas de la cita de Calhoun (1973): «Así como la generatividad biológica en el ratón implica los comportamientos más complejos [...], también lo hace la generatividad de ideas en el hombre. La pérdida de estos respectivos comportamientos complejos significa la muerte de la especie» (p. 86), pues aunque este autor no lo dice abiertamente, seguramente la intención *encubierta* del experimento U25 era subrayar la necesidad de la desaparición del Estado, ideología que tanto promovía el socialismo —como lo corrobora el ensayo de Lenin (1961)—. De ahí que los ratones gozaban de espacios para el descanso, alimentos sin límite y otros placeres, sin la necesidad de trabajar, tener alguna obligación o rendir cuentas a una figura de autoridad, como lo han sugerido las malas lecturas e interpretaciones de la teoría del marxismo y del leninismo.

Más se olvida que en el ensayo *El Estado y la revolución*, de Lenin, sí se expone sobre la necesidad de acabar con las figuras del Estado, las élites políticas y la burocracia de las instituciones, pero no de manera abrupta e inmediata, sino como un proceso paulatino y vinculado al proletariado. Además de que deja muy claro que la distribución y el acceso a los alimentos y a otros recursos energéticos escasos, se debe supeditar al ejercicio de un previo trabajo colectivo y colaborativo siempre a favor de la comunidad. Situaciones que evidentemente están ausentes entre los habitantes del U25, quienes se rigen más por el instinto que por alguna pretendida forma de regulación política humana en contextos de un ambiente controlado. En otras palabras, no existe ninguna forma de institución o Estado que se tendría que ir modificando con el tiempo y cuya transformación permitiría el acceso, la distribución y el consumo de los recursos alimentarios necesarios.

Conclusión

La analogía directa que se ha establecido entre los catastróficos resultados sociales del U25 y el futuro de la humanidad, como un presagio de su destino, con un acceso ilimitado de alimentos, es errónea. Sobre todo si no se considera el papel y la influencia que tiene la cultura y sus instituciones en el comportamiento humano, seguido por las siempre latentes situaciones caóticas y de riesgo que propina el entorno natural, lo que deriva en múltiples contextos y desordenados niveles de la realidad.

No obstante, de análisis de experimentos como éste se pueden sugerir y realizar estrategias de producción y consumo de alimentos orgánicos y prácticas de permacultura; por otra parte, en cuanto al tema de la sustentabilidad, se pueden fomentar prácticas e investigaciones para el incremento de la producción de los alimentos o pensar en las bases de una ecología política, como lo sugieren Latour (2023) y Morin y Kern (2005). Aunque a final de cuentas, una cosa es producir y otra es distribuir para que la mayoría de la población pueda consumir, ya que los alimentos son recursos energéticos escasos que simbólicamente fomentan la división de las clases socia-

les y las formas de exclusión social, esto a partir de la generación de un nuevo significado sobre lo que se come, en dónde y quién tiene, o no, permitido ingerirlo, ya que ciertos comestibles están prohibidos para unos grupos humanos, pero no para otros, lo que provoca que no importe si existen, si están disponibles y si se distribuyen en grandes cantidades, sino que cultural, ideológica, histórica, económica o religiosamente no estén permitidos y por ello no se consumen, como lo sugirió Harris (2016).

Por otra parte, es importante resaltar que las consecuencias por hacinamiento (prácticas de extrema violencia, violaciones y cambios en la sexualidad) que presentaron los ratones machos en el U25 podrían ser un reflejo de algunas de las prácticas que acontecen en centros de reclusión con sobrepoblación, como las cárceles, los hospitales psiquiátricos y los campos de concentración y de refugiados.

Todo este análisis invita a repensar algunas posturas teóricas de todas las áreas disciplinares que están involucradas en este artículo.

Referencias

- Bourdieu, P. (2014). *Sobre el Estado: cursos en el Collège de France (1989-1992)*. Anagrama.
- Calhoun, J. B. (1962). Population density and social pathology. *Scientific American Magazine*, 206(2), 139-148. <http://doi:10.1038/scientificamerican0262-139>
- (1973). Death squared: the explosive growth and demise of a mouse population. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 66(1), 80-88. <http://doi:10.1177/00359157730661P202>
- Foucault, M. (1992). *Microfísica del poder*. Piqueta.
- (2017). *Un diálogo sobre el poder y otras conversaciones*. Alianza Editorial.
- (2023). *Los anormales. Curso en el Collège de France*. Fondo de Cultura Económica.
- Harris, M. (2016). *Bueno para comer*. Alianza Editorial.
- Hobbes, T. (1983). *Leviatán*. Sarpe.
- Latour, B. (2023). *Cómo habitar la Tierra: aprender a vivir en un mundo desconcertante*. Siglo XXI.
- Lenin, I. (1961). *El Estado y la revolución: la doctrina marxista del Estado y las tareas del proletariado en la revolución*. Progreso.
- Lévi-Strauss, C. (1972). *El pensamiento salvaje*. Fondo de Cultura Económica.
- (1985). *Las estructuras elementales del parentesco*. Planeta.
- Malthus, R. (1983). *Primer ensayo sobre la población*. Sarpe.
- Marcuse, H. (1983). *Eros y civilización*. Sarpe.
- Morin, E. y Kern, A. B. (2005). *Tierra-Patria*. Kairos.
- Ramsden, E. (2009). The urban animal: population density and social pathology in rodents and humans. *Bull World Health Organ*, 87(2), 82. <http://doi:10.2471/blt.09.062836>
- Rodríguez, M. (2015). Universo 25. C2, 1-5. <https://www.revistac2.com/universo-25/>
- Schrödinger, E. (2005). *¿Qué es la vida?* Tusquest Editores.
- Touraine, A. (2022). *¿Podremos vivir juntos? Iguales y diferentes*. Fondo de Cultura Económica.
- White, L. A. (1943). Energy and the evolution of culture. *American Anthropologist*, 45(3), 335-356. <https://backend.production.deepblue-documents.lib.umich.edu/server/api/core/bitstreams/a7de0d7f-3cb8-4bcf-9939-df709c990c9a/content>

La constante mágica de Kaprekar: el enigmático y cautivador número 6174

Franklin Wladimir Peña-Polo

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

Leonardo Di G. Sigalotti

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

Resumen

En este artículo se explora el fascinante mundo de la constante de Kaprekar: el número 6174, una joya de las matemáticas recreativas. Además de comentar sobre la vida de su descubridor, Dattatreya R. Kaprekar, se detalla el sencillo algoritmo que, partiendo de casi cualquier número de cuatro cifras, converge inevitablemente en 6174. A través de ejemplos y visualizaciones gráficas se demuestra la universalidad de este *atractor numérico* al revelar cómo patrones complejos y predecibles pueden surgir de reglas aritméticas simples, invitando a lectores de todas las edades a descubrir la belleza oculta en los números.

Palabras clave

Constante de Kaprekar, matemáticas recreativas, teoría de números.

Abstract

This article explores the fascinating world of Kaprekar's constant, the number 6174, a gem of recreational mathematics. In addition to commenting on the life of its discoverer, Dattatreya R. Kaprekar, it details the simple algorithm that, starting from almost any four-digit number, inevitably converges to 6174. Through examples and graphic visualizations, the universality of this "number attractor" is demonstrated, revealing how complex and predictable patterns

Keywords

Kaprekar's constant, recreational mathematics, number theory.

APA: Peña y F., Sigalotti, L. (2026). La constante mágica de Kaprekar: el enigmático y cautivador número 6174. *Azcatl* (8), 10-13.

DOI: [10.24275/AZC2026B002](https://doi.org/10.24275/AZC2026B002)

Fecha de recepción: 21 de octubre de 2025.

Fecha de aceptación para publicación: 15 de abril de 2026.

Introducción

A menudo pensamos en las matemáticas como algo rígido, una serie de reglas estrictas aprendidas en un salón de clases. La verdadera esencia de las matemáticas recreativas es que éstas resultan una invitación a dejar de lado la calculadora y empezar a usar la imaginación.

Muchos han explorado este camino, como Martin Gardner y Yakov Perelman, quienes nos enseñaron que los números pueden ser muy interesantes. Pero nuestra historia se centra en una figura mucho menos conocida: Dattatreya Ramachandra Kaprekar (1905-1986), un maestro de pueblo en la India que sentía una profunda atracción por los números. Fue él, en su tiempo libre, quien descubrió un fenómeno tan curioso que parece magia, un número, el 6174, el cual actúa como un remolino del que otros números no pueden escapar.

El maestro detrás del número mágico

Nacido en Dahanu, India, Kaprekar dedicó su vida a la enseñanza, pero su mente divagaba en otro lugar. Para él no era importante no tener una formación académica formal, él simplemente amaba los números y sentía que ellos también le hablaban. Gracias a esa conexión tan íntima con las matemáticas, descubrió propiedades únicas que incluso los matemáticos profesionales admiraron.

Transcurría el año de 1949 cuando Kaprekar presentó su hallazgo más fabuloso, esa constante que hoy lleva su nombre. Un número que actúa de forma tan predecible que parece un truco de magia y que por eso mismo ha fascinado a tantos, apareciendo una y otra vez en el imaginario popular (Nishiyama, 2006). Su trabajo es el recordatorio perfecto de que la creatividad y la curiosidad son la verdadera llave maestra para abrir las puertas de cualquier misterio, incluso los que se esconden en las matemáticas.

Como se quiera, siempre se llega a él

La belleza de la constante de Kaprekar reside en su asombrosa universalidad. El proceso para encontrarla es un viaje con un destino garantizado. Al seguir estos pasos se puede ver la magia:

1. Elijamos un número de cuatro cifras. La única condición es que no todos sus dígitos sean iguales (es decir, 3333 no funciona). Usemos, por ejemplo, el 2005.
2. Reordenemos sus dígitos para formar el número más grande y el más pequeño posible. Con 2005, obtenemos 5200 y 0025.
3. Restemos el número menor del mayor: $5200 - 25 = 5175$.
4. Repitamos el proceso con el resultado. Ahora con 5175:
Mayor: 7551. Menor: 1557.
Resta: $7551 - 1557 = 5994$.
5. Repitamos una vez más con 5994:
Mayor: 9954. Menor: 4599.
Resta: $9954 - 4599 = 5355$.
6. Una vez más con 5355:
Mayor: 5553. Menor: 3555.
Resta: $5553 - 3555 = 1998$.
7. Otro intento con 1998:
Mayor: 9981. Menor: 1899.
Resta: $9981 - 1899 = 8082$.
8. Falta poco, ahora con 8082:
Mayor: 8820. Menor: 288.
Resta: $8820 - 288 = 8532$.
9. Siguiendo la rutina, luego con 8532. Finalmente...
Mayor: 8532. Menor: 2358.
Resta: $8532 - 2358 = 6174$.

Una vez que alcanzamos 6174 quedamos atrapados en un bucle: $7641 - 1467 = 6174$. No importa con qué número se comience, tras un máximo de siete pasos se llegará siempre al mismo destino final (Dolan, 2011; Ianucci, 2000).

Visualizando el camino hacia 6174

Explorando regularidades más allá de la simple obtención de la constante de Kaprekar, surge un proceso aritmético aparentemente sencillo pero que esconde una estructura profunda y que permite visualizar patrones que recuerdan alfombras fractales o tapices modulares. Es

así como obtenemos una característica interesante de la constante de Kaprekar, la cual resulta si consideramos el número de pasos necesarios para encontrar la constante para los primeros 10 000 números de 4 dígitos, completando con cero del lado izquierdo a aquellos números de menos de cuatro dígitos, por ejemplo, 7 será 0007 o el 123 será el 0123; además, si le asignamos colores a los valores a cada número de repeticiones, tal que negro=0, violeta oscuro=1, azul claro=2, violeta claro=3, verde claro=4, amarillo=5, naranja=6 y rojo=7, como se observa en la leyenda de la Figura 1; finalmente, organizando en un arreglo bidimensional de 100×100 todos estos números, colocando en el eje vertical y el valor entero de n dividido por 100 y en el eje horizontal x el valor del residuo de n dividido por 100, obtenemos la matriz de la Figura 1.

Por otra parte, si empleamos el mismo rango de valores, pero en este caso asignando el color marrón al número de iteraciones pares y el beige al número de iteraciones impares, obtenemos la matriz de la Figura 2.

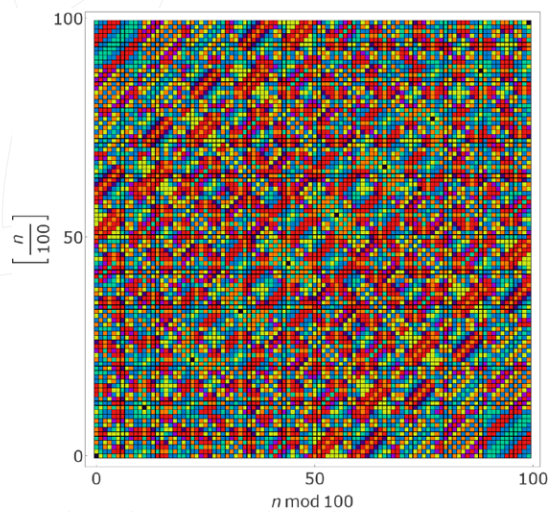


Figura 1. La figura muestra los números del 0 al 10 000 organizados en una matriz de 100×100 , donde el color indica el número de iteraciones necesarias para alcanzar la constante de Kaprekar. Los colores se asignan según la leyenda proporcionada (negro=0, violeta oscuro=1, azul claro=2, violeta claro=3, verde claro=4, amarillo=5, naranja=6 y rojo=7).

Si bien se emplea el mismo rango de valores, pero en este caso asignando el color marrón a los números primos y el beige al resto de los números, obtenemos la matriz de la Figura 3.

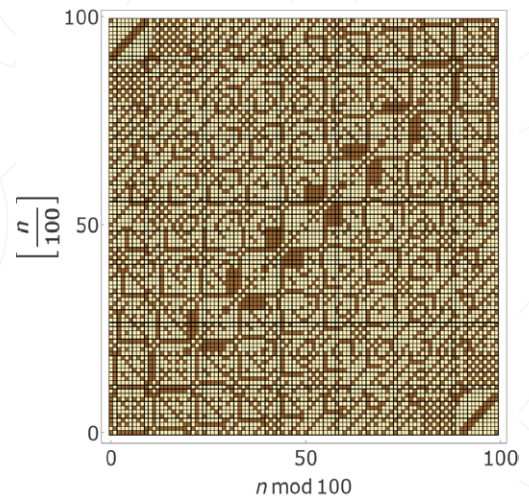


Figura 2. Alfombra de 100×100 para los 10 000 primeros números de cuatro dígitos con paleta de colores marrón para el número de iteraciones pares y beige para el número de iteraciones impares.

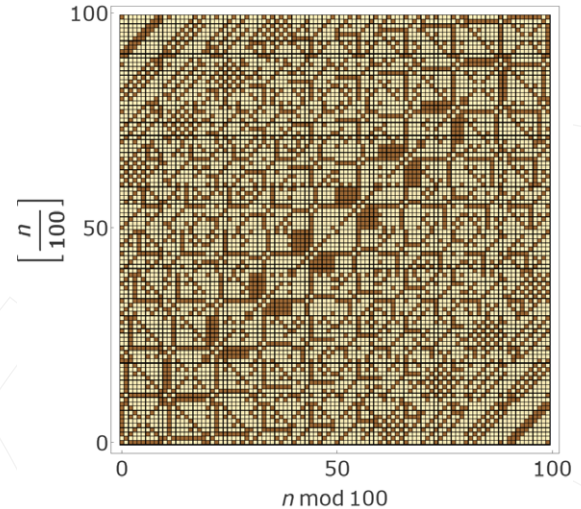


Figura 3. Alfombra de 100×100 para los 10 000 primeros números de cuatro dígitos con paleta de colores marrón para el número de iteraciones igual a los números primos y beige para el resto de los números.

Algunas propiedades curiosas del 6174

Otras características exclusivas y peculiares del número 6174 son que la suma de todos sus dígitos es 18; además, este número también resulta de la suma de las tres primeras potencias de 18, es decir, $18^1 + 18^2 + 18^3 = 18 + 324 + 5832 = 6174$; finalmente, tenemos que los factores primos de 6174 no son mayores a 7, esto es: $2 \times 3^2 \times 7 \times 47 = 6174$, siendo así un número 7-suave (influencia suave o *positiva*) (Weisstein, s. f.).

La constante de Kaprekar, 6174, esconde un enigma matemático fascinante a partir de un simple algoritmo. Al observar su comportamiento mediante sucesivos arreglos de colores o matrices hemos podido visualizar el número de iteraciones necesarias para llegar a esta constante, comenzando con una variedad de conjunto de números, del 0 al 7, pasando por los números primos o los pares. Los patrones que surgen destacan no sólo la belleza inherente de las matemáticas, sino que nos demuestran cómo es posible que reglas simples pueden generar estructuras complejas y sorprendentes. Esto nos invita no sólo a profundizar sobre nuestra comprensión de la constante de Kaprekar, sino que marca la importancia de la divulgación de la matemática y de cada una de sus maravillas ocultas.

Comentarios finales

Finalmente, la constante de Kaprekar no sólo resulta ser un número curioso, sino que es el destino de una ruta entretenida. Nos demuestra que dentro de algo tan cotidiano como una resta y el orden de los números, se esconde un patrón que nos estaba esperando. Cada vez que alguien juega con este algoritmo de Kaprekar está repitiendo un pequeño acto de descubrimiento. No importa qué número elijas al inicio, el camino siempre te lleva al mismo lugar, ya sea al 6174 o a su hermano menor el 495 (Mahaboob *et al.*, 2023). El 6174 no es sólo una cifra, es una demostración de que el universo matemático está lleno de belleza y orden, accesible no sólo para los genios, sino para cualquiera con la curiosidad y motivación de sentarse a jugar.

Referencias

- Dolan, S. (2011). A classification of Kaprekar constant. *The Mathematical Gazette*, 95, 437-443. <https://doi.org/10.1017/S0025557200003533>
- Iannucci, D. E. (2000). The Kaprekar numbers. *Journal of Integer Sequences*, 3(1). https://www.researchgate.net/publication/241579279_The_Kaprekar_Numbers
- Mahaboob, B., HariKrishna, Y., Bindu, P., Kishore, S. N., Narayana, C., Harnath, Y. y Praveen, J. P. (2023). Hunting for Kaprekar constants. *1st International Conference on Essence of Mathematics and Engineering Applications: ICEMEA 2021*, 2707(1). <https://doi.org/10.1063/5.0143357>
- Nishiyama, Y. (2006). Mysterious number 6174. Plus. <https://plus.maths.org/mysterious-number-6174>
- Weisstein, E. W. (s. f.). Kaprekar number. Wolfram MathWorld. <https://mathworld.wolfram.com/KaprekarNumber.html>

Los números amigables: un recuento de amistad perfecta en el mundo de los números

Leonardo Di Girolamo Sigalotti Díaz

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

Franklin W. Peña-Polo

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

Fidel Cruz

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

Resumen

No es de extrañar que pensemos con frecuencia en los números como herramientas abstractas y solitarias que sirven sólo para contar, calcular y medir; sin embargo, por detrás de tal apariencia existen algunos números especiales que guardan una conexión recíproca y profunda entre ellos, los llamados *números amigables*. Dichos números aparecen en pares y, como buenos amigos, cada uno es la suma de los divisores propios del otro. Detrás de esta definición existe, posiblemente, una de las historias más antiguas de la aritmética que ha fascinado por milenios a muchos estudiosos.

Palabras clave

Números divisores, teoría de números, números amigables.

Abstract

It is no wonder we often think of numbers as abstract, solitary tools used only for counting, computing and measuring; however, behind this appearance, there are some special numbers that share a deep, reciprocal connection with each other: the so-called *amicable numbers*. These numbers appear in pairs, and like good friends, each is the sum of the other's proper divisors. Behind this definition we discover, possibly, one of the oldest stories in arithmetic, one that has fascinated many scholars for millennia.

Keywords

Prime divisors, number theory, friendly numbers.

APA: Sigalotti, L., Peña, F. y Cruz, F. (2026). Los números amigables: un recuento de amistad perfecta en el mundo de los números. *Azcatl* (8), 14-17. DOI: [10.24275/AZC2026B003](https://doi.org/10.24275/AZC2026B003)

Fecha de recepción: 20 de octubre de 2025. Fecha de aceptación para publicación: 23 de enero de 2026.

Introducción

En el mundo de las matemáticas se pueden encontrar innumerables relaciones sorprendentes, bien sea por la elegancia o por la simplicidad de éstas. Es más decir que a veces estas relaciones son tan elegantes que pareciera que tienen alma propia. El hecho que los números se relacionen entre sí de diversas formas misteriosas cautivó a muchos estudiosos de la antigüedad. En este conjunto de números se encuentran los llamados números amigables (Hardy y Wright, 2008).

Cuando un par de números naturales, donde por números naturales se entiende el conjunto de números enteros positivos (es decir, 1, 2, 3, 4, ...), se relaciona de manera que la suma de los divisores propios de cada número es exactamente igual al otro, decimos entonces que esos dos números conforman un par de números amigables (Erdős, 1955). El primer par de números amigables fue descubierto en el siglo VI d. C. por los discípulos de Pitágoras, quienes le atribuyeron un simbolismo comparable con la amistad, la cooperación y la reciprocidad que pueden surgir entre personas (Burton, 2005). Dicho par, además de ser el más pequeño es el más famoso y corresponde a la dupla (220, 284). Como se muestra en la Figura 1, los números enteros que dividen exactamente al 220 corresponden a la secuencia 1, 2, 4, 5, 10, 11, 20, 22, 44, 55 y 110. La suma de estos números da exactamente 284, mientras los divisores propios de 284 son 1, 2, 4, 71 y 142, cuya suma da exactamente 220. Esta pareja de números, que fue por más de un milenio el único par co-

nocido de números amigables, representó también un ejemplo de reciprocidad absoluta y de belleza matemática (Burton, 2005).

En general, podemos decir que los números amigables tienen un valor principalmente teórico y pedagógico. Hasta ahora no han mostrado gran utilidad práctica en ciencia e ingeniería; no obstante, además de ser una curiosidad matemática, poseen aplicaciones en el estudio de funciones divisorias con implicaciones en la teoría de números analítica y algebraica. Asimismo, estos números han jugado un papel importante en el diseño y optimización de algoritmos. Si bien los números amigables en sí mismos no tienen un uso criptográfico directo, los algoritmos y los conocimientos desarrollados en torno a ellos sirven de fundamento para las cadenas de herramientas criptoanalíticas y de teoría computacional de números. Además, pueden ser de utilidad en el descubrimiento de patrones y analogías en la ciencia de datos. Aunque su aplicación de mayor impacto ha sido en el campo de las matemáticas educativas, recreativas y de divulgación.

Es innegable que los números amigables despiertan un cierto tipo de placer intelectual al asociar la reciprocidad absoluta con la amistad ideal, donde en cada pareja uno le da al otro exactamente lo que recibe. Por ejemplo, en la escuela pitagórica se pensaba que dos números cualesquiera que se complementen mutuamente constituían una expresión inequívoca de amistad matemática. Dicha interpretación refleja cómo en la antigüedad la aritmética se encontraba permeada de misticismo y filosofía.

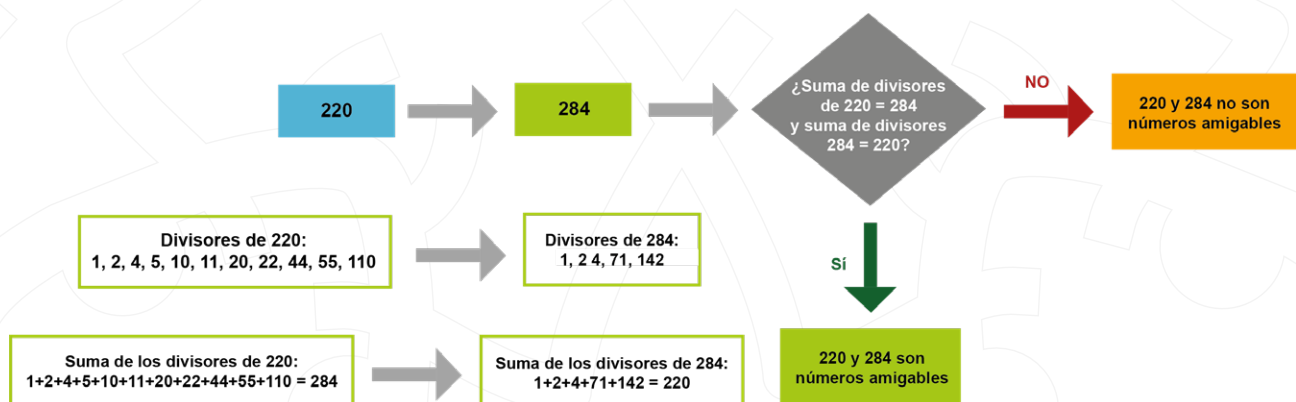


Figura 1. Esquema del modelo de diseño arquitectónico (MDA)

La búsqueda histórica de pares amigables

En el siglo ix, el matemático árabe Thābit ibn Qurra (826–901) introdujo un método para la derivación de pares amigables, que consistía en suponer que si existen números primos (es decir, números enteros divisibles sólo por sí mismos) de la forma $p=(3)2^{n-1}-1$, $q=(3)2^n-1$ y $r=(9)2^{n-1}-1$, donde n es un número entero positivo mayor que uno, entonces $2^n pq$ y $2^n r$ representan una pareja de números amigables (Rashed, 1996). Si bien esta formulación reprodujo el par (220, 284) para $n=2$ y dio los pares (17 296, 18 416) para $n=4$ y (9 363 584, 9 437 056) para $n=7$, no sirvió para reproducir otros pares. A pesar de que el método de Thābit ibn Qurra produjo sólo dos nuevos pares, representó un avance conceptual importante, demostrando que esa reciprocidad numérica no era solamente el resultado de un evento meramente casual, sino que, por el contrario, poseía una estructura matemática.

Luego de un largo letargo, los números amigables revivieron en el año 1636, cuando el erudito francés Pierre de Fermat redescubrió la formulación de Thābit ibn Qurra, dando a conocer la pareja (17 296, 18 416). Dos años más tarde, en 1638, René Descartes volvió a encontrar la pareja (9 363 584, 9 437 056), lo que dio inicio a una nueva era para la amistad aritmética. Una verdadera revolución en el mundo de los números amigables comenzó en el siglo xviii con el trabajo del matemático suizo Leonhard Euler (1707-1783), posiblemente el más grande matemático de su siglo. Euler generalizó el teorema de Thābit ibn Qurra, encontrando que si

$$\begin{aligned} p &= (2^m - 1)(2^{n-m} + 1), \\ q &= (2^n - 1)(2^{n-m} + 1), \\ r &= (2^{m+n} - 1)(2^{n-m} + 1)^2, \end{aligned}$$

donde de nuevo p , q y r son números primos y $n > m > 0$ son números enteros, entonces $2^n pq$ y $2^n r$ corresponden a una pareja de números amigables. Usando esta nueva formulación, Euler encontró 58 pares amigables, aumentando el número a 61 pares conocidos para su época (O'Connor y Robertson, 1998; Sandifer, 2007; Anzaldo *et al.*, 2007). Evidentemente, el descubrimien-

to de Euler de nuevas parejas marcó un hito en el estudio de los números amigables al demostrar que entre los números pueden existir vínculos más profundos de lo que en realidad podemos imaginar, como en efecto Euler escribió en varias de sus cartas (Burton, 2005). Es importante notar que la segunda pareja más pequeña de números amigables, es decir, la dupla (1184, 1210), fue descubierta en 1867 por el joven colegial italiano B. Niccolò I. Paganini cuando tenía sólo 16 años; esta pareja de números había pasado desapercibida por Euler y otros matemáticos de su época (Sprugnoli, 2005).

Tabla 1. Los primeros diez pares de números amigables (m , n).

#	M	N
1	v	284
2	1184	1210
3	2 620	2 924
4	5 020	5 564
5	6 232	6 368
6	10 744	10 856
7	12 285	14 595
8	17 296	18 416
9	63 020	76 084
10	66 928	66 992

Nota. Amicable numbers, s. f.

La búsqueda de pares en tiempos modernos

En tiempos más recientes, con el desarrollo de la *teoría de números* en el siglo xix y la aparición de las computadoras en el siglo xx, el estudio de los números amigables se expandió notablemente, lo que dio como resultado el descubrimiento de miles de pares amigables. Hacia 1946 ya se conocían 390 pares amigables. La llegada de las computadoras, siempre más potentes y rápidas, transformó por completo la búsqueda de estos números. Desde entonces se han efectuado búsquedas para encontrar todos los pares por debajo de un cierto límite numérico. Hacia 1970 dicho límite se había impuesto en 10^8 , el cual

ha ido en aumento en las últimas cinco décadas hasta alcanzar el límite de 10^{18} en 2016. Por ejemplo, gracias al poder del cómputo existente hoy en día, se conocen bases de datos que contienen más de 12 millones de pares de números amigables conocidos y se sabe de la literatura que la búsqueda continúa con el uso de algoritmos siempre más poderosos y rápidos (Wells, 1997). Hasta el año 2023 se conocían del orden de 1.2 billones de pares de números amigables para un límite numérico de 10^{20} , donde los pares más grandes consistían de 50 000 dígitos. Si bien permanece abierto el problema de determinar si el número de pares amigables es infinito, muchos matemáticos han dejado entrever que es muy probable que ese sea el caso.

Relaciones invisibles y belleza aritmética

Es bien sabido que los números de las parejas amigables conocidas hasta el momento son ambos pares o ambos impares. Se desconoce si una pareja de números amigables pueda conformarse por un número par y otro impar. Además, se sabe que cada pareja conocida de números amigables comparte al menos un número primo como factor divisible común. Por otro lado, en 1968, el escritor y matemático aficionado estadounidense Paul Gardner encontró que una buena parte de las parejas amigables conocidas y conformadas por números pares poseían sumas de sus factores divisibles por nueve (Gardner, 1968) y un año después, en 1969, el matemático estadounidense Martin Lee dedujo una regla general para las excepciones (Lee, 1969).

En este punto, como reflexión conclusiva, cabe preguntarnos ¿por qué los números amigables siguen fascinando a muchos matemáticos y a los aficionados de las matemáticas alrededor del mundo? La respuesta muy posiblemente se encuentre en la reciprocidad y equilibrio que estos números inspiran. En nuestra época, donde el cálculo, la practicidad y la utilidad parecen dominar sobre el arte, los números amigables son una de las tantas evidencias que nos muestran que las matemáticas, además de inspirar armonía, están llenas de relaciones invisibles que al descubrirlas reflejan una belleza intrínseca.

Referencias

- Amicable numbers. (s. f.). En Wikipedia. Recuperado el 10 de diciembre de 2025 de https://en.wikipedia.org/wiki/Amicable_numbers
- Anzaldo, A., Delgado, J. y Monroy, F. (2007). *El legado matemático de Leonhard Euler a trescientos años de su nacimiento*. Innovación Editorial Lagares de México.
- Burton, D. M. (2005). *The history of mathematics*. McGraw Hill Higher Education.
- Erdős, P. (1955). On amicable numbers. *Publicationes Mathematicae Debrecen*, 4, 108-111. <https://doi.org/10.5486/PMD.1955.4.1-2.16>
- Gardner, M. (1968) Mathematical games. *Scientific American*, 218(3), 121-127. <https://www.jstor.org/stable/24926005>
- Hardy, G. H. y Wright, E. M. (2008). *An introduction to the theory of numbers*. Oxford University Press.
- Lee, E. (1969) On divisibility by nine of the sums of even amicable pairs. *Mathematics of Computation*, 23(107), 545-548. <https://www.jstor.org/stable/2004382>
- O'Connor, J. J. y Robertson, E. F. (1998). *Leonhard Euler*. MacTutor History of Mathematics Archive. <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Euler/>
- Rashed, R. (1996). *The development of arabic mathematics: between arithmetic and algebra*. Springer.
- Sandifer, C. E. (2007). *How Euler did it*. The Mathematical Association of America.
- Sprugnoli, R. (2005). *Introduzione alla matematica: la matematica della scuola media*. Università degli Studi di Firenze.
- Wells, D. G. (1997). *The penguin dictionary of curious and interesting numbers*. Penguin Books.

Ciencia que se imprime: cómo la manufactura aditiva está reinventando el mundo

Alejandro Ortiz-Fernández

Tecnológico Nacional de México

aeortiz@itescam.edu.mx

Emilio Pérez-Pacheco

Tecnológico Nacional de México

eperez@itescam.edu.mx

Jose Herminsul Mina-Hernandez

Universidad del Valle, Colombia

jose.mina@correounivalle.edu.co

Resumen

La manufactura aditiva está transformando la forma en que diseñamos y producimos objetos, desde piezas industriales hasta soluciones biomédicas. Su capacidad para crear geometrías complejas, reducir residuos y personalizar productos abre una nueva etapa en la ciencia aplicada. Este artículo explora cómo la manufactura aditiva impulsa la innovación en la ciencia de los materiales, promueve la sostenibilidad y permite desarrollar prototipos antes impensables. La ciencia que se imprime redefine el futuro de la fabricación.

Palabras clave

Manufactura aditiva, innovación, materiales avanzados.

Abstract

Additive manufacturing is transforming the way we design and produce objects, from industrial components to bio-medical solutions. Its ability to create complex geometries, reduce waste, and customize products opens a new stage in applied science. This article explores how additive manufacturing drives innovation in materials science, supports sustainability, and enables prototypes once considered impossible. The science that is printed is redefining the future of manufacturing.

Keywords

Additive manufacturing, innovation, advanced materials.

APA: Mina, J., Ortiz, A. y Pérez, E. (2026). Ciencia que imprime: cómo la manufactura aditiva está reinventando el mundo. *Azcatl* (8), 18-21. DOI: [10.24275/AZC2026B004](https://doi.org/10.24275/AZC2026B004)

Fecha de recepción: 15 de noviembre de 2025.

Fecha de aceptación para publicación: 28 de enero de 2026.

Introducción

La manufactura aditiva (MA) ha evolucionado a una velocidad sorprendente desde sus primeras aplicaciones en prototipado rápido. Lo que antes era un proceso costoso y limitado, hoy es accesible incluso para estudiantes, emprendedores y pequeños laboratorios, democratizando así la innovación. Esto ha permitido que ideas que se pensaban complejas de realizar cobren vida sin necesidad de grandes infraestructuras industriales (Figura 1).

Hoy en día, la tecnología ha ido cambiando en términos de precisión, velocidad y calidad. Las impresoras de manufactura aditiva son capaces de producir piezas funcionales que cumplen con estándares industriales estrictos, lo que convierte la impresión 3D en una alternativa real y competitiva frente a métodos tradicionales. Empresas del sector de la aviación, automotriz y de la salud están adoptando estas técnicas como parte esencial de sus procesos productivos.

La MA ha evolucionado a tal grado que comunidades enteras en todo el mundo comparten diseños, soluciones y mejoras de manera abierta. Este impulso comunitario ha acelerado el desarrollo tecnológico y ha creado un entorno donde la innovación es colaborativa, dinámica y se encuentra en constante evolución.

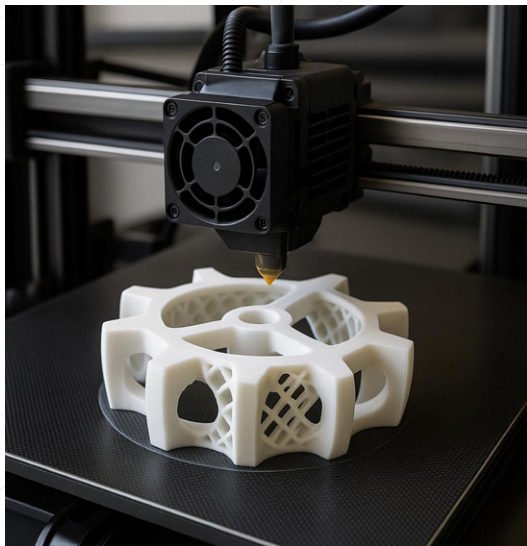


Figura 1. Modelado por deposición fundida (MDF).

Más que una herramienta: un nuevo paradigma

La MA representa mucho más que una técnica moderna de fabricación, se trata de una nueva forma de pensar y crear. A diferencia de los métodos tradicionales que se basan en remover material, la MA crea objetos tridimensionales añadiendo material polimérico capa por capa a partir de un diseño en 3D. Esta herramienta no sólo ayuda a gastar menos y aprovechar mejor los recursos, sino que también impulsa un cambio positivo hacia procesos más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

Este nuevo enfoque abre las puertas a un universo sin límites para el diseño. Hoy en día, arquitectos, ingenieros, diseñadores y artistas pueden soñar en grande y materializar formas complejas, orgánicas y totalmente innovadoras, inspiradas incluso en la propia naturaleza. Estructuras livianas, patrones fractales o diseños celulares que antes parecían imposibles, ahora se vuelven realidad gracias a la precisión y libertad que ofrece cada impresión.

Además, una de sus mayores fortalezas es la personalización. Desde dispositivos médicos hechos a la medida hasta piezas específicas para maquinaria o productos exclusivos para el consumidor, la impresión 3D permite crear objetos únicos sin elevar costos. Esto impulsa un modelo de producción ágil, local y bajo demanda, lo que reduce tiempos, transporte y almacenamiento, acercándonos a un futuro donde producimos lo que necesitamos, cuando lo necesitamos.

En pocas palabras, la manufactura aditiva no sólo es tecnología: es creatividad, sostenibilidad, innovación y libertad. Es la invitación perfecta para transformar ideas en realidades únicas.

Impacto en múltiples áreas

En el campo de la medicina, la impresión 3D ha abierto puertas que antes parecían imposibles. Hoy se pueden crear prótesis, implantes y modelos anatómicos totalmente personalizados para cirugías complejas, logrando que cada pieza se adapte al cuerpo y a la vida de cada paciente. Esto no sólo mejora los resultados clínicos, tam-

bién reduce tiempos quirúrgicos y ofrece esperanza a quienes creían no tener alternativas. Incluso se está explorando la bioimpresión de tejidos, un paso que podría transformar para siempre la medicina regenerativa.

En la industria aeroespacial, la impresión 3D también está dejando huella. Su capacidad para crear piezas ligeras con diseños complejos ha permitido un mejor rendimiento en componentes críticos. Organizaciones como NASA® y SpaceX® ya utilizan piezas creadas mediante manufactura aditiva, integrando varias funciones en una sola parte optimizada. Lo que antes era sólo ingeniería avanzada, hoy se convierte en una muestra clara de evolución tecnológica.

La educación y la investigación tampoco se quedan atrás. Gracias a esta tecnología, estudiantes y jóvenes investigadores pueden transformar sus ideas en prototipos reales en cuestión de horas, ya que con la MA es posible tocar, experimentar, probar y rediseñar aprendiendo con las manos y no sólo con teoría. Esto está fortaleciendo el pensamiento creativo y práctico, lo que despierta vocaciones innovadoras desde edades tempranas.

Un futuro que ya comenzó

La MA no es una idea futurista ni un sueño de laboratorio, es una realidad que ya está tomando forma en todo el mundo. Su crecimiento avanza de la mano con la inteligencia artificial, la automatización y la ciencia de materiales, creando una combinación poderosa donde los algoritmos pueden optimizar diseños, reducir peso, aumentar resistencia y hasta dar vida a estructuras más inteligentes y funcionales. Además, la incorporación de nuevos materiales, como los metales, cerámicos, polímeros avanzados y materiales compuestos, abren más opciones que hace unos años parecían imposibles de realizar o se asemejaban a la ciencia ficción.

Hoy, cuando hablamos de la impresión en 3D, ya no es sólo una visión, sino una realidad. Se están imaginando e incluso desarrollando espacios donde robots, impresoras 3D y sistemas autónomos trabajen como un solo equipo, tomando decisiones, ajustando diseños en tiempo real y fabricando productos hechos a la medida. Flexibilidad, eficiencia y adaptación son los tres pilares que

transformarán la forma en que el mundo produce, crea y soluciona problemas.

Claro, no todo es sencillo. También nos esperan desafíos, normas, capacitación, sostenibilidad y modelos educativos que acompañen esta nueva revolución. No obstante, aunque el camino implique aprender, mejorar y adaptarnos, la MA ya dejó claro que llegó para transformar industrias completas y demostrar que la innovación puede imprimirse capa por capa.

La historia ya no se escribe sólo con tinta, sino también con filamentos, resinas y polvo metálico. Quienes se atrevan a formar parte de esta evolución serán quienes impriman las ideas que darán forma al mundo que viene.

Conclusiones

La manufactura aditiva se ha convertido en un pilar fundamental de la innovación contemporánea, impulsando cambios profundos en la forma de diseñar y producir. Su capacidad para crear objetos complejos, optimizar recursos y personalizar soluciones la posiciona como una herramienta clave para enfrentar los desafíos tecnológicos y sociales del presente.

A medida que la ingeniería en materiales en conjunto con otras áreas de la ciencia desarrollan nuevos materiales y se integran sistemas más inteligentes, la impresión 3D seguirá expandiendo sus posibilidades y transformando industrias enteras. Más que una simple técnica de fabricación representa una nueva manera de pensar la creación: flexible, sostenible y profundamente conectada con la imaginación humana. La ciencia que se imprime no sólo está reinventando la manufactura, sino también el futuro que estamos construyendo.

Lecturas recomendadas

Díaz, M. A., Román, R. V., Ruíz, S., Hernández, N. A. y González, V. I. (2024). La manufactura aditiva como elemento imprescindible de la industria 4.0 en beneficio de la ingeniería: un análisis bibliométrico. *Ingeniería Industrial*, (47), 209-238.

Gutiérrez, A. y Stein, J. M. (2024). Diseño e impresión de prototipos y productos 3D para el desarrollo tecnológico en manufactura aditiva. *Revista de Inves-*

tigación Científica, Tecnológica e Innovación, 2(1), 57-62. <https://revista.ccaitec.com/index.php/ridt/article/view/64>

Rangel, Á. M. (2025). *Manufactura aditiva de andamios de colágeno/policaprolactona/quitosano para la regeneración de piel* [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional Autónoma de México.

Películas delgadas: coberturas increíbles que transforman la vida

Jorge Rodríguez López
TecNM/Instituto Tecnológico
del Valle de Morelia
jorge.rl@vmorelia.tecnm.mx

Armando Ramos Corona
Cinvestav-Unidad Mérida
armando.ramosc@cinvestav.mx

Edson Edain González Arredondo
TecNM/ITS Irapuato
eeega_ibq@hotmail.com

Resumen

En los últimos años, el desarrollo tecnológico ha transformado profundamente nuestra vida diaria. Los teléfonos celulares, los lentes con recubrimiento antirreflejante o los paneles solares son ejemplos de ello. Aunque parecen muy distintos, todos comparten un punto clave: los recubrimientos llamados películas delgadas. Estas capas, casi invisibles para el ojo humano, se depositan sobre distintos materiales para modificar sus propiedades, por ejemplo, permiten que conduzcan mejor la electricidad, reflejen menos la luz o capten energía solar con mayor eficacia. Gracias a estas películas delgadas, muchos dispositivos modernos funcionan tal como los conocemos hoy en día.

Palabras clave

Películas delgadas, tecnología, medio ambiente.

Abstract

In recent years, technological development has profoundly transformed our daily lives. Cell phones, lenses with anti-reflective coatings, and solar panels are examples of this. Although they may seem very different, they all share a key feature: coatings called thin films. These layers, almost invisible to the human eye, are applied to various materials to modify their properties; for example, they allow them to conduct electricity better, reflect less light, or capture solar energy more efficiently. Thanks to these thin films, many modern devices function as we know them today.

Keywords

Thin films, technology, environment.

Rodríguez, J. Ramos, A. y González, E. (2026). Películas delgadas: coberturas increíbles que transforman la vida. *Azcatl*, (8), 22-25.
DOI: [10.24275/AZC2025B008](https://doi.org/10.24275/AZC2025B008)

Fecha de recepción: 15 de noviembre de 2025.

Fecha de aceptación para publicación: 28 de enero de 2026.

¿Qué son las películas delgadas?

Una película delgada es una capa de material depositada sobre un sustrato, su espesor puede variar de 0.1 hasta 500 nanómetros, para darte una idea de qué tan delgadas pueden ser recuerda que un cabello humano mide aproximadamente entre 40 y 120 micrómetros y estas capas son mucho más pequeñas. Pero, ¿qué es un sustrato?, es un material sobre el que se deposita la película, el cual puede ser plástico, vidrio, metal o cerámica, lo que explica su versatilidad para diferentes aplicaciones (Toma *et al.*, 2024).

Generalmente, los materiales que se utilizan para formar películas delgadas son metales, semiconductores, óxidos y algunos componentes de origen orgánico. Su incorporación puede modificar las propiedades funcionales de los sustratos, como la conductividad eléctrica y las propiedades ópticas, mecánicas y térmicas, así como la resistencia y la flexibilidad (Sakthinathan *et al.*, 2025). De este modo, los materiales recubiertos presentan propiedades muy diferentes en comparación con el mismo material sin recubrimiento. Imagínalo así: si una puerta estuviera expuesta a la intemperie, con el paso del tiempo se deterioraría, pero si la recubrimos con una pintura adecuada, obtendría mayor protección frente a las condiciones ambientales.

Por sus ventajas operativas y funcionales, las películas delgadas han destacado frente al uso de materiales en forma de polvos; a diferencia de éstos, que en ocasiones presentan dificultades en la manipulación, dispersión no uniforme y pérdida de material durante su uso, las películas delgadas otorgan características destacables relacionadas con un control más preciso de la superficie activa y de sus propiedades fisicoquímicas. En aplicaciones como la catálisis y el tratamiento de aguas, los polvos pueden generar problemas de separación, mientras que las películas permanecen soportadas, lo que facilita su integración en sistemas continuos.

¿Cómo se fabrican las películas delgadas?

Las propiedades de los materiales pueden cambiar de manera notable cuando se estructuran a escalas muy pequeñas, como la nanométrica. Este comportamiento ha

impulsado el desarrollo de dispositivos con mejor funcionamiento y mayor eficiencia. Por esta razón, las técnicas para fabricar películas delgadas han generado un gran interés. Existen diversos métodos de depósito, como el químico por vapor, el atómico por capas o por baño químico, por mencionar algunos (Toma *et al.*, 2024). Cada una de estas técnicas presenta ventajas y limitaciones, lo que las hace adecuadas para materiales y aplicaciones específicas.

Tomemos como ejemplo la deposición de capas atómicas (ALD, por sus siglas en inglés), una técnica ampliamente utilizada en la actualidad. En términos sencillos, se trata de un método en el que los materiales se depositan capa por capa a partir de sustancias en estado gaseoso. En este proceso se utilizan dos sustancias diferentes que se introducen de forma secuencial sobre la superficie del sustrato. Cada una reacciona únicamente con la capa anterior, lo que permite formar una capa muy bien controlada del material deseado.

En el caso más simple, un ciclo de ALD consta de cuatro pasos (Figura 1):

1. Exposición del primer precursor.
2. Purga de la cámara de reacción.
3. Exposición del segundo precursor.
4. Purga o evacuación.

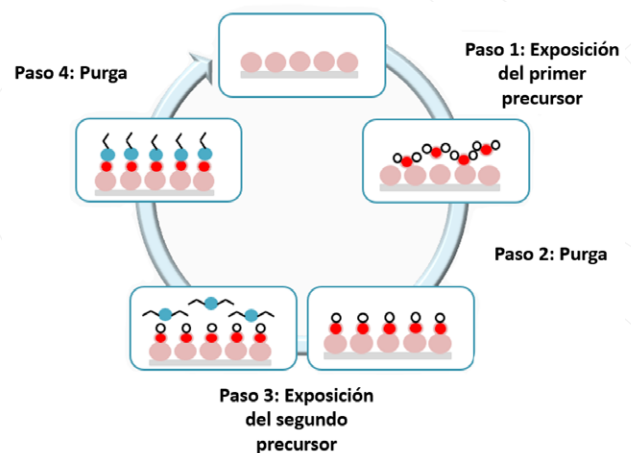


Figura 1. Representación de un ciclo de ALD.

Este ciclo se repite tantas veces como sea necesario hasta alcanzar el espesor deseado de la película. Esto permite obtener recubrimientos muy uniformes, con buena organización interna y un control preciso del espesor, características clave para muchas aplicaciones tecnológicas (Knoops *et al.*, 2014).

¿Para qué sirven las películas delgadas?

Una de las aplicaciones de las películas delgadas está estrechamente relacionada con una actividad diaria para nosotros, el uso del teléfono celular. En estos dispositivos, las películas delgadas son responsables de permitir la función táctil, mejorar la calidad de visualización de las imágenes y proporcionar una alta durabilidad. Por otro lado, en las celdas solares, estas capas se encargan de la absorción de la luz solar y su posterior conversión en energía eléctrica (Romeo y Arteguiani, 2021). En cuanto a los lentes antirreflejantes, la función de la película consiste en reducir los reflejos, lo que permite que la luz pase de manera más eficiente. Esto se traduce en una visión más clara y menor fatiga visual.

Recientemente, las películas delgadas también se han empleado como empaques inteligentes en la industria agroalimentaria. Aquí funcionan como indicadores del estado y la calidad de los alimentos frescos (Qi *et al.*, 2023). Otra aplicación importante es su uso como recubrimientos antimicrobianos, ya que pueden inhibir el crecimiento de bacterias y virus (Zhao *et al.*, 2022). Asimismo, se utilizan como materiales fotocatalíticos para la degradación de contaminantes orgánicos en medios acuosos mediante el uso de energía luminosa (Rodríguez *et al.*, 2022). En conjunto, las películas delgadas representan una tecnología versátil y fundamental que conecta nuestra vida diaria con avances científicos y soluciones innovadoras en múltiples áreas. En el esquema de la Figura 2 se muestran los métodos de síntesis y sus distintos campos de aplicación.

Si bien hemos mencionado algunas aplicaciones, también es importante considerar el impacto que éstas pueden tener en la sociedad y el ambiente. Ante los desafíos actuales, el desarrollo de nuevas tecnologías debe enfocarse en producir materiales eficientes, de costo accesible y que permitan un ahorro energético, priorizando el



Figura 2. Métodos de síntesis de películas delgadas y sus diferentes campos de aplicación.

Nota: Adaptado de Sakthinathan *et al.*, 2025.

uso de tecnologías limpias. En este contexto, las películas deben hacer frente a estos retos, pues aunque presentan buena durabilidad y reproducibilidad, en algunos casos sus costos de operación aún son elevados; sin embargo, esto no representa una limitante, sino un área de oportunidad para desarrollar recubrimientos más sostenibles que contribuyan en la mejora de la calidad de vida.

Conclusión

Las películas delgadas son una tecnología que ha cobrado relevancia debido a la amplia variedad de aplicaciones en las que intervienen. Proporcionan importantes ventajas frente a otros materiales, como los polvos, ya que resultan más fáciles de manejar, limpiar y reutilizar. Aunque la síntesis de películas puede implicar procesos más sofisticados, sus beneficios a largo plazo suelen compensar estas limitaciones. La elección entre películas delgadas y polvos depende de la aplicación específica; no obstante, las primeras destacan por su practicidad y eficiencia en sistemas modernos. Su diversidad depende en gran medida del método de fabricación empleado, pues a partir de él se obtienen características específicas. De

este modo, con los constantes avances tecnológicos, el campo de las películas delgadas promete ser un área de oportunidad para continuar desarrollando dispositivos con un impacto positivo en energía, electrónica, salud y medio ambiente.

Bibliografía

- Knoops, H. C. M., Potts, S. E., Bol, A. A. y Kessels, W. M. M. (2014). Atomic layer deposition. En T. Nishinga, *Thin films and epitaxy* (2.ª ed.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63304-0.00027-5>
- Qi, S., Kiratzis, I., Adoni, P., Tuekprakhon, A., Hills, H. J., Stamatakis, Z., Nabi, A., Waugh, D., Rodriguez, J. R., Clarke, S. M., Fryer, P. J. y Zhang, Z. J. (2023). Porous cellulose thin films as sustainable and effective antimicrobial surface coatings. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 15, 20638-20648. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c23251>
- Rodríguez, J., Rangel, R., Berman, D., Ramos, A. y Alvarado, J. J. (2022). Evaluating the response of nitrogen implantation in ZnO ALD thin films and their photocatalytic assessment. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 433. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.114211>
- Romeo, A. y Arteguiani, E. (2021). CdTe-based thin film solar cells: past, present and future. *Energies*, 14. <https://doi.org/10.3390/en14061684>
- Sakthnathan, S., Meenakshi, G. A., Vinothini, S., Yu, C. L., Chen, C. L., Chiu, T. W. y Vittayakorn, N. (2025). A review of thin-film growth, properties, applications, and future prospects. *Processes*, 13, 587. <https://doi.org/10.3390/pr13020587>
- Toma, F. T. Z., Rahman, M. S., Hussain, K. M. A. y Ahmed, S. (2024). Thin film deposition techniques: a comprehensive review. *Journal of Modern Nanotechnology*, 4 (6). <https://doi.org/10.53964/jmn.2024006>
- Zhao, L., Liu, Y., Zhao, L. y Wang, Y. (2022). Anthocyanin-based pH-sensitive smart packaging films for monitoring food freshness. *Journal of Agriculture and Food Research*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100340>

¿Son lo mismo redes sociales y movimientos sociales??

Roberto Rivera Pérez

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Azcapotzalco

rrp@azc.uam.mx

Resumen

¿De qué manera se integran los movimientos sociales? ¿Existirá alguna forma de organización que no es tan visible entre los contingentes que componen una movilización social? Premisas que serán atendidas, implícitamente, desde la antropología política, la sociología de los movimientos sociales y la teoría de redes, con el propósito de dejar de considerar los movimientos sociales como simples conglomerados de personas no organizadas que solamente protestan ocupando espacios públicos y comenzar a observarlos como cúmulos de colectivos, organizaciones y asociaciones que están encubiertas en redes y rizomas de individuos interconectados entre ellos.

Palabras claves

Movimientos sociales, interdisciplina, red rizomática.

Summary

How are social movements integrated? Are there any forms of organization that are not so visible among the groups that make up a social mobilization? Questions that will be implicitly addressed from the perspectives of political anthropology, the sociology of social movements, and network theory, with the intention of moving beyond the view of social movements as mere conglomerations of unorganized individuals who only protest and occupy public spaces, and instead beginning to see them as clusters of collectives, organizations, and associations that are embedded in networks and rhizomes of interconnected individuals.

Keywords

Social movements, Interdisciplinarity, rhizomatic network

APA: Rivera, R. (2026). ¿Son lo mismo redes sociales y movimientos sociales?? *Azcatl* (8), 26-31. DOI: [10.24275/AZC2026B006](https://doi.org/10.24275/AZC2026B006)

Fecha de recepción: 4 de marzo de 2026.

Fecha de aceptación para publicación: 26 de abril de 2026.

Introducción

Una metodología interdisciplinaria podría ser asociada con aquel ejercicio cognitivo y reflexivo que busca establecer puentes comunicantes entre diversas disciplinas a partir de identificar conceptos, categorías, principios, técnicas y analogías teóricas que pretenden ser mutuamente compartidas, es decir, establecer relaciones isomorfas disciplinares —entendidas desde el término griego *iso* (mismo) *morfos* (forma) o *misma forma*—, lo que abre la posibilidad de que un mismo concepto (o categoría) pueda existir en más de una disciplina a la vez, pero con otro nombre totalmente diferente. A manera de ejemplo, el fenómeno de la *bifurcación* en física es el resultado de un cambio repentino e inesperado de la materia en su relación con la energía, pero también puede ser a la inversa. Asimismo, en biología se conoce que las especies tienen la necesidad de realizar continuas *mutaciones*, es decir, una serie de cambios abruptos y aleatorios en el código genético de la descendencia, a fin de que ésta cuente con mejores posibilidades frente a un impredecible cambio repentino en las condiciones del medio ambiente. Por su parte, la noción de *cambio* en las ciencias sociales (particularmente en la antropología y la sociología) se refiere a una alteración caótica que contrasta con el orden social tradicionalmente establecido, para lo cual, la sociedad en general o alguna de sus instituciones debe buscar los mecanismos de reintegración y restablecimiento del orden.

En resumen, las nociones de bifurcación, mutación y cambio aluden al principio de una modificación inesperada, abrupta y que rompe con la continuidad, lo que es un oportuno ejemplo de isomorfismo entre la física, la biología y las ciencias sociales, respectivamente.

Considerando lo anterior, el presente ensayo tendrá por objetivo: *Establecer un diálogo interdisciplinario entre las corrientes de la antropología política, la sociología de los movimientos sociales y la teoría de redes, a fin de formular la propuesta de un modelo que permita observar la estructura interna de organizaciones, asociaciones y colectivos que integran los movimientos sociales, con el propósito de que dicho modelo se pueda incluir en futuros debates.*

Sobre el análisis de una situación social

Popularmente se confunde la arqueología (búsqueda de evidencias materiales de sociedades actualmente desaparecidas) con la antropología social (o etnología), la cual está centrada en el análisis de las expresiones culturales de sociedades vivas que aún siguen supeditadas a prácticas tradicionales y expresiones de su cosmovisión (mitos, leyendas, ceremonias y rituales). Sin olvidar el papel del conflicto y la anomia (entendida como la disociación de las normas y las regulaciones, en términos de Durkheim [2014] y Merton [1965]), ya sean resultado de la limitación al acceso de los recursos energéticos escasos (incluyendo capital humano, territorio, conocimientos, información, recursos renovables y no renovables, desarrollos tecnológicos, etcétera), de la emergencia de desastres naturales o de la ruptura al acceso del poder y la representación pública.

Todas las formas de organización social humanas (FOSH) en diferentes niveles y escalas tienden a operar como sistemas complejos, es decir, requieren del constante acceso, flujo y consumo de diferentes escalas de recursos energéticos escasos, con la finalidad de desarrollar actividades y trabajos que les permitan abrir la posibilidad de extender su subsistencia y trascendencia. En ese sentido, están supeditadas al contexto y las emergencias del medio ambiente, pero también se ven influenciadas e intervenidas por la presencia de otros sistemas complejos que pueden fungir como competidores, rivales o aliados en el ejercicio de la apropiación de los recursos escasos necesarios; entendiendo por sistema complejo “una representación de un recorte de esa realidad, conceptualizado como una totalidad organizada, en la cual los elementos no son ‘separables’ y, por tanto, no pueden ser estudiados aisladamente” (García, 2013).

Actualmente se habla de la existencia de sociedades complejas, como lo sugieren Alexander (2008 y 2019), Byrne (2005), Lévi-Strauss (1972 y 2017), Rivera (2025), entre otros, las cuales no se determinan por las escalas del desarrollo tecnocientífico o el régimen político o económico que ostentan, sino que, más bien, se expresan a partir de las interrelaciones que previamente han esta-

blecido con otros sistemas abiertos en contextos de sociedades modernas, globales e hiperconectadas del sistema-mundo y que, evidentemente, también dependen de los múltiples niveles de la realidad que imponen las incertidumbres del entorno y del medio ambiente.

El antropólogo inglés Max Gluckman (2003) desarrolló la herramienta etnográfica del análisis de una situación social (ASS), la cual se puede describir como un instrumento vinculado con la corriente de la antropología del poder (o política, aunque no se limita a ésta), misma que parte de eventos únicos e irrepetibles que tienden a romper con la cotidianidad y el fluir de la rutina, como puede ser la inauguración de alguna obra pública, el encuentro entre grupos antagónicos, una huelga laboral, una movilización social, las acciones reparadoras a razón de un desastre natural, entre muchos otros; escenarios en los que se pueden develar las relaciones sociales (alianzas, rivalidades, redes de parentesco, compadrazgos, relaciones jerárquicas, deudas y actos de cooperación y colaboración) entre participantes, asistentes, transeúntes y observadores. Asimismo, se hacen evidentes las jerarquías, roles, cargos de representación, títulos y nombramientos institucionales que podrían ostentar algunos de los actores sociales, develando la estructura social a partir de las relaciones. Además de enfatizar en la corporalidad del poder de las instituciones (sean políticas, económicas, religiosas, jurídicas, etcétera) asignado en cada uno de los agentes que las representan.

Conocedores de esa herramienta etnográfica y de la particularidad de realizar entramados de relaciones sociales entre los asistentes y demás participantes, Rosemberg (2020) y Rivera (2024) sugirieron la posibilidad de establecer un vínculo epistémico e isomorfo entre el ASS y la teoría de redes de Solé (2009) y Ball (2010): si se considera que todo individuo pertenece o está asociado con una familia nuclear y extensa, pero también con círculos de amistades (sean académicas, laborales y de intereses compartidos), por vecindad, por contemporaneidad y otras expresiones para la interrelación en el entorno social, se podrá observar que existen múltiples niveles de vínculos compartidos entre los individuos. Dichos víncu-

los (o grafos, esto es, “una serie de puntos unidos por líneas” [Ball, 2010]) relacionan a diferentes individuos (o nodos-agentes) en contextos de estructuras entramadas compuestas por nodos y grafos, es decir, en diversas expresiones de modelos de redes sociales que encubren todo tipo de relaciones entre círculos asimétricos de amistades. Además de otorgar la oportunidad tanto de determinar la ubicación geoespacial de nodos-agentes específicos, como de identificar nodos-agentes que representan y corporizan el poder asignado de las instituciones.

Tamayo (2016 y 2022) también pensó en esta posibilidad de establecer una analogía isomorfa entre el ASS y la teoría de redes, lo que lo llevó a desarrollar el concepto de análisis político situacional (APS) con el objeto de emplear la herramienta del ASS, pero en contextos específicos de acciones colectivas de protesta, movilizaciones sociales y reclamo popular.

Sobre la red rizomática de los movimientos sociales

Considerando que ningún nodo-agente está totalmente solo en el mundo, a razón de que inevitablemente pertenece a círculos familiares (por alianza, descendencia, filiación o compadrazgo), además de establecer grafos (o vínculos) por relaciones de amistad, vecindad y contemporaneidad, se entiende que sus conocidos y allegados, a su vez, integran y participan de otras redes de nodos-agentes que también interactúan mediante grafos; lo que, por un parte, les permite complementar una amplia red de nodos-agentes en común (tal como lo sugiere la teoría de los 6 grados de separación, la cual, desde la perspectiva de Ball [2010], dicta que todo individuo se encuentra a un máximo de cinco intermediarios que lo separan de una persona en específico, sin importar su ubicación geoespacial en el mundo) y, por otra parte, establecer nuevas relaciones de amistad, colaboración y parentesco con otros nodos-agentes contemporáneos que anteriormente eran parte de redes ajenas al primer nodo-agente y que ahora podrían develar intereses comunes en los campos político, económico, ideológico, religioso, entre otros. Interacción que, inevitablemente, permite el

incremento de redes de nodos-agentes entre los involucrados y demás participantes.

Considerando que los movimientos sociales son acciones colectivas para el reclamo y la protesta pública a razón de la emergencia de un sentimiento de injusticia en uno o varios sectores de la población, se podría pensar que los nodos-agentes que se sienten afectados apelarán a su red de conocidos y familiares (otros nodos-agentes) para exponer, validar y ratificar la pertinencia de su inconformidad; asimismo, se plantearán la posibilidad de ocupar temporalmente espacios públicos (mediante marchas, mítines y actos de protesta y resistencia) para, una vez ahí, realizar acciones legales o ilegales, como también lo sugirió Giménez (1994), Tamayo (2016) y Tarrow (1997).

En este sentido, dentro de la misma red social podría existir algún nodo-agente que, a su vez, podría estar vinculado con algún colaborador, vocero, intelectual, simpaticizante o líder de alguna organización social, asociación o colectivo que también participaría activamente al interior del movimiento social o que simplemente tendría información relevante para la movilización y la protesta, lo que abre la posibilidad de que nuevos nodos-agentes comiencen a establecer grafos con diferentes miembros de colectivos, organizaciones y asociaciones, dando por resultado que cualquiera de éstos termine por acoger a los nuevos miembros (nodos-agentes vistos como capital humano) con los que anteriormente no se tenía ningún vínculo.

No se debe olvidar que todas esas formas de organizaciones sociales operan como sistemas complejos, es decir, para lograr su continuidad en el tiempo y frente a las incertidumbres del entorno social, político, económico y natural requieren controlar disímiles recursos energéticos escasos, entre los que también se incluye todo el capital humano que les permita engrosar sus filas y les otorgue presencia pública. Sin mencionar que estos nuevos integrantes también colaborarán con activismo y proselitismo político, darán apoyos económicos y materiales y realizarán el trabajo intelectual, a fin de cubrir los objetivos, los propósitos y la causa que encabezan los primeros (los colectivos, asociaciones y organizaciones que integran los movimientos sociales).

Por otra parte, se debe considerar que tanto los colectivos como las organizaciones tienen sus propias agendas para la lucha, la protesta y el reclamo popular, situación que se ve influenciada cuando interviene el tema de los intereses individuales de cada uno de los nodos-agentes, a saber que cada uno de éstos, en diferentes momentos, pudieron haber invitado, atraído, convencido o convocado a otros nodos-agentes provenientes de la red individual de los primeros; circunstancia que permite cuestionar ¿qué es lo que ocurre cuando un colectivo u organización se disgrega (o fractura)? y ¿de qué manera se podría reestructurar esa red social?, a lo que se puede responder: la red social vinculada al ASS tiende a encubrir un fenómeno de reestructuración (o autoorganización) que solamente es visible desde la propuesta de la desterritorialización de los rizomas, es decir, aquel “entramado de raicillas entrelazadas que dan origen a otros y sin reproducirse sexualmente viven permanentemente” (Deleuze y Guattari, 2022).

En otras palabras, cuando comienza un proceso de fractura al interior de los colectivos, asociaciones y organizaciones, cada nodo-agente buscará fortalecer el grafo (o vínculo) con aquella red (o facción) con la que tiene o mantiene más condiciones, intereses y elementos en común, siempre supeditado a la teoría de los 6 grados de separación (esto es, nodos-agentes en común) y al cálculo individual del costo-beneficio, lo que, a su vez, encubre relaciones personales, de parentesco, acuerdos previos, alianzas, la posibilidad de ganancias y el reclamo de las deudas, provocando el desenlace de procesos de desterritorialización de redes-rizomáticas (o facciones) que anteriormente integraban una sola unidad (sea colectivo, asociación u organización). Lo anterior permite que cada nueva facción tenga la oportunidad de decidir si se mantiene en su unidad original, si se integra a otra totalmente ajena, si emerge como una unidad nueva e independiente o si simplemente desaparece, véase la Figura 1.

A manera de conclusión

La recuperación y exposición del ASS y el vínculo teórico-práctico que se pudo establecer con la teoría de redes, permite explicar cómo es que se engrosan las filas

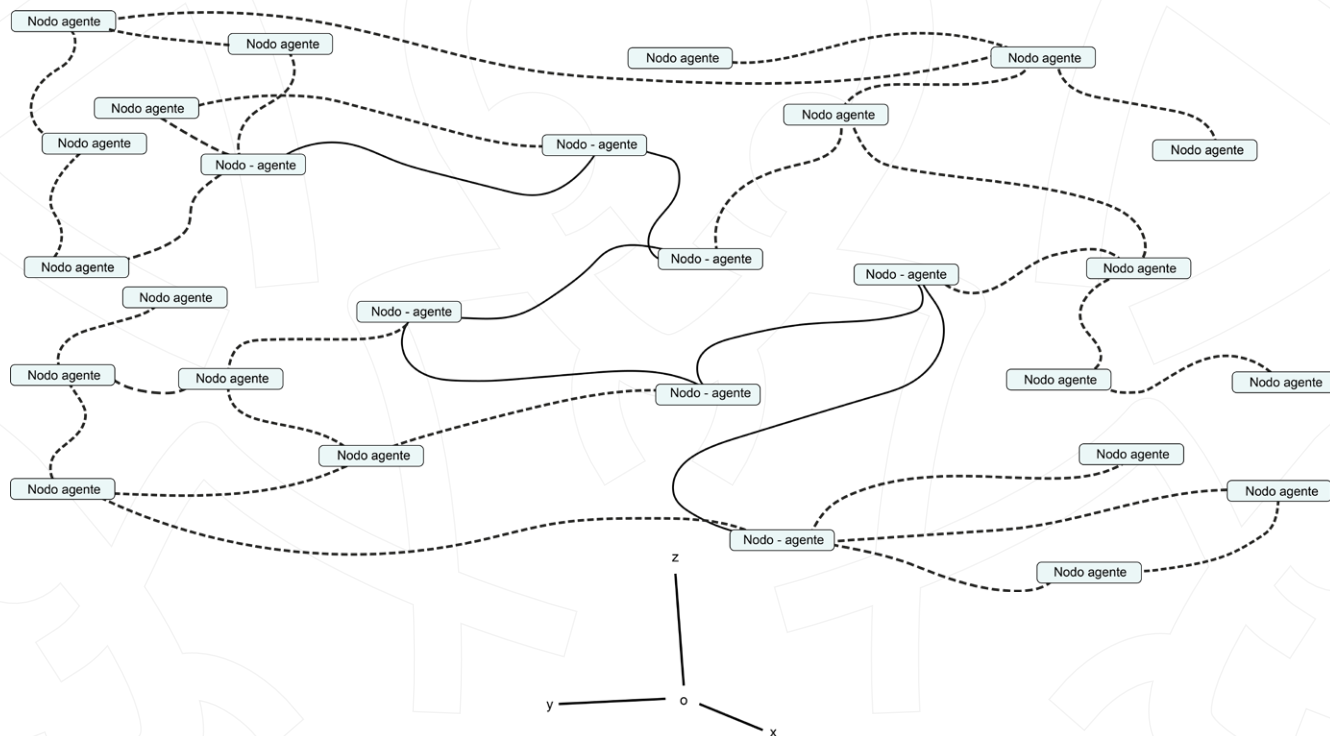


Figura 1. Modelo red rizomática de movimientos sociales.

de organizaciones, asociaciones y colectivos que participan al interior de los movimientos sociales en contextos de sociedades complejas.

De igual manera, la propuesta del modelo de red rizomática de movimientos sociales permite explicar la emergencia de nuevos colectivos, organizaciones y asociaciones, resultado de fracturas internas dentro de cualquiera de esas unidades sobre la base del fenómeno de la desterritorialización de los rizomas, donde evidentemente intervienen factores como intereses, vínculos y acuerdos personales e individuales.

Situación que no sólo es aplicable en organizaciones, asociaciones, colectivos y movimientos sociales, como ha sido objeto de debate en este ensayo, sino que la propuesta podría ser extendida a organizaciones criminales, lo que permite comprender por qué si se detiene o erradica una facción de alguna organización, podría emerger otra u otras totalmente nuevas.

Referencias

- Alexander, J. (2008). *Las teorías sociológicas desde la Segunda Guerra Mundial*. Gedisa.
- Alexander, J. (2019). *Sociología cultural: formas de clasificación en las sociedades complejas*. Siglo XXI.
- Ball, P. (2010). *Masa crítica: cambio, caos y complejidad*. Fondo de Cultura Económica.
- Byrne, D. (2005). *Complexity theory and social sciences: an introduction*. Routledge.
- Deleuze, G. y Guattari, F. (2022). *Rizoma*. Editorial Fontamara.
- Durkheim, E. (2014). *El suicidio*. Grupo Editorial Tomo.
- García, R. (2013). *Sistemas complejos: concepto, método y fundamentación epistemológica de investigación interdisciplinaria*. Gedisa.
- Giménez, G. (1994). Los movimientos sociales. Problemas teórico-metodológicos. *Revista Mexicana de Sociología*, 2 (94), 3-14. <https://revistamexica->

nadesociologia.unam.mx/index.php/rms/article/view/60950/53774

- Gluckman, M. (2003). Análisis de una situación social en Zululandia moderna. *Bricolage*, 1(1), 34-49. <https://revistabricolage.wordpress.com/2003/01/01/analisis-de-una-situacion-social-en-zululandia-moderna-max-gluckman-la-organizacion-social/>
- Lévi-Strauss, C. (1972). *Pensamiento salvaje*. Fondo de Cultura Económica.
- Lévi-Strauss, C. (2017). *Tristes trópicos*. Paidós.
- Merton, R. K. (1965). *Teoría y estructuras sociales*. Fondo de Cultura Económica.
- Rivera, R. (2025). Movimientos sociales en sociedades complejas. Un acercamiento desde la termodinámica social. En I. Ramírez, M. Flores, C. Virginia, N. Gantier, B. Méndez y M. Poveda (Coords.), *Reflexiones universitarias en el arte de educar: puentes del conocimiento* (Vol. VIII, pp. 132-160). Asociación Científica de Doctores de Charcas.
- Rivera, R. (2024). Embarazo adolescente y el impacto de la gobernanza en algunos de los municipios de Morelos. En I. López, G. Hernández y A. E. González (Coords.), *Gobernanza y políticas públicas en los gobiernos locales del Estado de Morelos*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Rosemberg, F. (2020). Complejidad, redes sociales y antropología. En W. L. Morales y T. Valdez, *Perspectivas desde la complejidad y ciencias sociales*. El Colegio de Morelos.
- Solé, R. (2009). *Redes complejas: del genoma a internet*. Metatemas.
- Tamayo, S. (2016). *Espacios y repertorios de la protesta*. Universidad Autónoma Metropolitana; RED Mexicana de Estudios de los Movimientos Sociales.
- Tamayo, S. (2022). *La revolución de las conciencias: resonancias históricas, cultura del disenso y disputa por el poder*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Tarrow, S. (1997). *El poder en movimiento: los movimientos sociales, la acción colectiva y la política*. Editorial Alianza.

Los microplásticos: ¿un problema ambiental sin solución?

Mario Alejandro Gómez Ponce

Universidad Nacional Autónoma de México

mgomez@cmarl.unam.mx

Julio César Canales Delgadillo

Secretaría de Ciencia, Humanidades,
Tecnología e Innovación

cadjo506@gmail.com

Omar Celis Hernández

Universidad Nacional Autónoma de México

celis0079@yahoo.es

Nayelly Vázquez Pérez

Centro de Estudios Tecnológicos del Mar

nallevapr@gmail.com

José Gilberto Cardoso Mohedano

Universidad Nacional Autónoma de México

gcardoso@cmarl.unam.mx

Martín López Hernández

Universidad Nacional Autónoma de México

martinl@cmarl.unam.mx

Resumen

Los plásticos son productos orgánicos. Desde sus inicios, a nivel global, se han producido alrededor de 9200 millones de toneladas de plástico y la producción anual se estima en aproximadamente 400 millones de toneladas, de la cual solamente el 8 % es reciclado. El problema de la basura plástica es que se fragmenta en partículas más pequeñas que se conocen como micro- y nanoplásticos. Por su naturaleza, los plásticos y microplásticos (MP) generan una huella ambiental que se relaciona fuertemente con efectos negativos en la salud humana, disminución de la calidad de los ecosistemas y agotamiento de recursos. En la actualidad, afortunadamente, existen investigaciones encaminadas a mejorar las estrategias de degradación de plásticos con el propósito de evitar la generación de subproductos contaminantes adicionales y disminuir el efecto ambiental.

Palabras clave

Plásticos, microplásticos, huella ambiental, contaminación, PET.

Gómez, M., Celis, O., Cardoso, J. G., Canales, J. C., Vázquez, N. y López, M. (2026). Los microplásticos: ¿un problema ambiental sin solución? *Azcatl* (8), 32-37. DOI: [10.24275/AZC2026B007](https://doi.org/10.24275/AZC2026B007)

Fecha de recepción: 22 de enero de 2026.

Fecha de aceptación para publicación: 1 de marzo de 2026.

Abstract

Plastics are organic products. Since their inception, approximately 9.2 billion tons (Mt) of plastic have been produced globally, Annual production remains at approximately 400 million tons, of which only 8 % is recycled. The problem with plastic waste is that it fragments into smaller particles known as micro- and nanoplastics. By their very nature, plastics and microplastics (MPs) generate an environmental footprint that is strongly linked to negative effects on human health, decreased ecosystem quality, and resource depletion. Fortunately, research is currently underway to improve plastic degradation strategies in order to avoid generating additional polluting byproducts and reduce the environmental impact.

Keywords

Plastics, microplastics, environmental footprint, pollution, PET.

Introducción

El término plástico proviene del griego *plastiko*, que significa *capaz de ser moldeado*, y fue adoptado en el siglo XIX, cuando los científicos y fabricantes comenzaron a crear materiales sintéticos que podían ser moldeados en diversas formas y estructuras bajo la aplicación de calor y presión (Pérez, 2014). Los plásticos, también conocidos como *polímeros*, son productos orgánicos a base de carbono con moléculas de cadenas largas que se pueden clasificar en tres categorías: naturales, como algunas resinas de árboles; semisintéticos, aquellos que derivan de productos naturales y que han sido modificados o alterados mediante la mezcla con otros materiales; y, finalmente, los sintéticos, que son todos aquellos derivados de alterar la estructura molecular de materiales a base de carbono, como el petróleo crudo, carbón y gas (Pérez, 2014).

Los tipos de plástico más comunes y con los que tenemos contacto de forma cotidiana son el polietileno (PE) de alta y baja densidad, polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS) y polietileno tereftalato (PET); en conjunto, estos plásticos representan el 90 % de la producción mundial (Andrady, 2011; Engler, 2012). Desde sus inicios, a nivel global se han producido alrededor de 9200 millones de toneladas de plástico y la producción anual se estima en aproximadamente 400 millones de toneladas (Figura 1), de la cual solamente el 8 % es reciclado (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2022; Singh y Walker, 2024). El gran problema de la basura plástica es que no es biodegradable, es decir, no hay organismos que la transformen en ma-

teria orgánica reutilizable (Horton, 2022). Sin embargo, aunque el plástico no sea biodegradable, no permanece intacto por los siglos de los siglos, sino que se fragmenta en partículas más pequeñas que se conocen como micro- y nanoplasticos (Figura 2).

Los microplásticos (MP) son reconocidos, junto con una gama de nuevos agentes nocivos, como contaminantes emergentes (Anderson *et al.*, 2018; Yin *et al.*, 2020) y se definen, como cualquier material sintético (fibras, espumas y microperlas), con un tamaño de partícula menor a 5 mm (Stead *et al.*, 2020; Fred *et al.*, 2020). Actualmente, los MP son considerados una preocupación global

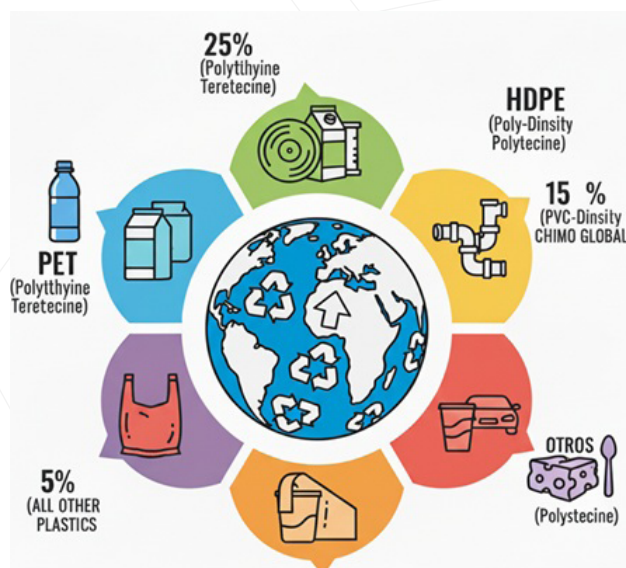


Figura 1. Consumo de plásticos a nivel mundial y su origen.

Nota: Mexico Industry, 2023.



Un problema invisible con consecuencias reales.

Figura 2. Factores que degradan los plásticos fragmentándolos en pedazos más pequeños, que dependiendo el tamaño se clasifican en macroplásticos, microplásticos, nanoplasticos y polímeros.

Nota: Boot *et al.*, 2017

debido a que están ampliamente distribuidos en ecosistemas acuáticos y terrestres, por los impactos ambientales que pueden generar en éstos (McEachern *et al.*, 2019; Velez *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2020). La descarga de aguas residuales y la escorrentía agrícola son fuentes puntuales de MP (Landeros *et al.*, 2022). Las actividades humanas como la pesca, el transporte marítimo, el turismo, la industria cosmética y la textil también están vinculadas con la contaminación por plásticos y MP y pueden considerarse fuentes de contaminación de ambientes acuáticos y terrestres, ya sea de forma directa o indirecta (Nuelle *et al.*, 2014; Aliabad *et al.*, 2019). Por otro lado, la producción masiva de plásticos de un solo uso se ha convertido en una seria amenaza ambiental, ya que es la fuente del 95.3 % de la contaminación en el planeta (Ulloa y Virgen, 2022).

La huella ambiental de los MP

La evaluación del efecto que un producto, empresa o país causa sobre el ambiente (agua, biodiversidad, sa-

lud humana y cambio climático) durante su ciclo de vida útil, en el caso particular de los productos, es conocida como huella ambiental (Lorca, 2018). Por su naturaleza, los plásticos y MP generan una huella ambiental que se relaciona fuertemente con efectos negativos en la salud humana, disminución de la calidad de los ecosistemas y agotamiento de recursos. Está demostrado que los MP pueden actuar como contaminantes físicos, por ejemplo, como partículas suspendidas en el agua que pueden incorporarse al tejido de organismos como los peces, pero también como contaminantes químicos, pues tienen la capacidad de retener y concentrar metales como Fe, Zn, Mg y Ca (Kumar y Sourav, 2025), con consecuencias potenciales sobre la salud humana y las redes tróficas.

¿Cuál es el impacto de los MP?

El alcance de la contaminación por MP es global. Se han detectado partículas en todos los ecosistemas del planeta, desde la atmósfera (aire) hasta el fondo de las fosas marinas, y se prevé que la cantidad de plástico que llega a los océanos se triplicará para el año 2060 si no se implementan estrategias urgentes de mitigación (Ziani *et al.*, 2023). En la actualidad, se estima que entre 8 y 12 millones de toneladas de residuos plásticos ingresan en los océanos anualmente, a pesar de que ya hay más de 14 millones de toneladas de plástico acumuladas en los fondos marinos (Kane y Clare, 2019). En los océanos Pacífico, Atlántico e Índico se han identificado cinco grandes zonas de concentración de MP conocidas como *sopas de plástico*. En consecuencia, al menos el 88 % de las especies marinas se ven afectadas por la contaminación por MP, ya que muchos individuos ingieren estas partículas. No son pocos los casos en los que se han encontrado partículas de plásticos y MP en el sistema digestivo de tortugas marinas, aves, mamíferos marinos y peces, en los que la ingesta de plástico puede causar inanición o intoxicaciones letales (Bajt, 2021; Meaza *et al.*, 2021).

Las partículas de MP también se han detectado en el aire de zonas urbanas, suburbanas e incluso en áreas tan remotas como el Ártico y la Antártida, lo que demuestra que pueden ser transportadas a través de largas distancias por medio del aire (Obbard, 2018). Esta capacidad de

dispersión resulta preocupante pues facilita la contaminación de diferentes ambientes, por ejemplo, la contaminación por MP también afecta los suelos, lo cual representa un riesgo para la salud humana y la seguridad alimentaria si tomamos en cuenta que es ahí donde se producen la mayor parte de los alimentos que se consumen en el mundo. De este modo, al dispersarse por el aire, las personas también están expuestas a los MP por inhalación, además del consumo de alimentos contaminados, incluyendo productos del mar.

¿Qué soluciones ofrece la ciencia?

En la actualidad existen investigaciones encaminadas a mejorar las estrategias de degradación de plásticos de un solo uso, con el propósito de evitar la generación de subproductos contaminantes adicionales y disminuir la huella ambiental; al mismo tiempo que se intenta maximizar la efectividad en costos y tiempo de acción (Sandoval y Bermúdez, 2021). Ejemplo de esto es la degradación de plásticos utilizando enzimas producidas por microorganismos, alternativa que se presenta como una solución ante la crisis medioambiental global (Mohan et al., 2020).

Gracias a su capacidad catalítica específica, estas biomoléculas prometen ser una opción real para solucionar la crisis mundial de los plásticos y para lograr una economía plástica circular (Tournier et al., 2023). Ya se han identificado microorganismos que producen enzimas con capacidad de degradación de plásticos, tales como las PETasas, que degradan PET (Yoshida et al., 2016); las MHETasas, que descomponen mono-(2-hidroxietil) tereftalato, un producto de la degradación del PET (Yoshida et al., 2021); las enzimas degradadoras de poliuretano (Howard, 2002); la cutinasa, que degrada polímeros vegetales, pero también puede degradar PET (Pio y Macedo, 2009); y la lacasa, una enzima que degrada compuestos fenólicos, como la lignina, y también puede degradar plásticos con estructuras fenólicas (Ramamurthy et al., 2024). Estas soluciones biotecnológicas representan un primer paso hacia el manejo y disminución de MP en el ambiente y, por lo tanto, hacia ecosistemas más sanos para la vida silvestre y para los seres humanos.

Bibliografía

- Aliabad, M. K., Nassiri, M. y Kor, K. (2019). Microplastics in the surface seawaters of Chabahar Bay, Gulf of Oman (Makran coasts). *Marine Pollution Bulletin*, 143, 125-133. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X1930298X>
- Anderson, Z. T., Cundy, A. B., Croudace, I. W., Warwick, P. E., Celis, O. y Stead, J. L. (2018). A rapid method for assessing the accumulation of microplastics in the sea surface microlayer (SML) of estuarine systems. *Scientific Reports*, 8(1). DOI:10.1038/s41598-018-27612-w
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605. DOI:10.1016/j.marpolbul.2011.05.030
- Bajt, O. (2021). From plastics to microplastics and organisms. *FEBS Open Bio*, 11(4), 954-966. DOI:10.1002/2211-5463.13120
- Boot, A. M., Kubowicz, S., Krause, C. B. y Skancke, J. (2017). M-918|2017-Unrestricted report microplastic in global and norwegian marine environments: distributions, degradation mechanisms and transport. Research Gate. (PDF) M-918|2017-Unrestricted Report Microplastic in global and Norwegian marine environments: Distributions, degradation mechanisms and transport Author(s)
- Engler, R. E. (2012). The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean. *Environmental Science and Technology*, 46(22), 12302-12315. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23088563/>
- Fred, O. H., Ayejuyo, O. O. y Benson, N. U. (2020). Microplastics distribution and characterization in epibenthic sediments of tropical Atlantic Ocean, Nigeria. *Regional Studies in Marine Science*, 38. DOI: [10.1016/j.rsma.2020.101365](https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101365)
- Herrera, J. S. y Morera, D. B. (2021). Degradación del polietilentereftalato por medio de microorganismos. *Informador Técnico*, 85(2), 219-229. DOI: [10.23850/22565035.3592](https://doi.org/10.23850/22565035.3592)
- Horton, A. A. (2022). Plastic pollution: when do we know enough? *Journal of Hazardous Materials*, 422.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389421018537>

- Howard, G. T. (2002). Biodegradation of polyurethane: a review. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 49(4), 245-252. DOI: 10.1016/S0964-8305(02)00051-3
- Kane, I. A. y Clare, M. A. (2019). Dispersion, accumulation, and the ultimate fate of microplastics in deep-marine environments: a review and future directions. *Frontiers in earth science*, 7, 80. <https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2019.00080/full>
- Kumar, V. y Sharma, S. (2025). Assessing the role of the Basel Convention in addressing plastic pollution at the international level: a critical review. *Indian Journal of Social Work Education and Practice*, 3(2), 13-33. <https://ijswep.socialwork.du.ac.in/uploads/articles/022.pdf>
- Landeros, L., Williams, I., Shaw, P., Hudson, M. y Domínguez, G. (2022). A review of the origins of microplastics arriving at wastewater treatment plants. *Detritus*, 20, 41-55. DOI.org/10.31025/2611-4135/2022.15224
- Lorca, M. P. (2018). Population, climate change and environmental footprint. *European Journal of Literature, Culture and Environment*, 9(1), 11-36. <https://ecozona.eu/article/view/2172>
- McEachern, K., Alegria, H., Kalagher, A. L., Hansen, C., Morrison, S. y Hastings, D. (2019). Microplastics in Tampa Bay, Florida: abundance and variability in estuarine waters and sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 148, 97-106. DOI.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.068
- Meaza, I., Toyoda, J. H. y Wise, J. P. (2021). Microplastics in sea turtles, marine mammals and humans: a one environmental health perspective. *Frontiers in environmental science*, 8. DOI.org/10.3389/fenvs.2020.575614
- Mohan, N., Montazer, Z., Sharma, P. K. y Levin, D. B. (2020). Microbial and enzymatic degradation of synthetic plastics. *Frontiers in microbiology*, 11. DOI.org/10.3389/fmicb.2020.580709
- Nuelle, M. T., Dekiff, J. H., Remy, D. y Fries, E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental Pollution*, 184, 161-169. DOI.org/10.1016/j.envpol.2013.07.027
- Obbard, R. W. (2018). Microplastics in polar regions: the role of long range transport. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 1, 24-29. DOI.org/10.1016/j.coesh.2017.10.004
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2022). *Global plastics outlook: policy scenarios to 2060*. <https://doi.org/10.1787/aa1e-df33-en>
- Pérez, J. P. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior*, 64(5), 6-9. http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/761/3/la_industria_del_plastico.pdf
- Pio, T. F. y Macedo, G. A. (2009). Cutinases: properties and industrial applications. *Advances in Applied Microbiology*, 66, 77-95. DOI: 10.1016/S0065-2164(08)00804-6
- Ramamurthy, K., Thomas, N. P., Gopi, S., Sudhakaran, G., Haridevamuthu, B., Namasivayam, K. R. y Arockiaraj, J. (2024). Is laccase derived from *pleurotus ostreatus* effective in microplastic degradation? A critical review of current progress, challenges, and future prospects. *International Journal of Biological Macromolecules*, 276. DOI.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133971
- Singh, N. y Walker, T. R. (2024). Plastic recycling: a panacea or environmental pollution problem. *Materials Sustainability*, 2(1), 17. DOI: 10.1038/s44296-024-00024-w
- Kumar, G. y Sourav, B. (2025). Ecological footprint of microplastics in coastal and estuarine environments of India: sediment-water interface analysis. *Science of The Total Environment*, 997. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180151>
- Sandoval, J. y Bermúdez, D. (2021). Degradación del polietilentereftalato por medio de microorganismos. *Informador Técnico*, 85(2). DOI.org/10.23850/22565035.3592

- Stead, J. L., Cundy, A. B., Hudson, M. D., Thompson, C. E., Williams, I. D., Russell, A. E. y Pabortsava, K. (2020). Identification of tidal trapping of microplastics in a temperate salt marsh system using sea surface microlayer sampling. *Scientific Reports*, 10(1). [DOI.org/10.1038/s41598-020-70306-5](https://doi.org/10.1038/s41598-020-70306-5)
- Tournier, V., Duquesne, S., Guillaumot, F. y Cramail, H. (2023). Enzymes' power for plastics degradation. *Chemical Reviews*, 123(9), 5612-5701. [DOI: 10.1021/acs.chemrev.2c00644](https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00644)
- Valarezo, M. y Ruiz, L. (2022). El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular. *Cedamaz*, 12(2). [DOI: 10.54753/cedamaz.v12i2.1265](https://doi.org/10.54753/cedamaz.v12i2.1265)
- Vázquez, V. (2021). *La industria del plástico necesita romper paradigmas para crecer: Anipac*. Mexico Industry. La industria del plástico necesita romper paradigmas para crecer: Anipac
- Velez, N., Zardi, G. I., Savio, R. L., McQuaid, C. D., Valbusa, U., Sabour, B. y Nicastro, K. R. (2019). A baseline assessment of beach macrolitter and microplastics along Northeastern Atlantic shores. *Marine Pollution Bulletin*, 149. [DOI.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110649](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110649)
- Walker, T. R. (2024). The tropics should not become the world's plastic pollution problem. *Journal of Tropical Futures*, 1(1), 12-24. [DOI: 10.1177/27538931231165273](https://doi.org/10.1177/27538931231165273)
- Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T., Taniguchi, I., Yamaji, H., Maeda, Y. y Oda, K. (2016). A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate). *Science*, 351(6278), 1196-1199. [DOI: 10.1126/science.aad6359](https://doi.org/10.1126/science.aad6359)
- Yoshida, S., Hiraga, K., Taniguchi, I. y K. Oda. (2021). Ideonella sakaiensis, PETase, and MHETase: from identification of microbial PET degradation to enzyme characterization. *Methods in Enzymology*, 648, 187-205. [DOI: 10.1016/bs.mie.2020.12.007](https://doi.org/10.1016/bs.mie.2020.12.007)
- Zhang, W., Zhang, S., Zhao, Q., Qu, L., Ma, D. y Wang, J. (2020). Spatio-temporal distribution of plastic and microplastic debris in the surface water of the Bohai Sea, China. *Marine Pollution Bulletin*, 158. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32753167/>
- Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C. B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E. y Preda, O. T. (2023). Microplastics, a real global threat for environment and food safety: a state of the art review. *Nutrients*, 15(3), 617. [DOI.org/10.3390/nu15030617](https://doi.org/10.3390/nu15030617)

6

1

7

4



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA