

Matemáticas bajo la piel
Alberto Mercado Saucedo **pág. 20**

El Museo Virtual de Matemáticas
Aubin Arroyo y Renato Iturriaga **pág. 24**

Ivete Sánchez Bravo: entre modelos, datos
y decisiones *Obsidiana Digital* **pág. 30**

OBSIDIANA[®]

Ciencia y Cultura por México

MATEMÁTICAS en todas partes

AÑO 3, NÚM. 20.
MÉXICO, OCTUBRE DEL 2026



NUESTRAS REDES SOCIALES

 @Obsidianamx  @obsidiana_mex  @obsidiana_mex

Busca contenidos exclusivos en la versión digital de **Obsidiana**, disponible en:

www.obsidianadigital.mx

 **BSIDIANA**
Ciencia y Cultura por México

OCTUBRE 2026

obsidianadigitalmx@gmail.com



Imagen de portada y contraportada:
Sala "El Tiempo", del Museo Virtual de Matemáticas.
Ilustración de
Casandra Sabag Hillen.

Consejo Editorial

Presidente
José Franco

Estrella Burgos (†), Lamán Carranza Ramírez, Luz de Teresa, Luis Roberto Flores Castillo, Alejandro Frank, Azucena Galindo, Cinthya García Leyva, Marcia Hiriart, Alonso Huerta, Antonio Lazcano, Omar López-Cruz, María Nieves Noriega, Raúl Rojas, Pedro Salazar, José Seade, Marina Stavenhagen, Brenda Valderrama Blanco, Yael Weiss

Equipo Editorial

Lamán Carranza Ramírez

Director General

Omar Hernández

Director de Diseño e Ilustración Editorial

Jovany Cruz Flores

Colaborador de Diseño Editorial y Web

.....
Núm. 20

Matemáticas en todas partes

Aubin Arroyo

Renato Iturriaga

Luz de Teresa

Editores invitados
.....

CONTENIDO

2

Pensar con matemáticas
Lamán Carranza

EMERGENTE



FRAGMENTOS



Matemáticas donde no te las esperas

4

6

Las Matemáticas en tu Ciudad: del campo de batalla al autobús urbano
Yasmin Á. Ríos Solís

ESPEJO



ESPEJO



Las Matemáticas Prístinas de la Inteligencia Artificial
Atocha Aliseda

8

10

Las matemáticas de la comunicación
Octavio Arizmendi y Renato Iturriaga

ESPEJO



ESPEJO



12

Las Geociencias y las Matemáticas: una relación no muy bien llevada
Martín Alberto Díaz Viera

ESPEJO



14

Azar luminoso
Daniel Hernández H.

ESPEJO



16

La diversidad microbiana: una ventana al mundo invisible a través de los datos
Nelly Sélem Mojica

ESPEJO



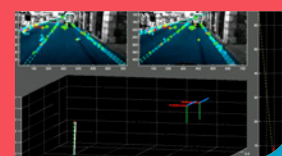
18

Las sucesiones de Langford en el arte contemporáneo
Raúl Ibáñez Torres

22

Si tiene un botón, es control...
Luz de Teresa

ESPEJO



TRANSLÚCIDO



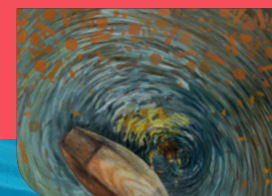
La profundidad de las matemáticas: Andrés Navas Aubin Arroyo, Lourdes Hernández Fuentes y Renato Iturriaga

26

28

Matemáticas, imagen y relato: Casandra Sabag Hillen

INTRUSIÓN



CÓRTEX



¡Matemáticas para todos!

32



PENSAR CON MATEMÁTICAS

Lamán Carranza
DIRECTOR GENERAL

@LamanCarranza
 @lamancarranza
 @lamancarranza
 @laman.carranza

Durante años nos enseñaron matemáticas como si fueran fórmulas. Aprendimos a sumar, despejar una ecuación, calcular un porcentaje o memorizar un procedimiento para llegar al resultado correcto. El problema es que pocas veces nos enseñaron a ver para qué servía todo aquello fuera del salón de clases.

Todos usamos matemáticas mucho más de lo que pensamos, no me refiero a sentarnos a resolver una ecuación, sino a decidir con información incompleta, comparar opciones, calcular riesgos, reconocer patrones y anticipar qué puede pasar.

En un negocio hay que saber cuánto cuesta producir, a cuánto vender o si conviene invertir. Cuando contratamos un crédito comparamos costo y plazo. Las matemáticas nos ayudan a ordenar información y tomar decisiones.

Lo mismo ocurre a una escala mucho mayor. Las matemáticas intervienen en tecnologías, procesos y sistemas que forman parte de nuestra vida, desde la medicina y la inteligencia artificial hasta las comunicaciones, la industria y la economía. En una sociedad que mide crecimiento, riesgo, productividad, movilidad o consumo, los números no sólo describen lo que ocurre: también ayudan a entenderlo y, muchas veces, a decidir qué hacer.

Esa capacidad de observar, medir, comparar y encontrar relaciones es también parte del pensamiento científico. Y no es una herramienta reservada para investigadores, ingenieros o matemáticos: de ella depende también nuestra capacidad para innovar, desarrollar tecnología, fortalecer sectores productivos y enfrentar problemas complejos.

En este número de Obsidiana, de la mano de Alberto Mercado Saucedo, veremos cómo las matemáticas hacen posible el diseño de los aparatos que permiten obtener imágenes del interior del cuerpo;

Daniel Hernández nos

lleva por la historia del azar y

la probabilidad; Atocha Aliseda entra en uno de los problemas centrales de la computación y del razonamiento; Luz de Teresa nos muestra cómo funciona la teoría del control, y Raúl Ibáñez lleva las sucesiones matemáticas hasta el arte.

También hablaremos de inteligencia artificial, datos, microorganismos y de distintas formas en que las matemáticas aparecen donde pocas veces nos detenemos a buscarlas.

Por eso vale la pena volver a mirar a las matemáticas, no sólo como una materia que aprendimos en la escuela, sino como una forma de construir, explicar y transformar buena parte del mundo en el que vivimos.

**Las matemáticas
nos ayudan a tomar
mejores decisiones**

MATH FEST 4.0 ROCKS

MÁS INFO EN
MATHROCKS.NET

15
NOV
2026

EXPO REFORMA
CANACO CIUDAD DE MÉXICO

Más de 20 Divulgadores y Edutubers en un mismo lugar, conócelos, interactúa, aprende y toma todas las fotos que quieras.

BOLETOS DISPONIBLES EN MATHROCKS.NET



CONAMAT
CONSEJO NACIONAL DE MATEMÁTICAS

CASIO
Educación

YouTube

uniBetas!

Canva

BSIDIANA
Ciencia y Cultura por México

ITAM

Grupomedios

Alabanza
BEER, BURGER & PIZZA



¡ADIÓS JUEGO DE GEOMETRÍA,
HOLA REGLA ANGULAR DML®!



TRAZA

MIDE

COMPRUEBA



Ing. Dan Moses
Inventor de la Regla Angular DML®

La única regla que te permite
medir, traza y comprobar ángulos,
desarrollada y patentada en México

¡CONÓCELA!

ADQUIERE LA TUYA

regalaguldml.com

55 8535 1844



museo
VIRTUAL de
MAT3MÁTICAS
Habita las matemáticas

Visita
el MUMAT
Mumat.matcuer.unam.mx



Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

CIMAT

CIUDAD DE MÉXICO
CAPITAL DE LA TRANSFORMACIÓN

SECTEI

SOCIEDAD MATEMÁTICA MEXICANA



Instituto de Matemáticas

El Museo Virtual de Matemáticas cuenta con apoyos de la SECTEI (4883c25-SECTEI/173/2023) y de la SECRETARÍA (DIVULGACION-2023-383).

MATEMÁTICAS DONDE NO TE LA ESPERAS

1 AUTOMÓVIL Control y movimiento



3 COMPUTADORA Inteligencia artificial

- Símbolos y reglas
- Resolución paso a paso
- Límites del cómputo
- Simulación de inteligencia
- Modelos estadísticos



2 HOSPITAL Diagnóstico médico

- Modelos de medicamentos
- Ritmo cardíaco y presión
- Reconstrucción de imágenes
- Ondas y frecuencias



4 BANCOS Seguros y finanzas

- Precios, tasas e inversiones
- Estimación de riesgos
- Pérdidas y ganancias
- Optimización de decisiones



5 SUBSUELO Geociencias

- Estimación con datos incompletos
- Movimiento de fluidos
- Estadística entre mediciones



6 COMUNICACIÓN Internet

- Estimación con datos incompletos
- Movimiento de fluidos
- Estadística entre mediciones



7 ESTRUCTURAS Triángulos

- Mantienen su forma
- Distribuyen las fuerzas
- Estructuras más seguras



- Geometría del desplazamiento
- Tiempo, distancia y tráfico
- Algoritmos y sensores
- Modelos de fluidos
- Control por retroalimentación

10 MUNDO MICROBIANO

Vida invisible

- Contar y comparar magnitudes
- Secuencias de ADN
- Patrones en grandes datos

11 VELERO

De competición

- Fuerzas del aire y agua
- Menor resistencia, mayor velocidad
- Simulación de diseños
- Predicción del viento

9 CIUDAD

Transporte y logística

- Reducir tiempos de espera
- Rutas y horarios eficientes
- Predicción con datos
- Simulación de escenarios

12 EMPAQUETAMIENTO

Naranjas

- Aprovechar mejor el espacio
- Maximizar la densidad
- Más de tres dimensiones
- Transmisión sin errores

13 IMAGINACIÓN

Pensamiento

- Reglas y relaciones
- Argumentos paso a paso
- Evaluar opciones y consecuencias
- Imaginar escenarios

PIZZA y fútbol

15

- Geometría y curvatura
- Doblarla aumenta su rigidez
- Polígonos y esfera
- Fuerza, ángulo y efecto
- Probabilidad en penales
- Estadística del juego

14 ARTE

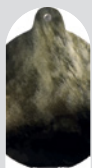
Contemporáneo

- Geometría, simetría y repetición
- Instrucciones y algoritmos
- Azar controlado
- Percepción del espacio

8 ARQUITECTURA

Estructuras curvas

- Superficies geométricas
- Máxima resistencia, mínimo material
- Distribución de cargas
- Formas complejas, elementos simples



ESPEJO



LAS MATEMÁTICAS EN TU CIUDAD:

Del campo de batalla al autobús urbano

Yasmín Á. Ríos Solís

TECNOLÓGICO DE MONTERREY, ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIA

La investigación de operaciones nació en 1940 para proteger a los barcos aliados.



En 1940, Inglaterra enfrentaba una amenaza mortal. Los submarinos alemanes U-boat cazaban en el Atlántico, hundiendo barcos aliados con devastadora eficiencia. En un edificio discreto de Londres, un grupo inusual comenzó a trabajar en el problema. No eran militares, pero estaban peleando la guerra con lápiz, papel y ecuaciones. Usando modelos matemáticos, analizaron patrones de ataque, optimizaron rutas de convoy, calcularon la distribución óptima de recursos limitados. Sus recomendaciones salvaron miles de vidas y toneladas de suministros críticos. Así nació la *investigación de operaciones*: el arte de usar matemáticas avanzadas para tomar mejores decisiones ante problemas complejos del mundo real.

De los submarinos a las cadenas de suministro

Lo que comenzó como un esfuerzo de guerra se transformó en una revolución silenciosa que moldeó el mundo moderno. En la posguerra, las empresas descubrieron que las mismas técnicas matemáticas que optimizaban operaciones militares podían revolucionar sus negocios.

FedEx usa investigación de operaciones para decidir qué paquete va en qué avión. Amazon la emplea para determinar qué productos almacenar en cada bodega. Los hospitales la utilizan para programar cirugías y asignar personal. Las aerolíneas optimizan rutas, tripulaciones y precios con estos métodos. Incluso

la asignación de trasplantes de órganos se decide con modelos matemáticos que equilibran urgencia, compatibilidad y distancia.

Hoy, la investigación de operaciones está en todas partes, aunque invisible. Cada vez que un servicio funciona sorprendentemente bien, cada vez que un sistema complejo opera con eficiencia casi mágica, probablemente hay matemáticas trabajando en el trasfondo.

Y esto incluye algo tan cotidiano como tu viaje en autobús.

El problema que todos y todas hemos vivido

Cada mañana, miles de personas esperan en las estaciones de los metrobuses. Algunas revisan sus relojes con impaciencia, otras observan el horizonte buscando la silueta del siguiente autobús. De pronto, después de una larga espera, llegan dos o tres autobuses casi al mismo tiempo. Uno va repleto, los otros medio vacíos. El amontonamiento de autobuses es frustrante. Y como aquellos convoyes del Atlántico en 1940, es un problema de optimización que puede resolverse con matemáticas.

El agrupamiento de autobuses es un ejemplo perfecto de cómo pequeñas perturbaciones pueden desestabilizar un sistema completo. Imagina que eres la con-

ductora de autobús. Sales con dos minutos de diferencia respecto al autobús anterior. Pero en la tercera estación, un semáforo te detiene por un minuto extra. Ese minuto permite que más pasajeros lleguen a las siguientes paradas. Más pasajeros significa más tiempo de abordaje. Mientras tanto, el autobús que venía detrás no encontró el semáforo en rojo y se acerca peligrosamente.

Pronto, ambos autobuses están prácticamente juntos: uno saturado, el otro vacío. El servicio se ha vuelto irregular e ineficiente. Es un efecto dominó, una

cascada de pequeños retrasos que colapsan la regularidad del sistema. El amontonamiento de autobuses representa uno de los mayores desafíos operativos de los sistemas de transporte público masivo. No solo genera frustración en los usuarios, sino que también reduce la eficiencia del sistema, aumenta los tiempos de espera promedio y crea una percepción de servicio poco confiable que puede alejar a los usuarios potenciales del transporte público.

El amontonamiento de buses se resuelve con herramientas de la investigación de operaciones: modelar, optimizar, simular, validar.

Con un programa matemático calcula en tiempo real cuánto tiempo debe esperar cada autobús en ciertas paradas estratégicas para mantener separaciones regulares entre unidades. El modelo considera la posición actual de todos los autobuses, predice dónde estarán en los próximos minutos,

calcula cuántos pasajeros habrá en cada parada, y determina tiempos de espera óptimos que mantengan intervalos entre autobuses dentro de un rango aceptable.

Un equipo de matemáticos y matemáticas desarrolló una simulación detallada del sistema Ecovía de Monterrey, un corredor de 30.2 kilómetros con 40 estaciones que conecta importantes puntos de la ciudad, incluidas las intersecciones con las líneas 1 y 2 del Metro. Los resultados fueron impresionantes. En las pruebas, el sistema logró reducir el amontonamiento de buses en un 45% comparado con escenarios sin intervención. Más importante aún, los tiempos de espera de los usuarios se redujeron hasta en un 30% en algunos escenarios, especialmente cuando los tiempos de abordaje y descenso eran rápidos.

Quizás la próxima vez que esperes tu autobús y notes que el servicio es más regular, que los intervalos son más parejos, que tu tiempo de viaje es predecible, piensa que detrás de esa mejora hay ecuaciones, algoritmos, modelos de optimización trabajando silenciosamente.

Además, las matemáticas aplicadas sirven para responder otras preguntas. ¿Qué pasaría si se combinara con información en tiempo real sobre accidentes o obras viales? ¿Cómo se podría integrar con aplicaciones móviles que informen a los usuarios sobre tiempos de espera más precisos? ¿Podría el sistema aprender y mejorar con el tiempo usando técnicas de inteligencia artificial? ¿Cómo modificar las frecuencias de los buses cuando haya un partido de fútbol del mundial?

Matemáticas en tu ciudad

Las matemáticas no son un ejercicio académico desconectado de la realidad, sino una herramienta poderosa para mejorar nuestra calidad de vida. Cada vez que un sistema funciona mejor, cada vez que un servicio es más eficiente, cada vez que una ciudad se vuelve más habitable, hay mate-

máticas trabajando silenciosamente en el trasfondo.

Aquellos pioneros y pioneras en Londres hacían cálculos a mano o con calculadoras mecánicas. Hoy, algoritmos sofisticados procesan miles de escenarios por segundo. Aquellos primeros modelos consideraban unas pocas variables. Los modelos modernos integran datos en tiempo real de GPS, contadores de pasajeros, patrones de tráfico, e incluso pronósticos del clima.

Pero la esencia permanece: usar matemáticas para tomar decisiones que mejoren vidas. Porque, al final, eso es la investigación de operaciones: "el arte de hacer que sistemas complejos funcionen mejor". Desde ganar guerras hasta optimizar autobuses, desde gestionar cadenas de suministro globales hasta programar tu viaje matutino, las

matemáticas son el lenguaje invisible que hace funcionar nuestro mundo moderno. ●

Hoy ayuda a resolver el amontonamiento de autobuses en las ciudades.





LAS MATEMÁTICAS PRÍSTINAS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Atocha Aliseda
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS, UNAM

Fotografía de la autora: Axel Barceló

La idea de cómputo tiene sus antecedentes en la noción de cálculo adjudicada a Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). Leibniz fue uno de los inventores, junto con Newton, del cálculo diferencial e integral.

La notación que Leibniz construyó para su cálculo lo hizo soñar con la existencia de máquinas que hicieran operaciones matemáticas para los humanos, dejándolos “libres para el pensamiento creativo”. Intentó hacer realidad este sueño con una idea maravillosa, como él mismo la llamó: construir un alfabeto del pensamiento donde cada símbolo representara un concepto y que contara con herramientas para su manipulación; algo así como un álgebra del pensamiento! A este sistema lo llamó *Characteristica Universalis* y a su sistema asociado para la manipulación simbólica *Calculus Ratiotinator*.

Leibniz estaba muy interesado en la aplicación de su idea maravillosa en el terreno legal (pues también estudió Derecho) y su objetivo consistía, nada más y nada menos, que en dirimir disputas. La idea era que cada contendiente debía codificar sus opiniones en (lo que hoy llamamos) fórmulas, de modo tal que la veracidad o falsedad del asunto pudiera establecerse en un sistema mediante aritmética binaria, todo ello en respuesta a la orden: ¡Calulemus! Imaginen las implicaciones prácticas y políticas que podría tener un sistema por medio del cual todos los argumentos racionales pudieran validarse de manera concluyente. Hoy día sabemos que no hay ni siquiera un procedimiento automático (método

de decisión) capaz de decidir la validez de todas las inferencias lógicas.

La noción de cómputo, por otra parte, nos remite a un personaje más actual, pionero de lo que hoy llamamos inteligencia artificial: Alan Mathison Turing (1912-1954). Su trabajo en los años treinta del siglo XX fue clave para poder establecer los límites de la computación matemática, más precisamente, del concepto de computabilidad.

Turing demostró que no hay solución al llamado “problema de la detención o de la parada”, esto es que no hay un procedimiento de decisión que resuelva si un programa termina. Dicho de otra forma, durante la ejecución de un programa de computadora, no sabemos si éste terminará en algún momento o quizá haya entrado en un bucle (*loop*) y nunca llegará a su fin.

Desde el siglo XVII hasta el XX hay un largo camino desde Leibniz a Turing, lo cual es parte del título de una de las mejores obras (del profesor Martin Davis) sobre el nacimiento y desarrollo de la noción de computabilidad. En este largo recorrido, cada capítulo es una parada en uno de los trabajos seminales de otros grandes lógicos que contribuyeron al desarrollo de esta noción: Boole, Frege, Cantor, Hilbert y Gödel.

¿Pueden las máquinas pensar?

En 1950 Alan Turing publicó su célebre artículo “Computing Machinery and Intelligence”. Por un lado, propone un “juego de imitación”, hoy conocido como la Prueba de Turing, la cual consiste en un experimento en el que un evaluador humano mantiene una conversación por escrito, para evitar pistas físicas o de voz, con dos interlocutores ocultos: uno es una perso-

na (el hombre) y el otro una máquina (la mujer). Si, tras una serie de preguntas y respuestas, el evaluador no consigue distinguir cuál es la máquina, entonces se considera que la máquina ha simulado de manera exitosa un comportamiento inteligente humano y, por tanto, la prueba de Turing está superada.

Por otro lado, sobre la pregunta que plantea: ¿pueden las máquinas pensar? Turing ofrece una formulación en términos computacionales:

Turing demostró que hay problemas que ninguna máquina puede resolver.



“Fijemos nuestra atención en cierta máquina digital C. ¿Es verdad que si modificamos esta computadora de tal forma que tenga suficiente almacenamiento e incrementamos su velocidad de acción de manera adecuada y la dotamos del programa adecuado, C puede jugar el papel de la parte de A [una mujer], en el juego de imitación, siendo la parte B, ¿un hombre?” (Luger 1995, p. 31, mi traducción).

Así, Turing formula la pregunta por la inteligencia mecánica y propone una prueba de imitación, implementada en una máquina digital (un autómata de estado finito) ahora conocida como máquina universal de Turing. Es un modelo matemático que manipula símbolos sobre una cinta (potencialmente infinita), de acuerdo con un conjunto finito de reglas predefinidas. Este modelo es el subyacente a todo programa de computadora (anterior y actual), más precisamente, a todo algoritmo computable. Alan Turing vislumbró también los inicios del aprendizaje de máquina, cuando es el código mismo del programa lo que se altera. Esto caracteriza el tipo de procesos computacionales de la IA actual.

Hoy día vivimos un nuevo auge de la inteligencia artificial, pero ahora los modelos no son autómatas basados en lógica matemática sino transformers basados en matrices, vectores y estadística. Así como Leibniz soñaba con re-

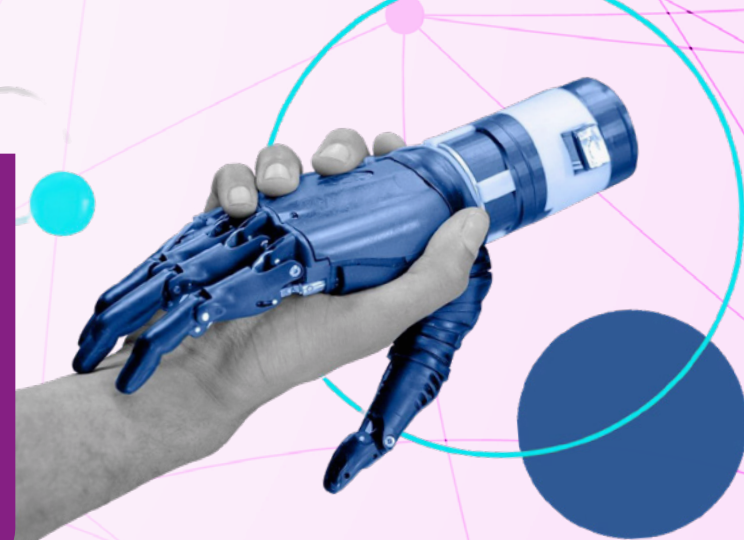
Los modelos de lenguaje actuales heredan ese sueño y también sus límites.

solver disputas jurídicas mediante el cálculo, hoy día existen sistemas automatizados que redactan sentencias legales y funcionan como herramientas de apoyo, más no reemplazan al juez humano. Los modelos de lenguaje basados en macrodatos (large language models), como ChatGPT, Claude o Despseek, participan en esta conversación contemporánea: producen textos que simulan comprensión y diálogo humano, prediciendo palabra por palabra con notable eficacia, pero sin comprensión genuina.

El propio Turing adelantaba ya el potencial del aprendizaje de máquina, cuando decía:

“Observando los resultados de su propio comportamiento, la máquina puede modificar sus propios programas, para lograr algún propósito de manera más eficaz. Estas son posibilidades en un futuro cercano, en lugar de sueños Utópicos.” (Luger 1995, p. 37, mi traducción).

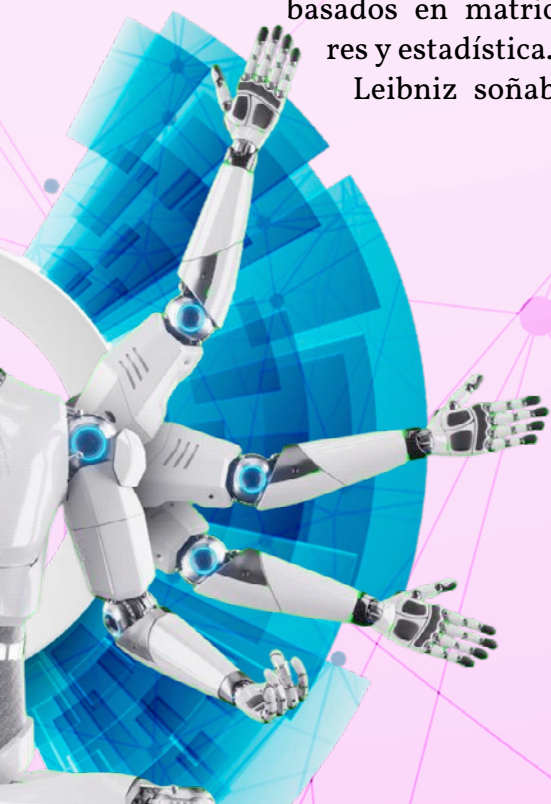
Seguramente Turing nunca imaginó que de pronto la simulación del comportamiento pareciera menos de humanos y más de personajes de ciencia ficción, pero el tiempo pondrá a todo en su lugar, incluyendo la información mediática que estamos recibiendo en estos momentos acerca de los riesgos de la IA, lo que yo precisaría como sigue: los riesgos en el uso y abuso de la inteligencia artificial por parte de humanos, quienes quizá deciden delegar sus decisiones a la máquina.



En cualquier caso, el recorrido que va de ¡Calculemus! a la inteligencia artificial actual no es una historia de cumplimiento pleno del sueño racionalista, sino también ha sido un descubrimiento de los límites de la razón. Leibniz imaginó un cálculo universal del pensamiento; Turing mostró que incluso el cálculo tiene fronteras. Entre ambos se dibuja una lección importante que a mi juicio, debemos tener presente hoy día: la razón humana puede mecanizarse en parte, pero nunca sin resto. Y precisamente es en ese resto —entre lo que puede computarse y lo que aún nos desborda— donde sigue viva la pregunta por la inteligencia, ya sea humana o artificial. ●

Referencias

- Aliseda, A. (2013) “¿Inteligencia mecánica? La pregunta de Alan Turing”, *Ciencia*, Academia Mexicana de Ciencias, volumen 64, número 4, 2013.
- Davis, M. (1998). *Engines of logic: Mathematicians and the origin of the computer*. W. W. Norton & Company.
- Luger, G.F. (ed) (1995). *Computation & Intelligence*. Estados Unidos, American Association for Artificial Intelligence, MIT Press.
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236), 433–460. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>





Octavio
Arizmendi



Renato
Iturriaga

CENTRO DE INVESTIGACION EN MATEMÁTICAS

LAS MATEMÁTICAS DE LA COMUNICACIÓN

Paquete 1. Introducción

Este artículo está escrito emulando la manera en que se transmite la información en Internet, en paquetes. Nuestro objetivo es explicar cómo, por qué y cuáles son los logros de matematizar la transmisión de la información.

Paquete 2. Comunicación

Sin duda una de las principales características que tenemos como seres humanos es nuestra lengua. La lengua y el pensamiento están relacionadas en un círculo virtuoso. Esta relación se sublima con la invención de la escritura. Irene Vallejo, en su obra *El infinito en un junco*, nos relata maravillosamente la invención del libro y su impacto en la civilización.

Paquete 3. Revolución moderna

El telégrafo, el teléfono, la radio, la televisión y, finalmente, la red de Internet son medios de comunicación que han transformado nuestras vidas. Son vehículos de transmisión de información; el libro es un medio de preservación de la informa-



ción que también tiene sus análogos modernos: libros electrónicos, cintas magnéticas, discos compactos, memorias USB, etc. Podemos usar el mismo verbo “transmitir” si pensamos que puede ser en el espacio, de un lugar a otro, o en el tiempo, de un momento a otro. De ahí la frase “escribir un libro es trascender en el tiempo”.

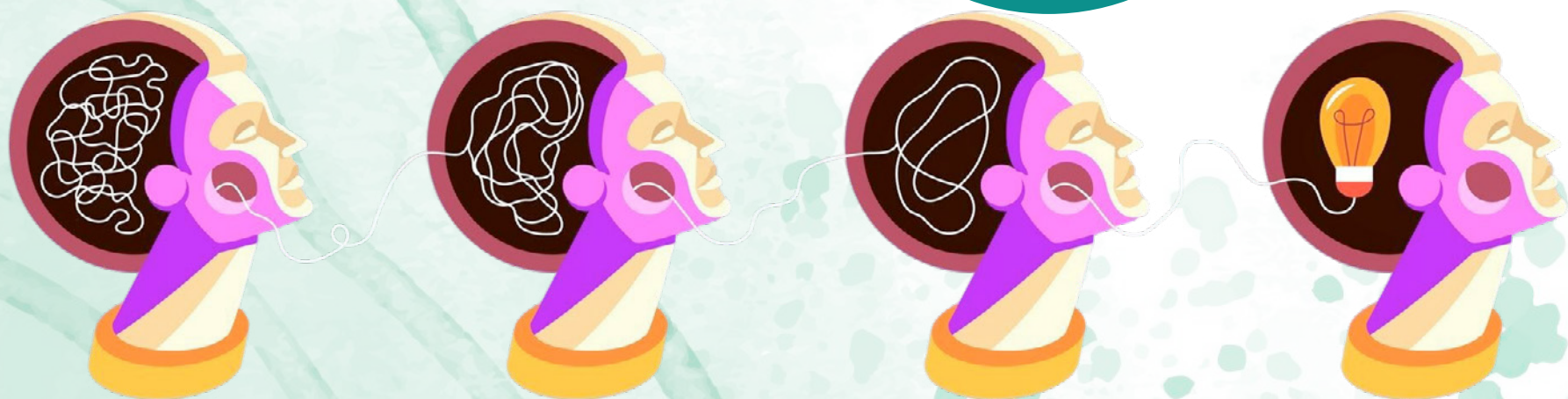
Paquete 4. Bits y bytes

Para medir la cantidad de datos se usan bits. Un bit indica la opción de tener dos posibilidades: abierto/cerrado, sí/no, 1/0. Si juntamos 8 bits tenemos un byte con 256 posibilidades. Para almacenar una letra o carácter típicamente usamos un byte. Una imagen se divide en píxeles y en cada píxel se usan 3 bytes (RGB), uno para el rojo, uno para el verde y uno para el azul. Asimismo, las películas y la música también se pueden codificar en bits y bytes, millones.

Paquete 5. Confiabilidad

Cuando se transmite un mensaje, es inevitable que haya una probabilidad de que el mensaje llegue ligeramente alterado. ¿Cómo podemos asegurar que el mensaje sea el correcto, o al menos saber que ha habido un error? Por ejemplo, si el mensaje se manda dos veces y no coinciden, sabemos que

Shannon demostró que todo canal tiene un límite para transmitir información.



hay un error; si lo mandamos tres veces podemos saber con mayor confianza cuál es el correcto. Hay maneras mucho más eficientes de hacer esto, pero el punto aquí solo es: la repetición de un mensaje nos ayuda a transmitirlo con mayor confiabilidad.

Paquete 6. Redundancia

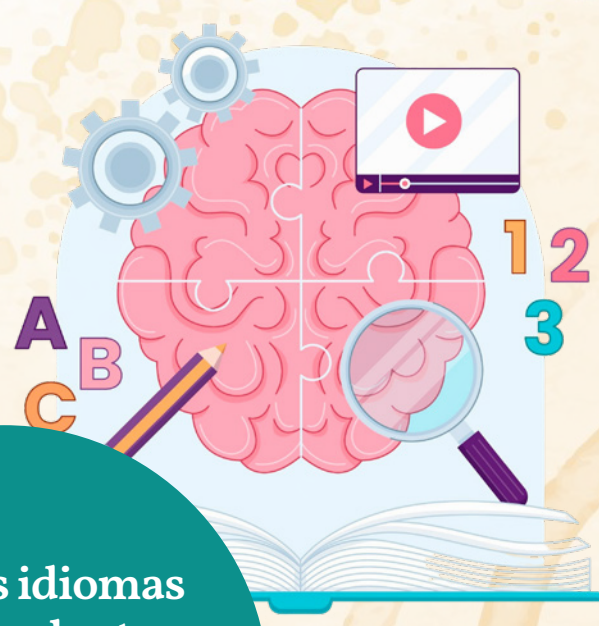
Los pleonasmos refuerzan una idea y permiten corregir en caso de una confusión. La estructura de todos los lenguajes tiene pleonasmos, redundancias en el sentido de que se puede decir lo mismo con muchos menos caracteres. Prueba de ello son las revistas de los aviones, donde está escrita la misma información en español y en inglés. Típicamente el texto en inglés es más corto. Eso quiere decir que el español es ligeramente más redundante que el inglés. El árabe escrito es mucho menos redundante: solo se escriben las vocales largas; las cortas se deducen del contexto.

Paquete 7. Información

La información de un mensaje es lo que queda después de haberle quitado todo lo redundante, y la información de un mensaje transmitido es la información del mensaje menos los errores que pudieron incorporarse durante la transmisión.

Paquete 8. Entropía

La entropía es una medida de desorden. Su definición es técnica, pero se puede ejemplificar en el caso de la teoría de la información intuitivamente es una proporción de las palabras en el lenguaje respecto a todas las palabras posibles que se pueden formar con el alfabeto, como por ejemplo “tfwe”. La entropía nos dice qué tan difícil es predecir lo que sigue después



Como los idiomas son redundantes, los mensajes pueden comprimirse sin perder sentido.

de escribir una palabra o una frase. Así, la entropía es mayor cuanto menos redundante es el lenguaje y menor cuanto más redundante sea.

Paquete 9. Capacidad

Cuando contratamos Internet nos venden paquetes de diferentes capacidades: 30, 50 o 100 megas por segundo. Pero aquí queremos hablar de la cantidad de información recibida en lugar de la cantidad de datos que, como vimos, a causa de la redundancia y los errores, puede ser diferente.

Paquete 10. Shannon

Fue un ingeniero que en 1948 definió matemáticamente todos estos conceptos y expuso la posibilidad de comprimir los mensajes sin perder confiabilidad. Muestra, además, que esencialmente existe un límite a la capacidad de transmitir información. Es decir, no importa qué tan ingeniosos sean los algoritmos de compresión y de verificación; hay un límite de la cantidad de información que podemos transmitir. El límite está dado en términos de la cantidad

de bits por segundo del medio transmisor, de la entropía del lenguaje y de la cantidad de ruido del canal. Nuestro título alude a su artículo fundamental “The Mathematical Theory of Communication”.

Paquete 11. En pocas palabras

Dado que el número de palabras con significado es mucho menor que todo el universo de palabras posibles, piénsese, por ejemplo, en la Biblioteca de Babel de Borges, donde están escritos todos los libros posibles: solo una pequeña fracción de palabras tiene sentido. Esto nos indica que la entropía es baja y, por lo tanto, la redundancia es alta. Podemos entonces usar esta redundancia para comprimir el mensaje sin perder confiabilidad.

Paquete 12. Curiosidades

El resultado de Shannon se parece al ciclo de Carnot en termodinámica, que establece límites de eficiencia para una máquina de vapor, donde también existe un concepto de entropía que, de hecho, inspira la definición de Shannon.

Si bien el español es ligeramente más redundante que el inglés, las personas hispanohablantes hablan, en general, ligeramente más rápido que los angloparlantes. De tal manera que la información que transmiten por unidad de tiempo es muy similar. Esta misma capacidad debe ser algo universal en todos los seres humanos.

Paquete 13. En conclusión

Shannon crea una nueva disciplina en matemáticas cuyo desarrollo tiene un impacto enorme en la manera de comunicarnos. Al comprender la estructura de la información y sus límites, hoy podemos comunicarnos de manera eficiente y segura. Los mensajes pueden comprimirse sin perder confiabilidad: lo que sin comprimir sería inmenso e intransmisible se vuelve manejable. ●



LAS GEOCIENCIAS Y LAS MATEMÁTICAS: UNA RELACIÓN NO MUY BIEN LLEVADA

Martin Alberto Díaz Viera
INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

Durante siglos, la geología fue la ciencia del martillo y la lupa, de la descripción meticulosa sobre el terreno. Hoy, predecir dónde encontrar un yacimiento de litio, modelar un acuífero o predecir el comportamiento de un yacimiento petrolero requiere algo más: exige ecuaciones diferenciales, geoestadística y algoritmos de machine learning. Y es aquí donde la relación entre las Geociencias y las Matemáticas se convierte en un tenso pero fascinante romance de opuestos.

Dos mundos, un mismo objeto

La paradoja es evidente. La Geofísica aplica métodos cuantitativos cargados de matemáticas. La Geología, en cambio, mantiene un enfoque más cua-

litativo y empírico. Como se expuso en la EGU de 2024, "la interacción no siempre está exenta de tensiones". Son dos caras de una misma moneda: comprender el subsuelo.

Esta dualidad tiene raíces históricas. Las Ciencias de la Tierra adoptaron métodos cuantitativos más tarde que otras disciplinas. No es raro que estudiantes de geología elijan la carrera precisamente por considerarla la vía "menos matemática" dentro de las STEM.

Unas matemáticas ausentes del currículo

El problema es educativo. En muchos programas de geología, la geoestadística y las geociencias computacionales no son obligatorias. Un joven geocientífico lo resumía así: "Tenemos problemas con el análisis geoestadístico porque no está en nuestro plan de estudios".

La consecuencia es doble: los estudiantes se sienten abrumados al enfrentarse a datos reales, y los empleadores buscan un perfil mixto que escasea. Paradójicamente, se vacían los cursos de matemáticas para no "asustar", ocultando la naturaleza cuantitativa de la geociencia.

La revolución silenciosa

Mientras el currículo tradicional se resiste, la práctica profesional ha vivido una auténtica revolución.

La geología hoy trabaja con estadística, algoritmos e inteligencia artificial.



El legado de Matheron

Georges Matheron fundó la geoestadística en los 60. Su krigeado permite estimar valores en puntos no muestreados considerando la correlación espacial mediante el variograma. Hoy podemos estimar reservas mineras o modelar yacimientos con un rigor antes impensable.

Machine Learning

El aprendizaje automático está descubriendo patrones ocultos en la complejidad del planeta. En Chile, un sistema de alerta temprana combina modelos físicos con machine learning para anticipar aluviones con hasta 48 horas de margen. En minería, algoritmos SVM generan mapas de prospectividad de yacimientos, y en Perú se estiman leyes de cobre con modelos predictivos.

El IGME en España ha creado un modelo jerárquico que clasifica automáticamente deslizamientos con datos satelita-



les InSAR. En Colombia, una plataforma web integra Random Forest para susceptibilidad a movimientos en masa.

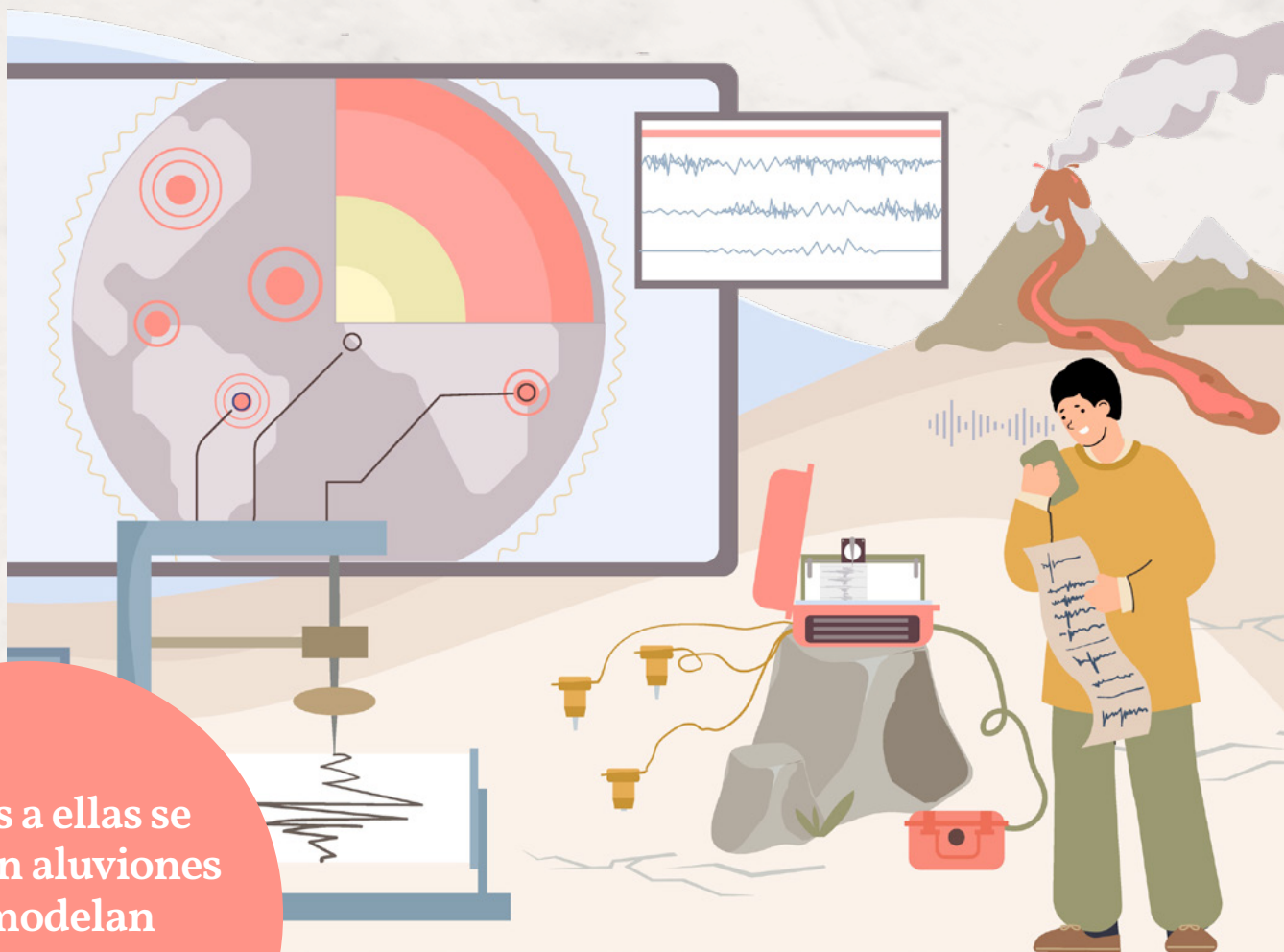
Ciencia de datos

La ciencia de datos extrae conocimiento de la avalancha de información satelital. Plataformas como Google Earth Engine procesan petabytes de imágenes en la nube. Proyectos como MapBiomás generan mapas anuales de uso del suelo en Brasil. Iniciativas formativas en la Universidad de Chile aplican clustering y análisis de señales a sismología y volcanología.

Modelar un yacimiento petrolero: el reto de integrar escalas

Un ejemplo paradigmático de esta necesidad matemática es la modelación de yacimientos de hidrocarburos. Un yacimiento no es homogéneo: es un mosaico 3D de rocas con diferentes porosidades y permeabilidades. La información es fragmentaria: proviene de muestras de roca, registros geofísicos y sísmica. El desafío es construir un modelo que prediga el flujo de fluidos durante décadas.

Gracias a ellas se anticipan aluviones y se modelan yacimientos con más precisión.



Aquí las matemáticas son la luz que ilumina lo desconocido.

Se requieren ecuaciones de flujo en medios porosos, resueltas con métodos numéricos.

La geoestadística (krigeado y simulaciones estocásticas) genera múltiples realizaciones del subsuelo, capturando la incertidumbre geológica.

Si el yacimiento está fracturado, la complejidad crece: se usan modelos de fracturas discretas (DFN). Además, el history matching con filtros de Kalman (EnKF) actualiza los modelos con datos de producción. La matemática actúa como "puente crítico" integrador entre disciplinas.

La tensión creativa

Esta revolución no está exenta de desafíos. El choque entre lo físico-matemático

y lo geológico-hermenéutico genera una "tensión creativa". Conceptos como fractales o sistemas dinámicos son hoy indispensables. El reto es integrarlos sin perder la complejidad geológica real.

Hacia un futuro mestizo

¿Cómo mejorar esta relación? Hace falta un cambio curricular que normalice el estudio de la computación y la estadística desde el inicio (NASEM, 2020). También se exploran soluciones "justo a tiempo" y el uso de IA como intermediaria entre conocimiento cualitativo y datos cuantitativos (Bergen et al., 2019).

En definitiva, Geociencias y Matemáticas forman un matrimonio complicado, pero de aquellos que producen los frutos más interesantes. La Tierra sigue siendo un libro abierto, pero hoy sabemos que para leerlo hay que aprender el idioma de las matemáticas. ●





AZAR LUMINOSO

Daniel Hernández H.
CENTRO DE INVESTIGACION EN MATEMÁTICAS



La raíz del quehacer científico se encuentra en la formulación de preguntas sencillas, cuyas respuestas se transforman en un torrente capaz de despertar el interés de las mentes más brillantes y catapultar su potencial. Una muestra son los enigmas que involucran el azar y que, en pleno siglo XXI, pareciera natural contar con respuestas bien fundamentadas sobre la evolución de fenómenos como la natalidad o mortalidad de una población,

los patrones de consumo, la inflación o la cotización de divisas.

Estos fenómenos varían por razones que valdría la pena comprender, sobre todo para quienes toman decisiones, definen políticas públicas o se interesan por atenuar los efectos nocivos de una desaceleración económica.

En el siglo XVII, muchas preguntas se formulaban alrededor de juegos de salón en los que había apuestas monetarias. Nos podemos remitir a las contribuciones de Blaise Pascal (1623-1662) y Pierre de Fermat (1601-1665). En especial, la solución al Problema de los Puntos dio lugar a dos conceptos fundamentales en probabilidad: los coeficientes binomiales, que permiten contar las distintas formas en que puede ocurrir un resultado, y la esperanza condicional, que permite calcular qué podemos esperar cuando ya conocemos parte de la información. El problema consiste en determinar cómo debe repartirse la recompensa pactada por dos jugadores cuando el juego se interrumpe antes de concluir y cada uno necesita todavía cierto número de puntos para declararse ganador.

En el siglo XVII, la posibilidad de estimar la probabilidad de acontecimientos futuros era aún muy limitada, situación que comenzó a cambiar cuando se identificaron

comportamientos típicos en la información que se recababa. Un ejemplo fueron los datos sobre la esperanza de vida de la población en Inglaterra, sometida entonces a epidemias frecuentes y devastadoras, sobre todo de peste bubónica, en las que falleció aproximadamente un cuarto de la población de Londres. En cierto sentido, las preguntas que involucraban al azar migraron de los salones de juego al mundo cotidiano. Las tablas de esperanza de vida se utilizaron ampliamente en estadísticas médicas, demografía y ciencia actuarial, dedicada al análisis matemático de riesgos, y sentaron las bases para un negocio en rápida expansión: la venta de rentas vitalicias, que permiten a quien las contrata recibir pagos periódicos hasta su fallecimiento.

El estudio de estas preguntas llevó la discusión mucho más allá de las ganancias o pérdidas de un juego y sentó las bases de la teoría de la probabilidad. Se comprendió que el condicionamiento a determina-

La probabilidad nació con Pascal y Fermat al repartir una apuesta interrumpida.



das circunstancias modifica las posibilidades de ocurrencia de los escenarios que el observador considere de interés. En un terreno distinto, Iván Pavlov examinó experimentalmente, en el campo de la medicina, cómo determinadas condiciones podían modificar una respuesta a través de su teoría del condicionamiento clásico. Para él ya era claro que, a medida que crece la incertidumbre del contexto circundante, también aumenta el miedo ante los resultados.

Diversos campos del saber han encontrado en el fenómeno del azar un terreno común de estudio, fruto de una convergencia circunstancial. La botánica, la física y las finanzas han sido una fuente inagotable de preguntas sobre el papel de la incertidumbre en la evolución de las especies, el movimiento de las moléculas ante un cambio de temperatura o la predictibilidad de los precios de acciones que cotizan en las bolsas de valores. En la botánica tuvo lugar, en 1827, el descubrimiento de uno de los objetos matemáticos más interesantes y complejos: el movimiento browniano, ese desplazamiento irregular de pequeñas partículas suspendidas en un líquido o un gas, que debe su nombre al botánico irlandés Robert Brown.

Las observaciones microscópicas sobre este movimiento errático fueron motivo de estudio por reconocidos físicos a inicios del siglo XX. Albert Einstein construyó un modelo probabilista para describir el movimiento de las partículas y la probabilidad de encontrarlas en determinada posición en un instante dado, relacionando el problema con la ecuación del calor. En 1900, Louis Bachelier introdujo, de manera independiente, el movimiento browniano para modelar la dinámica de los precios de acciones en la bolsa de valores parisina. Su tesis doctoral, *Théorie de la Spéculation*, representa el punto de partida para el estudio riguroso y moderno de las finanzas. La construcción rigurosa del

Hoy los modelos probabilistas están en las máquinas que aprenden.

proceso que describían estas trayectorias fue realizada por Norbert Wiener en 1923.

Ahora bien, cuando se habla de finanzas o economía, las fuentes de incertidumbre deben analizarse cuidadosamente, pues las decisiones que se tomen a partir de ellas pueden afectar a amplios sectores de la población. El análisis de tasas de interés, contratos de compraventa, valuación de bonos, viabilidad de fondos de pensiones y riesgos demográficos, cibernéticos o ambientales debe fundamentarse con explicaciones coherentes sobre el comportamiento del mercado, datos económicos que sustenten el modelo de decisión elegido y criterios que permitan evaluar sus resultados.

Los desarrollos tecnológicos amplían los horizontes de la ciencia, abriendo nuevas vías de indagación y planteando desafíos cada vez más variados. En las matemáticas se abren campos de estudio modernos, en los que invariablemente se involucran otras disciplinas, alimentando la imaginación de mentes ávidas de conocimiento. Los modelos probabilistas han sido una pieza fundamental en la manera en que los sistemas informáticos son entrenados y aprenden para mejorar su desempeño. Históricamente, lo accidental o aleatorio ha sido un espacio para la lucidez, la revelación de fenómenos fascinantes o la belleza inesperada. Confíemos, por tanto, en que el azar continúe inspirando interrogantes y soluciones creativas ante los retos que así lo requieran. ●





LA DIVERSIDAD MICROBIANA: UNA VENTANA AL MUNDO INVISIBLE A TRAVÉS DE LOS DATOS

Nelly Sélem Mojica
CENTRO DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, UNAM MORELIA

Vivimos en un planeta lleno de vida, pero la mayor parte de ella no se deja ver. No camina, no florece ni tiene ojos, y ha estado aquí mucho antes que nosotros. Durante siglos, la vida invisible permaneció fuera de nuestro alcance porque no teníamos las herramientas —ni el lenguaje— para descubrirla. El descubrimiento del mundo microbiano es una historia en la que números, distancias, modelos y patrones no son accesorios, sino protagonistas silenciosos; una historia en la que las matemáticas se vuelven inevitables para entender lo que no vemos.

Cuando pensamos en la vida, solemos imaginar animales, plantas y paisajes. Sin embargo, esa imagen representa sólo una fracción de la realidad. Bacterias, arqueas y hongos habitan todos los ambientes imaginables, desde los océanos profundos hasta nuestro propio cuerpo. La mayor diversidad biológica del plane-

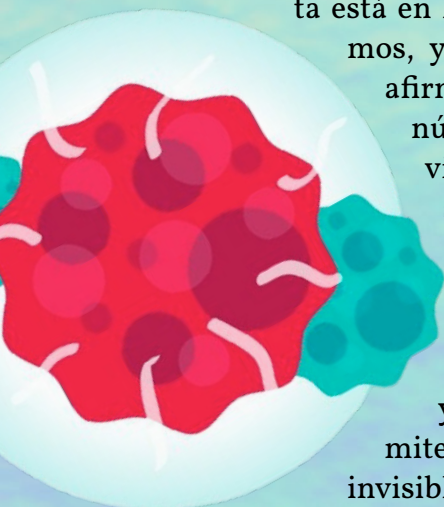
ta está en los microorganismos, y comprender esa afirmación requiere números: ¿cuánta vida hay?, ¿cómo se compara la presencia microbiana con la de animales y plantas? Contar y comparar permite dimensionar lo invisible y entender, por

ejemplo, que el número de microbios en el planeta supera al de las estrellas del universo observable. Los números revelan al mundo microbiano como uno de los grandes protagonistas de la historia de la vida.

La primera revolución en el estudio de los microorganismos ocurrió a finales del siglo XVII, cuando pudimos observarlos gracias al microscopio de Leeuwenhoek. La segunda llegó cuando aprendimos a compararlos: primero por sus características químicas y morfológicas y, más tarde, mediante la secuenciación. Desde la década de 1980, el ADN dejó de ser sólo una molécula y pudo estudiarse también como una secuencia, una cadena de letras susceptible de ser analizada.

Comparar secuencias implica medir semejanzas, agrupar organismos relacionados y construir árboles que representen sus relaciones evolutivas. Fue gracias a este enfoque que se descubrió un tercer dominio de la vida, Archaea, invisible no sólo al ojo humano, sino también a las clasificaciones tradicionales. Cambiar la forma de medir cambió la forma de entender la vida: cuantificar no sólo ordenó la diversidad microbiana, también la reveló. Hoy sabemos que nuestro cuerpo contiene cantidades comparables de microbios y células humanas, y que el número de genes aportados por nuestro

**Comparar ADN
permitió descubrir un
tercer dominio de la
vida: Archaea.**





La inteligencia artificial ya diseña proteínas que no existen en la naturaleza.

microbioma —alrededor de 3.3 millones— supera ampliamente al de nuestro genoma humano, que ronda los 23 mil.

Durante gran parte de la historia de la biología, los datos eran escasos; hoy ocurre lo contrario. La tecnología ha generado una avalancha de información: millones de genomas, billones de fragmentos de ADN y bases de datos que crecen de manera exponencial. Algo semejante ocurre en microscopía, biomedicina y prácticamente todas las ciencias de la vida: hay más datos de los que una persona podría revisar uno por uno. Para dar sentido a este océano de información, identificar patrones y hacer predicciones, recurrimos a herramientas que van desde la estadística hasta la inteligencia artificial.

Un ejemplo de este cambio es el Nobel de Química de 2024, que reconoció desarrollos relacionados con la predicción de estructuras de proteínas y el diseño computacional de nuevas proteínas. Durante décadas, determinar cómo una proteína adquiere su forma tridimensional fue un problema difícil de abordar; hoy, los modelos entrenados con enormes volúmenes de datos permiten hacer predicciones a una escala antes impensable. No se abandonó la biología: se aceptó que, a cierta escala, los patrones sólo emergen a través de la interdisciplina.

La microbiología comparativa no es un ejercicio abstracto; tiene consecuencias directas en la vida cotidiana. Gracias a ella podemos clasificar microbiomas asociados con la salud y la enfermedad y monitorear la evolución de patógenos emergentes. La identificación del SARS-CoV-2, por ejemplo, se apoyó en la comparación sistemática de genomas: los patrones de similitud permitieron distinguir el nuevo virus de otros patógenos respiratorios conocidos.

Recientemente han surgido modelos computacionales capaces de aprender el

“lenguaje” de las proteínas leyendo millones de secuencias conocidas, de manera semejante a como un modelo de lenguaje aprende patrones después de leer grandes cantidades de texto. A partir de patrones acumulados durante millones de años de evolución, estos modelos pueden proponer secuencias nuevas que no existen de forma natural y que, a la vez, pueden ser estables y funcionales. Un ejemplo es la creación, mediante un modelo generativo, de una proteína fluorescente de un tipo no observado previamente en la naturaleza. Este logro no surgió sólo del ensayo y error en el laboratorio, sino también del análisis de grandes volúmenes de datos.

El mundo invisible siempre ha estado ahí. Lo que ha cambiado es nuestra capacidad para describirlo. En la biología contemporánea, las matemáticas no son una herramienta opcional: son un lenguaje necesario para explorar una realidad que, aunque no se ve, sostiene la vida tal como la conocemos. ●

Referencias

Scaling laws predict global microbial diversity. PNAS, 2016.

Microbiology by numbers. Nature Reviews Microbiology, 2011.

Graham, F. “12 microbiome myths busted”. *Nature*, 2023.

Yong, E. *I Contain Multitudes: The Microbes Within Us.*

El Nobel de Química 2024 – Colegios Oficiales de Químicos de España.

Prediction of protein structure with a language model. *Science*, 2023.

Blog: <https://microbioblog.es/>

“Diversidad Microbiana a través de datos”: <https://www.youtube.com/watch?v=iICNbFZSYgc&t=12s>

“Microbiome: data-driven discoveries”: <https://www.youtube.com/watch?v=8bbd5nnnOnU>



LAS SUCESIONES DE LANGFORD EN EL ARTE CONTEMPORÁNEO

Raúl Ibáñez Torres

UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO/EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA

L

as matemáticas han estado presentes en el arte de maneras muy distintas. El diseñador, artista polifacético y educador suizo

Max Bill (1908-1994), figura central del arte concreto, escribió en su ensayo *El pensamiento matemático en el arte de nuestro tiempo* (1949) sobre una nueva concepción matemática del arte contemporáneo. Como punto de partida citaba al teórico del arte y pintor ruso Vasili Kandinsky, quien en *Sobre lo espiritual en el arte* (1910) había planteado las premisas de un arte en el que la concepción matemática tendría un papel central.

Aunque Kandinsky no desarrolló esta idea, posteriormente fue recogida por distintos movimientos artísticos abstractos, como el arte concreto, el minimalismo, la abstracción geométrica, el arte conceptual o el constructivismo británico. Temas como la geometría, los números primos, el número π , la razón áurea, la sucesión de Fibonacci, el infinito o los fractales han sido utilizados por artistas contemporáneos como Max Bill, Sol LeWitt, Esther Ferrer, Anni Albers, Vera Molnár o Ryoji Ikeda como herramientas para crear sus obras.

Un ejemplo particularmente interesante es el del artista concreto alemán Gerhard Hotter, quien emplea las sucesiones

Langford propuso en 1958 un acertijo para acomodar parejas de números.



Composición VII, obra de Vasili Kandinski (1913).

de Langford como base de su proceso creativo. Para entender cómo una sucesión de números puede determinar la organización de una pintura, conviene conocer primero el problema matemático que le dio origen.

En 1958, el matemático escocés Charles Dudley Langford (1905-1969) publicó

en la revista *Mathematical Gazette* el conocido como problema de los emparejamientos de Langford. Consiste en distribuir parejas de números, $1, 1, 2, 2, \dots, n, n$, siguiendo una regla: entre los dos números iguales debe haber exactamente tantos números como indica su valor. Entre los dos 1 habrá un número; entre los dos 2, dos; entre los dos 3, tres, y así sucesivamente. A una distribución que cumple

esta regla se le llama sucesión de Langford. Una solución para cuatro parejas es 41312432.

Langford encontró soluciones para algunos números de parejas, pero no para otros, y planteó entonces una pregunta general: ¿para qué valores de n existen estas sucesiones? El matemático inglés Roy O. Davies (1927-2023) resolvió la cuestión al año siguiente y demostró que existen cuando n es múltiplo de 4 o cuando, al dividirlo entre 4, queda un residuo de 3.

El problema fue popularizado en 1967 por el divulgador de las matemáticas estadounidense Martin Gardner, quien propuso buscar soluciones utilizando una baraja de cartas en su columna de juegos matemáticos de *Scientific American*. También señaló otra dificultad: determinar cuántas soluciones distintas existen para cada número de parejas. Algunas podían calcularse a mano, pero conforme aumentaba el número de elementos entraron en juego los ordenadores y los algoritmos. Se abría así un interesante problema dentro de la teoría de la computación.

Es esta estructura matemática la que Gerhard Hotter lleva al terreno artístico. Desde la década de 1990, su trabajo está ligado al arte concreto y utiliza las matemáticas, entre ellas el número π y las sucesiones de Langford, como una de sus principales herramientas de creación.

Hotter divide el espacio y crea ritmos utilizando estas sucesiones. Principalmente trabaja con 26 sucesiones de orden 8, de las 150 que existen, y cada una está asociada a una letra del alfabeto. De esta manera, los títulos de sus obras indican qué sucesiones ha utilizado. La pintura acrílica sobre lienzo *HYNFAL* (2012), por ejemplo, se construye a partir de seis

sucesiones correspondientes a las letras H, Y, N, F, A y L.

4	5	8	6	3	4	7	5	3	2	6	8	2	1	7	1
8	1	2	1	7	2	6	3	5	8	4	3	7	6	5	4
6	8	2	7	3	2	5	6	3	4	8	7	5	1	4	1
6	8	1	4	1	5	7	6	4	3	8	5	2	3	7	2
8	3	5	7	2	3	6	2	5	8	4	7	1	6	1	4
2	8	1	2	1	6	4	7	5	3	8	4	6	3	5	7

Figura 1: Las sucesiones de Langford de orden 8 que forman parte de la pintura *HYNFAL* (2012), de Gerhard Hotter

La Figura 1 muestra las seis sucesiones utilizadas en la obra. Cada fila corresponde a una de ellas y cada número determina el ancho de una de las bandas rectangulares. De este modo, los números establecen las proporciones y los distintos ritmos espaciales que después aparecen en la pintura.

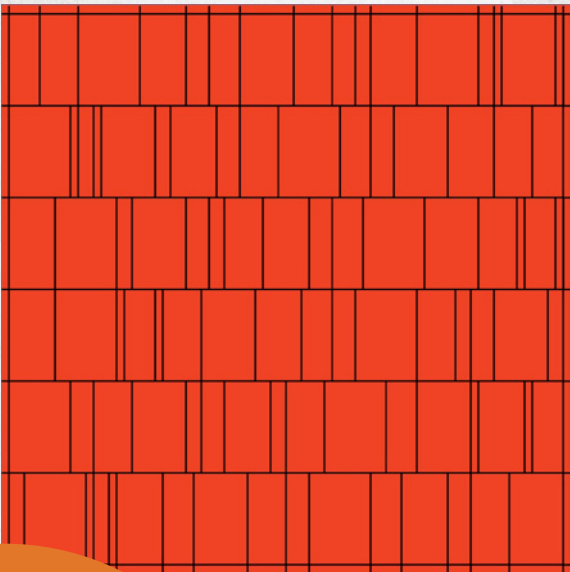


Figura 2: Reconstrucción digital de la pintura *HYNFAL* (2012), de Gerhard Hotter; 96 × 96 × 6 cm

El artista Gerhard Hotter usa esas sucesiones para componer sus pinturas.

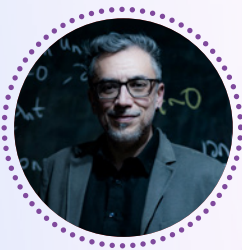
En la Figura 2 puede observarse el resultado. Los números ya no aparecen escritos, pero siguen presentes en la forma en que se distribuyen las bandas rectangulares. La suce-

sión matemática se convierte así en una estructura visual.

Hotter ha trabajado distintas variaciones estéticas de esta idea. En *DAFLOXIS* (2017) utiliza líneas inclinadas en lugar de horizontales para separar las filas; en *PUR* (2013), las sucesiones de Langford determinan los ritmos espaciales de las columnas. También tiene series en las que la forma del lienzo es triangular, cuadrada o pentagonal, y los espacios entre las líneas vuelven a estar determinados por sucesiones de Langford, como en *BLU* (2014), *EX* (2015) y *PENTA* (2017).

En estas obras, las matemáticas no aparecen simplemente representadas en el lienzo. Son parte del procedimiento con el que se decide cómo dividir el espacio, qué proporciones utilizar y qué ritmo tendrá la composición. Las sucesiones de Langford, nacidas como un problema matemático, adquieren así una nueva función: convertirse en una herramienta para la creación artística. ●





MATEMÁTICAS BAJO LA PIEL

Alberto Mercado Saucedo
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

No es raro haber usado alguna vez uno de esos aparatos que miden la composición corporal: basta con pararse descalzo sobre unas placas metálicas o sujetar unos electrodos con las manos para que aparezcan datos como nuestro porcentaje de grasa corporal. Parecen obtener esa información como por arte de magia y, además, sin ningún miramiento a nuestro amor propio. En realidad, no se trata de magia, sino de matemáticas.

Uno de los métodos más conocidos para observar el interior del cuerpo es la radiografía, esa imagen que asociamos de inmediato con nuestros huesos. Lo que vemos en blanco, negro y tonos de gris es una especie de sombra del interior del cuerpo, producida no por luz visible, sino por rayos X. Al atravesar el cuerpo, esos rayos pierden intensidad según los tejidos que encuentran, y esa variación puede

describirse con precisión mediante las matemáticas.

Fue el físico alemán Wilhelm Röntgen quien, en 1895, obtuvo la primera radiografía. La imagen correspondía a la mano de su esposa, Anna Bertha, y se cuenta que, al verla, exclamó: “¡Estoy viendo mi propia muerte!”. Por esos mismos años, el matemático austriaco Johann Radon trabajaba en un problema mucho más abstracto: cómo reconstruir un objeto a partir de mediciones hechas desde distintos ángulos.

Radon estudió una transformación matemática que reunía información obtenida desde varias direcciones y permitía reconstruir el objeto original. Décadas después se comprendió

que esa idea describía muy bien lo que ocurre cuando los rayos X atraviesan un cuerpo. Aquel trabajo, desarrollado sin una aplicación médica concreta, terminaría siendo una de las bases teóricas de la tomografía axial computarizada, la TAC.

Todas buscan deducir lo que hay dentro del cuerpo a partir de lo que se mide fuera.

Algo parecido ocurre con el ultrasonido, aunque aquí no se utilizan rayos X, sino sonido: ondas de una frecuencia tan alta que el oído humano no puede percibir las. Viajan por el interior del cuerpo y se reflejan de manera distinta según los órganos y tejidos que atraviesan. El aparato registra los ecos que regresan y, al analizar cuánto tardan en volver y con qué intensidad lo hacen, puede reconstruir algunas estructuras internas. El principio es semejante al que utilizan los murciélagos para orientarse en la oscuridad.

La ecuación de ondas describe cómo se propaga una vibración a través de un medio y relaciona las señales que regresan



con las estructuras por las que pasaron. Aquí aparece una idea que se repite en varias técnicas de imagen médica: a partir de lo que podemos medir desde fuera, intentamos deducir qué ocurre dentro. A este tipo de preguntas se les conoce como problemas inversos. La ecuación se conoce desde el siglo XVIII; hacia los años cincuenta, el ultrasonido ya se utilizaba en ecografías médicas.

La resonancia magnética funciona de otra manera, no utiliza rayos X ni ondas sonoras, sino campos electromagnéticos muy intensos. Sus máquinas funcionan, en esencia, como enormes imanes, además de bastante ruidosos, como saben quienes se han sometido a este procedimiento o han acompañado a algún familiar.

Estos campos interactúan con los núcleos de ciertos átomos presentes en el cuerpo, en particular con los del hidrógeno contenido en el agua de nuestros tejidos. Cuando vuelven a su estado inicial, emiten señales que el aparato registra y procesa para formar una imagen. Aquí interviene la transformada de Fourier, desarrollada a comienzos del siglo XIX, que permite separar una señal compleja en componentes más simples y, a partir de ellas, reconstruir imágenes.

Volvamos al aparato mencionado al inicio. Tampoco allí ocurre ningún acto de magia. El dispositivo hace pasar una corriente eléctrica muy débil a través del cuerpo y mide cómo responde, pues no todos nuestros tejidos conducen la electricidad de la misma manera: el músculo, por ejemplo, tiene propiedades distintas a las de la grasa. El aparato combina esa información con datos como edad, peso o esta-

tura para estimar el porcentaje de grasa corporal. Naturalmente, se trata de una aproximación.

Pero detrás de esa medición aparece una pregunta más ambiciosa: si podemos medir cómo se propaga la electricidad a través del cuerpo, ¿sería posible saber cómo está distribuida la conductividad en su interior? Si eso fuera posible, podríamos distinguir distintos tipos de tejidos, detectar anomalías e incluso identificar la presencia de tumores; es decir, obtener información del interior del cuerpo utilizando únicamente corrientes eléctricas muy débiles.

La dificultad es que la corriente no atraviesa nuestro cuerpo como si viajara por un alambre. Se distribuye en distintas direcciones y sigue caminos que dependen de los tejidos que encuentra, de modo que

el reto consiste en partir de mediciones hechas en la superficie e intentar reconstruir lo que sucede en el interior.

Esta pregunta fue formulada de manera sistemática por el matemático argentino Alberto Pedro Calderón. En los años cuarenta del siglo XX, mientras trabajaba en un laboratorio de la empresa petrolera estatal de su país, se interesó en determinar la conductividad de un cuerpo a partir de mediciones hechas en su superficie. De ese trabajo surgió lo que hoy se conoce como el problema de Calderón.

La técnica médica basada en esta idea se conoce como tomografía de impedancia eléctrica. Aún se encuentra en desarrollo y su uso clínico ha sido limitado, pero ofrece una posibilidad interesante: obtener imágenes del interior del cuerpo mediante corrientes eléctricas muy débiles y con equipos relativamente simples.

Si algún día estos métodos se vuelven de uso cotidiano, quizá recordemos que detrás de aquel pequeño aparato que mide nuestra grasa corporal no sólo hay electrónica, sino también una larga historia de ideas matemáticas, muchas desarrolladas mucho antes de que alguien imaginara su aplicación médica y que, con el tiempo, encontraron una forma de ayudarnos a mirar dentro del cuerpo y, en algunos casos, a salvar vidas. ●

El problema de Calderón abre la puerta a imágenes con corrientes eléctricas muy débiles.





SI TIENE UN BOTÓN, ES CONTROL...

Luz de Teresa
INSTITUTO DE MATEMÁTICAS, UNAM



El ser humano se ha caracterizado por modificar su entorno, para bien o para mal. En la Edad Media, por ejemplo, se construían pequeños autómatas que, al darles cuerda, caminaban. Los mecanismos se encontraban dentro de los ropajes colocados sobre muñecos de madera y servían para convencer a la población de que el santo representado tenía muchísimo poder o, simplemente, para que el rico señor feudal o príncipe disfrutara de semejante prodigio.

En la actualidad, esto no nos sorprendería, pues vivimos en una sociedad muy tecnologizada. Sin embargo, esta tecnología incorpora innumerables mecanismos de control que permiten que los objetos cumplan con los objetivos para los que fueron diseñados.

La teoría del control, de manera más establecida, surge con fuerza durante la Revolución Industrial. Uno de los meca-

nismos de control más importantes fue, sin duda, el regulador de Watt. Este artilugio es como un péndulo con dos masas, suspendidas por dos brazos articulados, que libera vapor cuando es necesario y evita explosiones. Como bien ilustra este ejemplo, el control, en sus orígenes, era un tema al que se dedicaban principalmente los ingenieros. Muchos de estos objetos se desarrollaron sin necesidad de matemáticas, hasta que los sistemas empezaron a ser más complejos y un error podía, por ejemplo, provocar una explosión y la pérdida de vidas.

La teoría matemática del control surge cuando se busca modificar el comportamiento de un sistema modelado mediante ecuaciones. En este sistema podemos aplicar un esfuerzo, llamado entrada o control, para modificar su comportamiento. Esto puede ser la dosis de un medicamento, la quimioterapia o encender o apagar un aire acondicionado.

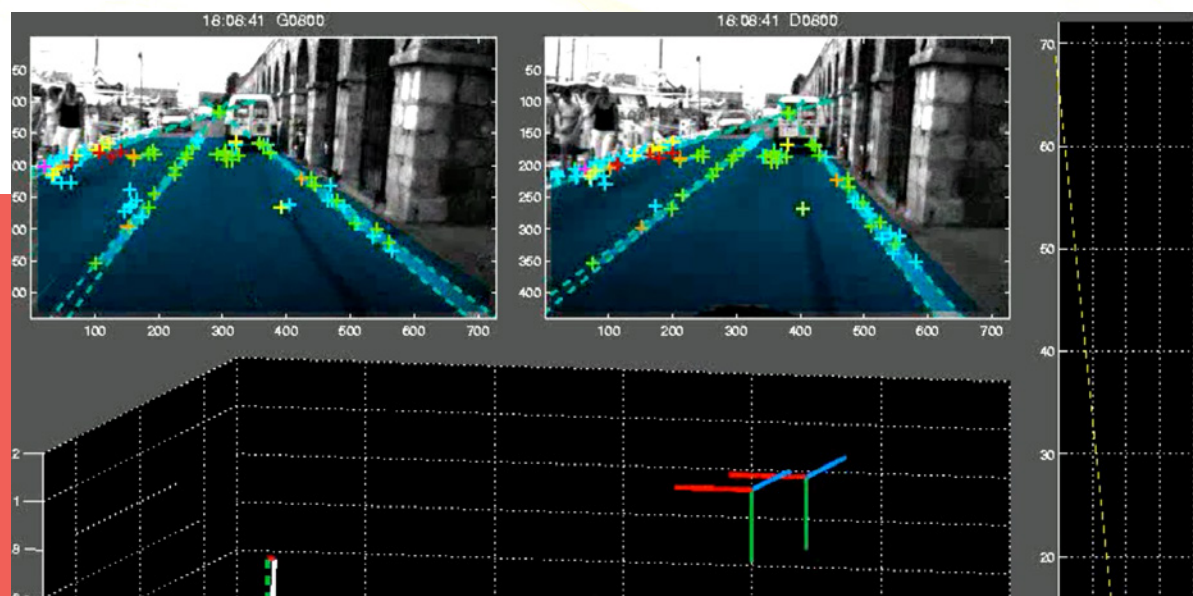
Muchos me dirán que, con el avance de la tecnología y el aumento de la capaci-

dad de las computadoras cuánticas, basta con hacer unas simulaciones y listo. Esto es, en parte, verdad. Sin embargo, hay procesos computacionales que, aún hoy en día, llevan muchísimo tiempo, y esto tiene un costo tanto ecológico como monetario. ¡Mantener las computadoras a la temperatura ideal ya es, en sí mismo, un complejo problema de control!

También hay que señalar que en las simulaciones numéricas surgen, a veces, comportamientos que el modelo natural no presenta. Es importante, entonces, entender bien los modelos, y esto pasa por un análisis matemático detallado.

En este siglo vemos que en algunos países ya existen taxis sin conductor, lo que conocemos como manejo autónomo de autos. En este tipo de conducción pueden verse con claridad varios objetivos del control.

El primero es determinar si es posible llegar del punto de partida al destino



**Los autos autónomos
combinan control
exacto, óptimo y
seguimiento de
trayectorias.**

en coche. Pongamos que queremos ir de Tlaquepaque a la catedral en Guadalajara, Jalisco. La primera pregunta que debemos hacernos es si existe una ruta para ir en coche de un lugar a otro. Si mi pregunta hubiese sido ir en coche de la CDMX a Nairobi, Kenia, la respuesta habría sido que no es posible.

Después de saber que la respuesta es positiva, podemos preguntarnos cuál es el camino más corto o cuál es el más rápido. Si no hubiera tráfico, ambos recorridos coincidirían, pero con los embotellamientos debemos elegir qué es lo que queremos optimizar: tiempo o distancia.

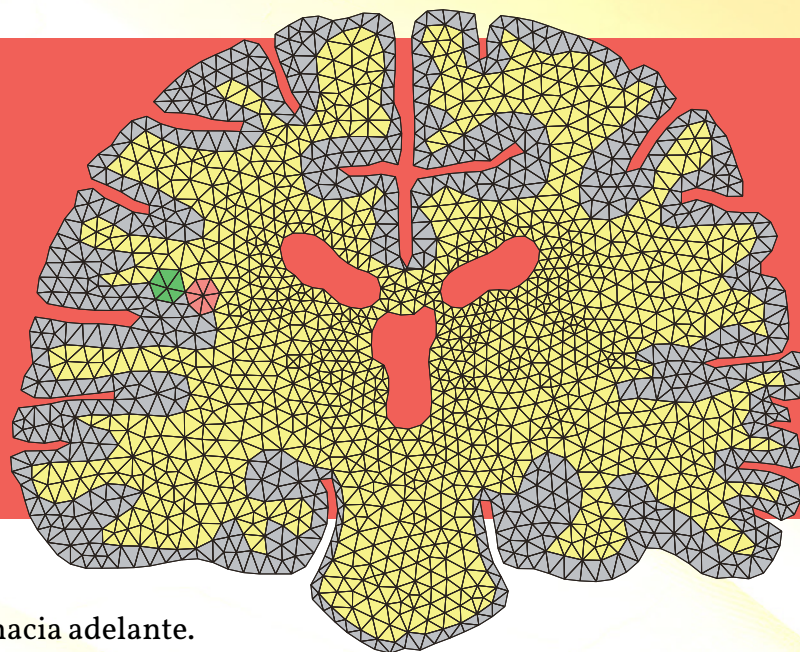
Con esta elección hecha, debemos pedirle al automóvil que siga la ruta que hemos prefijado, o que se mueva de acuerdo con el tráfico. Esto se conoce como seguimiento de trayectorias. Claro, lo que pedimos es que el auto recorra el camino establecido con la mayor precisión posible, pero evitando a un peatón, un bulto en la carretera, un bache, etcétera.

En este ejemplo hemos visto varios conceptos:

- a) Control exacto: ir del punto A al punto B.
- b) Control óptimo: minimizar el tiempo o la distancia. Es lo que normalmente llamamos minimizar un *costo*. Este objetivo podría ser maximizar una ganancia o un rendimiento.... Se llama óptimo, pues *optimiza*.
- c) Control a trayectorias: seguir un camino preestablecido, lo más cercano posible a él.

Y, relacionado con los coches, hay un problema de control súper interesante: estacionar un carro. Todos los que manejamos sabemos que es uno de los aspectos más complicados de la conducción. Tenemos, esencialmente, dos controles: el giro de las llantas, sólo las delanteras, que no se pueden poner perpendiculares al auto,

La teoría
del control
permite que
una máquina
haga lo que
queremos.



y la velocidad, hacia atrás y hacia adelante.

Los conductores sabemos que, si empezamos mal, hay que salirse e intentarlo desde cero... En la actualidad ya hay robots, plataformas con ruedas, que estacionan coches con total precisión. Para lograr eso ha hecho falta un buen modelo matemático, resolver el problema de control y ponerlo en la computadora. ¡Matemáticas, matemáticas y más matemáticas!

Desde luego, hay otros conceptos de control que no están descritos aquí. Un bonito ejemplo es el *control geométrico*: dar

una forma específica a un objeto para mejorar su desempeño. Un ejemplo fácil de ver es la forma de un automóvil. Si observamos los coches actuales en la calle, casi todos tienen una forma bastante similar, salvo los muy caros o los de carreras. ¿Se han preguntado a qué se debe esto? Una de las respuestas es que estas formas garantizan una muy buena estabilidad, a la vez que reducen el peso del vehículo.

Con el desarrollo acelerado de la tecnología surgen nuevos modelos, cada vez más complejos, que debemos entender. Requerimos técnicas matemáticas nuevas que nos ayuden a responder las preguntas que nos formulamos: entender los modelos, buscar soluciones teóricas, ofrecer soluciones numéricas, siempre aproximadas, y obtener información cuantitativa y cualitativa sobre el control.

Las matemáticas se verán cada vez más influidas por esta tendencia hacia la complejidad y la multidisciplinariedad, y aumentará su importancia en áreas como las neurociencias, las ciencias sociales y hasta la cocina.

¡Hay mucho por hacer! Para apretar un botón y obtener lo que queremos, el camino es intrincado. Necesitamos mentes nuevas capaces de enfrentar estos desafíos con una óptica renovada. ●





EL MUSEO VIRTUAL DE MATEMÁTICAS



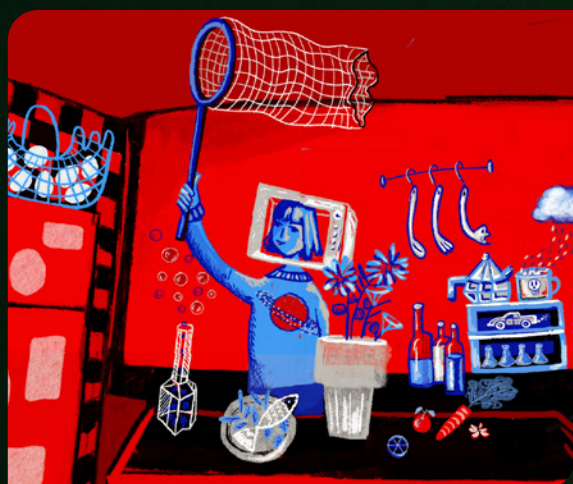
Aubin Arroyo
UNIDAD CUERNAVACA DEL
INSTITUTO DE MATEMÁTICAS,
UNAM



Renato Iturriaga
CENTRO DE INVESTIGACION
EN MATEMÁTICAS

En las últimas décadas hemos presenciado cómo disciplinas como la astronomía lograron despertar una fascinación colectiva indiscutible. Una generación marcada por Carl Sagan y sus relatos cósmicos convirtió a los planetas, cometas y galaxias en parte del imaginario común. Las matemáticas, a pesar de su innegable utilidad en el mundo actual, no suelen ofrecer fotografías espectaculares de cometas ni fósiles de dinosaurios capaces de alimentar el imaginario matemático colectivo.

Lo que sí abunda en las matemáticas son las ideas. Abstractas, sí, pero con ellas podemos hacer tanto: construir máquinas que vuelan, anticipar fenómenos que aún no ocurren. Nos permiten entender y clasificar no solo todo el universo que nos rodea, sino también las formas en que pensamos esas mismas ideas, y con ello, a las propias matemáticas.



El problema es que esas ideas rara vez se nos muestran en su forma más inspiradora. En la escuela, con frecuencia, las matemáticas se reducen a una actividad mecánica y tediosa, donde una y otra vez se nos recuerda que estamos equivocados por no llegar a la respuesta correcta. Pocas veces, en cambio, se nos invita a explorar o a dejarnos sorprender. Así, las matemáticas terminan por parecer áridas, difíciles y ajenas; pero detrás de esa apariencia guardan algo más que es urgente transmitir.

También tenemos hoy, y de manera cada vez más extendida, teléfonos, tabletas y computadoras: dispositivos que realizan incontables operaciones matemáticas silenciosamente, siempre al alcance de la mano y a cualquier hora del día.

El Museo Virtual de Matemáticas nace justamente de esa urgencia y de esa posibilidad: aprovechar los medios electrónicos para transmitir y difundir contenidos matemáticos de forma amena y accesible. Pero el reto no termina ahí. No se trata solo de mostrar aplicaciones o resolver ejercicios en pantalla, sino de crear una plataforma interactiva capaz de despertar el placer de la búsqueda y la curiosidad, dos ingredientes fundamentales del pensamiento matemático.

Los nombres de las cinco salas del museo son singulares: *La Cocina*, *La Cabi-*



na, *El Tiempo*,
El Hormiguero y *El*
Airemar. Cada una

es un espacio esférico que combina un com-

ponente estético y un componente matemático. En el interior de estas esferas, quien las visita se encuentra rodeado por las cautivantes ilustraciones anamórficas de Casandra Sabag, proyectadas sobre las paredes curvas de cada sala. Allí se ocultan veinte historias que recorren distintos territorios matemáticos: números primos, geometría, nudos salvajes, ecuaciones algebraicas, entre muchos otros. Conceptos como el infinito, la dimensión o el caos se entrelazan en este recorrido, ofreciendo al visitante múltiples puertas de entrada a las matemáticas.

La experiencia no es únicamente contemplativa. En las ilustraciones se esconden más de ciento cincuenta interacciones: algunas informativas, otras pensadas para la contemplación (como ocurre en

un museo tradicional) y muchas otras de carácter interactivo. Estas últimas son aplicaciones diseñadas como pequeños laboratorios digitales, dispositivos que provocan experiencias significativas. Pueden ser juegos, sí, pero son juegos donde la lógica y el razonamiento matemático son protagonistas.

Para muestra, un botón: la “Calculadora Musical de Precisión Infinita”. A primera vista parece una calculadora ordinaria, pero tiene dos diferencias importantes. La primera es que sus resultados no están limitados a ocho dígitos, como en una calculadora común, sino que pueden extenderse a una cantidad arbitraria: mil, por defecto. La segunda es que a cada dígito se le asigna una nota musical (en la escala del blues), salvo al “0”, que se convierte en un silencio. Así, cada vez que un número aparece en la pantalla, lo hace también como un sonido.

El oído, más entrenado que la vista para reconocer patrones largos, descubre entonces regularidades que los ojos rara vez perciben. El ejemplo clásico de 1 dividido entre 3 produce una secuencia sencilla y previsible. Pero al calcular $1/7$ o $1/19$, el oído se sorprende al reconocer los patrones ocultos.

La calculadora está pensada especialmente para trabajar con fracciones: los números racionales cuya expresión decimal, en base 10, se repite indefinidamente. Más allá de realizar las operaciones estándar, abre la puerta a explorar las repeticiones ocultas en los quebrados. Así, al dividir 1 entre 9801 se obtiene 0.00010203... y, si observamos —¿debería decir escuchamos?— sus primeros 200 dígitos, aparecen todos los números del 00 al 99, en orden, salvo el 98, cuya ausencia se con-

vierte en una pregunta natural, aunque **su respuesta no sea elemental**. Del mismo modo, al dividir 9801 entre 9999, el patrón repetitivo es justamente 9801. De hecho, cualquier número de cuatro dígitos se repite al dividirlo entre 9999. Pero, ¿qué ocurre si en lugar de 9999 dividimos entre 9998? Hay que escucharlo.

Con este simple dispositivo, la aritmética elemental se transforma en un espacio de juego y descubrimiento, donde cada operación provoca curiosidad y abre la puerta a nuevas preguntas.

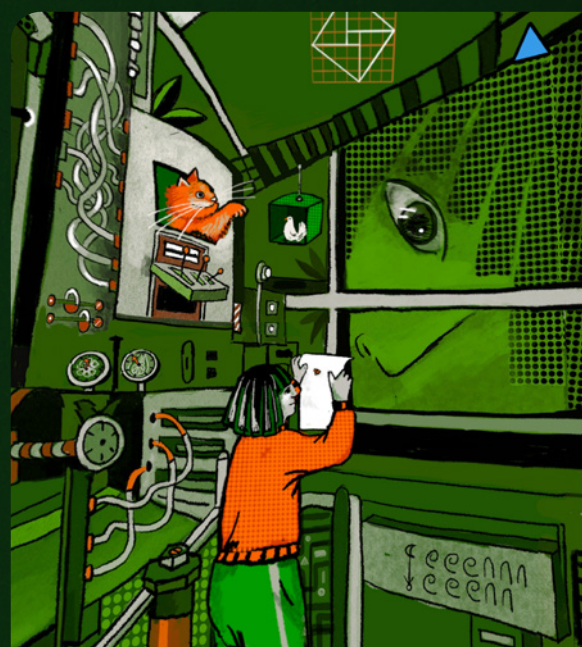
Recorrer el Museo Virtual de Matemáticas requiere tiempo y atención, en contraste con la inmediatez que caracteriza a la mayoría de las experiencias digitales. Como parte de un reto lúdico, se invita a los visitantes a descubrir más de 150 interacciones ocultas en las ilustraciones —una especie de ¿Dónde está Wally? matemático— que solo se revelan al mirar con calma y explorar a fondo. No todas están disponibles desde el inicio: las historias se



despliegan poco a poco, habilitando nuevas secciones solo después de haber recorrido las anteriores.

El museo no busca reemplazar la escuela ni convertirse en un aula paralela. Su propósito es ofrecer una experiencia significativa que complemente el aprendizaje formal. Sus metas son claras: asombrar, sorprender, pero también ayudar transformar la percepción que los visitantes tienen sobre las matemáticas y fomentar curiosidad y receptividad cuando los estudiantes regresen al aula.

El museo crece, se expande y seguirá transformándose con la participación de quienes se sumen. El Museo Virtual de Matemáticas, inaugurado en agosto de 2024 por la Sociedad Matemática Mexicana, es un proyecto vivo y en expansión. No está terminado: es una invitación abierta a descubrir, explorar y dejarse sorprender.



Lo mejor es no quedarse en la puerta, sino entrar **hasta la cocina** y recorrer sus salas. 🍷



m u m a t . m a t c u e r . u n a m . m x .

LA PROFUNDIDAD DE LAS MATEMÁTICAS: ANDRÉS NAVAS

Por: Aubin Arroyo, Lourdes Hernández Fuentes y Renato Iturriaga

¿Cómo surge tu primer libro de divulgación?

Por un accidente. En 2014, Artur Ávila gana la medalla Fields. Y recibo un correo desde el CONICYT de Chile, pidiendo un reporte sobre su participación en un congreso que ellos habían financiado. Recuerdo que me sentí un poquito acorralado, pues Artur no había podido venir.

¿Tenía que hacer un reporte científico diciendo que no había podido venir? A mí siempre me ha gustado escribir. Resolví, entonces, tratar de convencerlos de que lo que ellos querían no era un reporte técnico, sino más bien una nota de prensa. Y empecé a inventar un relato a partir de historias reales, que yo conocía.

“Artur no pudo venir, pero ha estado dos veces en Chile. La primera vez fue en una Olimpiada Iberoamericana de Matemáticas, en el año 1995. Para esa olimpiada le pedimos a José Balme, un gran pintor chileno, que hiciera el afiche. Y lo hizo. Lamentablemente, ese cuadro se lo robaron y hasta el día de hoy está desaparecido”.

Escribí un montón de historias así en la nota. La envié y lo que pasó entonces



fue, “mágico”. Salí de mi oficina, un poquito nervioso, porque no sabía en qué iba a terminar ese asunto. Cuando vuelvo más tarde a mi oficina me encuentro un email directo de la presidenta del CONICYT. Me escribe así, muy coloquialmente: “muy bonito tu relato, Andrés, lo despachamos a El Mostrador”. El Mostrador es el diario electrónico más leído en Chile. Abro el diario y ya estaba publicado. No puede ser, ¿qué está pasando acá?

Pero me quedé más tranquilo. Pensé que había salido de mi problema, que era lo que importaba en el momento.

Estoy hablando del año 2014, en esa época, en la prensa en Chile no había casi

nada de ciencia, y yo, de repente, tenía un artículo publicado en un diario de gran alcance. En esa época El Mostrador tenía un contador de visitas para cada artículo. Y vi que el contador empezaba a subir. Llegamos rápidamente a las miles de visitas, yo estaba sorprendido. Una semana después, fui a conversar con la gente de El Mostrador y les dije, bueno, ya que publicaron esto, y anduvo bien, ¿qué tal si nos embarcamos en la aventura de publicar notas de matemáticas? Y lo aceptaron: veamos qué resulta, me dijeron. Y así empezó.

¿Cómo describirías la relación cultural que nuestras sociedades tienen con las matemáticas más allá del ámbito escolar?

Un problema grave es que, para la mayoría de las personas, la única relación con la matemática es la escolar. Se quedaron clavadas ahí, en esa percepción y en una suerte de sentimiento generado por la re-

Hay matemáticas donde menos las esperamos: en un balón de fútbol por ejemplo.

lación específica que hayan tenido con la matemática en la escuela. Eso, digamos, es una primera traba. La gente cree, en general, que la matemática es algo que no es. Nosotros, como matemáticos, sabemos que la matemática es algo mucho más extenso, hermoso y apasionante que lo que quedó plasmado en la escuela.

Es allí donde, por ejemplo, iniciativas como el Museo Virtual de Matemáticas o como el Festival de Matemáticas, ayudan a romper un poco ese hielo que se produce al tratar de comunicar las matemáticas.

Ahora, para la gente que ya tiene una relación con la matemática más allá de la escuela, gente que busca contenidos, tenemos otro problema con la manera en que hemos ido focalizando esos contenidos. De alguna manera, hemos tratado de hacer pasar los contenidos que hemos visto que funcionan, por encima de los que realmente queremos hacer pasar.

A veces, a mí no me gusta tratar de caer demasiado en lo “matemáticamente entretenido”, simplemente porque eso ha funcionado. Nosotros, como matemáticos, sabemos que lo que queremos transmitir, al final de cuentas, es alguna idea matemáticamente profunda, que es la savia de la matemática, el meollo, la idea. Aquello minimalista que hace funcionar al mundo.

Y a mí, particularmente, me gusta transmitir el hecho de que la esencia misma de la matemática son las ideas y que hay que escarbar un poco para llegar a esa pequeña esencia.

En la divulgación contemporánea, a veces se privilegia el acceso inmediato y lo lúdico. ¿Existe el riesgo de transmitir que las matemáticas son, en el fondo, fáciles?

Se corre un poco ese riesgo, sí. En realidad, quieres decir lo contrario: las matemáticas son complicadas. La matemática tiene su ritmo y es lento. Por supuesto, hay gente

que es más rápida en asimilarla. Hay una idea de Gromov que me parece muy adecuada: la matemática no trata de rapidez, trata de profundidad.

Y no importa si tú no conoces mucha matemática; pero si conoces bien una idea y la atesoras, la acaricias, la modificas y la trabajas... eso es llegar a la esencia misma

Para muchos, su única relación con las matemáticas es la escuela, y ahí comienza el rechazo.



de la matemática. Y creo que un problema cultural de la época en que estamos viviendo es que tratamos de acelerarlo todo. Pero, lamentablemente, los procesos mentales de comprensión no se aceleran.

La matemática es una carrera de largo aliento, al final de cuentas. Y en esta carrera, quienes más perduran no son los mejores ni los más rápidos, sino los que tienen más resistencia. Y es en esa resistencia donde uno ve un sentimiento genuino de amor a las matemáticas

Se suele decir que las matemáticas están en todas partes, pero más allá del lugar común, ¿cómo entiendes tú esa afirmación?

¡Están en todas partes! Yo le digo a los niños: “ustedes abrieron el teléfono, pusieron su clave, ahí está encriptado, números primos, etcétera”. Y todas esas historias que nosotros sabemos súper bien.

Este año celebramos el Mundial de Fútbol y yo estaba preparando una charla para profesores del Campeonato Escolar de Matemáticas, hablaba de la geometría de los balones deportivos y, encontré una frase del escritor francés Albert Camus. Pero, ¿qué tiene que ver Camus con el fútbol? Él fue futbolista amateur y escribió un artículo muy lindo que se llama “Lo que le debo al fútbol”. Lo escribió para una revista de deportes.

En él hay frases muy notables, por ejemplo, la famosa frase: “*Todo cuanto sé con mayor certeza sobre la moral y las obligaciones de los hombres, se lo debo al fútbol*”. Pero hay una que me encanta, que dice: la matemática, perdón, “*la pelota nunca viene hacia uno por donde uno espera que venga*”. Y creo que ahí hay un elemento sorpresa. Hay matemática donde tú no la esperas. Hay matemática donde tú no crees que hay. ●



MATEMÁTICAS, IMAGEN Y RELATO: CASANDRA SABAG HILLEN

Por Obsidiana Digital

Es doctora en Letras Modernas por la IBERO, artista visual y antropóloga. Su trayectoria cruza disciplinas y lenguajes, pero desde el principio tuvo claro que lo suyo era el arte. Estudió licenciatura y maestría en Artes Visuales en la UNAM y, llevada por una curiosidad que parece acompañar siempre su trabajo, cursó también una maestría en Antropología Visual en Ecuador.

Cassandra observa, pregunta e investiga. Su práctica artística parte muchas veces de esa disposición a escuchar: a las personas con las que trabaja, a lo que cada tema le va revelando y al propio medio con el que decide contar. Trabaja con imágenes, textos, objetos, video, diseño y medios digitales; cambia de lenguaje según lo que quiere explorar. En sus proyectos, la creación y la investigación suelen caminar juntas: una idea puede convertirse en documental, instalación, plataforma interactiva o relato visual.

Ha trabajado en colectivos y en gestión cultural, y ha desarrollado proyectos de investigación audiovisual, documental y transmedia. Entre 2006 y 2008 fundó el colectivo Los últimos pintores y organizó tres festivales de arte independiente en el Centro Histórico de la Ciu-

dad de México. Forma parte también del **Sindicato Audiovisual** (<https://sindicatoaudiovisual.com>), colectivo dedicado a proyectos que articulan arte, antropología visual, educación y nuevas tecnologías.

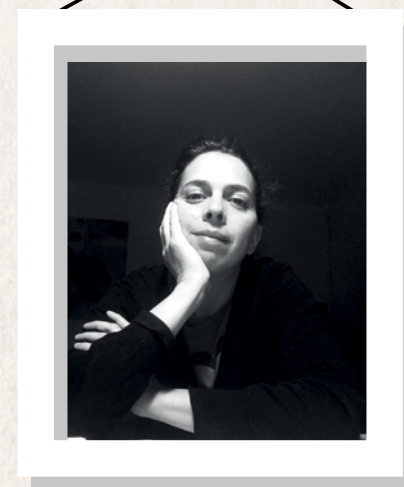
Su curiosidad la ha llevado a explorar temas muy distintos: los saberes sobre las plantas, el cuerpo y la salud; la literatura, la traducción y las múltiples formas en que una

misma historia puede ser interpretada. Para Cassandra, crear parece ser también una manera de investigar y de traducir una idea a otro lenguaje.

Esa sensibilidad está presente en el **Museo Virtual de Matemáticas** (<https://mumat.matcuer.unam.mx/>), cuyo

universo visual y narrativo construyó a partir de su manera de imaginar las matemáticas: un mundo exuberante, lleno de objetos, personajes, detalles y pequeñas sorpresas. Allí también aparece algo muy suyo: la capacidad de escuchar una idea, interpretarla desde su sensibilidad y devolverla transformada en imágenes. ●

La supermáquina
no está solo en los
laboratorios.



La copia y la réplica 3,



casandra
sabag
hillen



Musa siendo rodeada por un mapa,
2016. Óleo sobre tela, 75 × 75 cm.



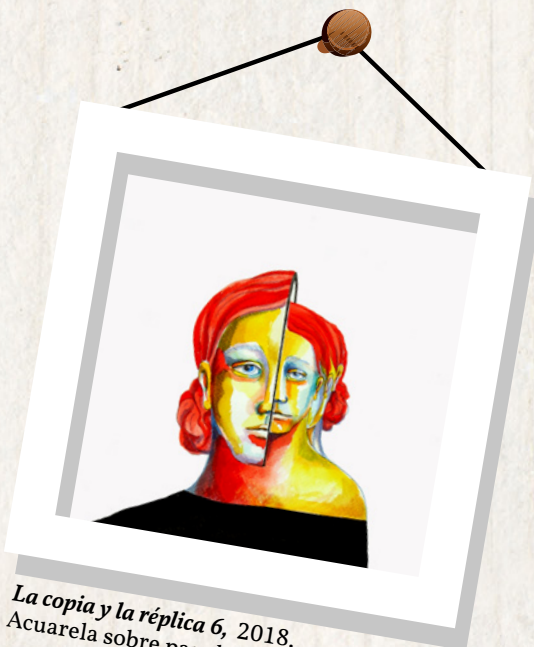
Moby Dick 8, 2024. Cerámica y latón.



La copia y la réplica 1, 2018. Acuarela sobre papel.



2018. Acuarela sobre papel.



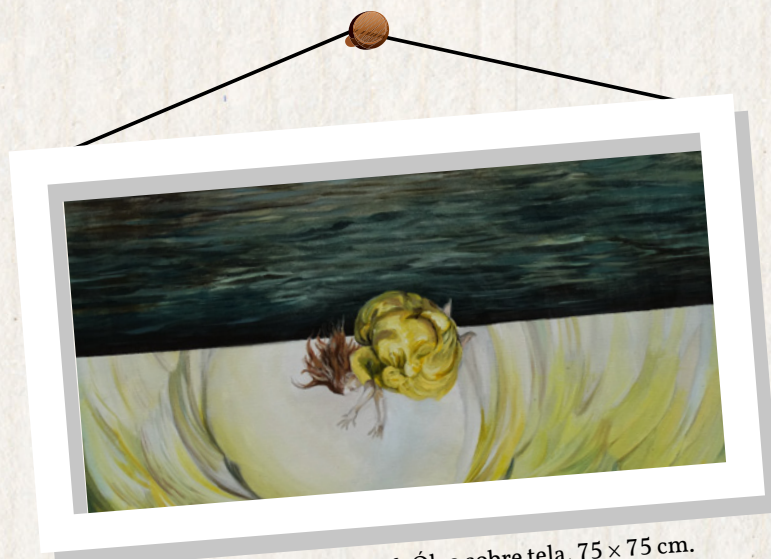
La copia y la réplica 6, 2018.
Acuarela sobre papel.



*Musas decidiendo si eres o no capaz de
sostener aquello,* 2016. Tríptico. Óleo sobre
tela, 150 × 40 cm.

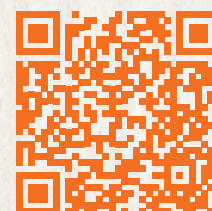


Antígona en Quito, 2013. Xilografía.



Musa girando hacia el mapa, 2016. Óleo sobre tela, 75 × 75 cm.

Descubre más de su arte en:



IVETE SÁNCHEZ BRAVO: ENTRE MODELOS, DATOS Y DECISIONES

Por Obsidiana Digital

Cuando una organización decide incorporar inteligencia artificial, las preguntas no terminan en si el sistema funciona o qué tan preciso es. También hay que decidir con qué información trabajará, qué riesgos implica, quién supervisa sus resultados y qué responsabilidad asume la organización cuando esa tecnología interviene en una decisión. Ese es uno de los temas en los que hoy trabaja Ivete Sánchez Bravo.

Su formación comenzó en la ingeniería. Estudió Sistemas Computacionales en el Instituto Politécnico Nacional y después cursó la Maestría en Ciencias de la Computación y Matemáticas Industriales en el Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT).



Foro Forbes IA: Estos son los líderes de la inteligencia artificial en México. Foto: Oswaldo Ramírez | Forbes México

Actualmente realiza un doctorado en Administración con enfoque en innovación en la Universidad Iberoamericana León. A lo largo de más de dos décadas, su trabajo ha pasado por las matemáticas aplicadas, el cómputo científico, la optimización y la inteligencia artificial.

En el CIMAT participó en proyectos orientados a resolver problemas mediante modelación, optimización, aprendizaje de máquina y otras herramientas computacionales. Más adelante asumió responsabilidades de gestión y vinculación: dirigió la Coordinación de Servicios Tecnológicos y fue gerente del Consorcio de Inteligencia Artificial del CONAHCyT, integrado por ocho centros públicos de investigación. Ahí, además del desarrollo técnico, formó parte de proyectos en los que la investigación debía res-

ponder a necesidades concretas de instituciones y empresas.

Su experiencia también incluye el sector privado. En Prolec-General Electric trabajó en el desarrollo de plataformas de optimización y ha tenido experiencia en telecomunicaciones. Ese recorrido entre investigación, industria y gestión ayuda a explicar el enfoque que ha tomado su trabajo en los últimos años: la inteligencia artificial responsable y, en particular, la manera de llevar principios éticos y criterios de gobernanza a la operación cotidiana de las organizaciones.

En ese terreno, las preguntas son muy concretas. ¿Cómo se adopta un sistema de inteligencia artificial? ¿Qué riesgos deben evaluarse antes de utilizarlo? ¿Quién revisa sus resultados? ¿Qué reglas deben existir cuando interviene en

Una práctica de laboratorio bastó para convertir la curiosidad en vocación.



procesos que afectan a otras personas? Su interés está en convertir esas preguntas en procedimientos, responsabilidades y criterios de decisión, y no dejarlas únicamente en declaraciones generales sobre ética.

Otra parte constante de su trabajo ha sido la participación de las mujeres en ciencia y tecnología. Es embajadora en México de *Women in AI* y ha colaborado con *Women in Data Science*, de la Universidad de Stanford, y *Women Techmakers*. Su participación en estas comunidades se ha orientado a ampliar redes de colaboración y espacios de formación para mujeres en áreas relacionadas con datos, matemáticas e inteligencia artificial.



Entre 2024 y 2026 fue Secretaria de Vinculación de la Sociedad Matemática Mexicana y representó a México en la Junta Directiva del *International Council for Industrial and Applied Mathematics*. En 2023, *Forbes México* y *Minsait* la incluyeron entre 20 líderes en inteligencia artificial en México, y recibió el *Women in AI Awards North America*.

Hoy, buena parte de su trabajo se concentra en un problema que acompaña el crecimiento de la inteligencia artificial: cómo pasar de principios generales a decisiones concretas dentro de las organizaciones. En esa discusión confluyen las distintas etapas de su carrera, desde los modelos matemáticos y la optimización hasta la gestión, la vinculación y la gobernanza tecnológica. ●

Una práctica de laboratorio bastó para convertir la curiosidad en vocación.





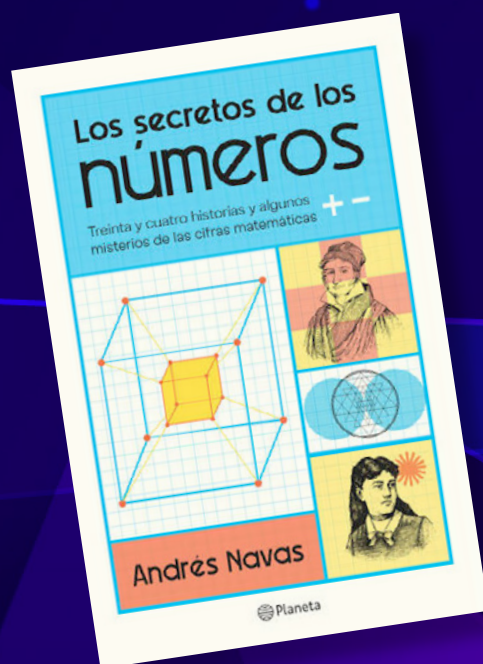
CÓRTEX

TEO LÓPEZ PUCCIO

Teo es matemático, músico y actor, y esa mezcla se le nota muchísimo. En su canal habla de paradojas, el infinito o juegos de lógica, pero lo bueno es cómo lo hace. En lugar de darte una clase, te plantea un problema que de entrada suena fácil y te va guiando mientras intentas resolverlo con él. Es literalmente como cuando un amigo encuentra un buen acertijo, te lo pone enfrente y espera a ver qué haces.



LOS SECRETOS DE LOS NÚMEROS



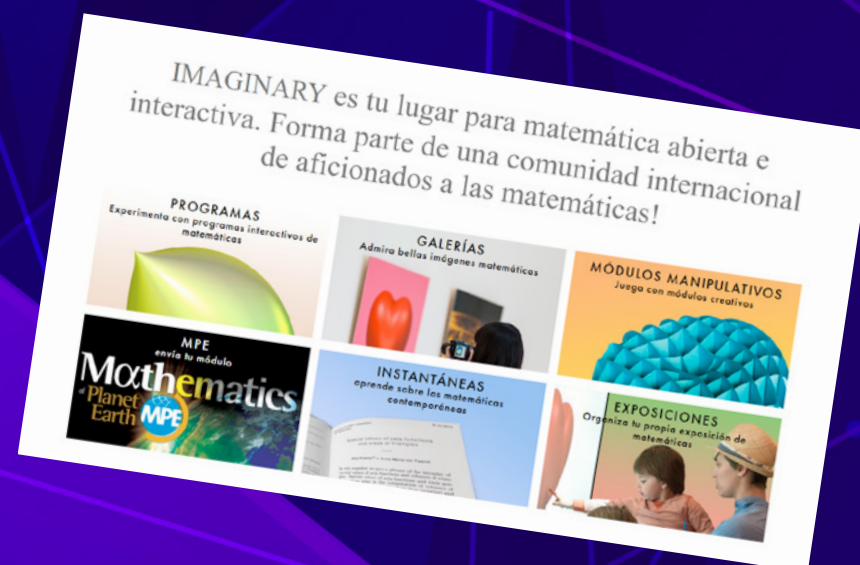
Andrés Navas, Libro

Más que una lectura de corrido, este es de esos libros para tener a la mano y abrir en cualquier página. A través de 34 historias, Navas toma números que podrían parecer aburridos y los desdobra en episodios históricos, personajes y curiosidades que le quitan lo anónimo a las cifras. Lo mejor es que no exige conocimientos previos ni seguir un orden lógico; puedes brincar al número que más te llame la atención y dejarte llevar por la anécdota.

IMAGINARY

(Plataforma digital)

Es una plataforma interactiva llena de objetos matemáticos y exposiciones donde puedes manipular valores para ver cómo mutan las formas en tiempo real, creando figuras que parecen esculturas digitales. Si tu lado fuerte es el diseño o el arte visual, esta es la forma más amable y estética de acercarte a ecuaciones que en papel se verían intimidantes.



17 ECUACIONES QUE CAMBIARON EL MUNDO

(Ian Stewart, Libro)

Aunque el título suene a pesadilla de preparatoria, Stewart en realidad te cuenta el contexto y la historia humana detrás de las fórmulas. Toma figuras como Pitágoras o Newton y te explica qué problema real estaban intentando resolver y cómo el mundo se transformó a partir de ese momento. Es un viaje que te hace entender cómo un puñado de símbolos escritos en un pizarrón lograron condensar ideas que revolucionaron nuestra historia.



POR CONTRADICCIÓN

(Podcast y canal de YouTube)



En lugar de explicarte fórmulas, podrás escuchar a matemáticos sobre cómo es realmente su día a día. Podrás conocer cómo se cruzan las matemáticas con la música o la filosofía, y pláticas muy honestas sobre la frustración de atorarse meses intentando resolver el mismo problema, y escuchar de primera mano todo lo que pasa con matemáticas fuera del salón de clases.

El capítulo *¿Por qué soy matemático?* te comparte la respuesta a una de las preguntas que más ronda en el campo: en qué momento alguien decide que quiere vivir de los números. Si quieres explorar un poco más, tienen episodios donde hablan sobre el lado más caótico de la investigación pura, las veces en que la intuición nos engaña por completo o qué pasa cuando las matemáticas fallan.



EL TÍO PETROS Y LA CONJETURA DE GOLDBACH

(Apostolos Doxiadis, Novela)

Si lo tuyo es la ficción, esta novela retrata increíblemente bien la obsesión que puede generar un problema matemático sin resolver. La historia sigue a Petros, un hombre cuya vida entera termina girando en torno a un solo enigma, arrastrándose por esa montaña rusa de ambición, orgullo y frustración típica de la investigación pura.



www.obsidianadigital.mx

 @Obsidianamx  @obsidiana_mex  @obsidiana_mex  @obsidiana.mx