

AUTOMATIZACIÓN Y SU IMPACTO EN EL QUEHACER MATEMÁTICO

PATRICIA SAAVEDRA BARRERA

RESUMEN. Este texto trata sobre el impacto del conjunto de tecnologías que se denominan inteligencia artificial (IA) tanto en la oferta laboral como en las actividades académicas que desarrollan estadísticos y matemáticos. En particular, se menciona el debate que hay respecto a su utilización en el proceso mismo de la generación de nuevos conocimientos en estos campos.

Este artículo es resultado de mi participación en la mesa redonda sobre automatización y el futuro del empleo en la Semana de las Matemáticas de la UAMI el 12 de julio 2024. Aunque me mantengo informada sobre el avance de lo que se denomina ciencia de datos, debo confesar que hasta ese momento no había reflexionado mucho sobre el impacto que tienen sobre el mercado de trabajo del matemático y sobre las actividades que llevamos a cabo en la academia. Al preparar mi participación en la mesa me di cuenta de que no sólo se afectará el empleo sino que también el trabajo académico sufrirá cambios. Esto ha despertado inquietud en la comunidad matemática internacional. Este texto busca contribuir en la discusión de este tema en la comunidad matemática mexicana.

El texto lo voy a dividir en tres partes: la primera es una comparación de la oferta laboral actual para los matemáticos, estadísticos y actuarios en Estados Unidos y en México. Posteriormente, se presentan algunas proyecciones sobre las perspectivas laborales para estos profesionistas. Por último, haré algunas reflexiones sobre la automatización y su impacto en el trabajo académico del matemático.

1. LA OFERTA LABORAL DE MATEMÁTICOS Y PROFESIONALES AFINES

La publicación anual del Bureau of Labor Statistics de Estados Unidos, ver [2], tiene como objetivo presentar la oferta de empleo para diversas profesiones en ese país. En el rubro sobre los matemáticos, estadísticos y actuarios, a quienes se define como trabajadores que usan la aritmética y técnicas avanzadas para realizar cálculos, analizar datos y resolver problemas, se menciona que el empleo para estas profesiones está creciendo mucho más rápido que el crecimiento promedio laboral. Se espera que se abran anualmente 3,500 nuevos puestos de trabajo y los ingresos anuales promedio es de 101,460 dólares, mientras que los ingresos promedio anuales en general es de 48,600 dólares. Tomando en consideración que en ese país se gradúan en promedio anualmente 1960 doctores en matemáticas y estadística, ver [1], éste es un panorama muy optimista.

En México según el INEGI, ver [6], hay 16,000 actuarios, 22,654 estadísticos y 30,327 matemáticos lo que da un total de 68,981 profesionistas. Para poner esta cifra en perspectiva compárela con los 250,000 economistas y 381,245 ingenieros. El salario promedio mensual de un actuario es de \$53,000 mientras que el de un estadístico es de \$29,864 y del matemático es de \$15,542.

Las habilidades que el mercado laboral aprecia en estos profesionistas son: capacidad de plantear y resolver problemas; capacidad para desarrollar un razonamiento matemático y para escoger el mejor método para resolver un problema; capacidad de abstracción y sus habilidades computacionales y estadísticas.

¿Cómo ha evolucionado el mercado de trabajo en México? Cuando terminé la licenciatura en 1974 el panorama laboral del matemático era principalmente la docencia

en las preparatorias y en las universidades de reciente creación, como la UAM. Las plazas de tiempo completo como investigadores eran muy escasas y se concentraban en el Cinvestav y en la UNAM en el IIMASS y el IMATE. Actualmente, los egresados de esta licenciatura pueden colocarse como profesores en instituciones de educación media superior o como profesores temporales en universidades privadas y tienen una oferta más amplia de puestos si adquirieron durante la licenciatura habilidades en cómputo, en estadística o en finanzas. Con una maestría orientada hacia las aplicaciones, la oferta y el salario mejoran sustancialmente, por lo que los encontramos en instituciones financieras, seguros, empresas que realizan encuestas políticas o económicas, en el INEGI, en empresas de logística, en paraestatales como CFE y Pemex, en trabajos de planeación y en ciberseguridad, entre otras posibilidades.

Desde mi punto de vista, con el desarrollo de sistemas de Inteligencia Artificial (IA), el mercado laboral mexicano se ve mucho más amplio y prometedor para los ingenieros en computación, los matemáticos y los estadísticos. Creo que vale la pena especificar el papel que juegan las matemáticas y la estadística en los fundamentos del aprendizaje de máquina. Tanto en aprendizaje supervisado aplicado a regresión y clasificación como en aprendizaje no supervisado hay algunas preguntas comunes que caen en el terreno de la matemática y la estadística. ¿Qué tipo de problema matemático se está resolviendo cuando se implementa un algoritmo de aprendizaje profundo? ¿Qué tan bueno es el algoritmo que estoy implementando? ¿De qué depende que los resultados sean más precisos y confiables? ¿Cómo seleccionar la arquitectura idónea para el problema específico que estoy resolviendo? ¿Cómo se considera en la arquitectura la correlación entre las variables involucradas? ¿Es lo mismo trabajar con observaciones independientes idénticamente distribuidas que con una serie de tiempo?

Todas estas preguntas pueden responderse con conocimientos matemáticos y estadísticos dado que la herramienta natural para plantearlas es el lenguaje matemático. Recordemos que una de las tareas fundamentales de los matemáticos es poner orden y cimentar el conocimiento matemático. Claramente al analizar con cuidado estas preguntas surgen respuestas que mejoran y precisan los alcances y limitaciones de las distintas metodologías empleadas en la IA, por lo que se contribuye al desarrollo de este campo. Hay que decir que la intervención de los matemáticos y estadísticos es un camino de dos vías, ordenan el conocimiento en ciencia de datos y, por otro lado, sus disciplinas se enriquecen al plantearse nuevas preguntas y aplicaciones por lo que hoy en día, por ejemplo, se habla de aprendizaje estadístico como un nuevo campo de la estadística. Por estas razones, es una gran oportunidad laboral y académica para los matemáticos y estadísticos el avance de la inteligencia artificial.

2. IMPACTO ACTUAL DE LA IA EN LAS MATEMÁTICAS

¿Debemos alarmarnos por ser reemplazados en el futuro por plataformas como ChatGPT o, incluso, por robots? Situación que ya le ha sucedido a otros trabajadores que laboran en líneas de montaje, en la burocracia o en control y distribución de inventarios, por mencionar algunas actividades.

Según un informe reciente de Golden Sachs, ver [9], los sistemas de AI podrían afectar a unos 300 millones de empleos a tiempo completo que representan el 18% de los puestos laborales. Según ellos, se verán afectados los puestos de cuello blanco y se destaca que la matemática podría ser una de las profesiones en las que habrá una mayor reducción. Hay que mencionar que en los últimos días esta institución financiera ha matizado este comentario añadiendo que este cambio se verá en los próximos diez años.

Las plataformas como el ChatGPT han avanzado mucho en el manejo verbal por medio de modelos entrenados con una cantidad enorme de información. Sin embargo, todavía son muy generales y, en ocasiones, reflejan defectos de las fuentes de entrenamiento. El fenómeno de alucinaciones, información inventada, que era muy común en las primeras versiones, se ha reducido con una mejor selección de los datos de

entrenamiento. ChatGPT basa su funcionamiento en la codificación e interpretación semántica de la pregunta que se le hace, conocida como “prompt”. Actualmente, hay toda una línea de ingeniería de “prompts” que mejoran la calidad de las respuestas y que ha dado lugar a sistemas que son capaces de generar imagen o video a partir de ellos como la plataforma SORA, ver [7].

Respecto al impacto de los sistemas de IA en las actividades que realizan los matemáticos, hay que señalar que desde hace tiempo las computadoras realizan los cálculos involucrados en un algoritmo con mayor eficiencia y precisión que los humanos. Por otro lado, desde el 2013 existen plataformas que pueden seguir una demostración en forma interactiva con un usuario. Lean, desarrollado en 2016 por Leonardo de Moura de Microsoft Research, lleva a cabo demostraciones de teoremas y fue utilizado hace dos años para probar que era correcto el resultado de un artículo cuya demostración era muy intrincada y larga. También hay que mencionar la iniciativa de Terry Tao, ver [8], al usar Lean para desarrollar una prueba para la conjetura de Kepler. Por otro lado, Google Deepmind desarrolló una plataforma que resuelve problemas olímpicos en geometría y Symbolab es un programa poderoso capaz de resolver un amplio espectro de problemas matemáticos. Para más información al respecto ver [4] y [9].

Aunque las máquinas sean capaces de resolver cálculos complejos e incluso demostrar teoremas hay hasta ahora varias cosas que son incapaces de hacer: por ejemplo, extraer conceptos abstractos a partir de información concreta, como mencionan los autores de [4]; proponer nuevas conjeturas como resultado de los conocimientos y de la intuición y, por último, ser creativos, lo que Poincaré denominó como el elemento esencial de la matemática. Quizá sea la falta de creatividad lo que para algunos autores, ver [9], impide a los algoritmos de aprendizaje hacer matemáticas profundas, formular problemas equivalentes desde otro punto de vista o establecer relaciones no evidentes entre áreas inconexas, como en muchas ocasiones lo han hecho los matemáticos. ¡Sin embargo, nadie puede predecir el futuro ni el alcance que tendrán las máquinas!

Estas reflexiones nos confirman que la formación de los nuevos matemáticos debe ser sólida y rigurosa en los fundamentos que permitan el desarrollo de la capacidad de abstracción y aliente e impulse la creatividad. Asimismo, debe ser flexible y abierta para incorporar nuevas orientaciones que permitan a nuestros egresados adaptarse a los rápidos cambios del mercado de trabajo.

3. IMPACTO EN LA ACADEMIA

El desarrollo vertiginoso de la IA ha prendido las alarmas en todos los ámbitos y en particular en la comunidad matemática en cuanto a su quehacer en la investigación y la docencia. Los números de abril y julio de 2024 correspondientes al volumen 61 del Bulletin of AMS se dedican a este tema con colaboraciones no solo de matemáticos sino también de filósofos y antropólogos. Invito a leer estos números porque exponen con claridad y rigor distintos puntos de vista. Demos algunos ejemplos de los efectos positivos y negativos de los avances tecnológicos en la academia.

En la docencia universitaria y de posgrado el avance de la tecnología nos ha permitido que el tiempo que dedicamos a evaluar, preparar cursos y material se reduzca considerablemente. Asimismo, la difusión y la colaboración se han visto beneficiadas. Ahora se puede escuchar conferencias, asesorar alumnos y colaborar a distancia lo que acelera las conexiones y abarata los costos. Sin embargo, hay que reconocer que nada substituye la interacción informal presencial que da lugar a colaboraciones futuras en charlas de café o cenas posteriores a los eventos académicos, ver [3].

Entre los aspectos negativos, cada vez es más frecuente encontrarse con propuestas de financiamiento e incluso artículos redactados por plataformas como ChatGPT en las que los usuarios no se toman la molestia de verificar la información y, en consecuencia, incluyen terminología disparatada o referencias bibliográficas inexistentes. Nature, Science y otras publicaciones científicas han decidido no aceptar artículos escritos

por medio de un sistema de IA porque violan la legislación sobre derechos de autor y de usarse un sistema de IA en la redacción o en la obtención de resultados, se les exige a los autores que lo especifiquen. Asimismo, es preocupante el uso de estas herramientas para realizar arbitrajes de artículos o propuestas de financiamiento, sin supervisión de un matemático, primero porque se perderá la rigurosidad y segundo, porque se tenderá a no publicar y apoyar investigaciones que sean novedosas, originales o a contracorriente.

Hay otras voces que opinan que el hacer uso de estas plataformas hará que la evolución de la matemática recaiga en las máquinas, lo que repercutirá en la libertad de creación y en la uniformización de la matemática. De hecho, hay un párrafo en el artículo introductorio escrito por los responsables de la publicación de la AMS, ver [5], que ilustra su preocupación. “Los matemáticos han disfrutado de un amplio grado de independencia y de libertad intelectual, una herencia frágil y preciada que puede desaparecer por el uso irresponsable de máquinas. Por otro lado, un acercamiento deliberado y bien pensado a la misma tecnología puede enriquecer nuestro campo de investigación. Somos nosotros quienes debemos decidir cómo se desarrolla nuestra disciplina así que se invita a la comunidad matemática a pensar y discutir seriamente sobre estas cuestiones y escuchar a otros colegas de otras disciplinas que han reflexionado desde hace tiempo sobre estos temas como los filósofos y los antropólogos. Ahora es tiempo que los matemáticos se informen al respecto y decidan el futuro de nuestra disciplina ”.

Creo que los sistemas de IA y otros cambios tecnológicos deben ser analizados con cuidado tratando de distinguir las ventajas que nos ofrecen de los peligros que acarrear. Solo regulando con inteligencia y sentido común su uso, no serán una amenaza sino aliados que nos permitan tener más herramientas y más tiempo disponible para resolver los retos que nos depara el futuro.

REFERENCIAS

- [1] American Mathematical Society. The Mathematical and Statistical Science, Annual Survey 2017-2018. <https://www.ams.org/profession/data/annual-survey/phds-awarded>
- [2] Bureau of Labor Statistics de Estados Unidos. <https://www.bls.gov/ooh/math/mathematicians-and-statisticians.htm>.
- [3] Cheng, G., *How machines can make mathematics more congressive*, Bull. Amer. Math. Soc. 61, 305-315. 2024.
- [4] Davies, A., *Working with machines in Mathematics*, Bull. Amer. Math. Soc. 61,3, 387-394. 2024.
- [5] Fraser, M., Granville, A., Harris, M., McLarty, C., Riehl, E. y Venkatesh, A., *Will machines change mathematics?*, Bull. Amer. Math. Soc. 61,3, 373-374, 2024.
- [6] Observatorio Laboral Gobierno de México. Cifras actualizadas al cuarto trimestre de 2023 de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo, STPS-INEGI. <https://www.observatoriolaboral.gob.mx/static/estudios-publicaciones/Fisico.html>
- [7] <https://openai.com/index/sora/>
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=AayZuuDDKP0>
- [9] Vélez, M P., León, M. y Trujillo, R., *IA y el mercado laboral para matemáticos: nuevos tiempos, nuevas incertidumbres*, Revista de la RSME, 2023.

Patricia Saavedra Barrera

Universidad Autónoma Metropolitana,

Unidad Iztapalapa,

División de Ciencias Básicas e Ingeniería,

Departamento de Matemáticas.

Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco 186. Col. Leyes de Reforma.

Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09310, CDMX, México.

e-mail: psb@xanum.uam.mx