



# Estructura y desafíos de la investigación científica en México:

Una perspectiva institucional y colaborativa



## EDGAR CHÁVEZ

Doctor en Ciencias de la Computación por el Centro de Investigación en Matemáticas A.C. en Guanajuato, México. Actualmente es investigador titular "D" en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California. Está interesado en algoritmos para la creación de índices para búsqueda por proximidad, reducción dimensional, discretización, clustering y caracterización de dimensionalidad intrínseca.

✕ @dimoniblau

✉ elchavez@cicese.edu.mx



**RESUMEN.** En los centros públicos de investigación mexicanos, como el CICESE, existen condiciones laborales favorables y un ambiente comparativamente más propicio para la investigación científica que en las universidades. Los investigadores cuentan con menor carga docente y pueden dedicarse de manera más integral a sus proyectos. Sin embargo, la baja inversión en I+D en México, que ronda el 0.3% del PIB, muy por debajo del promedio de la OCDE del 2.4%, limita significativamente la capacidad de los investigadores para acceder a tecnología de punta, formar equipos robustos y sostener proyectos a largo plazo.

La colaboración espontánea, impulsada por el entusiasmo compartido por explorar nuevas fronteras del conocimiento, se convierte en una estrategia clave para superar las limitaciones presupuestarias. A través de redes de colaboradores nacionales e internacionales, los investigadores pueden compartir recursos, experiencias y perspectivas, fortaleciendo así la calidad y el impacto de sus proyectos.

La investigación científica en México se desarrolla principalmente en universidades y centros de investigación, cada uno con características y enfoques distintos. Las universidades combinan la investigación con una carga docente significativa, ofreciendo programas de licenciatura y postgrado, mientras que los centros de investigación suelen enfocarse más en proyectos científicos y tecnológicos, con menor carga docente y ofreciendo principalmente programas de postgrado. Esta diferencia estructural tiene implicaciones importantes para la calidad y cantidad de la producción científica en el país.

En las universidades, los investigadores a menudo deben equilibrar su tiempo en

## ***En México, el presupuesto destinado a investigación y desarrollo (I+D) ha sido históricamente bajo en comparación con otros países, tanto de la OCDE como de América Latina.***

tre la enseñanza, la administración académica y la investigación. Esto puede limitar la cantidad de tiempo y recursos que pueden dedicar a proyectos científicos. No obstante, las universidades juegan un papel crucial en la formación de nuevos científicos y en la difusión del conocimiento. Instituciones como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y el Tecnológico de Monterrey son ejemplos destacados de universidades que contribuyen significativamente a la investigación en México.

Por otro lado, los centros de investigación, como el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) y los diversos centros del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT), se enfocan más en la investigación aplicada y básica con menor carga docente. Estos centros suelen contar con mejores infraestructuras y más recursos específicos para la investigación, permitiendo a los científicos dedicarse de manera más integral a sus proyectos.

El financiamiento de la investigación científica es un factor crucial que influye en la capacidad de un país para innovar y desarrollar nuevas tecnologías. En México, el presupuesto destinado a investigación y desarrollo (I+D) ha sido históricamente bajo en comparación con otros países, tanto de la OCDE como de América Latina.

Según datos de la OCDE, México destina aproximadamente el 0.3% de su Producto Interno Bruto (PIB) a la I+D, una cifra que está muy por debajo del promedio de la OCDE, que es del 2.4%. Este bajo nivel de inversión limita la capacidad del

país para competir en el ámbito global de la ciencia y la tecnología. En comparación, países como Corea del Sur y Alemania invierten alrededor del 4.5% y 3% de su PIB en I+D, respectivamente. Estas diferencias marcan una brecha significativa en términos de recursos disponibles para la investigación científica.

Comparando con otros países de América Latina, México tampoco lidera en términos de inversión en I+D. Brasil, por ejemplo, invierte alrededor del 1.3% de su PIB en investigación científica, lo que le permite tener una infraestructura de investigación más robusta y un impacto científico mayor a nivel regional. Argentina y Chile también superan a México en este aspecto, invirtiendo aproximadamente el 0.6% y 0.4% de su PIB, respectivamente.

Las condiciones actuales de la investigación científica en México presentan varios desafíos. La baja inversión en I+D limita la capacidad de los investigadores para acceder a tecnología de punta, formar equipos de trabajo robustos y sostener proyectos a largo plazo. Además, la burocracia y la falta de incentivos adecuados para los científicos también dificultan el avance de la investigación.

Hay oportunidades significativas para mejorar esta situación. Incrementar la inversión en I+D es esencial para cerrar la brecha con otros países y fortalecer la capacidad científica del país. Además, fomentar colaboraciones internacionales, tanto en universidades como en centros de investigación, puede ayudar a mejorar la calidad y el impacto de la investigación realizada en México.

El Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja



## ***El financiamiento [en el] CICESE se asigna en función de la productividad de los investigadores. Aquellos que producen más artículos reciben mayor presupuesto.***



California, (CICESE) es una institución de prestigio en México y América Latina. Fundado en 1973, CICESE es el centro público de investigación más grande del sistema CONAHCyT y ha sido un pilar en el desarrollo científico y tecnológico en el norte de México. Su misión es generar conocimiento de frontera y formar recursos humanos de alto nivel en diversas áreas del conocimiento.

CICESE está organizado en varias divisiones y departamentos que abarcan una amplia gama de disciplinas científicas. Una de las divisiones más destacadas es la División de Física Aplicada, que alberga tres departamentos: Computación, Electrónica y Telecomunicaciones, y Óptica. Estos departamentos trabajan de manera interdisciplinaria para abordar problemas complejos y desarrollar soluciones innovadoras.

En el Departamento de Computación, donde estoy adscrito, somos un grupo de 16 investigadores. Nuestro trabajo abarca desde la teoría de la computación hasta las aplicaciones prácticas, destacando en áreas como interacción humano-computadora, biocomputación e inteligencia artificial. Colaboramos esporádicamente en proyectos transversales cuando los estudiantes muestran interés en temas que abarcan múltiples disciplinas. Dado el pequeño tamaño de la planta, tendemos a colaborar con redes nacionales e internacionales.

He tenido la oportunidad de establecer una red de colaboradores tanto a nivel nacional como internacional. Estos vínculos incluyen investigadores de otros centros y universidades en México, así como en Europa y Estados Unidos. Estas colaboraciones han sido

valiosas para el avance de nuestra investigación, permitiéndonos compartir conocimientos, recursos y experiencias, y acceder a diferentes perspectivas y enfoques metodológicos.

El financiamiento para la investigación en CICESE se asigna en función de la productividad de los investigadores. Aquellos que producen más artículos científicos reciben mayor presupuesto, lo cual incentiva la publicación y la difusión del conocimiento. Estos fondos se destinan casi exclusivamente a cubrir viáticos para asistir a congresos nacionales o internacionales, lo que es crucial para mantenerse al día con los avances científicos globales y para establecer nuevas colaboraciones.

Sin embargo, adquirir equipo de cómputo es un proceso complicado debido a la necesidad de obtener permisos federales, lo que puede limitar el acceso a tecnología de punta. Afortunadamente, todos los estudiantes de postgrado reciben becas federales, lo que asegura su apoyo económico sin necesidad de que los investigadores compitan por esos fondos. Además, es posible contratar investigadores postdoctorales con relativa facilidad utilizando fondos federales, lo que contribuye a mantener un flujo constante de nuevos talentos y perspectivas en el departamento.

---

### **Un caso de estudio**

---

Contaré una historia personal sobre investigación científica. La validez estadística de una muestra de un solo elemento es, sin duda, muy limitada.

Desde un punto de vista científico, una muestra tan pequeña no permite generalizaciones ni conclusiones robustas. Sin embargo, el valor anecdótico de esta narración ofrece una perspectiva íntima y reveladora sobre las peripecias de hacer investigación científica en el tercer mundo, particularmente en México.

En el mundo de la investigación científica, la colaboración y la sinergia de ideas a menudo surgen de manera orgánica, impulsadas por el entusiasmo compartido por explorar nuevas fronteras del conocimiento. En el CICESE, un proyecto reciente sobre la reducción del tamaño de las redes neuronales ejemplifica esta dinámica de trabajo colaborativo y espontáneo.

Todo comenzó con algunas pláticas informales entre colegas. Durante una conversación con Mariano Rivera, investigador del Centro de Investigación en Matemáticas, A.C. (CIMAT) en Guanajuato, surgió una idea intrigante: ¿Será posible encontrar un factor común para todas las neuronas de una red neuronal? Esta idea, que permitiría calcular cada neurona al vuelo utilizando un factor común y algunos parámetros específicos de cada neurona, prometía hacer las redes neuronales más eficientes sin sacrificar su precisión.

Mariano es un amigo de muchos años, tuvimos el mismo asesor de doctorado, aunque en áreas distintas. Él se dedicó al procesamiento digital de imágenes utilizando conceptos de optimización con restricciones, yo me dediqué a una variedad de cosas alrededor de algoritmos discretos y métodos de búsqueda por proximidad. Habíamos mantenido contacto por razones personales, más



que académicas. De manera natural, las habilidades de Mariano en optimización con restricciones lo llevaron a profundizar en la construcción y aplicación de redes neuronales profundas. En 2020, lo invité a dar un curso en el CICESE sobre el tópico y asistí para aprender un poco sobre ese tema que comenzaba a consolidarse como la próxima revolución en ciencia. Co-dirigimos un par de tesis de maestría y Mariano se convirtió en un investigador adjunto del CICESE, una posición honoraria que le permite visitarnos un par de veces al año para colaborar.

Después de haber entendido los rudimentos de las redes, en algunas ocasiones platicamos por teléfono o por videoconferencia para discutir ideas. De una de estas llamadas fue que surgió la pregunta motivo de este proyecto en curso.

Entusiasmado por la simplicidad y el potencial de la idea de encontrar un factor común en las neuronas de una red, decidí ponerla a prueba. Gracias a las herramientas avanzadas desarrolladas por la comunidad científica internacional, fue relativamente sencillo realizar pruebas

numéricas iniciales. Los resultados fueron prometedores, lo que llevó a la necesidad de establecer una base teórica sólida. Así comenzó una colaboración más formal y estructurada.

Para abordar el desafío teórico, invité a Daniel Sheimbaum, un matemático adscrito a nuestra División de Física Aplicada bajo la figura de Investigador por México. Es una figura relativamente nueva. Los investigadores por México tienen como empleador el CONAHCYT y están adscritos a alguna universidad o centro de investigación, es una manera de contratar nuevos investigadores sin la carga fiscal para universidades o centros. Daniel, con su profundo conocimiento en topología algebraica, vio de inmediato el potencial del proyecto. El objetivo era trabajar en un teorema que proporcionara garantías teóricas de aproximación, similar a la Descomposición en Valores Singulares (SVD) con el teorema de Eckart-Young-Mirsky.

Daniel, a su vez, invitó a colaborar a Omar Antolín, un matemático de la Universidad Nacional Autónoma de Mé-

xico, en el Instituto de Matemáticas. Anticipamos que su conocimiento y experiencia serían cruciales para validar nuestras hipótesis y fortalecer la base teórica del proyecto. La parte experimental y de implementación quedó en manos de Scarlett Magdaleno, una talentosa estudiante de maestría en nuestro departamento, quien se encargará de escribir el código y realizar las pruebas prácticas. Scarlett cuenta con el apoyo y la supervisión de un comité integrado por los miembros espontáneos de nuestra colaboración, asegurando así una guía y revisión constantes.

Una vez establecido este grupo de investigación, también resulta natural solicitar fondos. En México, el proceso de obtención de fondos para investigación es altamente competitivo y presenta varios desafíos. Según datos recientes, el presupuesto total asignado a ciencia y tecnología es de 33,170.7 millones de pesos para 2024. Sin embargo, una parte significativa de estos fondos se destina a becas de postgrado, con un presupuesto de aproximadamente 13,772.7 millones de pesos, y al Sistema Nacio-



nal de Investigadores (SNII), que recibe 8,487.9 millones de pesos.

Restando estos montos, el presupuesto específico para proyectos de investigación es considerablemente menor. Si estimamos que la cantidad disponible para proyectos de investigación es de 10,910.1 millones de pesos, destinado a varios fondos y convocatorias. Quizá la tercera parte se dedica a investigación básica. Considerando un mínimo de 30,000 investigadores activos (de unos 41,285 con reconocimiento en el SNII), el promedio disponible por investigador sería alrededor de 120,000 pesos anuales, unos 7500 dólares. En la convocatoria de ciencia básica el techo financiero es de alrededor de 1.5 millones de pesos o unos 30,000 dólares anuales. Se postularon unos 10,000 proyectos y se financiaron 372. Esa disparidad entre las postulaciones y los proyectos financiados hace que la asignación sea azarosa. En particular, nuestra propuesta no fue financiada.

El presupuesto que el CICESE me asignó para investigación en este año es de alrededor de 3,500 dólares. La salvedad es que no podemos utilizarlo para solventar gastos de personas externas al CICESE; esto excluye incluso a estudiantes, investigadores postdoctorales e investigadores por México. Haciendo un poco de malabares contables hemos podido cubrir el boleto de avión, los visitantes se hospedarán en nuestras casas y los viáticos correrán de nuestra bolsa.

La historia de nuestra colaboración es un testimonio de cómo los grupos de investigación en México se forman alrededor

## ***La colaboración y la sinergia de ideas a menudo surgen de manera orgánica, impulsadas por el entusiasmo compartido por explorar nuevas fronteras del conocimiento.***

de intereses comunes y de la iniciativa de individuos motivados. En CICESE, hemos demostrado que la combinación de talento, colaboración interdisciplinaria y apoyo institucional puede llevar a avances significativos. Nuestro objetivo es no sólo hacer que las redes neuronales sean más eficientes, sino también contribuir al conocimiento científico global y al desarrollo tecnológico del país.

Este proyecto, aún en desarrollo, promete tener un impacto considerable. La reducción del tamaño de las redes neuronales utilizando un factor común no sólo puede mejorar la eficiencia computacional, sino también abrir nuevas posibilidades para la aplicación de inteligencia artificial en dispositivos con recursos limitados. A medida que avanzamos, la colaboración y la sinergia entre nuestros investigadores continúan siendo la clave para transformar ideas innovadoras en realidades prácticas.

## **Alternativas para la colaboración**

La historia de nuestra colaboración es un testimonio del poder de los intereses compartidos y la iniciativa individual para impulsar el progreso de la investigación. A pesar de las limitaciones fi-

nancieras, que a menudo restringen el alcance de la investigación científica, la colaboración virtual puede conducir a avances significativos, aunque puede no replicar completamente la riqueza de las interacciones en persona, nos ha permitido aprovechar al máximo nuestra experiencia colectiva e impulsar el proyecto hacia adelante. Nuestro equipo se ha adaptado a esta forma de trabajo y ha aprovechado las herramientas en línea para discutir avances, compartir ideas y tomar decisiones críticas.

## **Reflexiones finales**

En condiciones favorables, como las proporcionadas por CICESE, los investigadores pueden alcanzar niveles de excelencia y realizar contribuciones significativas. Aun así, enfrentan obstáculos como la burocracia en la adquisición de equipo de cómputo y la dependencia de fondos basados en productividad. Estas experiencias personales ilustran no sólo los retos, sino también la resiliencia y la creatividad necesarias para realizar investigación científica en un entorno en desarrollo. La colaboración espontánea, la pasión por el descubrimiento y el apoyo institucional permiten que estas historias de esfuerzo y éxito emerjan, reflejando la resiliencia de la comunidad científica. ■